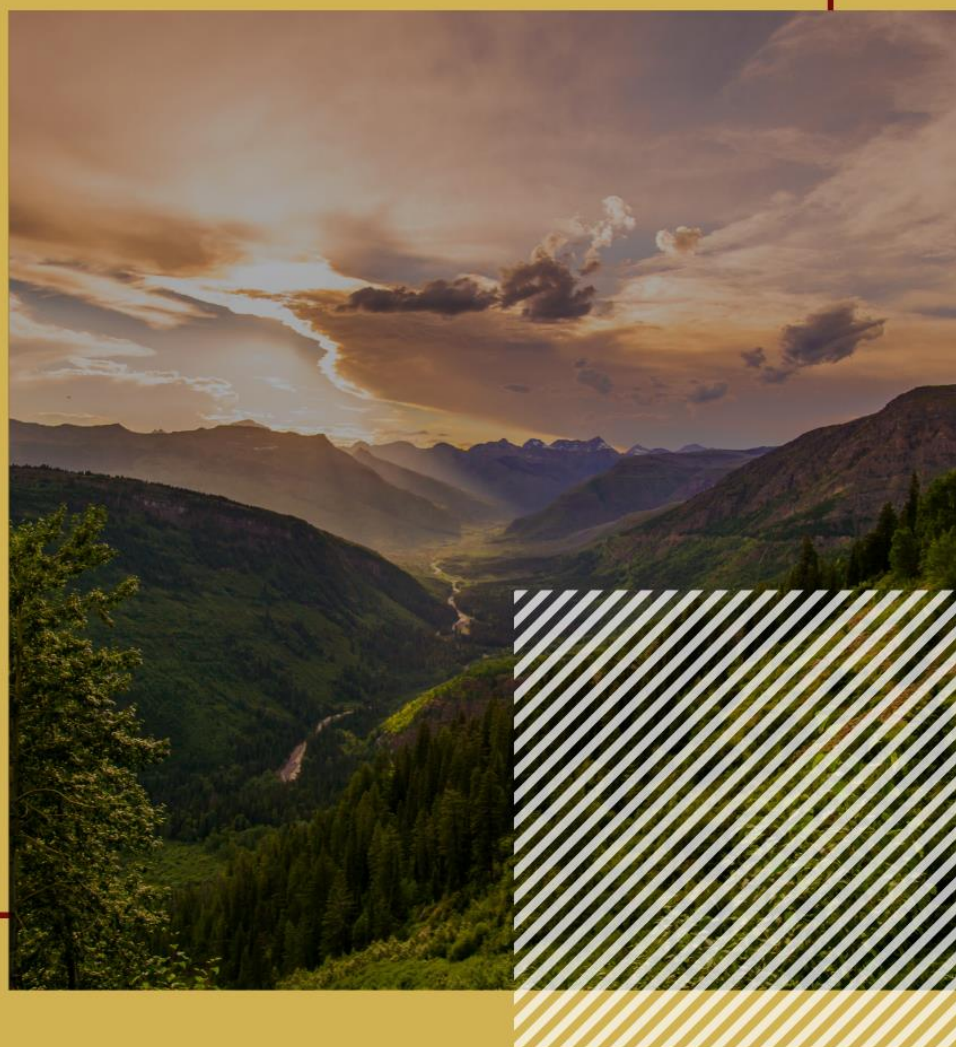


M E I O A M B I E N T E
S U S T E N T A B I L I D A D E
&
T E C N O L O G I A



(Organizador)
José Henrique Porto Silveira



Organizador
José Henrique Porto Silveira

Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia Volume 11

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2022

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

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

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

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M514

Meio Ambiente, sustentabilidade e tecnologia
- Volume 11/ Organização: José Henrique
Porto Silveira - Belo Horizonte - MG:
Poisson, 2022

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-190-0

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Meio ambiente 2. Gestão. 3. Tecnologia
I. SILVEIRA, José Henrique Porto II. Título

CDD-333.72

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896



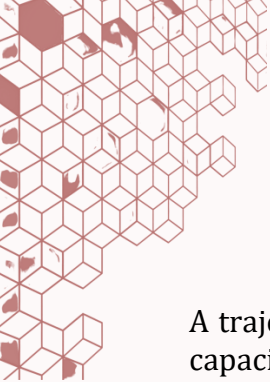
O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

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

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

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br



Prefácio

A trajetória dos seres humanos vem sendo escrita com ênfase sempre na nossa infinita capacidade de subjugar a natureza, extrair dela o que nos interessa e descartar o que não nos serve na forma de resíduos. Tais resíduos no ar, na água ou no solo representam o que deve ser evitado, mitigado ou controlado. É poluição ou degradação. Em grande parte essa trajetória desastrada é decorrente da evolução das ciências e suas tecnologias.

Mas quando se começa perceber o desastre, mesmo que lenta e gradativamente a ciências e suas tecnologias podem se constituir em reversão da catástrofe prenunciada. Novos tempos, tempos de pensar de forma sistêmica e ecológica.

Nessa perspectiva, meio ambiente e sustentabilidade são expressões fundamentais. Conceitos distintos, mas indissociáveis para podermos pensar para agir e agir para construir o futuro da humanidade. É assim que as ciências atuam, buscando respostas com a ampliação dos conhecimentos e encontrando soluções com novas tecnologias. Nesta busca incessante para criar e construir soluções para os problemas ambientais e de encontrar caminhos para manifestação dos preceitos da sustentabilidade, tecnologias são ensaiadas e sugeridas como viáveis e mesmo projetadas para execução.

E este é o verdadeiro papel das ciências nas academias e nos centros de pesquisa, envolvendo as muitas disciplinas que se integram na construção do conhecimento socioambiental: engenharia, arquitetura, sociologia, psicologia, geografia, antropologia, biologia, pedagogia e tantas outras. Quase sempre são processos que envolvem a multi, a inter e a transdisciplinaridade.

Nessa coletânea, a intenção principal é mostrar possibilidades, algumas mais outras menos detalhadas, mas todas dotadas de intencionalidades em relação à busca de um futuro melhor.

Como ambientalista e profissional com muitos anos de atuação nas áreas de avaliação de impactos e educação ambiental vejo como muito promissor as ideias e soluções técnicas que estão sendo gestadas no meio acadêmico nas áreas de meio ambiente e sustentabilidade.

Reitero que as temáticas como meio ambiente e sustentabilidade devem estar em constante interação na construção do futuro, já que inevitavelmente a nossa permanência como espécie depende da permanência de outras espécies da flora e da fauna e da boa qualidade dos elementos ar, água e solo. Nunca é tarde na busca de reverter a nossa trajetória, usando bom senso e o conhecimento proporcionado pelas ciências e pelas culturas milenares sobre o meio ambiente.

José Henrique Porto Silveira

Sumário

Capítulo 1: Educação ambiental e sua importância na formação cidadã dos alunos da Educação Básica..... 08

Antônia Amanda Alves Pereira Moreira, Laércio Ramon da Silva Nascimento, Adriana Castelo Branco de Siqueira

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.01

Capítulo 2: Responsabilidade socioambiental no contexto educacional: Um estudo de caso sobre o Programa Brasil Reciclado da Faculdade Sul Fluminense 17

Denise de Campos Telles Menchise, Nathan Costa Machado, Adival de Sousa Monteiro

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.02

Capítulo 3: Compras públicas compartilhadas: Um instrumento para promoção do desenvolvimento sustentável 28

Jecivan Vieira Braga, Gisella Vieira Braga

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.03

Capítulo 4: Engarrafamento artesanal de água de coco em Petrolândia – Pernambuco: Subsídio ao ensino de geografia agrária..... 34

Guilherme José Ferreira de Araújo, Edvânia Tôrres Aguiar Gomes, Marina Loureiro Medeiros

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.04

Capítulo 5: A incidência de COVID-19 nos maiores municípios mineradores da Amazônia: Dos impactos econômicos aos riscos e lições a aprender 43

Fernando Ferreira de Castro, Geraldo Sandoval Góes, José Antônio Sena do Nascimento, Mônica Monnerat Tardin

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.05

Capítulo 6: Diagnóstico do saneamento rural na Comunidade de Valéria localizada no município de Catas Altas-MG 57

Jocilene Ferreira da Costa, Jean Aparecido Viegas, Anna Carolina Simões, Fabrícia Nunes de Jesus, Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.06

Capítulo 7: Balanço hídrico em um município do semiárido em anos de El Niño e La Niña forte..... 67

Felipe Jeferson de Medeiros, Anderson Flávio Silva de Queiroz, João Vinícius Cruz Barbosa, Ruan Otavio Teixeira, Rafaela dos Santos Gomes

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.07

Sumário

Capítulo 8: Quantificação do teor de sólidos solúveis totais (Brix^o) de aguapé para produção de etanol de segunda geração usando ácido sulfúrico 74

Gabriela de Cássia Javorski, Maria Cristina Souza, Marcia Mendes Costa Guareski, Everson do Prado Banczek, Cynthia Beatriz Furstenberger

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.08

Capítulo 9: Processos Oxidativos Avançados: Uma breve revisão80

Maria Eliza Nagel Hassemer, Beatriz Lima Santos Klienchon Dalari, Dayane Gonzaga Domingos, Juliana Barden Schalleberger, Amanda Dalalibera, Fabíola Tomassoni

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.09

Capítulo 10: Tratamento do efluente de laboratório de análises físico-químicas por biossorção simultânea de metais utilizando resíduo de levedura 101

Mônica Beatriz Kolicheski, Tiago Nunes Billerbeck, Marcelly Iohhany Miguel Bastos

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.10

Capítulo 11: Avaliação da estrutura normativa para a correta utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cimento Portland no estado do Espírito Santo . 114

Luciana Marelli Mofati, Geilma Lima Vieira, Francisco Wilson Hollanda Vidal, Monica Regina da Costa Marques Calderari

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.11

Capítulo 12: Uso de efluentes gerado pela codigestão anaeróbia de resíduos de restaurante universitário em conjunto com resíduos de frutas e hortaliças para a produção de mudas 122

Lucas D'avila, Amanda Ortega, João Henrique Lima Alino, Jhenifer Aline Bastos, Laercio Mantovani Frare, Thiago Edwiges

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.12

Capítulo 13: Gestão de resíduos sólidos e sua relação com a presença de animais peçonhentos em um aterro controlado da Amazônia Brasileira 131

Claudiran de Oliveira Braz, Joacir Stolarz de Oliveira, Deyanira Fuentes-Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.13

Capítulo 14: Proposta de uma nova metodologia para análise do impacto ambiental do atropelamento de fauna..... 148

Gustavo Aveiro Lins, Oscar Rocha Barbosa, Josimar Ribeiro de Almeida

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.14

Sumário

Capítulo 15: Evaluation of the impacts of COVID-19's pandemic on air quality in the central region of Uberlândia 156

João Victor Delfino Silva, Lucas Marcelo Pereira Cruvinel, Vinícius Melo Duarte, Euclides Antônio Pereira de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.15

Capítulo 16: Energia, Sociedade, Meio Ambiente: Economia do hidrogênio..... 164

Jean Constantino Gomes da Silva, José Luiz Francisco Alves, Guilherme Davi Mumbach

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.16

Capítulo 17: Avaliação da potencialidade energética de plantas invasoras visando seu uso em processos termoquímicos..... 177

Eduardo Carpes Dib, José Luiz Francisco Alves, Guilherme Davi Mumbach, Jean Constantino Gomes da Silva, Cintia Marangoni

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.17

Capítulo 18: Estudo de energia fotovoltaica para uma cidade inteligente..... 188

Isabel Jacobs, Jorge Luis Palacios Felix

DOI: 10.36229/978-65-5866-190-0.CAP.18

Autores:..... 204

Capítulo 1

Educação ambiental e sua importância na formação cidadã dos alunos da Educação Básica

Antônia Amanda Alves Pereira Moreira

Laércio Ramon da Silva Nascimento

Adriana Castelo Branco de Siqueira

Resumo: A educação ambiental é uma das ferramentas de orientação para a tomada de consciência dos indivíduos frente aos problemas ambientais, por isso sua prática faz-se importante para solucionar ou mitigar problemas como o acúmulo de resíduos sólidos, o lixo nas escolas, dentre outros. Dessa perspectiva infere-se a seguinte problemática: como está sendo realizada a valoração da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica? Na busca de respostas a este questionamento, o presente estudo tem como principal objetivo: analisar a importância que da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica. Nesse aspecto, a formação de cidadão consciente, crítico e preocupado com o meio ambiente vai sendo desenvolvida. A metodologia adotada para a realização do estudo tem como método a revisão de literatura sistemática encontrada em materiais científicos disponíveis na literatura nacional. Na educação, pode-se encontrar apoio para melhoria da relação homem-natureza-homem, pois é conscientizando o indivíduo que o convívio entre as pessoas e o meio ambiente pode aprimorar-se. Constatou-se, através da pesquisa, que a educação ambiental é peça fundamental na formação cidadã dos alunos da educação básica, uma vez que provoca mudanças de atitudes através da conscientização do pensamento voltado para o melhor tratamento do meio ambiente, seja através de pequenas ou grandes ações.

Palavras-chave: Educação Ambiental. Formação Cidadã. Educação Básica. Gestão Pública. Direitos Humanos.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de conteúdos de cidadania e de direitos humanos tem sido enfatizado, como parte dos temas transversais propostos nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), principalmente no ensino básico brasileiro (nos níveis fundamental e médio) (VAIDERGORN, 2010). Posto isto, ressalta-se que a cidadania ativa requer a “participação popular como possibilidade de criação, transformação e controle sobre o poder ou os poderes” (BENEVIDES, 1991). Por conseguinte, para a concretização da cidadania nesta perspectiva é fundamental o conhecimento dos direitos, a formação de valores e atitudes para o respeito aos direitos e a vivência dos mesmos (SILVA; TAVARES, 2011). Cidadania requer, portanto, ação do sujeito integrante da sociedade, e não somente a recepção de direitos por parte do mesmo.

Na atualidade, o educador é observado como uma referência na educação formal por preparar e apresentar métodos de ensino com informações claras e objetivas. Porém, é necessário conhecer o assunto exposto e identificar-se com o mesmo. Levando para o meio ambiental, o educador deverá ter uma visão do homem associado à natureza, pois ambas as partes dependem uma da outra (FERREIRA; PEREIRA; BORGES, 2013).

A educação ambiental é uma das ferramentas de orientação para a tomada de consciência dos indivíduos frente aos problemas ambientais, por isso sua prática faz-se importante para solucionar ou mitigar problemas como o acúmulo de resíduos sólidos, o lixo nas escolas, dentre outros.

Deste modo, subentende-se que fomentar a discussão de problemas ligados ao meio ambiente dentro do ambiente escolar é estar de frente a inúmeros questionamentos que possam surgir visando possíveis soluções que colaborem com o meio ao qual todo ser humano pertence (ALVES; COLESANTI, 2005).

Destarte, a lei de diretrizes e bases apresenta que o ensino fundamental obrigatório, com duração de 9 (nove) anos, gratuito na escola pública, iniciando-se aos 6 (seis) anos de idade, terá por objetivo a formação básica do cidadão (BRASIL, 1996 *apud* FERREIRA ;PEREIRA;BORGES, 2013). Nesse sentido, essa fase da educação na vida de cada pessoa é importante, pois ela levará o indivíduo a tornar-se um cidadão crítico e participante de seus direitos e deveres, e fomentar uma conscientização sobre a importância do cuidado ao meio ambiente através da educação ambiental (FERREIRA; PEREIRA; BORGES, 2013).

Através de uma perspectiva ampla, percebe-se que a educação ambiental abarca uma diversidade de procedimentos e métodos para que os professores utilizem práticas construtivas do conhecimento e assim, busquem a compreensão da totalidade complexa dos processos e das relações do homem com o meio ambiente (CRUZ; LIRA, 2012).

Nesse sentido, o presente estudo justifica-se visando compreender a importância da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica. Dessa perspectiva infere-se a seguinte problemática: como está sendo realizada a valoração da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica? Na busca de respostas a este questionamento, o presente estudo tem como principal objetivo: analisar a importância que da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica. Tendo como objetivos específicos: (1) Entender a importância da educação ambiental no contexto escolar; (2) Compreender a relação entre educação ambiental e cidadania e (3) Descrever os benefícios da educação ambiental na formação cidadã dos alunos.

A metodologia adotada para a realização da pesquisa tem como método a revisão de literatura sistemática encontrada em materiais científicos disponíveis na literatura nacional. O presente estudo visa contribuir para a pesquisa científica do assunto em questão, servindo assim de base para futuras pesquisas mais aprofundadas sobre a temática e também para mostrar a importância da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica.

O artigo está estruturado em cinco seções, após esta de caráter introdutório, a segunda apresenta os aspectos metodológicos; a terceira trata da revisão de literatura; a quarta apresentara à análise e discussão de dados com uma sessão única intitulada “a importância da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica”; a quinta apresenta as considerações finais da pesquisa; e por fim as referências.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Essa pesquisa se constitui de natureza descritiva, pois pesquisas desse tipo têm como necessidade primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relação entre variáveis (ALYRIO, 2009; GIL, 1987). Considera-se que o método é um caminho ou

atividade técnica e prática que busca compreender conhecimentos e experiências, em que se analisa um fato seguido de regras e conceitos racionais para chegar ao seu objetivo. A metodologia utilizada para atingir os objetivos deste trabalho foi de abordagem qualitativa.

Entende-se por estudo qualitativo como aquele que é responsável pelo desenvolvimento de conteúdos, onde o mesmo se preocupa em interpretar o fenômeno alvo com base na significância que o mesmo possui perante a sociedade. Esse tipo de pesquisa, portanto, procura compreender um fato em sua essência ao invés de interferir ou provocar ações que causem intervenção na realidade futura (GONSALVES, 2007; APPOLINÁRIO, 2012).

Esse estudo consiste em uma revisão de literatura, um processo de busca, análise e descrição de um corpo do conhecimento na procura de resposta a uma pergunta específica através da cobertura de materiais relevantes escritos sobre o tema através da utilização de livros, artigos, teses, dissertações dentre outros. Seu aprofundamento de análise é constituído pelo tipo sistemático. A revisão sistemática é um tipo de investigação científica, onde essas revisões são consideradas estudos observacionais retrospectivos ou estudos experimentais de recuperação e análise crítica da literatura (MATTOS, 2015).

O mapeamento utilizado nesse estudo foi o levantamento bibliográfico de estudos disponíveis na literatura nacional como artigos, teses, dissertações e livros recolhidos no Google acadêmico, em revistas das áreas pesquisadas, sites, anais de congressos, acervos de Institutos e Universidades, dentre outros meios disponíveis nas plataformas digitais. Acevedo e Nohara (2007, p. 48), afirmam que “o levantamento bibliográfico consiste na busca de estudos anteriores que foram produzidos por outros cientistas e que geralmente são publicados em livros ou artigos científicos”.

A pesquisa teve seu início em março de 2021, com a elaboração do objetivo e problema de pesquisa, na sequência foi elaborado a estrutura do estudo juntamente com os *strings* de busca que norteariam a pesquisa. Os primeiros *strings* de busca utilizados foram: Educação ambiental; Importância ambiental; Educação básica; Formação cidadã e Direitos humanos. Depois de uma exaustiva busca, vários estudos foram separados em pastas com a mesma denominação dos *strings* para a realização das etapas conforme quadro a seguir baseado no estudo de Moreira et al (2020,p.24).

Quadro 1 – Etapas da pesquisa

Etapas	Nome	Descrição
1 (um)	Leitura	Nessa etapa foi efetuada a leitura dos artigos selecionados por temática.
2 (dois)	Observação	Nessa etapa buscou-se observar conceitos, histórico, importância e contribuição de cada um dos temas mencionados através de anotações.
3 (três)	Escrita	Nessa etapa as anotações foram reunidas e assim o foi feito a escrita do estudo conforme aqui apresentado.

Fonte: Moreira et al., 2020.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Esta sessão abordará temas importantes nos quais envolvem Educação ambiental, Educação básica, Formação cidadã e direitos humanos, abordando conceitos e teorias para fins de estudo, procurando dar as bases que sustentarão o processo de pesquisa.

3.1. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Entende-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 (Art. 1º da Lei nº 9795/99 *apud* MATTHES; CASTELEINS, 2009).

A Educação Ambiental vem sendo muito comentada atualmente, por existirem questionamentos sobre os meios de utilização dos recursos naturais que causam problemas ambientais. Várias conferências internacionais foram realizadas na tentativa de se chegar a um discernimento ou alguma maneira para que o ser humano pudesse construir um pensamento crítico, juntamente com bases em estudos científicos (VIEIRA, 2011).

Uma das primeiras ações acerca da Educação Ambiental foi relatada em 1962, no Livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson, que alertava sobre os efeitos danosos de inúmeras ações humanas sobre o ambiente, como por exemplo, o uso de pesticidas (TAUK, 1991 *apud* FERREIRA; PEREIRA; BORGES, 2013). Percebe-se, portanto, que é um tema consideravelmente novo (FERREIRA; PEREIRA; BORGES, 2013).

De modo amplo, a educação ambiental busca formar uma população mundial consciente e preocupada com o ambiente e com os problemas que lhe dizem respeito, uma população que tenha os conhecimentos, as competências, o estado de espírito, as motivações e o sentido de participação e engajamento que lhe permita trabalhar individualmente e coletivamente para resolver os problemas atuais e impedir que se repitam (UNESCO, 1975 *apud* MATTHES; CASTELEINS, 2009).

Devido aos problemas ambientais serem crescentes e preocupantes em todo mundo, a educação ambiental começou a ganhar mais ênfase também no contexto escolar, e nas últimas décadas, surgiu como resposta às necessidades que não estavam sendo completamente correspondidas pela educação formal (GUZZI; SERIGHELLI, 2015).

E desde então, a educação ambiental agregou muitas discussões sobre uma educação voltada para a cidadania, enfatizando os temas para reflexão e debate do cidadão-crítico, ou do sujeito-cidadão-ativo, que deveria estar comprometido com uma práxis transformadora (DÉJARDIN, 2016).

Portanto, a dimensão ambiental configura-se crescentemente como uma questão que diz respeito a um conjunto de atores do universo educativo. Refletir sobre as práticas sociais, em um contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente, cria uma necessária articulação com a produção de sentidos em uma educação ambiental crítica e inovadora (JACOBI, 2003). Dessa maneira a escola transforma-se em um espaço onde o aluno tem condições de analisar a natureza em um contexto entrelaçado de práticas sociais e conhecimentos acadêmicos, partindo de uma realidade mais próxima e multifacetada (COLOMBO, 2014).

Nesse aspecto, a formação de cidadão consciente, crítico e preocupado com o meio ambiente vai sendo desenvolvida.

3.1.1. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E SUA IMPORTÂNCIA

A maioria dos problemas ambientais tem suas raízes em fatores sociais, econômicos, políticos, culturais e éticos. Visando atender a demanda crescente por alimentos, água doce e combustível, a humanidade tem provocado alterações muitas vezes irreversíveis nos ecossistemas, sendo que essas mudanças estão ocorrendo de maneira mais rápida e extensa como nunca foi realizada em nenhum outro período de tempo comparável na história humana. Mas, se por um lado foram obtidos resultados para o bem estar social e o desenvolvimento econômico, do outro se encontra uma enorme perda da biodiversidade, associada à preocupante degradação dos recursos naturais (FERNANDES, 2010).

Nesse sentido, faz-se necessária a reflexão sobre as práticas sociais, em um contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema, que envolve uma necessária articulação com a produção de sentidos sobre a educação ambiental (JACOBI, 2003).

É importante que os professores não fiquem presos apenas aos livros, à teoria, mas que passem a contextualizar a realidade. Na prática, poderiam explorar a própria região, valorizando a cultura, a história e estudando as eventuais degradações ambientais do município. E se mais adequadamente preparados, poderiam os professores, de maneira ativa, construtiva e participativa, verificar com seus alunos, por exemplo, o que já está sendo feito pelas indústrias e empresas para reduzir o impacto ambiental e o que ainda precisa ser feito nesse sentido, e quais os procedimentos e ações efetivas para enfrentar os problemas detectados.

Com a proposta de trabalhar as temáticas ambientais locais e também as globais de maneira coerente à construção do conhecimento pelo sujeito, possibilitar-se-ia aos professores a realização de um trabalho que favorecesse o desenvolvimento da cidadania, propiciando aos alunos a percepção de que é possível melhorar e modificar o ambiente, sendo eles conscientizados como participantes da ação e responsáveis pelos resultados concretos a serem alcançados (JOSLIN; ROMA, 2017).

A educação ambiental surge como um fator de elevada importância e processo contínuo, de extrema relevância na formação do sujeito e da cidadania, tendo como um de seus objetivos a formação de mentes críticas, cidadãos conscientes e atuantes, que possam verificar e não aceitar tudo o que lhes é oferecido (FERNANDES, 2010).

3.2. EDUCAÇÃO BÁSICA

A educação básica ou ensino básico é o nível de ensino correspondente aos primeiros anos de educação escolar ou formal. Esta denominação corresponde, consoante o sistema educativo que o ministra, a um conjunto específico de anos de escolaridade, equiparando-se, na generalidade dos casos, aos primeiros seis a nove anos. E tem por finalidade desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania, e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores (CURY, 2002).

A educação básica no Brasil ganhou contornos bastante complexos nos anos posteriores à Constituição Federal de 1988 e, sobretudo, nos últimos oito anos. Analisá-la não é fácil exatamente porque as contingências que a cercam são múltiplas, e os fatores que a determinam têm sido objeto de leis, políticas e programas nacionais, alguns dos quais em convênio com órgãos internacionais (CURY, 2002).

Em consonância com o disposto no art. 227 da Constituição Federal, foi sancionada em 13 de julho de 1990, o Estatuto da Criança e do Adolescente, Lei nº 8.069, instituindo direitos e deveres das crianças e adolescentes, além de outras disposições.

É válido lembrar que a lei, também chamada “Doutrina da Proteção Integral”, tem como pressuposto básico a afirmativa de que crianças e adolescentes devem ser vistos como pessoas em desenvolvimento, sujeitos de direitos e destinatários de proteção integral, conforme o artigo primeiro dessa lei (CABRAL; GIORGI, 2012).

É válido ressaltar o que dispõe o art. 3º do Estatuto da Criança e do Adolescente:

Art. 3º A criança e o adolescente gozam de todos os direitos fundamentais inerentes à pessoa humana, sem prejuízo da proteção integral de que trata esta Lei, assegurando-se-lhes, por lei ou por outros meios, todas as oportunidades e facilidades, a fim de lhes facultar o desenvolvimento físico, mental, moral, espiritual e social, em condições de liberdade e de dignidade.

Esse desenvolvimento mental, físico, moral, espiritual e social da criança e adolescente, têm nas bases educacionais o seu reflexo no futuro. Dessa forma, mister que a qualidade da educação básica reflita e aponte, através das atividades escolares a valoração pelo aprendizado e prática das diversas disciplinas ministradas, como arte, português, matemática, meio ambiente, dentre outras.

Várias dimensões devem se fazer presentes para obtenção de uma educação de qualidade, sobretudo, porque, os estudantes que vão à escola estão em busca de aprendizados que sejam úteis tanto para aplicar em suas comunidades quanto na sua escolaridade futura, e por esse motivo faz-se necessário investir também na educação voltada à importância ambiental (AKKARI; SILVA, 2009).

3.3. FORMAÇÃO CIDADÃ E DIREITOS HUMANOS

Na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), uma das finalidades da educação básica é preparar os alunos para o exercício da cidadania, pois o professor deve ter conhecimento suficiente sobre a formação do cidadão, da cidadania, do país e da democracia (SALVADOR, 2018). Além disso, de acordo com o Programa Curricular Nacional (BRASIL, 2000), o papel da escola é formar cidadãos que se envolvam ativamente nas atividades políticas e sociais, para que entendam seus direitos e deveres e almejem alcançá-los. Sujeitos de direito comprometidos com a construção de uma sociedade mais justa, firme e equitativa.

Ribeiro (2002, p. 115) afirmava: “A educação é um bem que todos os indivíduos devem adquirir para criar condições para o exercício de uma cidadania válida.” Portanto, a educação formal é fundamental para a formação dos cidadãos, onde é possível aprender o que é preciso para se tornar um cidadão e como exercer sua cidadania.

Nesse entendimento, Salvador (2018) apresenta que a escola é um reflexo da sociedade, e o seu papel é formar jovens capazes de construir conhecimentos, valores e atitudes que o tornem um cidadão solidário, crítico, ético e participativo, formando bases para a atuação futura na sociedade. Segundo Zwetsch (2015, p.1537), “o mesmo necessita estar disposto e buscar subsídios para complementar o seu pensamento, para somente assim desenvolver a sua cidadania, iniciar a construção da mesma”.

Partindo dessas informações, Ferreira, Zenaide, Nárder (2016) chegam ao conceito de que os direitos humanos servem, assim, para “assegurar ao homem o exercício da liberdade, a preservação da dignidade e a proteção da sua existência. Trata-se, portanto, daqueles direitos considerados fundamentais, que tornam os homens iguais”. Ou seja, são direitos que possuímos não porque o Estado assim decidiu através de suas leis ou porque nós mesmos assim o fizemos por intermédio dos nossos acordos. Direitos humanos, por mais pleonástico que isso possa parecer, são direitos que possuímos pelo simples fato de que somos humanos.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS

Nesta sessão única, serão realizadas a exploração e discussão geral das informações obtidas através do levantamento bibliográfico sobre a importância da educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica, buscando assim, dar bases que possibilitem o alcance dos objetivos da pesquisa.

4.1. A IMPORTÂNCIA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA FORMAÇÃO CIDADÃ DOS ALUNOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA

O planeta vivencia um período de constantes transformações no que se refere ao meio ambiente e sobre o olhar que o homem possui do seu *habitat* (SANTOS; REIS; TAVARES, 2012). O modo como o homem vem utilizando os recursos naturais de forma inadequada têm levado a muitas consequências, sobretudo para o meio ambiente que vem sendo degradado de forma acelerada, onde o ser humano tem visado apenas o lucro em detrimento da degradação ambiental (MEDEIROS; RIBEIRO; FERREIRA, 2011).

Toda a mídia expõe suas atenções para a ação dos seres humanos com a natureza, frente aos incêndios florestais, ao desmatamento, sobre a desigualdade social, dos bens produzidos, da justiça social, de igualdade, do direito e da alimentação, dentre outros. A paisagem natural historicamente vem se modificando com as intervenções dos seres humanos, deixando de ser uma paisagem natural e passando a ser uma paisagem transformada, atendendo aos ideais humanos de cada sociedade (SANTOS; REIS; TAVARES, 2012).

Assim torna-se importante praticar a educação ambiental para a compreensão dos dilemas contemporâneos existentes atualmente nas questões ambientais. As sociedades atuais devem ser esclarecidas e não acríticas. A educação ambiental deve ser entendida como uma garantia de manutenção da vida no planeta, fazendo com que a geração atual possa viver um bem estar, assim como, as futuras gerações (SANTOS; REIS; TAVARES, 2012).

A educação ambiental é voltada para a compreensão da realidade social com o meio ambiente, direitos e responsabilidades em relação à vida pessoal e coletiva, é a afirmação do princípio da participação política: um compromisso com a construção da cidadania. A instituição escolar deve ser consciente disso, deve valorizar a capacitação dos seus professores para atingir este objetivo (TEIXEIRA, 2010).

Essa consideração é inerente ao ensinar, pensando nas inúmeras possibilidades de contextualizar fatos da realidade que são importantes para os alunos, tanto para compreensão do tema como para a contribuição na valorização do mesmo. Por isso, a questão ambiental é um foco da escola na modernidade, pois os alunos são futuros preservadores do meio em que vivem (TEIXEIRA, 2010).

A escola é um lugar privilegiado das aprendizagens, onde se devem adquirir valores e promover atitudes e comportamentos pró-ambientais, através da educação para a cidadania é possível integrar a educação ambiental no contexto educativo e tornar um ambiente melhor através de propostas de mudanças e pequenas ações que em um futuro próximo trarão grandes e bons impactos ao meio (COSTA; GOLÇALVES, 2021).

Paralelo ao que se faz necessário, no Brasil a educação ambiental não é desenvolvida como deveria, não há efetivamente o desenvolvimento de uma prática educativa que integre disciplinas. O modo como a educação ambiental é praticada nas escolas e nas salas de aulas, é através de projeto especial, extracurricular, sem continuidade, descontextualizado, fragmentado e desarticulado com a prática que transforma (MEDEIROS; RIBEIRO; FERREIRA, 2011).

Os professores não recebem estímulos, e a comunidade escolar não dá o suporte que deveria, de modo a deixar uma grande lacuna de conhecimento para os alunos, que se tornam meros ouvintes e não praticantes, quando deveriam ser estimulados através de atividades e projetos a exercer essa consciência

a partir de sua realidade e comunidade. Desempenham, portanto, o papel de meros sujeitos-cidadãos-passivos.

Outro fato que é particularmente presente nas escolas públicas, e que torna a situação mais agravante, é o “sucateamento” do ensino público, que não oferece condições adequadas para o desenvolvimento de uma educação eficaz e de boa qualidade (MEDEIROS; RIBEIRO; FERREIRA, 2011).

Apesar das dificuldades, cabe dizer que a educação tem a capacidade de promover valores, não sendo somente um meio de transmitir informações, trata-se de um processo que envolve transformações no sujeito que aprende e incide sobre sua identidade e posturas diante do mundo. Desenvolvendo habilidades como mais cooperação, e menos competitividade, assim se pode ter grandes expectativas sobre a recuperação do meio ambiente, ou o congelamento da destruição dos bens naturais que ainda não entraram em extinção no nosso planeta (MEDEIROS et al. , 2011).

Na educação, pode-se encontrar apoio para melhoria da relação homem-natureza-homem, pois é conscientizando o indivíduo que o convívio entre as pessoas e o meio ambiente pode melhorar. Pois, é desde pequeno que se aprende a preservar; e os adultos que apresentam maior dificuldade para absorver novos hábitos mais saudáveis, normalmente estão acostumados com os costumes antigos da má utilização ou manejo errado dos recursos naturais (MEDEIROS et al. , 2011).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contatou-se através da pesquisa que a educação ambiental é peça fundamental na formação cidadã dos alunos da educação básica, uma vez que provoca mudanças de atitudes através da conscientização do pensamento voltado para o melhor tratamento do meio ambiente, seja com pequenas ou grandes ações. A escola, é um lugar privilegiado e sagrado que contribui para tais ações sob orientação dos educadores. Nesse sentido, a escola é a instituição responsável pela formação científica dos cidadãos, ela tem o dever social de desenvolver um sistema de conhecimentos, habilidades e valores que sustentem um comportamento racional sobre o meio ambiente.

Diante de tudo que foi mencionado anteriormente, pode-se levar a crer que as relações entre educação ambiental e cidadania estão intimamente ligadas. Através da educação ambiental o aluno passa a olhar o meio ambiente com outros olhos, valorizar os processos ambientais, compreender a realidade social com o meio ambiente, direitos e responsabilidades em relação à vida pessoal e coletiva, tornando-se assim um bom cidadão capaz de pensar e fazer boas obras pela sua cidade, região, país e até mesmo por todo o planeta.

É importante ressaltar que de acordo com os achados, o campo de pesquisa estudado vem apresentando uma constante evolução no decorrer dos últimos anos, entretanto, encontra-se uma limitação de literaturas com foco direcionado a preparação dos alunos, uma vez que é escassa a menção das práticas que efetivem essa educação ambiental, portanto, entende-se que é preciso agregar à prática a teoria já existente. Verifica-se atuação contributiva dessa pesquisa no que se refere à busca pelo entendimento da importância que tem a educação ambiental na formação cidadã dos alunos da educação básica e ressalta-se que tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos deste estudo foram atingidos respectivamente.

Sugere-se deste modo que se invista em pesquisas mais aprofundadas nessa temática como forma de contribuição para a literatura bibliográfica nacional e também que se realize um estudo de caso múltiplo, com entrevistas semiestruturadas através do método qualitativo em escolas de educação básica de municípios brasileiros, com o intuito de catalogar informações práticas a cerca da temática e realizar um cruzamento de informações para o aprimoramento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] ACEVEDO, C. R.; NOHARA, J. J. Monografia no curso de administração: Guia completo de conteúdo e forma. São Paulo: Atlas, p.48, 2007.
- [2] AKKARI, Abdeljalil; SILVA, Camila Pompeu da. A educação básica no brasil: vozes de professores da rede pública e privada. Rev. Diálogo Educ., Curitiba, v. 9, n. 27, p. 379-392, 2009.
- [3] ALVES, Alexandre luiz; COLESANTI, Marlene T. de Muno. A importância da educação ambiental e sua prática na escola como meio de exercício da cidadania. IG-UFU, p.1-19, 2005.
- [4] ALYRIO, Rovigati Danilo. Métodos e técnicas de pesquisa em administração. Rio de Janeiro, Fundação CECIERJ, p.58-60, 2009.
- [5] APPOLINÁRIO, Fabio. Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, p.226, 2012.
- [6] BENEVIDES, M. V. A cidadania ativa. São Paulo: Ática, p.20,1991.
- [7] BRASIL. MEC. Secretaria de Educação. Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. Brasília: MEC/SEF, p.1-110, 2000.
- Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA). Disponível em:< <http://www.planalto.gov.br>. >. Acesso em: 15/05/2021.
- [9] CABRAL, Karina Melissa; GIORGI, Cristiano Amaral Garbogggini Di. O direito à qualidade da Educação Básica no Brasil: uma análise da legislação pertinente e das definições pedagógicas necessárias para uma demanda judicial. Educação, Porto Alegre, v. 35, n. 1, p. 116-128, 2012.
- [10] COLOMBO. Silmara Regina. A Educação Ambiental como instrumento na formação da cidadania. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. v. 14, n. 2, p.67-75,2014.
- [11] COSTA, Francisco Silva; GONÇALVES, António Bento. Educação ambiental e cidadania: Os desafios da escola de hoje. Actas dos ateliers do Vº Congresso Português de Sociologia. Disponível em: < https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:nWHL3XmIfW0J:https://aps.pt/wp-content/uploads/2017/08/DPR460e79568d9b7_1.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br >. Acesso em: 15/05/2021.
- [12] CRUZ, Silvana Heloisa Ferreira; LIRA, Rosenir de Souza. Educação ambiental através da leitura: uma conexão necessária para a formação da cidadania. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 6, p.01-09,2012.
- [13] CURY, Carlos Roberto Jamil. A educação básica no brasil. Educ. Soc., Campinas, v. 23, n. 80, p.168-200,2002.
- [14] DÉJARDIN, Isabelle. A importância da sustentabilidade e da educação ambiental nas discussões sobre a problemática socioambiental da cidadania em escolas públicas. Revbea, São Paulo, v. 11, n. 5, p. 67-88, 2016.
- [15] FERNANDES, Debora do Nascimento. A importância da educação ambiental na construção da cidadania. Revista OKARA: Geografia em debate, v.4, n.1-2, p. 77-84, 2010.
- [16] FERREIRA, José Edilson; PEREIRA, Saulo Gonçalves; BORGES, Daniela Cristina Silva. A Importância da Educação Ambiental no Ensino Fundamental. Revista Brasileira de Educação e Cultura, p.104-119,2013.
- [17] FERREIRA, Lúcia de Fátima Guerra; ZENAIDE, Maria de Nazaré Tavares, NÁDER, Alexandre Antonio Gili, organizadores. Educando em direitos humanos: fundamentos histórico-filosóficos e político-jurídicos. João Pessoa: Editora da UFPB,p.1-177, 2016.
- [18] GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas da pesquisa social. 2. ed.São Paulo: Atlas,p.44-46, 1987.
- [19] GONSALVES, Elisa Pereira. Iniciação à pesquisa científica, 4ª Ed. Campinas, São Paulo. Editora Alinea, p.96, 2007.
- [20] GUZZI, Andressa; SERIGHELLI, Marco André. Educação ambiental e formação de valores no ambiente escolar. p.1-17,2015.
- [21] JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Cadernos de Pesquisa, n. 118, p.189-205,2003.
- [22] JOSLIN, Érica Barbosa; ROMA, Adriana de Castro. A importância da educação ambiental na formação do pedagogo: construção de consciência ambiental e cidadania. Revista Ciência Contemporânea. v.2, n.1, p. 95 -110, 2017.
- [23] MARCONI, Marina de Andrade, LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos da metodologia científica. 5ª. ed. São Paulo : Atlas, p. 174-213,2003.
- [24] MATTHES, Priscila Maria da Maia; CASTELEINS, Vera Lúcia. A educação ambiental: abrindo espaço para a cidadania. Anais... IX Congresso Nacional de Educação- EDUCERE/PUCPR, p. 11534- 11550,2009.
- [25] MATTOS, Biblioteca Professor Paulo de Carvalho. Tipos de revisão de literatura. Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP) – Campus de Batucatu, p.1-9, 2015.

- [26] MEDEIROS, Aurélia Barbosa de; MENDONÇA, Maria José da Silva Lemes; SOUSA, Gláucia Lourenço de; OLIVEIRA, Itamar Pereira de. A Importância da educação ambiental na escola nas séries iniciais. Revista Faculdade Montes Belos, v. 4, n. 1, p.1-17, 2011.
- [27] MEDEIROS, Monalisa Cristina Silva; RIBEIRO, Maria da Conceição Marcolino; FERREIRA, Catyelle Maria de Arruda. Meio ambiente e educação ambiental nas escolas públicas. Revista Âmbito Jurídico, 2011. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/meio-ambiente-e-educacao-ambiental-nas-escolas-publicas/>>. Acesso em: 15/05/2021.
- [28] MOREIRA, Antônia Amanda Alves Pereira; RIBEIRO, Henrique César Melo; CASTRO, Magna da Silva Vilanova; BRUNO, Matheus Moraes. Comércio internacional e desenvolvimento socioambiental: um entendimento da temática em questão. Revista de Administração e Negócios da Amazônia-RARA, v.12, n.2, p.21-35, 2020.
- [29] RIBEIRO, Marlene. Educação para a cidadania: questão colocada pelos movimentos sociais. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 28, n 2, p. 113-128, 2002.
- [30] SALVADOR. Natália Karoline Cândido. A concepção dos licenciandos em geografia da UFPE sobre a formação cidadã na educação básica. IFPE Recife, p.1-76, 2018.
- [31] SANTOS, Felipe Alan Souza; REIS, Simone Rocha; TAVARES, Jorge Alberto Vieira.
- [32] Educação ambiental e sua importância para a sociedade em risco: reflexão no ensino formal. Anais... 3º Simpósio de educação e comunicação. p.133-146,2012.
- [33] SILVA, Aida Maria Monteiro; TAVARES, Celma. A cidadania ativa e sua relação com a educação em direitos humanos. RBPAAE, v.27, n.1, p. 13-24, 2011.
- [34] TEIXEIRA, Bethânia de Brito. Ação do educador na prática da educação ambiental. Aparecida de Goiânia, p.01-20, 2010.
- [35] VAIDERGORN, José. Cidadania e direitos humanos na formação universitária. Cad. Cedes, Campinas, vol. 30, n. 81, p. 253-256, 2010.
- [36] VIEIRA, E. R. Educação Ambiental e a questão do lixo em uma escola pública municipal de Juiz de Fora: contribuições do projeto Rota Verde. Rio de Janeiro, 2011.
- [37] ZWETSCH, Andriele dos Santos; ZWETSCH, Patrícia dos Santos. Escola: educação para cidadania. Anais... XII Congresso Nacional de Educação. p.1531-1543,2015.

Capítulo 2

Responsabilidade socioambiental no contexto educacional: Um estudo de caso sobre o Programa Brasil Reciclado da Faculdade Sul Fluminense

Denise de Campos Telles Menchise

Nathan Costa Machado

Adival de Sousa Monteiro

Resumo: A Responsabilidade socioambiental tornou-se tema relevante no atual cenário de degradação enfrentado pela sociedade contemporânea que, desde então, busca estratégias para inibir ou minimizar as consequências inerentes a este fato que, porventura, tem se alastrado por muitos anos. O presente artigo pretende contribuir com a questão da responsabilidade social e demonstrar a importância da atuação das Instituições de Ensino na formação dos cidadãos praticantes de ações socioambientais através da utilização de ferramentas sócio-educacionais que leve o discente a repensar suas atitudes. Para tal, o artigo trás, em sua metodologia, uma pesquisa bibliográfica a cerca da abordagem dos principais autores relacionados à temática, onde pudera ser observado o caminho pelo qual formulou-se a necessidade da criação de metas para se alcançar condições socioambientais justas e equilibradas a toda sociedade. Ademais, com a pesquisa, demonstrou se o potencial que a inserção do ambiente de aprendizagem, ao adotar uma política de educação voltada para o ensino ambiental, tem na reconstrução da postura social, cultura e ética do cidadão. Por fim, foi realizado um estudo de caso sobre a atuação socioambiental de uma Instituição de Ensino Superior - IES na Cidade de Volta Redonda, interior do Rio de Janeiro. No do estudo de caso, foi apresentado o perfil da instituição que desenvolveu a ação, a estruturação do projeto, o contexto no qual o projeto foi instalado e a importância da ação na conscientização dos alunos. Portanto, vale enfatizar que o objetivo geral do artigo foi atingido em sua totalidade dentro da pesquisa e que o assunto necessita ser abordado por outros trabalhos a fim de obter a ampliação dos campos de busca objetivando sua melhor disseminação.

Palavras-chave: Responsabilidade Socioambiental; Instituição de Ensino; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as organizações fomentam a busca por se manterem socialmente corretas ao saberem que essa postura conta como diferencial para atrair novos clientes. Paralelamente, muito se questiona à respeito do tema Responsabilidade Socioambiental - RSA, observando-se a preocupação das empresas em possuírem esta prática social, objetivando-se o lucro. Mediante isso, entende-se que RSA são posturas práticas que as corporações podem produzir dentro da sua gestão, compostas de ações no sentido de ampliar a cidadania e benefícios culturais para a sociedade onde está inserida. Com isso, as organizações ecologicamente corretas adquirem importância especial à medida que a prevenção do meio ambiente se torna, cada vez mais, um assunto de grande relevância para a melhoria da qualidade de vida.

Conforme Freitas (2008), os problemas socioambientais vistos atualmente têm conotação com o consenso mundial, desenvolvido principalmente nas últimas décadas, de que o tema precisa ser trabalhado no contexto educacional, a fim de se obter a minimização da degradação ambiental que o planeta está vivenciando.

Embora, a prática de ações socioambientais seja de extrema importância para minimizar o impacto gerado pela sociedade ao meio ambiente, observa-se o baixo crescimento do número de Instituições de Ensino Superior - IES que adotam estratégias de desenvolvimento sustentável com um compromisso transparente e público perante a sociedade em que estão inseridas. Paralelamente, observa-se a necessidade de mudança estratégica dentro do ambiente educacional, a fim de se obter melhoria na formação da conduta socioambiental dos alunos. Com base nisso, os responsáveis pela gestão das IES dependem ampliar o campo de visão sobre o tema e desenvolver atividades que levem os alunos a ser tornarem praticantes destas ações.

Diante desse cenário em que se faz necessária uma conscientização pela prática das ações socioambientais no contexto educacional, o presente estudo pretende indagar: Quais medidas podem ser tomadas dentro do ambiente de aprendizagem do ensino superior capaz de tornar o discente um profissional praticante de ações socioambientais?

Diante disso, o objetivo geral do artigo buscará analisar a capacidade que as IES possuem na transformação do aluno em um cidadão praticante das ações de sustentabilidade. Para atingir o objetivo geral, fazem-se necessários alguns objetivos específicos: apontar para as instituições de ensino a importância de se trabalhar o tema responsabilidade socioambiental; demonstrar que o tema está interligado à prática empreendedora, uma vez que é possível criar produtos advindos dos resíduos recicláveis e comercializá-los; compor as formas de comunicação que possam ser utilizadas, pela instituição de ensino para socializar o tema responsabilidade socioambiental entre os discentes.

Cabe ressaltar, que as instituições de ensino que agregam na sua cultura a prática socioambiental acabam se tornando modelos a ser seguido pela sociedade, onde, cada vez mais, pessoas passam a praticar ações beneficentes ao meio ambiente que impactam diretamente na melhoria da qualidade de vida.

A escolha do tema justifica-se pela necessidade de promover o aprimoramento das atividades socioambientais no ambiente de aprendizagem do ensino superior, capazes de capacitar o aluno sobre as possíveis medidas de prevenção dos impactos negativos causados pela utilização ou administração incorreta dos recursos naturais pela sociedade.

Este trabalho estrutura-se em duas partes: a primeira compõe-se de uma revisão bibliográfica contemplando os principais autores da área estudada, trazendo a discussão de conceitos e teorias relevantes à temática. Na segunda parte, foi desenvolvido um estudo de caso, de caráter descritivo do Programa Brasil Reciclado do Instituto de Cultura Técnica e a IES Faculdade Sul Fluminense que trará uma abordagem sobre a rotina do programa; as práticas socioambientais desenvolvidas por ele; o programa como desenvolvedor de posto de trabalho; e as práticas de conscientização visando à promoção do cuidado com o meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida.

Paralelamente, no primeiro tópico, será abordado o conceito de RSA, em seguida, serão descritas as práticas utilizadas por ela e quais as certificações que as empresas socialmente corretas buscam para se manterem competitivas, por fim, sobre a importância da abordagem do tema no contexto educacional do ensino superior a fim de formar um profissional praticante de ações socioambientais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CONCEITUANDO RESPONSABILIDADE SOCIAL

A Responsabilidade Social (RS) foi conhecida / escrita pela primeira vez em um manifesto de 120 indústrias inglesas onde eram mencionados como manter um equilíbrio justo entre vários interesses dos acionistas, consumidores, públicos e funcionários.

As primeiras manifestações a favor da RS surgiram no início do século XX através de 04 americanos: Jonk Clark, Charles Eliot, Hakley e Oliver Sheldon, os interesses eram abranger cada vez mais a administração posicionando as empresas diante da sociedade e estabelecer conjunto de princípios visando o equilíbrio da RS juntamente com a responsabilidade social da administração e abordagem científica da produção.

Após a Primeira Guerra Mundial o encaminhamento administrativo ganhou um grande impulso quando se observou uma intensa cooperação entre as comunidades, que era pautada e as indústrias com necessidade de reconstrução de várias nações. Nesse determinado período aconteceu um grande crescimento das associações de indivíduos na sociedade tais como: igrejas, clubes políticos e sindicatos que, além de visar às melhorias das condições dos trabalhadores, desejavam também a melhoria geral da sociedade.

A responsabilidade social tem sido tema relevante no atual cenário de degradação do meio ambiente, onde autoridades buscam formas de minimizar os impactos gerados pela administração incorreta dos resíduos produzidos pela sociedade seja por meio da conscientização ou por meio das sanções.

Segundo Carroll (1991), relata que o conceito de RS é o mesmo discutido desde a sua criação com algumas adaptações resultantes das necessidades enfrentadas pelas organizações e as práticas sociais, ou seja, fez-se necessário alinhar as organizações para atender as constantes mudanças da sociedade. Observa-se que a sociedade vive em constante alteração, seja por processos impactantes gerados pela conscientização promovida por órgãos públicos ou até mesmo pelo próprio contato com os resultados da má administração dos benefícios ofertados pela natureza (ecossistema).

O mesmo autor desenvolveu uma pirâmide que retrata as dimensões da RS, que tem por finalidade auxiliar o gestor no desenvolvimento do planejamento estratégico e social da organização. Paralelamente, o autor relata que para ser aceita pela sociedade a organização necessita adotar, na sua política de gestão, as práticas demonstradas na figura 1.

Figura 01: Pirâmide de Responsabilidade Social Corporativa



Fonte: Adaptado de Carrol (1979).

Observa-se que na base da pirâmide, a dimensão retratada é a responsabilidade econômica, ou seja, o propósito de uma organização existir e de se manter, parte do princípio oneroso de gerar lucro. Paralelamente, as empresas produzem e ofertam seus produtos mediante a demanda recebida da sociedade, buscando retirar das negociações os melhores ganhos.

2.2. PRINCÍPIOS GERAIS DA RESPONSABILIDADE SOCIAL

Ao se tratar do tema RS, devemos entender que este abrange questões ecológicas, administração de recursos humanos pela empresa, a relação com a comunidade, à economia própria dita e por fim a relação com o mercado, uma vez que este tema está interligado ao relacionamento ou inter-relacionamento entre as partes, que pode ou não, intervir na ruptura ou crescimento da economia que por fim condiciona os meios de subsistência da população.

Segundo o Instituto Ethos, a responsabilidade social empresarial é:

Uma forma de gestão que se define pela relação ética e transparente da empresa com todos os públicos com os quais ela se relaciona e pelo estabelecimento de metas empresariais compatíveis com o desenvolvimento sustentável da sociedade, preservando recursos ambientais e culturais para as gerações futuras, respeitando a diversidade e promovendo a diminuição das desigualdades sociais (INSTITUTO ETHOS, 2004).

Dessa forma, entende-se que a responsabilidade socioambiental está difundida na responsabilidade social, uma vez que as organizações são corresponsáveis na busca por soluções aos problemas recorrentes, sociais e ambientais, pelo fato de serem possuidoras da influência política e da habilidade de captar recursos necessários para praticar ações socioambientais que resultarão em impactos positivos a todos os *stakeholders*. Paralelamente existem outros fatores que necessariamente obrigam as organizações a praticarem atividades com responsabilidade socioambientais, são elas, as leis de regulamentação e fiscalização. Uma organização consciente executará suas atividades econômicas seguindo os padrões rígidos por normas, estes por sua vez farão com que um gestor jamais venha a colher processos judiciais por causar impactos negativos ao meio ambiente, denominado crimes ambientais, como aconteceu no caso de Mariana-MG quando uma barragem se rompeu trazendo estragos significativos e irreversíveis tanto a população como para a biodiversidade da região onde ocorre o fato. Segundo o ART. 225 da constituição Federal (1988):

ART. 225 Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia quíliade de vida, impondo-se Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a atual e as futuras gerações.

Sendo assim, as organizações públicas, privadas e sociedade de modo geral precisam, antes de tomar atitudes, pensar que impactos acarretarão ao meio ambiente, sabendo-se que uma administração incorreta destes poderá trazer graves consequências. Observa-se ainda, que a crescente atividade reparadora das Organizações Não Governamentais – ONGs que atraem o serviço de voluntários que, segundo a autora Domeneghetti (2001), ser voluntário é ser um agente de transformações que presta serviços não remunerados a comunidade, visando não somente as necessidades do próximo, como também aos imperativos de uma situação.

2.3. RESPONSABILIDADE SOCIAL NO BRASIL

No Brasil, o conceito da responsabilidade social foi disperso, portanto o tema RS ganhou notabilidade na agenda do mundo dos negócios entre gerentes, empresário e executivos que fazem a gestão das organizações e teve discussão nos anos 60 após a criação da Associação de Dirigentes Cristãos de Empresas do Brasil – ADCE, e o surgimento da Lei nº 76.000/75, onde foi obrigado as empresas fornecerem informações de forma individual de todos os seus empregados.

Atualmente, devido à constante degradação do meio ambiente, observa-se que os consumidores passaram a adotar uma política de escolha que visa à melhoria deste e a qualidade de vida, para aquisição de um bem ou serviço e no momento da tomada de decisão estes optam por organizações socialmente corretas.

Portanto, a RS vem se tornando uma tendência mundial nas práticas e cada vez mais importante, nos cenários nacionais e internacionais, nas empresas privadas e públicas. Sendo um fator preponderante para levar uma organização ao pleno potencial ou diferencial competitivo no mercado vigente.

Conforme Capellin & Giuliani (2004) a constituição de 1988 foi um grande marco para o progresso da RS no Brasil e com o retorno da democracia veio causando uma reestruturação da sociedade civil, expandindo as organizações com o objetivo de minimizar os impactos ambientais. Além do mais, uma organização socialmente correta tende a adotar uma postura ética perante todos os seus *stakeholders*, embora não seja regida por leis regulamentadoras, possui normas, padrões e expectativas de comportamentos, por onde todos os envolvidos conseguem qualificar o seu relacionamento, considerando se foi correto, justo, formal, moral e de boa fé.

Um exemplo claro de sustentabilidade no Brasil, segundo Carvalho & Barbieri (2013), é a organização Natura S.A pelo fato de pautar todas as suas estratégias numa cadeia de suplemento sustentável, fazendo uma autoavaliação dos fornecedores no que tange a qualidade, a relação com o meio ambiente e a responsabilidade social. A empresa adotou para os seus fornecedores um processo de capacitação tornando-os capazes de gerar relatórios de ações sustentáveis e o controle da emissão de gases do efeito estufa. Paralelamente, a empresa relaciona de forma respeitosa com meio ambiente, extraindo as matérias-primas da natureza com o máximo de responsabilidade socioambiental, uma vez que, não utilizam matéria-prima animal pelo fato de adotarem um direcionador específico da composição da fórmula dos produtos. Portanto, para a natureza a meta é reduzir consideravelmente o impacto ambiental.

2.4. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A autora Barbosa (2008) coaduna ao dizer que o desenvolvimento sustentável precisa ser uma consequência do desenvolvimento social, econômico e de preservação ambiental. Portanto, as empresas ao adotarem a RS para a cultura organizacional, basicamente, por promover a transparência das estratégias para atingir seus objetivos, basearão boa parte das suas práticas rotineiras ao desenvolvimento sustentável, promovendo o bem individual e o bem comum não causando ou mesmo reparando danos ao meio ambiente.

Nos últimos anos observa-se que a sociedade vem enfrentando mudanças que faz com que as empresas diminuam o foco na expansão dos lucros, nos dias de hoje, não é raro ver empresário de pequeno, médio e grande porte interessados em participar de projetos sociais ou apoio nos mesmos. É notório que as pessoas estão cada vez mais informadas sobre os impactos da poluição ambiental ou até mesmo outros aspectos que estão ligados com a RS tais como: trabalhos forçados, saúde, segurança, trabalhos infantis e com isso começaram a pesar na decisão de compras dos consumidores.

As empresas corroboram com essa ideia ao agrupar o seu progresso produtivo e econômico a estas ações favorecendo a preservação do meio ambiente e projetos sociais, sempre visando um negócio sustentável. A busca por esse equilíbrio passou a ser confundido com o desenvolvimento social, mesmo ligado ao desenvolvimento sustentável, com ele não se confunde totalmente.

A partir desta consciência se torna nítida a escolha de serviços e bens originários das empresas mostrando interesse e preocupação atuando na utilização sustentável dos recursos naturais juntamente com a preservação do meio ambiente. Observa-se que os objetivos que se refere às responsabilidades das empresas, foram desenvolvidos com base em uma visão holística de todos os processos a fim de se tornarem grandes instituições, possibilitando o enriquecimento da sociedade, gerando lucro com meio de garantir o cumprimento da função social.

2.5. ENSINO AMBIENTAL NAS IES E SUAS FUNÇÕES

As instituições de ensino superior, em sua concepção, podem ser consideradas como uma organização complexa, uma vez que recebe influência das crises e mudanças que se instauram na sociedade da mesma forma que são proporcionadas aos demais setores. Além do mais, cabe a estas, em um campo de visão holística, satisfazer as necessidades demandadas das comunidades internas, como também o seu entorno. Segundo Volpi (1996), as IES possuem multivariadas funções, como por exemplo: educação de modo geral, estímulo do desenvolvimento socioeconômico, socioambiental e cultural, que são consideradas alternativas preponderantes para melhoria da qualidade de vida da sociedade. A Figura 2 demonstra o entendimento a cerca da responsabilidade aplicada as IES na construção da sociedade.

Figura 02 – Atividade e funções das IES

Fonte: Adaptado de Volpi (1996).

A Figura 2 inicia-se apresentando as atividades desenvolvidas pelas IES, compostas pelo ensino, a pesquisa e a extensão, que, de forma sincronizada, contribuem para que as funções sejam alcançadas em sua totalidade.

A função social está interligada diretamente na construção de uma sociedade melhor para o futuro, por meio da formação de um profissional sócio responsável com uma visão humanista e de equidade social.

A função econômica das IES é caracterizada por proporcionar o estímulo à criação e ao desenvolvimento metodológico capazes de gerenciar os investimentos proferidos das organizações públicas ou privados, visando à economia de recursos não somente com base nos aspectos econômicos, mas também na perspectiva social.

Ao se tratar da função ambiental, as IES são responsáveis por estimular a proteção do meio ambiente, ao desenvolverem atividades que levem o indivíduo a produzir conhecimento e cultura. Observa-se que, dentro de uma perspectiva para o futuro, as IES ao utilizarem as técnicas e métodos para promoção da preservação e da conservação dos recursos naturais ofertados pela natureza, estão, de forma significativa, cooperando para melhoria da qualidade de vida da sociedade de modo geral.

Observa-se que toda sociedade é composta por valores, crenças, regras e outros fatores com base em uma visão de mundo. A função cultural da IES é adaptar-se a estas culturas a fim de fomentar o desenvolvimento da educação, pesquisa, a equidade e o respeito aos mais variados tipos existentes.

Por fim, não menos importante, a função política, que é considerada pela promoção do conhecimento aos estudantes objetivando a formação de um indivíduo conhecedor das políticas de relacionamento para com a sociedade a fim de trazer respostas às necessidades da sociedade de forma transparente e responsável.

Portanto, o que diferencia a IES dos outros setores é a capacidade de inferência no futuro, uma vez que atuam na formação de profissionais que após adquirirem a gama de conhecimento disponibilizado por estas, poderão atuar de forma responsável na construção ou adaptação do mundo em atendimento as necessidades surgidas da sociedade.

3. METODOLOGIA

Este trabalho estrutura-se em duas partes: a primeira compõe-se de uma revisão bibliográfica contemplando os principais autores da área estudada, trazendo a discussão de conceitos e teorias relevantes à temática. Na segunda parte, foi desenvolvido um estudo de caso, de caráter descritivo. Segundo Triviños (1987), a pesquisa descritiva tem por função descrever os fatores e fenômenos de determinada realidade.

Para isso, foi desenvolvido um estudo de caso sobre o Programa Brasil Reciclado, idealizado pela Diretoria Acadêmica da Faculdade Sul Fluminense – FaSF, na cidade de Volta Redonda, Estado do Rio de Janeiro, onde buscamos identificar quais os fatores reluzentes para idealização do programa; qual a sua finalidade; quais os impactos provenientes da sua criação aos alunos, professores e comunidades; se essa criação partiu de um problema recorrente na sociedade; se existiu algum fator que atrapalhou o seu desenvolvimento; como é desenvolvido o programa atualmente; e o que se espera para os próximos anos.

A coleta de dados para a construção do referido estudo de caso baseou-se em uma pesquisa documental dos seguintes registros do programa: o critério para escolha do comprador do resíduo reciclável produzido pela instituição, o critério de negociação para a comercialização do material reciclado, o total comercializado no ano de 2018, o destino dado ao lucro recebido da venda e os eventos de conscientização promovida pelo programa. O programa como criador de posto de trabalho; Os produtos ecológicos produzidos pelas costureiras do programa.

4. ESTUDO DE CASO: PROGRAMA BRASIL REICLADO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O presente estudo de caso abordará as práticas socioambientais das Instituições de ensino, Faculdade Sul Fluminense - FaSF e Instituto de Cultura Técnica – ICT, ambas foram fundadas pelo visionário professor Wladir de Souza Telles, sendo o ICT no ano de 1971, trazendo para a região Sul Fluminense, do Estado do Rio de Janeiro, cursos profissionalizantes objetivando sanar a carência das empresas e indústrias locais. Em 29 de setembro de 2000, pela Portaria Ministerial 1540/2000, publicada no Diário Oficial da União nº 192 de 04 outubro 2000, o Instituto de Cultura Técnica tornou-se mantenedora da Faculdade Sul Fluminense - FaSF, quando começou a operar com o curso de Administração a (bacharelado). Atualmente, a faculdade, conta com cursos de ensino superior (graduação) como: Administração, Psicologia, Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, e superior (tecnólogos), Gestão de Recursos Humanos e Logística.

4.2. RELATO DO CASO

O Programa Brasil Reciclado tem em sua história uma proposta de educação ambiental no ambiente de trabalho com ações de transformação e conscientização dos envolvidos, trazendo assim no escopo do projeto ações empreendedoras. O projeto foi idealizado pela Diretora Acadêmica professora Denise de Campos Telles Menchise no ano de 1984, no Instituto de Cultura Técnica - ICT, na cidade de Volta Redonda – RJ. Inicialmente o programa pautou-se em um projeto de recuperação de uma área degradada de aproximadamente 1000 metros quadrados, hoje totalmente recuperada, produtora de frutas e hortaliças, chamado de “Área Verde”.

O projeto, que conta com o envolvimento de 40 alunos, como sendo este um público que atua diretamente nas ações organizadas e 1 aluno do curso de Bacharelado em Administração que atua como estagiário do programa e da iniciação científica da instituição e atuante na observação e organização dos relatos de consumo consciente dos educandos e colaboradores e os demais integram ações extensionistas da Faculdade Sul Fluminense, a saber:

- Participação de Projetos de Educação Ambiental e de Responsabilidade Social, contando com o Selo de Instituição Socialmente Responsável pela Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior.
- Promoção e difusão da cultura, com doação de recursos para organizar e estruturar a galeria de arte da FaSF, onde desde de 2017 com a inauguração do chamado Hall Café Filosófico, vem patrocinando várias exposições de artes com artistas locais para que a comunidade possa ter acesso à cultura, sendo este um ponto de apoio para promoção de nossos espaços de arte.

Entendem-se como relevantes tais ações, por duas razões: a primeira é o contexto regional na qual a Mantenedora e Mantida, respectivamente Instituto de Cultura Técnica e Faculdade Sul Fluminense estão inseridos, dado que Volta Redonda é uma cidade essencialmente industrial, sendo esta constituída sobre as bases da indústria de transformação, altamente poluidora e consumidora de recursos naturais; a segunda consiste na característica holística, democrática e interdisciplinar de questões voltadas ao meio ambiente, que culminam em ações de responsabilidade social e ambiental dentro e extramuros, oportunizando provocações e discussões positivas com relação à questão socioambientais, entendendo que existem fortes elos entre as ações de promoção a sustentabilidade por meio da provocação das

atividades que fomentem novos olhares sobre a ação em prol da melhoria da qualidade de vida de nossa população.

Dessa forma, o Programa ganhou novo corpo, redimensionando suas estruturas, saindo de um projeto de recuperação de área degradada, para um projeto mais amplo e de maior abrangência, com ações positivas em prol da melhoria da qualidade de vida com o reaproveitamento e venda de materiais recicláveis de todo complexo da Mantenedora e Mantida, além da coleta de materiais de promoção, especialmente *banners* para confecção de pastas e bolsas ecológicas, gerando oportunidade de renda para as costureiras hoje mantidas pelo projeto.

Tais ações, ancoradas ao Programa deram consistência para o projeto, partindo dos idos de 1984 e em especial nos dias atuais possui grande relevância seja para a comunidade acadêmica, seja para a comunidade em seu entorno ou como um ponto de suporte para desenvolvimento de ações pedagógicas com enfoque no empreendedorismo e ações socioambientais.

Através de uma visão holística o programa gerou alternativas que permearam cada detalhe das atividades realizadas pelo ICT e que se estenderam para a Faculdade Sul Fluminense – FaSF, visando estar em consonância com o que preconiza o Programa Nacional de Educação Ambiental – PNEA, sancionado pela Lei 9795/1999, entende-se a necessidade de estabelecer novos valores sobre os quais sujeitos e o coletivo em seu entorno pensam e promovem ações em prol da conservação do meio ambiente

O Programa, tendo por suporte os Núcleos de Práticas dos Cursos do Eixo de Gestão da FaSF, propõe desenvolver uma proposta de educação socioambiental empreendedora, envolvendo os educandos para que estes ao participar de ações desenvolvidas pelo Programa, obtenham:

1. conhecimento sobre a logística interna do Núcleo e da Administração do Programa, a fim de facilitar o processo de administração e armazenagem do material reciclado; até que a este seja dado um destino, seja a venda, ou reaproveitamento;
2. a análise de cenário do preço praticado pelo mercado local de reciclagem, a fim de se obter melhores resultados financeiros.
3. a alocação do recurso, junto à instituição, para aprimoramento ou ampliação das atividades administradas e/ou patrocinadas pelo Programa.

Na FaSF, desde o ano de 2017, a gestão do Programa Brasil Reciclado, a partir da conscientização dos discentes com palestras, reuniões e encontros, com esclarecimentos sobre os impactos provenientes da má administração dos resíduos produzidos pela sociedade, os alunos do Curso de Bacharelado em Administração e demais cursos que integram o eixo de Gestão tem como proposta o fortalecimento de comportamentos empreendedores e para esse fim busca projetos na área ambiental e promovem ações que fomentem a reciclagem local, sendo a Instituição um ponto de coleta de materiais recicláveis.

Essa política foi tomada como ação tendo por objetivo inserir o discente em práticas que venham beneficiar e tornar viável o programa na instituição. Para isso, foi pensado pela idealizadora e educandos no processo de iniciação a pesquisa científica, tarefas que viriam contribuir na implantação do programa. Os discentes prestaram orientações aos funcionários sobre a separação correta dos resíduos recebidos da comunidade ou produzidos pela instituição; a negociação com os compradores, objetivando maiores lucros; e o acompanhamento de todo o processo da reciclagem, desde a separação até a comercialização.

Os recursos financeiros provenientes da comercialização do material recolhido pelo processo de reciclagem são investidos na fabricação de brindes ecológicos, na compra de pó de café para consumo dos alunos da FaSF no espaço do Café Filosófico, sendo este fornecido de forma gratuita, promovendo um espaço de uso coletivo com discussões sobre várias questões que permeiam o cotidiano acadêmico, além de estar próximo ao espaço de arte, sendo um local favorável para alcançar e fomentar o contato do discente com as várias expressões artísticas. Destaca-se ainda a cobertura de custos operacionais, como por exemplo: o combustível utilizado em veículos para coleta de reciclável, e o pagamento às costureiras que confeccionam os brindes.

A partir de uma preocupação com os impactos gerados pela má utilização dos recursos ofertados pela natureza, o Programa Brasil Reciclado, pioneiro na região, caracterizou-se ser por sua atitude de promover a conscientização socioambiental, a fim de minimizar esses impactos ao trabalhar o tema junto aos seus alunos, o que os tornariam cidadãos praticantes de ações socioambientais. A instituição

juntamente com os professores, desenvolveu atividades de reflexão levando-os a entenderem que a prática da atividade responsável resultaria na preservação do meio ambiente e principalmente na qualidade de vida.

Igualmente, por meio dessa tática adotada pela Mantenedora, os alunos receberam uma base sólida sobre o tema que permitiu que tomassem decisões sobre a correta administração das ações sociais que são abrangidas pelo projeto, analisem o grau de influência social deles perante a sociedade e a possibilidade de atrair, através da conscientização ofertada por eles, mais praticantes destas ações.

Em função da ação de promoção e geração de renda, o Programa Brasil Reciclado hoje conta com o apoio de uma empresa atacadista, onde todos os banners utilizados em suas campanhas são doados ao Programa.

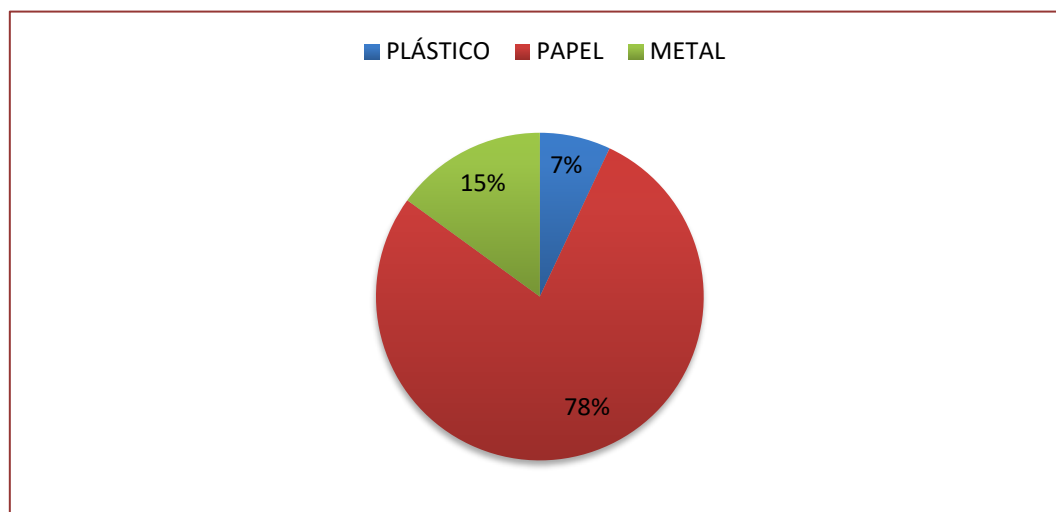
Dessa forma, têm-se como benefícios:

- a confecção de produtos ecológicos, minimizando o descarte das lonas, uma vez que, estas são descartadas incorretamente na natureza;
- um programa de geração de renda, onde costureiras conseguem complementar a renda confeccionando, como parceiras, produtos de banners, feitos com lonas tais como: eco bolsas, eco envelopes, eco estojos, eco nécessaire, porta *tablet*.

O programa Brasil reciclado é pioneiro na região e de certa forma, por suas ações socioambientais, inspira outras organizações a repensarem sobre suas ações.

A Estimativa da reciclagem desde 1984 até 2019 com o Programa Brasil Reciclado nesses 34 anos continuando o desenvolvimento do projeto, pode ser visualizado no gráfico 1.

Gráfico 1 – Estimativa de reciclagem do ano de 1984 a 2019



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Observa-se que o programa conseguiu reciclar cerca de 125.888 kg de papel, metal e plástico. Havendo um processo de separação por grupos, onde o metal foi classificado por: metais/sucatas leves e pesados (alumínio, ferro e aço) totalizando aproximadamente 18.883 kg, que compreende cerca de 15% do total reciclado até 2019. O papel também foi classificado como: papelão, papel arquivo, papel misto, revista, apostila e jornal num total de aproximadamente 98.193 kg, ou seja, 78% do total reciclado. Já o plástico foi classificado em: comum, plástico grosso, garrafa pet, gerando aproximadamente 8.812 kg, o que representa 7% do total reciclado.

As medidas destinadas a melhorar a eficiência das empresas, como é o caso das tecnologias poupadoras de água, energia e destinadas à redução de resíduos, são de suma importância, nas regiões metropolitanas, a poluição tem se acentuado ao longo dos anos, tanto no que se refere à vertente hídrica quanto atmosférica e de contaminação do solo, em virtude, principalmente, do desenvolvimento da industrialização e do crescimento populacional.

4.3. ANÁLISE CRÍTICA

O Instituto de Cultura Técnica e a Faculdade Sul Fluminense, ao desenvolverem o Programa Brasil Reciclado, possibilitam aos alunos a oportunidade de atuarem como agentes na preservação do meio ambiente local. Entretanto, como pode ser observada, a sociedade de modo geral, possui paradigmas a respeito dessa ação, uma vez que, o tema principal é a segregação do lixo. Conforme Freitas (2008), os problemas socioambientais vistos atualmente têm conotação com o consenso mundial, desenvolvido principalmente nas últimas décadas, de que o tema precisa ser trabalhado no contexto educacional, a fim de se obter a minimização da degradação ambiental que o planeta está vivenciando.

Nesse cenário, faz-se necessária a atuação das Instituições de ensino, buscando a conscientização do grupo educando através de atividades voltadas para a manutenção do meio ambiente ou inibição das ações de degradação. Mediante isso, estas instituições ao adotarem a função socioambiental coadunam com a melhoria da qualidade de vida da sociedade, ao praticarem suas multirefunções que, segundo Volpi (1996), estimula o desenvolvimento socioeconômico, socioambiental e cultural, consideradas alternativas preponderantes para atingir esse resultado. Portanto, de acordo com o Art. 225 de 1988, todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo, inclusive para as futuras gerações.

Paralelamente, as instituições de ensino mencionadas acima, ao atuarem como provedoras das ações socioambientais atraem para dentro de sua organização ganhos tangíveis e intangíveis, para os ganhos tangíveis pode se considerar a arrecadação de valores monetários que são investidos na geração de postos de trabalho, como por exemplo: as costureiras do programa; e como ganhos intangíveis pode ser considerado a visibilidade da marca dentro e fora da cidade de atuação, como foi no ano de 2019, após ficar entre os 5 finalistas no evento do SEBRAE intitulado Prêmio SEBRAE de Educação Empreendedora.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A responsabilidade socioambiental está presente nos mais diferentes ramos de atividades e se tornou tema relevante para o atual cenário de degradação enfrentado pelo meio ambiente. Observa-se neste contexto, um desafio político da sustentabilidade, onde, a atuação dos profissionais de educação é de suma importância para melhoria do quadro ambiental presenciado. Para isso, faz-se necessário uma visão holística sobre a metodologia de ensino utilizada dentro do ambiente educacional, a fim de ampliar as práticas socioambientais aos alunos, objetivando o potencial agente transformador desse desafio.

Paralelamente, as IES precisam estar em comunhão com o planejamento ofertado pelo projeto Agenda 21 que é considerado um plano de ação visando concretizar o ideal sem agredir o meio ambiente local. Além do mais, trabalhar este projeto dentro da sala de aula traz a possibilidade da construção da cidadania e o fortalecimento da democracia.

Contudo, a sustentabilidade é vivenciada em 204 cadernos de Pesquisa, n. 118, março /2003 que busca desenvolver o tema estimulando a superação do reducionismo ao praticar o saber e fazer atrelados ao meio ambiente vinculado diretamente ao diálogo interpessoal, as participações em palestras, seminários e eventos, trazendo à tona os valores culturais e éticos que são fundamentais para o elo sociedade-natureza.

Nesse sentido, o papel do docente é inevitável para impulsionar a formação desses agentes transformadores, portanto, sua atuação é característica de um compromisso, não somente com o meio ambiente, mas também, com a melhoria na qualidade de vida para o coletivo. E para atingir o resultado almejado, faz-se necessário o desenvolvimento de atividades que estimulem o processo de reflexão dos fatores que ligam o indivíduo à natureza, como por exemplo: os riscos ambientais globais, o processo correto de segregação do lixo produzido pela sociedade, os impactos provenientes do armazenamento incorreto desse material e de que o processo começa primeiramente no interior de cada cidadão, assim chegará a uma solução palpável de minimização a este fator catastrófico que afeta a toda sociedade.

Levando em conta a importância que a sustentabilidade adquiriu no mundo corporativo, sobretudo nos últimos anos, incluindo nesse contexto as instituições de ensino, este estudo não é suficiente para esgotar o tema, dessa forma, recomendam-se novas pesquisas para que a temática volte a ser discutida e a partir daí, ampliada em novos campos de busca, no sentido de contribuir para disseminação da ideia voltada à sustentabilidade nas organizações contemporâneas.

REFERÊNCIAS

- [1] BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. Revista Visões 4ª Edição, nº 4, Volume 1 - Jan/Jun 2008.
- [2] CAPPELLIN, P.; GIULIANI, G. M. A economia política da responsabilidade corporativa In: Brasil: Dimensões Sociais e Ambientais. Tecnologia, Negócios e Sociedade, Genebra, Documento de Programa n. 14. Instituto de Pesquisa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Social, p. 1-67. Outubro de 2004.
- [3] CARROLL, A. B. A three-dimensional conceptual model of corporate performance. Academy of management review, p. 497-505, 1979. In: CORTEZ, Rodrigo Claudino.; VAN BELLEN, H. M. ; ZARO, E. S. Ferramentas de Responsabilidade Social: uma Análise Comparativa a partir das Dimensões e Modelos de RSC. XXXVIII EnANPAD, 2014, Rio de Janeiro. XXXVIII Encontro da ANPAD, 2014. p. 1-16.
- [4] CARVALHO, A, P; BARBIERE, J. C. Inovação em práticas sustentáveis: o caso Natura. Anuário de Pesquisa. FGV. 2013. Disponível em: <bibliotecadigital.fgv.br/>. Acesso em: 19/06/2019.
- [5] DOMENEGHETTI, Ana Maria. Voluntariado. Gestão de trabalho Voluntário em organizações sem fins lucrativos. São Paulo: Editora Esfera Ltda. 2001.
- [6] ETHOS, Instituto. O que é Responsabilidade Social Empresarial. Disponível em: <<https://www.ethos.org.br/>>. Acessado em: 20 de maio de 2021.
- [7] FREEMAN, R. E. Strategic Management: a Stakeholder Approach. Boston: Pitman. 1984. In: ROSSETTO, C. R. BELLEN, H. M. V. ZARO, E. S. Os Stakeholders no Processo de Formação da Estratégia de Empresas Cooperativadas. VI ENCONTRO DE ESTUDO EM ESTRATÉGIAS DA ANPAD, 2013.
- [8] LEFF, E Epistemologia ambiental. São Paulo: Cortez 2001.
- [9] OLIVEIRA, Alex. Responsabilidade social e desenvolvimento sustentável no âmbito empresarial: do discurso à prática.
- [10] TRIVIÑOS, A.N.S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.
- [11] VOLPI, Marina Tazón. A universidade e sua responsabilidade social. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1996.

Capítulo 3

Compras públicas compartilhadas: Um instrumento para promoção do desenvolvimento sustentável

Jecivan Vieira Braga

Gisella Vieira Braga

Resumo: Este trabalho é o resultado de uma análise das normativas editadas pelo Governo com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável, a partir do impacto causado pelas compras públicas sobre o processo produtivo, tendo como eixo propulsor a relação com seus fornecedores. É baseado em pesquisa documental, procedimentos bibliográficos e em “site” oficial de compras do Governo Federal. Efetua-se uma breve descrição da prática de aquisições compartilhadas, realizadas por meio de licitações na modalidade pregão eletrônico, utilizando a ferramenta Sistema de Registro de Preços. Expõe alguns argumentos de caráter econômicos a fim de demonstrar que as compras públicas com a inclusão de critérios de sustentabilidade, efetuadas de forma compartilhada, acarretam ganho de escala, com isso, reduzindo o valor dos produtos. Além de enquadrarem-se como inovação organizacional e induzirem diretamente a inovações técnicas. Destacam-se as principais barreiras como a falta de conhecimento, de vontade política e de incentivos para estimular a mudança de comportamento, e as oportunidades para a implementação no momento em que se define o que está sendo comprado, ou seja, no momento em que se elabora um edital de compra, apresenta-se uma oportunidade de incorporação de critérios de sustentabilidade nas compras públicas. Evidencia-se que o Estado tem papel fundamental na redução das tensões entre crescimento econômico e proteção ambiental e que o Estado reconhece a necessidade de desenvolver instrumentos novos e eficazes para estimular os cidadãos na mudança de comportamento e que o uso excessivo e exclusivo dos instrumentos de comando e controle, é um fator que contribui para a pouca agilidade, altos custos transacionais e para a resistência a mudanças. Porém, poucos ainda se dão conta de que de maneira pró-ativa e positiva podem estimular boas práticas no mercado de forma responsável. As licitações com a inclusão de critérios de sustentabilidade são um exemplo desse tipo de prática construtiva.

Palavras-chave: sustentabilidade, licitação, proteção ambiental.

1. INTRODUÇÃO – CONTEXTUALIZANDO O OBJETO

Até recentemente as compras públicas regidas pela Lei 8.666/93 tinham como objetivo a obtenção do menor preço e da maior vantagem para a Administração, porém com a modificação promovida através da redação conferida ao art. 3º, caput, da mesma Lei, pela Lei nº 12.349, de 15 de dezembro de 2010, as compras públicas ganham uma nova obrigação, a de considerar os critérios de sustentabilidade ambiental, ou seja, além dos objetivos já citados, ganha uma nova finalidade, a de promover instrumentos econômicos que fomentem a criação de uma nova economia, baseada em práticas de produção e consumo que melhorem a eficiência no uso de produtos e recursos naturais, econômicos e humanos, que reduzam o impacto sobre o meio ambiente, que promovam a igualdade social e a redução da pobreza, que estimulem novos mercados e recompensem a inovação tecnológica. O que indica um novo paradigma nas compras públicas na medida em que o Estado passa a adquirir produtos sustentáveis, sinalizando ao mercado que seu foco de compras mudou: de produtos tradicionais para produtos menos agressivos ao meio ambiente. Este trabalho tem como finalidade a apresentação de uma proposta que tem se mostrado com uma das possíveis soluções para um dos problemas que dificultam a implementação das compras sustentáveis na Administração Pública, o custo elevado dos produtos classificados como sustentáveis.

Primeiramente, quanto às compras públicas, importa trazer à luz os principais dispositivos da Constituição Federal de 1988 atinentes ao tema, com destaque para o artigo 37, caput, no qual restam elencados os princípios que regem a administração pública: –a administração pública direta e indireta de qualquer dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios obedecerá aos princípios de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência e, também, ao seguinte (...) (BRASIL, 1988, p. 12). De outro norte, o artigo 225 da Constituição Federal traz em seu bojo normas de proteção ao meio ambiente e o princípio do desenvolvimento sustentável, sendo considerado o marco constitucional da proteção ambiental, do qual irradiam uma série de normas e regulamentações que visam dar real sentido à sustentabilidade na iniciativa privada e na Administração Pública (BRASIL, 1988, p. 36).

Nesse novo contexto legal, as contratações de serviços, de obras e de compras por parte do setor público exige que sejam introduzidos, nos respectivos editais licitatórios, quando da definição do objeto dos certames, critérios ou especificações que tornem compatíveis as licitações com parâmetros de sustentabilidade ambiental, sem frustrar a competitividade ou promover discriminações entre potenciais interessados na participação em processos licitatórios. A consideração do requisito de sustentabilidade ambiental, na realização de licitações públicas, promoverá importante mudança nas relações entre o Estado e o mercado produtor de bens e serviços, induzindo ações voltadas para defesa e preservação do meio ambiente. As licitações públicas nacionais deixam, assim, de ser guiadas apenas pelos requisitos do melhor preço e da maior vantagem para a Administração, passando a considerar, também, critérios de sustentabilidade ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com a finalidade de fornecer base teórica para a investigação, buscou-se fundamentação adequada na literatura por meio de pesquisa documental e em artigos publicados por outros autores de maneira que a compreensão do contexto fosse possível, bem como o debate de alguns termos e conceitos.

De acordo com Drummond e Burstyn (2009), sustentabilidade é uma ideia que surgiu em um processo de discussão que inspirou doutrinas, teorias e políticas, desde que a revolução industrial deu margem a preocupações sistemáticas com o desenvolvimento. Nas palavras desses autores: “Sustentável” é uma entre várias palavras ou expressões cunhadas ao longo de muitas décadas para indicar direções preferenciais para o desenvolvimento “integrado”, “autônomo”, “social”, “endógeno”, “territorial” etc.

Um “sistema sustentável” pode ser considerado como aquele que sobrevive ou persiste (COSTANZA, 1995; PATTEN, 1995). Para Meyer et al., (1993), nota-se que há um problema de precisão terminológica para essa definição: qual é o sistema, por quanto tempo ele persiste e quando se pode averiguar se o mesmo persistiu? A aplicação do conceito de sustentabilidade depende do contexto em que está sendo utilizado, e é fundamental, portanto, que aqueles que fazem uso do termo especifiquem qual o tipo de conhecimento que está sendo utilizado e de que forma será aplicado.

As compras públicas sustentáveis aparecem mais explicitamente na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, em Johannesburgo, em dezembro de 2002, impulsionando as autoridades públicas a promoverem políticas de contratação pública que favoreçam o desenvolvimento e a difusão de mercadorias e serviços convenientes ao meio ambiente (BRASIL, 2011).

Observa-se que o Brasil já ostenta uma série de instrumentos jurídicos que fundamentam a instituição das licitações sustentáveis. O Ministério do Planejamento publicou em 19 de janeiro de 2010 a Instrução Normativa no 01/2010, que define critérios de sustentabilidade ambiental para obras públicas, bens e serviços (BRASIL, 2010g). Além disso, têm sido realizadas iniciativas de capacitação de gestores e servidores das áreas jurídicas e de compras no sentido de fomentar a realização de contratações sustentáveis no governo federal.

No âmbito internacional, de acordo com o Guia de Compras Públicas Sustentáveis na Administração Pública (ICLEI, 2011), existem diversas normas e tratados que norteiam o comércio internacional e afetam as compras públicas. Algumas são vinculantes e outras apenas recomendam práticas que beneficiam a proteção de bens comuns globais, como os recursos naturais, a paz e a saúde humana. Para efeito de CPS, mencionamos Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) e As Convenções da Organização Internacional do Trabalho (OIT).

Kahn e Rivas (2014) discorrem sobre a economia e a falha dos mercados. Segundo os autores, a incapacidade do mercado de alocar recursos eficientemente é chamada de falha de mercado, e com relação à intervenção governamental, tradicionalmente, os governos têm atuado fortemente por meio de políticas de comando e controle. E que mesmo em anos mais recentes, a partir de quando se passou a ter mais entendimento sobre o papel da economia na questão ambiental, ainda persiste a forte tendência daquele tipo de política.

Kahn e Rivas (2014), afirmam ainda que as falhas de mercado associadas às externalidades ambientais geram perdas de bem-estar. Os autores mostram que a intervenção governamental pode ser necessária no sentido de reduzir a magnitude das referidas perdas sociais.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Visando a obtenção do resultado do presente trabalho, qual seja, demonstrar que a utilização das compras públicas compartilhadas na administração pública, utilizando a ferramenta Sistema de Registro de Preços – SRP, pode ser utilizada como uma das possíveis soluções para a redução do preço de custo dos produtos classificados como sustentáveis, através do ganho de escala, buscou-se analisar a regulamentação a respeito do assunto, bem como a sua aplicação prática na Administração Pública.

Foi utilizada pesquisa bibliográfica, onde se verificaram casos de compras realizadas, bem como pesquisa documental em editais eletrônicos de licitação e em legislação que trata do assunto, buscando-se as normativas nacionais utilizadas, que orientam e determinam a inclusão de critérios de sustentabilidades nas aquisições públicas.

A busca sistemática, dentre os referidos documentos, teve como critério principal a existência de indicativos de práticas condizentes com o discurso da sustentabilidade no que diz respeito às compras governamentais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O preceito do desenvolvimento sustentável está atrelado a compromissos internacionais assumidos pelo Estado brasileiro e à Constituição Federal (CF). Na esfera do ordenamento nacional, a CF de 1988 estabelece como princípio da ordem econômica “a busca pela defesa do meio ambiente, inclusive, mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental de produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação” (Art. 170). Afirma também que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Art. 225), e aponta o princípio da eficiência (Art. 37) como um dos norteadores desse preceito (BRASIL, 2010b).

Em janeiro de 2010, o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, por meio de sua Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação, adotou a Instrução Normativa nº 1, de 19 de janeiro de 2010, que estabelece critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras na Administração Pública Federal. Também no mesmo ano de 2010, o Congresso Nacional, ao deliberar sobre projeto de lei da conversão de medida provisória, acabou por instituir o marco legal das licitações sustentáveis no âmbito da Administração Pública brasileira. Essa importante inovação legal, promovida pela redação conferida ao art. 3º, caput, da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, pela Lei nº 12.349, de 15

de dezembro de 2010, modifica radicalmente o quadro jurídico e operacional das licitações públicas no Brasil, obrigando todos os entes da Federação a promoverem licitações públicas sustentáveis (VALENTE, 2011).

A dificuldade mais frequente com relação a licitação sustentável refere-se ao custo. Costuma-se acreditar que o preço dos produtos classificados como sustentáveis é muito elevado e os benefícios não justificam o tempo e os esforços exigidos, (BIDERMAN; MACEDO; MONZONI; MAZON, 2008).

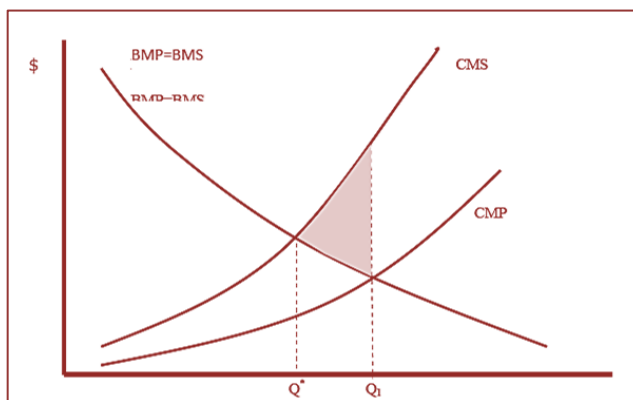
No senso comum e na reprodução discursiva conservadora, as políticas ambientais podem surgir no cenário político com o estigma de as “estragaprazeres”. As chamadas ecopolíticas são caracteristicamente alcunhadas de “negativas” em comparação a outras políticas, sempre ressaltando o que não deveria ser feito e enfatizando o lado negativo da implementação de políticas “positivas” (GUIMARÃES, 2006). Nesse contexto, pode-se considerar que o meio ambiente foi historicamente considerado por políticos, burocratas, empresários, entre outros atores, como um entrave ao desenvolvimento, cuja concepção limitava-se ao crescimento econômico. Assim, é importante destacar que os diversos atores sociais, que participam do processo de formulação de políticas públicas e de tomada de decisão, formam um campo de forças que orientam o rumo dessas políticas, sob a ótica da efetivação dos valores e diretrizes constitucionais (SILVA; BARKI, 2012).

De acordo com dados disponíveis no portal de compras do Governo Federal, podemos notar que o percentual de compras com itens sustentáveis ainda é muito baixo, na ordem de 0,88%, assim como a utilização do Sistema de Registro de Preços – SISRP, que foi na ordem de 10,85% do volume total de compras realizadas no ano de 2017 (PAINEL DE COMPRAS – PORTAL COMPRASNET, 2017).

É frequente verificar nos processos de compras uma disparidade de preço quando se refere a materiais classificados como sustentáveis em relação ao material comum. Por exemplo, em um processo de compra realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE no ano de 2017, observou-se que, um dos materiais mais comuns no mercado e que muito se utiliza nos escritórios, e que talvez seja um dos símbolos da reciclagem, o papel A4, que tem como descrição: Papel A4 (210 x 297 mm) para utilização em impressora *laser*/jato de tinta, branco, alcalino, gramatura 75g/m², em embalagem anti-mofo (descrição para papel comum, não reciclado), o valor médio de referência ficou na ordem de R\$ 14,60 (quatorze reais e sessenta centavos). Enquanto que o papel A4 reciclado, que tem como descrição: Papel A4, material papel reciclado, 297 de comprimento x 210 de largura, aplicação impressora *laser* e jato de tinta, gramatura 75, o valor médio de referência foi cotado a R\$ 18,20 (dezoito reais e vinte centavos) (PROCESSO DE COMPRA – IBGE, 2017).

Essa diferença de preço oferecida pelo mercado demonstra claramente que o mercado cobra mais caro pelos produtos classificados como sustentáveis, o que se caracteriza como uma falha de mercado, uma vez que para se adquirir produtos que não representem ameaça à preservação ambiental terá que se pagar um preço mais caro. “Uma falha de mercado pode criar uma divergência entre os custos privados e os custos sociais” (KAHN; RIVAS, 2014) (fig.1).

Figura 1 – Falha de mercado



Fonte: Kahn e Rivas, 2014

No Brasil, uma inovação que vem dando resultado é a realização de compras compartilhadas entre órgãos públicos através de uma ferramenta de compras do Governo Federal chamada Sistema de Registro de Preço – SRP que é realizado através do Pregão Eletrônico.

Dentro do setor público, muitas entidades individuais de compra adquirem bens e serviços parecidos. A compra compartilhada é uma maneira de reunir essas compras e de conseguir benefícios. A licitação compartilhada ajuda a introduzir políticas e critérios ambientais sustentáveis coerentes e coordenados. Além disso, pode ser usada como uma ferramenta poderosa para reduzir os custos da introdução de licitação sustentável em uma autoridade específica, e para promover produtos mais sustentáveis e o progresso tecnológico.

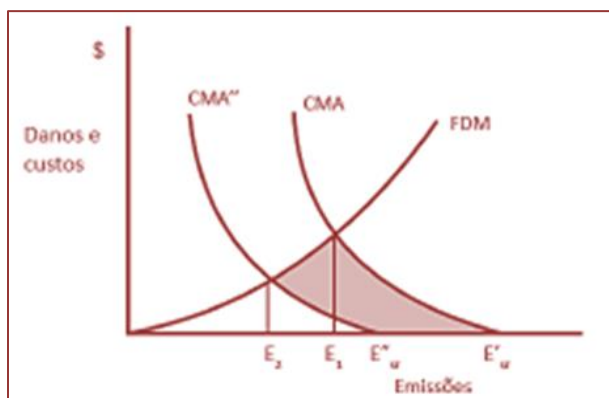
Determina o Estatuto Federal das Licitações – Lei nº 8.666/93 – que as compras, sempre que possível, deverão ser processadas através do Sistema de Registro de Preços – SRP (art. 15, II).

O registro de preços é um sistema utilizado pelo Poder Público para aquisição de bens e serviços em que os interessados concordam em manter os preços registrados pelo “órgão gerenciador”. Estes preços são lançados em uma “ata de registro de preços” visando as contratações futuras, obedecendo-se as condições estipuladas no ato convocatório da licitação. O SRP é uma opção economicamente viável à Administração, portanto, preferencial em relação às demais. Dentre outras vantagens que possui está a possibilidade de participação de outros órgãos, possibilitando como resultado a redução do preço final dos produtos adquiridos através do ganho em escala.

A título de exemplo, citamos a primeira compra compartilhada sustentável nacional, que foi realizada pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro em 2010, com a participação de 08 órgãos como participantes, aquisição de 48 itens de materiais de expedientes classificados como sustentáveis. Com a participação dos outros órgãos a quantidade total de itens que inicialmente seria de 100 mil chegou a quase 800 mil, o que possibilitou a economia de R\$ 723.263,78, ou seja, na ordem de 50% (SILVA; BARKI, 2012).

Esse resultado demonstra que é possível realizar uma compra ambientalmente correta e economicamente eficiente através da implementação das compras compartilhadas. E que é necessária a intervenção governamental em forma de inovação tecnológica para redução das externalidades ambientais (fig. 2).

Figura 2 – Inovação tecnológica que leva à redução dos custos de abatimento



Fonte: Kahn e Rivas (2014)

5. CONCLUSÕES

Observando-se os dados obtidos no Painel de Compras do Portal Comprasnet, verificamos que ainda é tímida a utilização da modalidade Sistema de Registro de Preços, assim como a aquisição de bens classificados como sustentáveis, apesar da legislação que regulamenta o tema.

Os principais obstáculos incluem falta de conhecimento, ou de vontade política, ou ainda, de incentivos para estimular a mudança de comportamento. As diferentes administrações reconhecem que é preciso desenvolver instrumentos novos e eficazes para estimular os cidadãos na mudança de comportamento de forma específica, especialmente porque muitos objetivos de proteção ao meio ambiente são difíceis de serem obtidos, como por exemplo, a redução das emissões de dióxido de carbono. Os instrumentos tradicionais ao alcance do governo para a promoção da sustentabilidade são aqueles de sanção das más condutas, o exercício do poder de polícia, por exemplo. Porém, poucos governantes se dão conta que podem, de forma pró-ativa, e positiva, estimular boas práticas no mercado, ao mesmo tempo em que

atuam de forma responsável. A licitação sustentável é um exemplo desse tipo de prática construtiva (BIDERMAN; MACEDO; MONZONI; MAZON, 2008).

Espera-se que os gestores públicos, servidores, políticos e tomadores de decisão possam entender que é papel do Estado promover instrumentos econômicos que fomentem a criação de uma nova economia, baseada em produtos e serviços sustentáveis. E que os editais sustentáveis podem priorizar produtos em cujos processos produtivos sejam comprovadas ações e medidas adotadas para eficiência energética, economia de água, uso de tecnologias limpas, bem como de matérias-primas provenientes de manejo sustentável, recicladas, reaproveitadas, etc.

REFERÊNCIAS

- [1] VALENTE, Manoel Adam Lacayo. Marco legal das licitações e compras sustentáveis na Administração Pública. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Março/2011. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/...e.../2011_1723.pdf. Acesso em: 26 ago. 2017.
- [2] SILVA, Renato Cader da; BARKI, Teresa Villac Pinheiro. Compras públicas compartilhadas: a prática das licitações sustentáveis. Revista do Serviço Público, Brasília abr/jun 2012. Disponível em: <https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/93>. Acesso em 26 ago. 2017
- [3] BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: 05 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituição/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em 26 ago. 2017.
- [4] BIDERMAN, R.; BETIOL, L.; MACEDO, L.; MONZONI, M.; MAZON, R. (Org.). Guia de compras públicas sustentáveis. Uso do poder de compra do governo para a promoção de desenvolvimento sustentável. 2a Edição. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008. ICLEI.
- [5] RIVAS, Alexandre. Economia e valoração de serviços ambientais utilizando técnicas de preferências declaradas. Manaus: EDUA, 2014.
- [6] DRUMMOND, José Augusto (Org.); BURSTYN, Marcel (Org.). Desenvolvimento Sustentável: uma ideia com linhagem e legado. Apresentação. Sustentabilidade, Regulação e Desenvolvimento. Revista Sociedade e Estado, Brasília, v. 24, n. 1, p.11-15, jan./abr., 2009.
- [7] CONSTANZA, R.; PATTEN, B. C. Defining and predicting sustainability. *Ecological Economics* (15), 1993.
- [8] MEYER, J. L.; HELFMAN, G. S. The ecological basis of sustainability. *Ecological Application*, 3(4), 1993.
- [9] GUIMARAES, Roberto P. Facilitating Dialogue Between Science/Policy and Policy/Science: some General Reflections and Proposals for the Path Ahead. FIRST IHDP SCIENCE-POLICY DIALOGUE SYMPOSIUM. Berne, Switzerland, September, 2006. p. 21-22.

Capítulo 4

Engarrafamento artesanal de água de coco em Petrolândia – Pernambuco: Subsídio ao ensino de geografia agrária

Guilherme José Ferreira de Araújo

Edvânia Tôrres Aguiar Gomes

Marina Loureiro Medeiros

Resumo: O Município de Petrolândia, localizado no semiárido pernambucano, passou por um processo de inundação do seu território para construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Luiz Gonzaga, com o objetivo de ampliar o abastecimento elétrico local e atrair investimentos industriais para a região. Em 1986-87 ocorreu a transferência forçada da população de ribeirinhos das margens do rio São Francisco para a construção da UHE. Mais 50 mil pessoas foram transferidas para novos assentamentos. Os imigrantes foram transladados na espera de receberem lotes, com tamanho proporcional à força de trabalho familiar e com a disponibilização de um sistema de irrigação, além de uma casa em agrovilas ou nas novas cidades que foram construídas. A produção agrícola passou a ser desenvolvida em perímetros irrigados construídos pela Chesf. Os quais configuram um cenário de privilégio num ambiente que sofre com períodos de seca. A partir da década de 90 os agricultores iniciaram a produção massiva de coco para abastecer o mercado nacional. No início dos anos 2000 foram criadas estratégias de envase artesanal com foco na comercialização local. Este trabalho tem o objetivo realizar um debate sobre os conflitos ambientais que envolvem a produção do coco no Município de Petrolândia. O estudo foi realizado no âmbito do Projeto Innovate, com visitas a campo, entrevistas com reassentados e poder público, além dos inúmeros eventos científicos realizados pelo projeto e outras organizações. A produção de coco em 2001 chegou a 1,3 bilhões frutos em todo o Brasil. O cultivo deste produto traz uma série de vantagens para os pequenos produtores, que conseguem superar problemas de ordem ambiental. Mercado da água de coco em Petrolândia tem favorecido pequenos produtores que tem encontrado neste ramo de comércio a saída para os problemas originados pela determinação das condições climáticas de uma região semiárida.

Palavras-Chave: Reassentamento; Fruticultura do coco; Comércio

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem o objetivo realizar um debate sobre o envasamento artesanal de água de coco como uma alternativa frente aos conflitos ambientais que envolvem a produção agrícola no Município de Petrolândia, Pernambuco, como também discutir a importância do coco verde para o crescimento econômico dos pequenos produtores da região.

A produção do coco (*cocos nucifera*) tem crescido exponencialmente nos últimos 20 anos no mundo, em especial no Brasil. A sua demanda se insere na perspectiva de sustentabilidade ambiental e melhor qualidade de vida associada a um padrão de consumo alimentar saudável seja *in natura* ou industrializado. Envolvendo uma cadeia produtiva que inclui possibilidades na base local - para a agricultura familiar, embora não exclusivamente, se amplia em diferentes níveis de complexidade tecnológica e padrões de exigências de alcances sócio espaciais globais.

Decerto que a exemplo do que ocorre em outros produtos, o êxito da cadeia produtiva encontra-se diretamente vinculado a investimentos nos segmentos do sistema produtivo, comercialização e distribuição. Nesse sentido, alinha-se nesta pesquisa a preocupação de potencializar o sistema produtivo e de comercialização do coco e derivados, com ênfase na sua água, tendo como foco Petrolândia, um município pernambucano, situado na região do nordeste semiárido. Área propícia a secas periódicas e com escassez de investimentos públicos de convivência com este fenômeno natural.

Petrolândia que é o segundo maior produtor de coco e água de coco para exportação de Pernambuco. Esta localização geográfica comumente associada à aridez e desafios de sobrevivência humana e desigualdade social, nos casos analisados de perímetros irrigados, cujo instiga reflexões e compromissos da academia para com a realidade vivenciada.

Este estudo é um dos resultados de pesquisas realizadas no âmbito do projeto “Desafios para produção sustentável do espaço: implicações na gestão da água e da terra nos assentamentos irrigados do município de Petrolândia-Pernambuco” financiado pelo CNPq. O trabalho também está integrado ao Projeto INNOVATE –*Interplayamongmultiple uses ofwaterreservoirs via innovativecouplingofsubstancecycles in aquaticandterrestrialecosystems* – parceria binacional entre universidades do Brasil e da Alemanha, dialogando acerca do uso e ocupação do solo na região de Itaparica, na porção pernambucana. O projeto do CNPq contribui com as pesquisas do INNOVATE, tratando sobre os desafios para produção sustentável do espaço nos reassentamento irrigados de Petrolândia.

Inicialmente são discutido os objetivos do texto, em seguida é abordada a metodologia, como também é realizada uma revisão conceitual sobre a ecologia política, abordagem escolhida para orientar o debate. Posteriormente são abordados os aspectos históricos geográficos da área de estudo. Na sequência discute-se a importância da produção do coco para a região de Petrolândia e as considerações finais do trabalho.

2. OBJETIVOS

Este estudo tem o objetivo de discutir a produção artesanal de água de coco engarrafada como uma alternativa frente as implicações das mudanças climáticas sobre a sobrevivência dos pequenos produtores agrícola do Município de Petrolândia, Pernambuco.

Como objetivo específico a proposta da pesquisa é contribuir com o projeto de Pesquisa “Desafios para produção sustentável do espaço: implicações na gestão da água e da terra nos assentamentos irrigados do município de Petrolândia-Pernambuco”, com financiamento do CNPq, iniciado em 2013, além de servir de suporte ao subprojeto 7, do Projeto INNOVATE, responsável pelo *Decision Support Approach (DSA)*. A pesquisa também se propõe a discutir a importância da produção do coco verde para o mercado brasileiro e seus possíveis rebatimentos no mercado internacional. No sentido, mais estrito o estudo pretende discutir a importância da produção artesanal como uma medida simples que pode trazer benefícios em significativos para sobrevivência dos agricultores da região.

3. METODOLOGIA

Como ponto de partida para a pesquisa realizou-se um levantamento bibliográfico acerca da área de estudo, foram desenvolvidos trabalhos de campo com a realização de entrevistas com técnicos nos órgãos públicos, com os produtores reassentados, observação e registro em campo e atualização em campo dos dados obtidos nas literaturas apresentadas no texto.

Foram realizadas oficinas aplicando a metodologia de Análise de Constelação no perímetro irrigado de Icó-Mandantes, na cidade de Petrolândia e em Recife. A oficina teve o objetivo de discutir a gestão do uso da água e da terra na Microrregião de Itaparica. A partir das oficinas identificou-se a produção da água de coco como potencial para o crescimento econômico na região.

A Análise de Constelação se trata de uma abordagem compreensiva interdisciplinar para identificar possíveis mudanças existentes no planejamento e gestão de estruturas (Schön et al., 2007, (Bruns et al., 2010), (Bruns, 2011).

A metodologia de Análise de Constelação fornece um conjunto de ferramentas para identificação e análise de situações conflitantes. Ocupa-se em analisar problemas complexos da relação sociedade e natureza utilizando um mapeamento dos elementos centrais e dessa forma interpretar e descrever suas relações (Kröger, Rückert-John, Schäfer, 2012).

A escolha desta metodologia parte do pressuposto que a região de Itaparica foi inundada para o estabelecimento da Usina Hidroelétrica de Luiz Gonzaga, dessa forma foram criadas duas novas cidades e diversos reassentamentos para produção agrícola. Dessa forma, a Análise de Constelação de contribui identificar os principais cenários de conflitos e proporcionou a discussão e possíveis soluções dos conflitos. Neste sentido, buscou-se na abordagem da ecologia política uma análise para discutir os conflitos da localidade.

O objetivo da ecologia política é desenvolver uma reflexão crítica para expor o que está errado na gestão ambiental, enquanto por outro lado são aplicados esforços para pensar alternativas ou adaptações frente ao problema da ineficiente gestão e exploração dos recursos naturais (Robbins, 2004).

De acordo com Robbins (2004) a ecologia política possui quatro teses. A primeira aborda a questão da degradação e marginalização, onde serão debatidas as razões das mudanças ambientais e como estas vieram a ocorrer. Aqui o estudo é orientado sob a perspectiva que a degradação da terra é oriunda principalmente do contexto político e econômico, contrariando afirmações que apontam para os marginalizados como os principais originadores das alterações no ambiente.

A segunda tese trata dos conflitos ambientais. São levantadas questões concernentes ao acesso ao ambiente. A preocupação aqui é com quem tem acesso e o porquê. Os conflitos nesta análise são apresentados para contribuir no debate das lutas de gênero, de classes e raciais. A tese busca analisar, por exemplo, a crescente escassez de produtos oriundos de terras apropriadas por autoridades do estado, firmas privadas ou das elites sociais, cujo são os principais responsáveis em iniciar e acelerar o conflito entre os grupos (Robbins, 2004).

Nesta perspectiva os conflitos ambientais se enraízam na sociedade quando determinado grupo (gênero, classe ou etnia) passa a ter o controle sobre os recursos coletivos em detrimento dos outros. Normalmente esse processo ocorre com apoio de políticas públicas intervencionistas desenvolvidas pelas autoridades estatais ou em conjunto com agentes privados (Robbins, 2004). Esses conflitos também podem ser originados a longo prazo em função de medidas estabelecidas, cujo os resultados danosos necessitam de um tempo maior para serem percebidos.

A terceira tese apontada é referente à conservação e controle. Aqui são trabalhadas as falhas nesse processo, como também a exclusão política e econômica. A compreensão desenvolvida nesta abordagem discute que os esforços para conservação ambiental, geralmente compreendido como uma atitude benigna, também podem ter efeitos perversos para as comunidades. Por exemplo, quando são estabelecidas áreas de preservação, cuja expropriam antigos habitantes daquela área. Nesse caso, forma-se um cenário de exclusão diante de uma proposta preservação ambiental (Robbins, 2004).

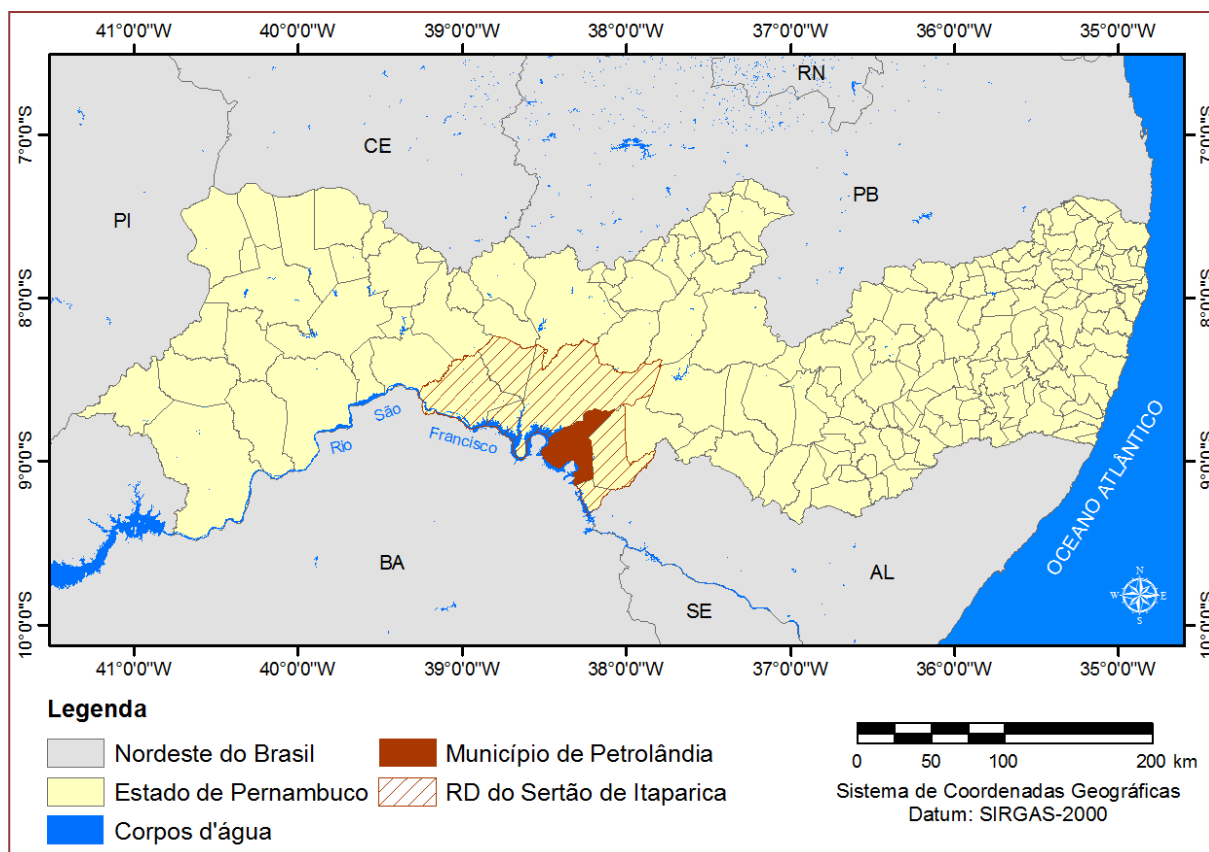
A quarta tese se debruça sobre a questão da identidade ambiental e os movimentos sociais. Neste ponto os estudos se dirigem para os levantes sociais, enfatizando os principais agentes, o ambiente e como essas ações são desenvolvidas. As forças políticas e sociais são apresentadas para relacionar as questões básicas da subsistência e a proteção ambiental (Robbins, 2004).

Diante da complexidade de sua abordagem, a ecologia política estabelece vínculos com diversos campos disciplinares, portanto tem uma origem inter-transdisciplinar. São identificadas raízes nas áreas da antropologia, da sociologia, da história, das ciências políticas e de áreas tecnológicas (Zimmerer; Basset, 2003).

4. CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICO-GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE PETROLÂNDIA

O Município de Petrolândia, localizado no semiárido pernambucano (mapa 1) passou por um processo de inundação do seu território para construção da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga, com o objetivo de suprir o abastecimento elétrico em porções da Região Nordeste (Gunkel; Sobral, 2007).

Para construção do empreendimento foi necessária a migração forçada dos antigos ribeirinhos da região de Itaparica. As águas do rio São Francisco foram represadas se estendendo por 150 km Leste-Oeste, atingindo diversos municípios localizado na antiga margem do rio (figura 1), atualmente pertencentes a Microrregião de Itaparica (Gunkel; Sobral, 2007), inundando uma área de cerca de 83.400ha (BRASIL, 2010), transformando radicalmente a vida dos habitantes da região que precisaram ser transferidos para outros locais. Estima-se que a obra atingiu aproximadamente 80 mil pessoas (Gunkel; Sobral, 2007).



Fonte: IBGE, 2015.

Produção cartográfica: Guilherme Araújo

Em 1986-87 foi o período que ocorreu a mudança forçada da população. Os ribeirinhos foram trasladados para assentamentos com a promessa do Estado de receberem lotes, com tamanho proporcional à força de trabalho familiar e com a disponibilização de um sistema de irrigação, além de uma casa em agrovilas ou nas novas cidades que foram construídas (Gunkel; Sobral, 2007).

Os assentamentos irrigados são constituídos de lotes para cada reassentado, com tamanho equivalente a força de trabalho familiar, essas áreas possuem aproximadamente 8 hectares. Todos são dotados de acesso à água residencial e a maioria possui irrigação para fins agrícolas. Também dispõem de infraestrutura das agrovilas, onde residem os produtores, somente o Assentamento de Apolônio Sales, em Petrolândia não tem agrovilas (Carvalho, 2009).

Imagem 1. Antiga área do município de Petrolândia que foi inundado e ao fundo porção do teto e lateral da Igreja do Sagrado Coração, que podem ser visualizados devido a estiagem.



Autor: Guilherme Araújo.

No entanto, mesmo diante de condições propícias ao desenvolvimento econômico as áreas dos assentamentos não apresentam o crescimento econômico esperado, pelo contrário, são áreas de estagnação econômica e onde os investimentos do governo não tem retorno (Gunkel; Sobral, 2007).

O retardo de aproximadamente nove anos na entrega dos lotes prontos para irrigação prejudicou significativamente a maioria dos agricultores na continuação de suas atividades agrícolas, levando-os à dependência de subsídios do Estado. Alguns produtores, mesmo após vinte e nove anos da mudança, ainda não visualizaram o cumprimento da promessa, vivendo, em teoria, dependentes do governo (Scott, 2009).

O descompasso entre os objetivos dos reassentados e a proposta desenvolvimentista da CODEVASF, responsável pelo suporte técnico dos produtores, comprometeu o avanço dos trabalhos em prol do crescimento econômico dos antigos ribeirinhos (Scott, 2009). Além destes fatores, outros emergem nesse contexto, contribuindo para o que foi planejado e prometido antes do traslado não ocorresse, pelo contrário levando a muitos a exclusão social e expulsão do campo.

Nos assentamentos irrigados destacam-se atualmente a produção da banana, do coco e da cebola. Em Apolônio Sales a produção de coco é comercializada diretamente para a agroindústria suíça - Paraypaba Agroindustrial. Diariamente são retirados cerca de 40 mil cocos que são transportados para o Ceará, onde é realizado o beneficiamento e aromatização da água e após são exportados para Estados Unidos, Europa e Japão (Araújo et al., 2013).

Em Icó-Mandantes e Barreiras Bloco II além do coco, destaca-se também a banana e a cebola como a lavoura temporária. A produção é comercializada para o mercado local e para os municípios da região via intermediários. Alguns produtores comercializam com empresas maiores localizadas no Município de Floresta e em Petrolina como é o caso da Multinacional PepsiCo.

Os produtores afirmam que a falta de acesso ao mercado é uma das principais razões que não favorecem sua autonomia. Eles são dependentes dos intermediários que determinam o preço sem nenhuma negociação. Muitas vezes agem ilegalmente burlando as próprias regras ou até mesmo enganando os produtores na pesagem da produção. Para os reassentados os preços nunca são estabelecidos de acordo com as variações do mercado, mas sim segundo os interesses desses intermediários (Araújo et al., 2013).

Os assentamentos irrigados foram construídos com o intuito de favorecer os antigos ribeirinhos, vítimas de um deslocamento forçado, a continuação de suas atividades econômicas além de servir como uma estratégia ao desenvolvimento regional (Galindo; Guimarães, 2000).

Os reassentados de Itaparica apesar de produzirem para o mercado na escala local e global, não possuem acesso direto a esses mercados, permanecendo dessa forma excluídos do montante que circula nesses espaços. Nesta perspectiva é necessário o estabelecimento de políticas ou programas que favoreçam o acesso direto destes produtores aos mercados, para que os mesmos sejam os principais beneficiados da comercialização da sua própria produção.

Além dos problemas para acessar o mercado, os pequenos produtores sofrem com uma série de implicações para sua independência, a maioria de ordem ambiental. Devido sua localização no Semiárido, a falta de água é uma constante na região, principalmente no período de seca, com os fenômenos do *El Niño*. Associa-se a este fator a obsoleta infraestrutura de irrigação, instalada no início na década de 1990, que atualmente não funciona devidamente, levando a muitos produtores a falta de água. Outro grave problema é a questão do acesso à terra. Muitos produtores foram reassentados em terras inférteis, passaram a receber subsídios, enquanto seriam transferidos para outras áreas, o que ocorreu somente com alguns, outros permaneceram em terras impróprias para o cultivo, sobrevivendo de subsídios do Estado. Por último, a situação dos pequenos produtores se agrava a partir de 2013 quando a Plantec, empresa terceirizada da Codevasf responsável pela assistência técnica e extensão rural, teve seu contrato finalizado. Desde então, não há mais assistência técnica gratuita nos reassentamentos.

5. RESULTADOS PRELIMINARES

A produção de coco no Brasil é uma das maiores do mundo. O produto está dividido em dois segmentos: o do coco seco, nele fazem parte as indústrias produzindo os derivados. Como também o do coco *in natura* ou coco verde, nele é aproveitada água do coco. No Brasil 70% do coco produzido é enviado para as agroindústrias. Na região Nordeste o maior consumo é de coco seco, com aproximadamente 80% da produção e o restante é comercializado como coco verde (Cuenca, 2007).

No Brasil em 2001 a produção de coco chegou a 1,3 bilhões frutos. O seu cultivo é encontrado em grande parte do território nacional, somente os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina não desenvolvem o cultivo por causa do clima. Em meados da década de 1980 a área colhida era de aproximadamente 166mil em todo o Brasil. Entre 1985 e 2001 houve um incremento ultrapassando 100 mil hectares, em sua maioria foi registrada o cultivo da variedade do coqueiro anão (Cuenca, 2007).

O cultivo deste produto traz uma série de vantagens para os pequenos produtores, como a garantia de uma renda mensal, visto que a colheita é entre 35 a 45 dias. Dessa forma não é necessário esperar por meses para colher e obter a renda da safra, como acontecia com algumas culturas cultivadas anteriormente. Nos projetos irrigados de Petrolândia o coco é a principal produção agrícola (figura 2), a maioria dos produtores estão envolvidos com a produção do coco *in natura*. A comercialização é realizada localmente para os atravessadores da região, como também para indústrias que engarrafam a água do coco para o mercado nacional e internacional.

No entanto, a maioria dos agricultores enfrentam problemas durante o processo de produção. Uma vez que a região localiza-se no semiárido, a ampliação do período de seca associada com fenômeno *El Niño* condicionaram a sobrevivência de pequenos produtores. Além de problemas relacionados com a defasada infraestrutura do sistema de irrigação, instalado no início da década de 90 pela Codevasf. Esses fatores contribuem como a erosão, salinização e encharcamento do solo. Desde 2013, o serviço gratuito de assistência técnica e extensão rural parou suas atividades. Diante destes problemas tanto de ordem ambiental como técnica, os produtores tem permanecidos estagnados economicamente, alguns venderam a propriedade para quitar as dívidas ou apenas porque já não conseguiam cultivar.

Alguns pequenos produtores decidiram investir no engarrafamento artesanal (figura 3) e industrial de água de coco. Um tipo do produto é vendido 100% natural e sem conservantes, o que tem atraído consumidores do município e de cidades do entorno, outro tipo de produção é específico para o mercado internacional e grandes redes de supermercado no Brasil. O comércio de água de coco engarrafada em Petrolândia tem crescido. O coco verde é comercializado por aproximadamente R\$ 1,00, em períodos de seca e inverno o valor pode cair até aproximadamente 0,20 centavos. A água de coco engarrafada custa cerca de R\$ 2,50 até R\$ 3,50 e os custos de produção são de aproximadamente 0,80 centavos.

Figura 2. Produção de coco no Perímetro Irrigado Apolônio Sales – Petrolândia.



Autor: Guilherme Araújo

Figura 3. Água de coco envasada artesanalmente



Autor: Guilherme Araújo.

Este cenário tem motivado os pequenos produtores, alguns engarrafam dentro de sua própria casa, outros comercializam para as indústrias. Neste sentido, é necessário o investimento em políticas que contribuam com o aperfeiçoamento e expansão deste tipo de produção e mercado na região para impulsionar e dinamizar a economia local, como a formação de cooperativas, associações e cursos de capacitação neste ramo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do reservatório de Itaparica provocou transformações no processo de produção do espaço em Petrolândia. A população antes do reassentamento estava voltada para uma pequena produção familiar nas margens do rio São Francisco. O reassentamento em perímetros irrigados proporcionou a transformação no seu modo de produção. Alguns agricultores não conseguiram se inserir no novo processo em função da inviabilidade de sua terra, permanecendo dependentes de subsídios da CHESF.

A eficiência da gestão dos perímetros irrigados de Petrolândia é um dos maiores desafios para a CHESF. Segundo técnicos da região, os gastos com a manutenção dos perímetros irrigados de Itaparica ao longo dos 25 anos de sua implantação já são suficientes para construção de novas barragens do porte de Itaparica.

Megaprojetos de ordem ambiental provocam conflitos nas decisões políticas. Em diversos casos toda uma comunidade pode sofrer consequências graves de obras realizadas sem um planejamento eficaz. Portanto, é necessário o reconhecimento do contexto histórico e das relações da sociedade com o ambiente antes de qualquer intervenção política sobre o ambiente.

Os conflitos ambientais se apresentam normalmente pelo domínio do espaço por outros grupos ou pela ausência de boa governança. Dessa forma, o ambiente ocupado com práticas sem interação com entorno nem com a história local pode se tornar um espaço hostil a sobrevivência. A ecologia política, sob a ótica dos conflitos ambientais traz uma abordagem que oferece suporte para o debate sobre as questões das injustiças ambientais no campo brasileiro.

O envasamento artesanal da água de coco tem contribuído com crescimento econômico de pequenos produtores. Estes tem utilizado a comercialização da sua própria produção como uma oportunidade de superar os desafios das mudanças climáticas, o qual tem reduzido a quantidade de sua produção. Porém, com o envasamento, diversos produtores tem agregado valor a sua produção permitindo o aumento da renda, uma alternativa as determinações das mudanças climáticas.

Neste sentido, é necessário o investimento em políticas que contribuam com o aperfeiçoamento e expansão deste tipo de produção e mercado na região para impulsionar e dinamizar a economia local, como a formação de cooperativas, associações e cursos de capacitação neste ramo.

REFERÊNCIAS

- [1] Andrade, M. C. (1984). Poder político e produção do espaço. Recife: Fundação Joaquim Nabuco – Massangana.
- [2] Brasil. Ministério de Minas e Energia. Chesf. (2010). Responsabilidade social. [online]. Disponível em <http://www.chesf.gov.br/portal/page/ /sustentabilidade_chesf/ sustentabilidade_chesf_responsabilidade_social>. Acesso em: 01 nov. de 2012.
- [3] Carvalho, R. M. C. M. de O. (2009). Avaliação dos perímetros de irrigação na perspectiva da sustentabilidade da agricultura familiar no semi-árido Pernambucano. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Recife.
- [4] Cuenca, M. A. G. (2007). A cultura do coqueiro. Embrapa Tabuleiros Costeiros. [online]Nov.. Disponível em <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/ FontesHTML/Coco/ACulturado Coqueiro/importancia.htm>>. Acesso em 10 Abr. 2016.
- [5] Gunkel, G., Sobral, M. C. (2007). Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and German”. Berlin, Germany: Universitätsverlag der TU Berlin.
- [6] Kröger, M. Rückert-john, J. Schäfer, M. (2012). Wissensintergration im nachhaltigen Landmanagement. Berlin: ELAN.
- [7] Robbins, P. (2004). Political Ecology: a critical introduction. 4. ed. Série: Critical Introductions to Geography. Oxford: Blackwellpublishing.

[8] Scott, P. (2009). Negociações e resistências persistentes: Agricultores e a barragem de Itaparica num contexto de descaso planejado. Recife: Editora Universitária da UFPE.

[9] Zimmerer, K. S., Bassett, T. J. (2003). Approaching political ecology: society, nature, and scale in human-environment studies. In: Karl S. Zimmerer e Thomas J Bassett (Org). Political ecology: an integrative approach to geography and environment-development studies. New York, London: The Guilford press.

Capítulo 5

A incidência de COVID-19 nos maiores municípios mineradores da Amazônia: Dos impactos econômicos aos riscos e lições a aprender

Fernando Ferreira de Castro

Geraldo Sandoval Góes

José Antônio Sena do Nascimento

Mônica Monnerat Tardin

Resumo: Esta pesquisa fornece uma avaliação da incidência de COVID-19 na Amazônia Legal com ênfase em municípios onde a atividade de mineração é predominante. Uma vez que a atividade foi considerada essencial, portanto, que deveria ser mantida durante a pandemia, o objetivo deste estudo é investigar se a mineração pode estar influenciando a disseminação do coronavírus para o interior da Amazônia, não apenas nos municípios onde o setor é predominante, mas também em outras áreas da Amazônia. A análise se baseia em resultados de pesquisas qualitativas e estudos de caso de municípios mineradores selecionados na Amazônia Legal, que engloba os estados da Região Norte, Mato Grosso e a porção amazônica do Maranhão. Os municípios foram classificados por faixa populacional e os casos notificados desde o início da pandemia foram mapeados e quantificados. Os resultados revelaram que: (1) dentro dos 772 municípios da Amazônia, a incidência de COVID-19 é relativamente maior nas 33 maiores localidades mineradoras; (2) há maior proporção de casos de COVID-19 nos municípios selecionados do que em outros municípios na mesma faixa populacional; e (3) entre 2020 e o primeiro trimestre de 2021, entre os municípios mineradores da Amazônia, aqueles que sua principal produção é o ouro foram os que apresentaram crescimento mais significativo da produção e registraram as maiores taxas de infecção. No geral, os resultados sugerem que, na Amazônia Legal, o COVID-19 se espalhou mais rapidamente nos principais municípios mineradores. Esses resultados e a continuação desta pesquisa fornecerão suporte para tomadores de decisão e governos locais.

Palavras-Chave: Amazônia Brasileira; COVID-19; royalties; mineração de ouro.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia ocasionada pelo Covid-19 afetou a economia brasileira em 2020, o que culminou em uma recessão e estagnação econômica que atingiu a maioria dos setores produtivos (World Bank, 2020). Os efeitos dessa crise sanitária e socioeconômica foram percebidos em todas as cadeias produtivas do país em algum nível, mas prevaleceu em locais mais vulneráveis, como pequenos municípios e comunidades indígenas da Amazônia (Angelo, 2020). Especificamente, um dos setores econômicos que viveu um ambiente de muitas incertezas foi a indústria extrativa mineral (Laing, 2020). Apesar dessas incertezas e das previsões negativas para a economia latino-americana (UNCTAD, 2020), o setor extrativo mineral da região da Amazônia Legal cresceu significativamente em 2020, gerando para os municípios mineradores uma arrecadação de *royalties* 35% maior que em 2019 (ANM, 2020). Alguns fatos podem justificar essa performance da mineração no Brasil, como o aumento nos preços globais das *commodities* minerais, especialmente do minério de ferro (FMI, 2020; IBRAM, 2020); o crescimento da demanda chinesa por bens minerais brasileiros (SISCOMEX, 2020); e a desvalorização da moeda brasileira frente ao dólar americano, que impulsionou a produção mineral voltada à exportação (Góes et al., 2020).

Assim como a maioria dos países, o Brasil estabeleceu políticas restritivas para atenuar os efeitos econômicos da pandemia, mas foram implementadas de forma descoordenada entre as esferas federal, estadual e municipal, o que gerou uma série de problemas nas regiões brasileiras. No caso particular da mineração, destaca-se que o setor foi considerado uma das atividades econômicas essenciais durante a pandemia (Brasil, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d), ou seja, como uma das atividades que deveria ser mantida em funcionamento, tendo em vista seu importante papel na economia brasileira, e, no caso da Amazônia Legal, notadamente significativa para diversos municípios mineradores.

Na Amazônia Legal existem importantes reservas minerais em abundância, onde grande parte das atividades da mineração tende a estar concentradas em determinadas localidades, incluindo áreas remotas, ecologicamente sensíveis e subdesenvolvidas, frequentemente fronteiriças a áreas de preservação permanente e territórios indígenas. No entanto, se a mineração for gerida de forma eficaz, pode criar empregos e gerar receitas municipais por meio da arrecadação dos *royalties*, estimular a inovação e diversificar as economias locais pela atração de investimentos e infraestrutura. Contudo, se mal administrada, a mineração pode causar degradação ambiental, deslocamento de populações, ampliar a desigualdade social, intensificar conflitos e a violência, bem como aprofundar a dependência econômica na atividade mineral (PNUD, 2017). Assim, como em outras atividades, a mineração pode desestabilizar o modo de vida local, a saúde, o habitat e as práticas sociais das populações tradicionais (Acuña, 2014).

Essas consequências podem se agravar na região amazônica, pois o território apresenta os piores índices de saneamento básico do país, uma precária infraestrutura de transporte terrestre e fluvial e serviços de saúde sobrecarregados, o que corrobora analisar que a região tende a ser mais vulnerável aos impactos da pandemia. Considerando os serviços públicos e os empreendimentos habitacionais, em muitos municípios sua estruturação não acompanhou o ritmo de urbanização e deslocamento populacional. Em média, apenas 13% dos moradores de municípios da Amazônia têm acesso a esgoto sanitário, em comparação com a média nacional de 77,1%, sendo que apenas parte dos resíduos coletados são tratados (MDR, 2019).

Diante da precariedade sanitária na região amazônica e em grande parte do país, primeiro semestre de 2021, o Brasil passou a ocupar o terceiro lugar no número de casos de COVID-19, com mais de 17 milhões de casos acumulados e 500.000 mortes oficialmente registradas (MS, 2021). Embora o Sistema Único de Saúde (SUS) possa ser considerado a melhor cobertura de saúde pública da América Latina, os desafios impostos pela vasta extensão territorial e a rápida disseminação da doença exerceram forte pressão sobre as instituições de saúde do Brasil (Croda et al. 2020). Essa realidade foi particularmente ampliada na Amazônia brasileira, onde, como mencionado, a infraestrutura de saúde pública não é tão desenvolvida quanto em outras regiões do país (IFDM, 2018). As distâncias consideráveis entre centros urbanos com infraestrutura de saúde adequada ao tratamento, a ausência de sistemas de transporte confiáveis e a baixa densidade demográfica do território dos municípios combinada com a concentração populacional em determinados locais contribuíram para a rápida disseminação do COVID-19 nesta região.

Um estudo realizado pelo Instituto Socioambiental (ISA), em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) demonstrou que as populações residentes em Terras Indígenas (TIs) na região amazônica foram as mais suscetíveis à COVID-19. Como exemplo, o estudo cita que duas das TIs mais vulneráveis da região são justamente as que detêm as maiores populações indígenas do Brasil, a TI Yanomami no estado de Roraima e a Vale do Javari no estado do Amazonas, as quais registraram taxas de incidência cinco vezes acima da média nacional. Também foram apontadas evidências que revelam forte correlação entre o avanço da mineração ilegal em TIs e a incidência de infecção de populações indígenas (Oliveira et al., 2021).

Diante desse contexto, diversas preocupações e questionamentos evocam sobre a questão da manutenção da atividade de mineração e o enfrentamento da COVID-19 na Amazônia. A continuidade da mineração na Amazônia Legal durante o período entre 2020 e 2021 contribuiu para a exposição dos grupos vulneráveis à doença? Poderia a atividade de mineração favorecer a disseminação da pandemia para o interior da Amazônia Legal?

Os estudos apresentados neste capítulo visam lançar luz sobre estas questões, focalizando os maiores municípios mineradores da Amazônia Legal, os quais foram selecionados segundo a arrecadação dos *royalties* da mineração, tendo como base uma avaliação dos dados oficiais do Ministério da Saúde sobre o avanço da pandemia e indicadores socioeconômicos a fim de apresentar, comparativamente, o impacto da pandemia nos maiores municípios mineradores e nos demais municípios da região.

O objetivo deste estudo é examinar a incidência da COVID-19 em municípios mineradores da Amazônia Legal. Especificamente, os municípios que se destacam no setor mineral, tendo como critério de seleção o montante de *royalties* da mineração arrecadados por município no ano anterior, onde foram selecionados os que arrecadaram mais de um milhão de reais anuais. Com base na avaliação dos indicadores sanitários, socioeconômicos e setoriais, o estudo buscou: (i) fornecer uma visão geral da incidência de COVID-19 em municípios mineradores selecionados na Amazônia brasileira; (ii) realizar uma análise espacial dos casos de COVID-19 em municípios mineradores selecionados, discriminados por tipo de produção mineral, e (iii) comparar os municípios selecionados com os demais da Amazônia Legal, seus estados e o do Brasil como um todo. Como a mineração foi considerada pelo governo brasileiro uma atividade econômica essencial, que deve ser mantida durante a pandemia, a avaliação dos dados da COVID-19 nesta região pode ser fundamental para mensurar o nível de propagação da pandemia na Amazônia Legal e contribuir para o delineamento de políticas públicas no território amazônico.

Esse capítulo está organizado em quatro seções. A seguir serão apresentadas as fontes de dados e os métodos de pesquisa adotados no presente estudo. A terceira seção examina a incidência da COVID-19 nos municípios mineradores selecionados da região da Amazônia Legal e a quarta e última seção sumariza os principais resultados encontrados, com recomendações para mitigar os desdobramentos negativos gerados pela pandemia na região.

2. FONTES DE DADOS E METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa adotada foi qualitativa para avaliar a disseminação do COVID-19 nos maiores municípios mineradores da Amazônia brasileira, visando comparar os resultados encontrados com os de outros municípios da região com contingente populacional semelhante, de março de 2020 a março de 2021. A pesquisa utilizou dados coletados pelo Ministério da Saúde (MS, 2021) para medir a incidência de casos e de óbitos relacionados à COVID-19 para todos os municípios da Amazônia brasileira. Neste estudo, os principais municípios mineradores foram determinados como aqueles que receberam em 2019, mais de um milhão de reais de CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – *royalties* da mineração).

A metodologia envolveu quatro fases distintas: (I) seleção de municípios mineradores na Amazônia brasileira; (II) levantamento de dados municipais oficiais sobre COVID-19 e seleção das variáveis do estudo; (III) levantamento de dados socioeconômicos para os municípios selecionados, com base na contribuição da indústria de mineração para o produto interno bruto municipal (PIB dos municípios), a variação mensal dos empregos no setor mineral e os indicadores de desenvolvimento humano municipal disponíveis; e (IV) análise final dos dados obtidos e comparação entre municípios mineradores e não mineradores.

A área do estudo considerada foi a Amazônia Legal, que inclui os estados de Rondônia (RO), Acre (AC), Amazonas (AM), Pará (PA), Roraima (RR), Amapá (AP), Tocantins (TO), Mato Grosso (MT) e a porção septentrional do Maranhão (MA). A análise dos resultados preliminares sobre a incidência de COVID-19 nos municípios selecionados foi comparada com os dados de outros municípios no mesmo estado e faixas populacionais dos municípios mineradores. As variáveis consideradas neste estudo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Fontes de dados e principais variáveis avaliadas

Tema	Fonte de Dados	Dados coletados (variáveis)	Período	Dimensão Territorial
Royalties de mineração	Sistema de Arrecadação da CFEM (ANM, 2021)	Operação, Arrecadação (Valores correntes)	2019-2020 (anual)	Municípios Mineradores Selecionados
Covid-19	Painel Coronavírus (Ministério da Saúde) (MS, 2021)	Casos acumulados (Número de casos)	Até 31 de março de 2021	772 municípios da Amazônia Legal
Variação de empregos	CAGED (Ministério da Economia) (PDET, 2020)	Varição mensal (admissões e demissões)	Janeiro de 2020 a março de 2021	Municípios Mineradores Selecionados
Atividades econômicas	Produto Interno Bruto municipal (IBGE, 2018)	1º e 2º maiores setores econômicos	2017*	Municípios Mineradores Selecionados
Indicadores de desenvolvimento municipal	Índice FIRJAM de Desenvolvimento Municipal (IFDM, 2018)	Índice municipal (Geral, saúde, renda e empregos)	2018*	Municípios Mineradores Selecionados

* O último ano disponível na época do levantamento de dados da pesquisa.

Fonte: Adaptado pelos autores.

No Brasil, os *royalties* da mineração, intitulados CFEM, são estimados após a comercialização dos produtos oriundos da atividade extrativa mineral. Os valores da CFEM são distribuídos entre os entes da federação da seguinte forma: (i) 60% é destinado para o município produtor; (ii) 15% para o respectivo governo estadual; (iii) 15% para municípios vizinhos afetados pela atividade (não mineradores); e (iv) 10% para o governo federal e entidades reguladoras e de pesquisa vinculadas ao setor. Utilizando o critério de R\$ 1 milhão de reais (R\$) em *royalties* anuais arrecadados, foram selecionados 33 municípios mineradores. Juntos, estes municípios respondem por cerca de 90% do total arrecadado na Amazônia Legal.

Os dados de incidência de COVID-19 foram examinados para todos os municípios da Amazônia brasileira. Esses dados foram obtidos a partir do banco de dados do Ministério da Saúde sobre COVID-19, intitulado Painel Coronavírus¹, que consiste em uma plataforma *online* a qual apresenta dinamicamente o panorama da pandemia no Brasil e disponibiliza a evolução diária do número de pessoas que contraíram a doença e de óbitos, compilados a partir de informações fornecidas pelas Secretarias Estaduais de Saúde.

¹ O Painel Coronavírus pode ser acessado em: <<https://covid.saude.gov.br/>>.

A principal variável considerada no levantamento foi o número de “casos acumulados” para todos os municípios da Amazônia brasileira. Buscou-se comparar a situação de municípios mineradores selecionados com municípios com populações semelhantes, utilizando dados adicionais obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A taxa de incidência de COVID-19 corresponde ao número de casos acumulados sobre a população local. Para monitorar a variação temporal de casos de COVID-19 nos principais distritos mineradores da Amazônia brasileira, foram considerados os seguintes períodos: 31 de março, 30 de junho, 30 de outubro e 31 de dezembro (2020) e 31 de março (2021). A comparação entre os municípios mineradores selecionados e os demais da Amazônia levou em consideração a razão entre as taxas de incidência entre grupos de municípios nas mesmas faixas populacionais. Além disso, a variação do emprego formal foi avaliada usando dados obtidos do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), e pela contribuição da indústria extrativa mineral ao PIB municipal, com base nos dados disponíveis do IBGE.

Em termos da avaliação socioeconômica, foi elaborado um breve panorama das condições de vida, com base no Índice IFDM (Índice FIRJAM de Desenvolvimento Municipal), que consiste em uma compilação dos indicadores de desenvolvimento local no Brasil, com pontuações semelhantes ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das Nações Unidas. O IFDM é atualizado anualmente, fornecendo um panorama do desenvolvimento social em mais de 5.000 municípios brasileiros, organizado em quatro categorias de indicadores: Emprego e Renda, Educação, Saúde e Condições Gerais. O índice varia de 0 (mínimo) a 1 (máximo): quanto mais próximo deste último, maior o nível de desenvolvimento. O IFDM possui quatro categorias de desenvolvimento, a saber, baixo (de 0 a 0,4), regular (0,4 a 0,6), moderado (de 0,6 a 0,8) e alto (0,8 a 1).

A próxima seção deste capítulo detalha a avaliação da incidência de COVID-19 nos municípios mineradores selecionados da Amazônia Legal.

3. IMPACTOS DO COVID-19 NOS MUNICÍPIOS MINERADORES SELECIONADOS NA AMAZÔNIA LEGAL

As taxas de incidência da COVID-19 nos municípios mineradores foram comparadas com as de outros municípios da Amazônia Legal, de acordo com os critérios apresentados na Tabela 1 e na seção anterior. Após selecionar os municípios mineradores, foram coletados dados sobre a COVID-19 e outras informações sanitárias. A análise dessas fontes revelou o seguinte panorama até 31 de março de 2021:

- I. O número total de casos de COVID-19 na Amazônia brasileira foi de 1.860.217, com incidência média de 6,69%, sendo superior à média nacional do Brasil (6,13%). No entanto, a incidência média nos maiores municípios mineradores da Amazônia foi superior e totalizou 9,62%;
- II. Durante o período analisado, o ouro foi o produto mineral mais extraído na Amazônia, com 744 processos minerários ativos envolvidos na extração de ouro. Entre 2019 e 2020, a produção de ouro apresentou o maior crescimento entre todos os minerais extraídos na Amazônia. Observou-se que alguns dos principais municípios produtores de ouro na Amazônia têm as maiores incidências de COVID-19;
- III. A produção mineral nos municípios selecionados da Amazônia brasileira cresceu em média 69% de 2019 a 2020, quase o dobro da média nacional do setor no mesmo período (35%). Mais uma vez, os municípios produtores de ouro na região amazônica foram os que registraram o maior crescimento da produção, com média de 123%, cerca de 3,5 vezes maior que a do Brasil como um todo.

A seguir, a Tabela 2 apresenta o panorama geral dos 33 municípios selecionados, com os seguintes dados para cada município: valor da operação mineral e dos *royalties* coletados, as duas principais substâncias produzidas e a incidência de COVID-19.

Tabela 2: As taxas de incidência de COVID-19 dos maiores municípios mineradores da Amazônia Legal, ordenados com base no montante de *royalties* arrecadados em 2019

Municípios mineradores (selecionados)	UF	Arrecadação de <i>Royalties</i> (CFEM)		Principais substâncias		Taxa de incidência de Covid-19
		Operação (x 1 milhão R\$)	CFEM (x 1 milhão R\$)	Maior produção	Segunda maior produção	
Parauapebas	PA	R\$ 32.451,11	R\$ 1.156,14	Ferro	Manganês	17.73%
Canaã dos Carajás	PA	R\$ 20.533,82	R\$ 706,07	Ferro	Cobre	18.57%
Marabá	PA	R\$ 6.261,54	R\$ 134,10	Cobre	Manganês	4.95%
Paragominas	PA	R\$ 1.296,04	R\$ 38,89	Bauxita	Areia	5.35%
Oriximiná	PA	R\$ 1.237,79	R\$ 36,74	Bauxita	Areia	9.36%
Curionópolis	PA	R\$ 1.089,73	R\$ 36,35	Ferro	Cobre	10.37%
Jurutí	PA	R\$ 897,76	R\$ 24,06	Alumínio	x	6.06%
Itaituba	PA	R\$ 1.310,36	R\$ 20,27	Ouro	Cassiterita	8.02%
Terra Santa	PA	R\$ 590,36	R\$ 17,55	Bauxita	x	6.63%
Pedra Branca do Amapari	AP	R\$ 969,99	R\$ 15,95	Ouro	x	19.17%
Ipixuna do Pará	PA	R\$ 559,29	R\$ 10,73	Caulim	Argila	2.16%
Presidente Figueiredo	AM	R\$ 411,47	R\$ 8,96	Cassiterita	Tantalita-columbita	15.46%
Nobres	MT	R\$ 320,21	R\$ 7,82	Calcário	Calcário dolomítico	6.66%
Peixoto de Azevedo	MT	R\$ 421,77	R\$ 6,34	Ouro	X	8.25%
Poconé	MT	R\$ 401,62	R\$ 6,06	Ouro	X	6.09%
Godofredo Viana	MA	R\$ 357,93	R\$ 5,37	Ouro	X	0.76%
Nossa Senhora do Livramento	MT	R\$ 243,56	R\$ 3,81	Ouro	Água	6.39%
Nova Xavantina	MT	R\$ 191,60	R\$ 3,61	Ouro	Calcário dolomítico	9.79%
Vitória do Jari	AP	R\$ 170,04	R\$ 3,59	Caulim	X	22.84%
Ariquemes	RO	R\$ 120,46	R\$ 3,51	Cassiterita	Nióbio	14.81%
São Félix do Xingu	PA	R\$ 171,81	R\$ 3,45	Níquel	Cassiterita	2.90%
Pontes e Lacerda	MT	R\$ 226,54	R\$ 3,44	Ouro	Granito	9.35%
Porto Velho	RO	R\$ 183,34	R\$ 3,04	Ouro	Granito	12.58%
Matupá	MT	R\$ 200,43	R\$ 3,00	Ouro	Granito	9.65%
Novo Progresso	PA	R\$ 117,93	R\$ 1,77	Ouro	Argila	7.53%
Cocalinho	MT	R\$ 66,23	R\$ 1,63	Calcário	Calcário dolomítico	5.88%
Bandeirantes do Tocantins	TO	R\$ 64,07	R\$ 1,60	Calcário dolomítico	x	7.26%
Xambioá	TO	R\$ 69,33	R\$ 1,34	Calcário	Argila	13.98%
Santa Maria das Barreiras	PA	R\$ 88,64	R\$ 1,34	Ouro	x	2.35%
Barra do Bugres	MT	R\$ 31,09	R\$ 1,23	Calcário	Areia	5.57%
Tucumã	PA	R\$ 80,67	R\$ 1,22	Ouro	x	10.94%
Cáceres	MT	R\$ 35,05	R\$ 1,13	Calcário	Calcário dolomítico	7.17%
Porto Esperidião	MT	R\$ 62,45	R\$ 1,12	Ouro	Granito	6.79%

Fonte: ANM (2020), MS (2021).

A Tabela 3 abaixo destaca em detalhes os dez municípios que, dentre os 33 municípios mineradores selecionados, registraram as maiores incidências de COVID-19 na Amazônia Legal. A tabela apresenta a posição dos municípios no ranking dos 772 municípios que compõem a Amazônia Legal e o crescimento do setor mineral em relação ao ano anterior. Como pode se observar, todos os municípios apresentados possuíam incidência acima de 10% em 31 de março de 2021.

Tabela 3: *Ranking* da incidência de Covid-19 entre os municípios mineradores mais afetados na Amazônia brasileira

Posição	Municípios mineradores (mais afetados)	População	Nº de casos	Nº de mortes	Taxa de Incidência	Crescimento do setor mineral
4	Vitória do Jari (AP)	15.931	3.639	18	22,84%	15,59%
6	Pedra Branca do Amapari (AP)	16.502	3.164	8	19,17%	4,44%
8	Canaã dos Carajás (PA)	37.085	6.888	64	18,57%	69,76%
11	Parauapebas (PA)	208.273	36.932	260	17,73%	32,76%
23	Presidente Figueiredo (AM)	36.279	5.608	88	15,46%	-1,92%
28	Ariquemes (RO)	107.863	15.973	325	14,81%	40,04%
34	Xambioá (TO)	11.540	1.613	19	13,98%	14,86%
58	Porto Velho (RO)	529.544	66.601	1.833	12,58%	110,53%
97	Tucumã (PA)	39.602	4.334	43	10,94%	260,26%
115	Curionópolis (PA)	17.929	1.859	22	10,37%	-85,15%

Fonte: MS (2021); IBGE (2020); ANM (2021).

A partir dos resultados apresentados, nota-se que a maior incidência de COVID-19 foi verificada nos municípios mineradores selecionados na Amazônia brasileira. O conjunto dos 33 municípios selecionados apresenta uma taxa média de 9,62%, com 4.322 óbitos e 216.403 casos de COVID-19 até 31 de março de 2021. Uma explicação possível para essa alta incidência pode estar relacionada com a manutenção das atividades econômicas, notadamente a mineração e outras atividades econômicas consideradas “essenciais” pelo governo brasileiro durante a pandemia as quais, portanto, foi autorizada a manter seus níveis de atividade laboral e interações sociais, o que merece uma investigação científica mais aprofundada.

Levando em conta a contribuição das atividades econômicas para o Valor Agregado Bruto municipal (VAB) nos 10 municípios apresentados na Tabela 3, as indústrias extrativas minerais e de transformação mineral apresentam as maiores participações em Pedra Branca do Amapari (AP), Canaã dos Carajás (PA), Parauapebas (PA), Presidente Figueiredo (AM), Xambioá (PA) e Curionópolis (PA), em ordem decrescente. Esses resultados ressaltam a importância econômica do setor de mineração nesses municípios, que estão entre os mais afetados pela COVID-19 na Amazônia Legal.

A Tabela 4 a seguir avalia a razão entre a soma dos casos acumulados de COVID-19 dos municípios selecionados e de outros municípios de mesma faixa populacional, para fins de comparação entre os diversos municípios da Amazônia Legal. Essa razão consiste na equiparação dos casos acumulados e taxas de incidência média entre dois grupos: (A) municípios mineradores selecionados; (B) demais municípios mineradores. Dessa forma, quando a razão for maior que 1, indica que há maior incidência de COVID-19 nos municípios selecionados (A) em comparação com os demais municípios na mesma faixa populacional (B).

Tabela 4: Comparação entre a taxa de incidência de COVID-19 dos municípios mineradores selecionados e demais municípios da Amazônia Legal por faixa populacional

Faixa populacional (habitantes)	Municípios mineradores selecionados		Demais municípios		Razão (A/B)
	Qtd. de municípios	Incidência de COVID-19 (A)	Qtd. de municípios	Incidência de COVID-19 (B)	
Acima de 500 mil	1	12.58%	6	6.32%	1.99
200 a 500 mil	2	10.41%	8	8.95%	1.16
100 a 200 mil	4	7.51%	21	6.17%	1.22
50 a 100 mil	4	6.40%	59	6.38%	1.00
20 a 50 mil	10	9.84%	189	5.80%	1.70
10 a 20 mil	10	10.62%	205	5.95%	1.78
Menos de 10 mil	2	6.41%	251	6.78%	0.94
TOTAL	33	9.62%	739	6.43%	1.50

Fonte: MS (2021); IBGE (2020), elaborado pelos autores.

A dinâmica epidemiológica da COVID-19 e as condições socioeconômicas locais, como a precária infraestrutura de saúde e saneamento, podem explicar alguns fatos relacionados a possíveis variações entre diferentes grupos populacionais. Os resultados previamente apresentados na Tabela 3 revelam altas taxas de incidência de COVID-19 nos municípios selecionados. No entanto, com base nos resultados apresentados na Tabela 4, verificou-se que existe um predomínio de taxas de incidência média de COVID-19 mais elevadas nos municípios selecionados em comparação com municípios semelhantes da Amazônia Legal. Em continuidade à apresentação do panorama geral da região amazônica, a Tabela 5 ilustra o comparativo da incidência de COVID-19 entre os estados da Amazônia brasileira e do Brasil.

Tabela 5: Comparativo da incidência média de COVID-19 no Brasil, Região Norte, Estados da Amazônia Legal e municípios mineradores selecionados com demais municípios da Amazônia

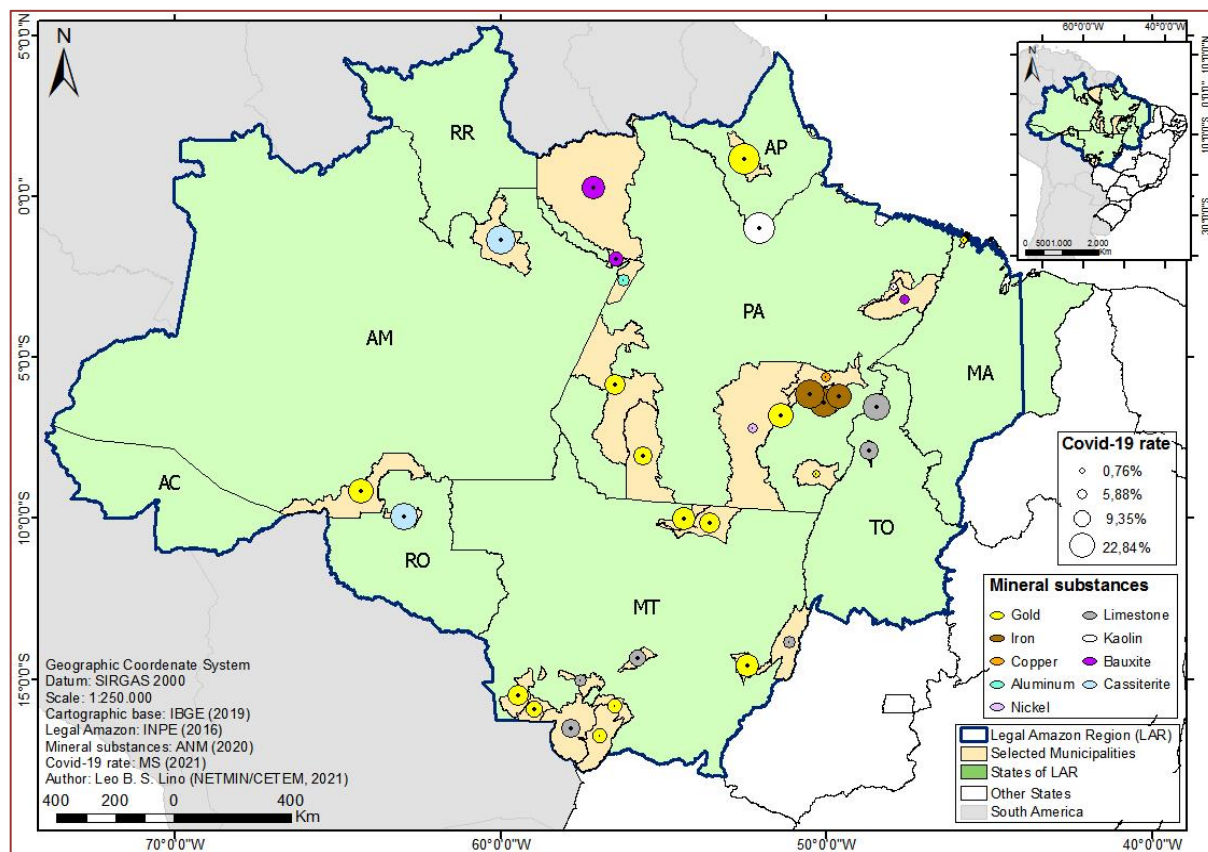
Território	Nº de casos	Incidência média
Brasil	12,991,148	6.13%
Região Norte	1,594,016	8.65%
Amazônia Legal	1,860,217	6.69%
Pará (PA)	417,523	4.85%
Mato Grosso (MT)	308,546	8.85%
Amapá (AP)	97,542	11.53%
Rondônia (RO)	187,270	10.54%
Tocantins (TO)	140,975	8.96%
Amazonas (AM)	349,123	8.42%
Maranhão (MA)	242,401	3.43%
Acre (AC)	69,657	7.90%
Roraima (RR)	89,525	14.78%
Amazônia sem os municípios selecionados	1,644,174	6.43%
Municípios Mineradores Selecionados	216,043	9.62%

Fonte: MS (2021).

Conforme pode ser observado nas tabelas apresentadas, as maiores taxas de incidência de Covid-19 nos municípios selecionados, em comparação com os estados e a região Norte, suscitam refletir sobre os impactos da COVID-19 nessas localidades. Percebe-se uma característica comum: a manutenção de uma atividade econômica significativa que foi considerada “essencial” pelo Governo Federal e que foi mantida durante a pandemia. Com base nas fontes de dados e métodos utilizados para uma avaliação comparativa desses importantes municípios da Amazônia Legal, sugere-se que é pertinente a ampliação de variáveis, levantamento de dados e sua harmonização com dinâmicas socioeconômicas, para uma compreensão mais abrangente desta questão. De forma a sugerir mais elementos para apoiar a tomada de decisões e futuras

pesquisas, a Figura 1 a seguir ilustra a localização dos municípios mineradores selecionados, os minerais mais produzidos em cada local da Amazônia Legal e a espacialização das taxas de incidência de COVID-19 (representadas no mapa pelo diâmetro do círculo ao redor dos municípios). Os círculos coloridos indicam onde as substâncias minerais são produzidas (a partir da arrecadação dos *royalties*).

Figura 1: Mapa da incidência de COVID-19 nos municípios mineradores selecionados da Amazônia Legal



Fonte: MS (2021); ANM (2020); IBGE (2020), elaborado e adaptado pelos autores.

A análise espacial do mapa apresentado ressalta duas concentrações de municípios com elevadas taxas de incidência de COVID-19: no sul do estado do Pará (PA), nas províncias mineradoras do Tapajós e Carajás (maiores localidades mineradoras do estado); e no sul do estado de Mato Grosso (MT), que se localiza na interseção com o bioma do Pantanal. Outro ponto que se destaca é a predominância do minério de ouro como a substância mineral mais explorada na Amazônia Legal. De forma geral, pode-se afirmar que a maioria dos municípios mineradores selecionados neste estudo detém título minerários ativos destinados a produção de ouro. Embora o minério de ferro ocupe uma posição de destaque, com o maior valor de produção mineral na Amazônia, a quantidade total de minas de ouro ativas totaliza 744 (operações ativas oficiais), enquanto o minério de ferro detém apenas três projetos ativos.

Ao longo do ano de 2020 a região da Amazônia Legal sofreu com um grande aumento na mineração ilegal de ouro. Em geral, esses empreendimentos ilegais são de pequeno porte, mas tencionam conflitos pré-existentes em Terras Indígenas e outras áreas protegidas, em virtude do aumento da violência, violação de direitos de povos e comunidades tradicionais e devido à sobreposição de territórios demarcados.

Alguns estudos revelaram o aumento das operações de mineração de pequena escala, foi responsável pelo crescimento de infecções em comunidades indígenas, como as de COVID-19 (Siqueira-Gay & Sánchez, 2021; Scarr, 2020). Outro estudo buscou elencar os casos de conflito nas Terras Indígenas ocupadas por atividades de mineração, focalizando o garimpo ilegal. Os resultados demonstraram que um total de 18 conflitos foram registrados, entre indígenas e mineradores e/ou mineradoras, por causa da COVID-19. Cartas abertas e petições foram dirigidas a órgãos nacionais e internacionais relatando o perigo que este

tipo de mineração ilegal representa na disseminação da doença em territórios indígenas (Wanderley et al., 2021).

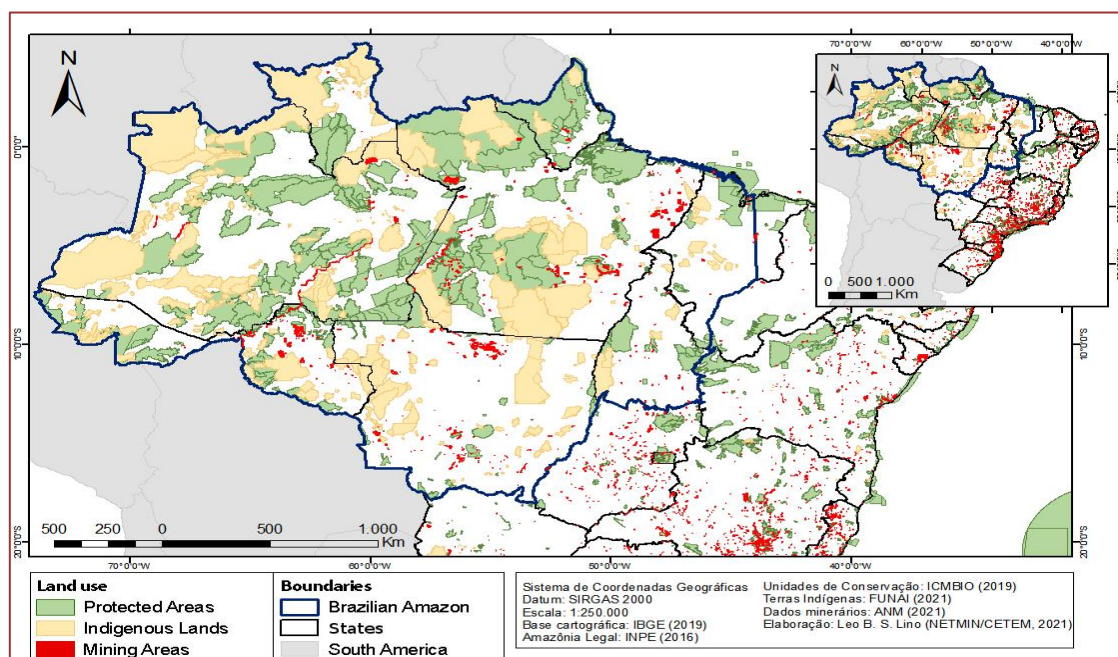
A revisão bibliográfica realizada com base em artigos científicos recentes revelou que os territórios que fazem parte da Amazônia Legal têm sofrido com o crescimento de disputas entre áreas especiais e a constante expansão dos garimpos; verificou-se que as atividades de mineração artesanal e de pequena escala tendem a aumentar a vulnerabilidade da população local (Hilson et al., 2021), especialmente na Amazônia brasileira (Scarr, 2020; Calvimontes et al., 2020). Outro ponto que merece destaque foi levantado por Wanderley et al. (2021), que encontrou nas TIs uma correlação entre o avanço da COVID-19 e a expansão da mineração artesanal ilegal.

Segundo Zvarivadza e Nhlekoa (2018), pode-se considerar que a mineração artesanal na Amazônia tende a alimentar a disseminação de doenças, devido à alta mobilidade dos trabalhadores envolvidos no setor; as comunidades tradicionais da região tem sofrido a elevação do índice de letalidade, em muitos casos, no tocante a Covid-19, pode ser devido ao não uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPI); adicionalmente, estes locais sofreram diversos tipos de abuso dos direitos humanos e com a falta de segurança combinada ao aumento da violência.

Ambientalmente, essas atividades mencionadas acima causaram na região diversos tipos de problemas, como a poluição da água, incluindo envenenamento por mercúrio e cianeto, e a degradação dos solos. Em termos econômicos, a região sofre com a baixa adoção de tecnologias eficientes e ambientalmente responsáveis, cujo planejamento de curto prazo e os problemas normalmente associados à corrida mineral causam. A pandemia iluminou esses problemas e os intensificou na região, evidenciando que o setor precisa de melhores práticas e maior regulamentação. Todas essas questões devem ser melhor avaliadas.

Tendo em vista as questões identificadas neste levantamento bibliográfico, a presente estudo buscou realizar uma análise espacial entre a atividade de mineração legal, a partir de dados oficiais, analisando a concentração de áreas urbanas com alta incidência de COVID-19 na Amazônia brasileira, focalizando a identificação de áreas onde existe uma sobreposição de atividades minerárias com Terras Indígenas e Unidades de Conservação. O resultado deste mapeamento está apresentado na Figura 2.

Figura 2: Unidades de Conservação, Terras Indígenas e áreas destinadas à mineração no território da Amazônia Legal



Fonte: IBGE (2018); INPE (2016); ICMBio (2019); FUNAI (2021); ANM (2020), elaborado pelo Núcleo de Estudos em Território, Mineração, Sustentabilidade e Desenvolvimento (NETMIN/CETEM).

Na Figura 2, as áreas em vermelho destacadas no mapa revelam localidades onde há uma concentração de áreas de mineração, próximas ou sobrepostas a Terras Indígenas e/ou Unidades de Conservação, entre as quais também se destacaram as regiões apontadas no mapa da Figura 1, as províncias mineradoras do Tapajós e Carajás no estado do Pará e no Sul do estado do Mato Grosso. Além dessas áreas, verificou-se que na região de divisa entre os estados de Rondônia e Amazonas, predomina uma sobreposição de Áreas Protegidas, tanto de Unidades de Conservação como Terras Indígenas, e grande concentração de áreas destinadas à mineração, em especial garimpos legais na bacia do rio Madeira. Esta área está próxima ou contida no território de dois municípios mineradores selecionados, Porto Velho (RO) e Ariquemes (RO), que estão entre os municípios avaliados com as mais altas taxas de COVID-19, conforme anteriormente apresentado na Tabela 3.

No tocante a questão dos óbitos por COVID-19, verificou-se que a taxa de mortalidade (número de óbitos sobre a população) para o Brasil foi de 0,152%, enquanto os municípios mineradores selecionados apresentaram uma taxa de 0,192%, entre 01 de março de 2020 e 31 de março de 2021. Apesar de estudo realizado pela FIOCRUZ indicar que há possibilidade de subnotificação de óbitos por COVID-19 no Brasil e em especial na Região Norte (Orellana et al., 2021), deve-se considerar que os dados oficiais de casos acumulados, utilizados neste estudo apontam para a gravidade da situação na região. Neste sentido, pode-se observar que entre os municípios mineradores selecionados, as maiores taxas de mortalidade foram registradas em Porto Velho (RO), com 0,346%; Pontes e Lacerda (MT), com 0,337%; e Porto Esperidião (MT), com 0,316%. Por outro lado, a taxa de letalidade da COVID-19 no Brasil (número de óbitos sobre o número de casos registrados) ficou acima da taxa média dos municípios selecionados. No entanto, a taxa de letalidade de nove desses municípios estava acima da média nacional, com destaque para a taxa de letalidade em Juruti (PA) em 15,56%, Porto Esperidião (MT) em 4,66% e Pontes e Lacerda (MT) em 3,60%.

Em continuidade a avaliação socioeconômica dos municípios mineradores selecionados na Amazônia Legal, as informações contidas no Índice IFDM revelaram um desempenho de moderada a baixa nos indicadores de condições de vida destes municípios. Com base no IFDM, nota-se que: (i) a maioria dos municípios tem pontuação 'moderada' (de 0,6-0,8) no quesito IFDM geral (22 municípios), enquanto os demais obtiveram pontuação 'regular' (de 0,4-0,6 – 11 municípios); (ii) entre os municípios com maior incidência de COVID-19, destacam-se os municípios rurais remotos de Pedra Branca do Amapari (AP) e Vitória do Jari (AP), os quais detêm pontuações 'regulares' (0,5230 e 0,5562, respectivamente); e (iii) Tucumã (PA) também se destacou com "regular" no IFDM Geral e pontuação "baixa" no IFDM Saúde, além de uma elevada taxa de incidência de COVID-19 (10,94%) (IFDM, 2018).

Outra observação que merece destaque se refere ao desempenho da mineração no período 2019-2020, no qual a produção mineral brasileira cresceu 35%, com base na arrecadação de *royalties* (CFEM), enquanto que na Amazônia Legal o crescimento foi de 69%, o que representa quase o dobro da taxa média nacional. Estendendo essa análise aos municípios selecionados e considerando aqueles cujo principal produto mineral é o ouro, em 14 dos 33 municípios avaliados, observou-se que o crescimento médio do setor extrativo mineral no mesmo período foi de 123,94%, o que representa 1,8 vezes a média da Amazônia Legal e 3,5 vezes a média nacional. O maior crescimento em relação ao ano anterior foi registrado em Novo Progresso (PA) com 304,27% (PA). Ao considerar os 10 municípios com maiores taxas de incidência de COVID-19 (ver Tabela 2), Tucumã (PA) e Porto Velho (RO), cujo principal produto é o minério de ouro, verificaram-se crescimentos significativos de 110,53% e 260,26%, respectivamente, entre 2019 e 2020.

Por fim, ao analisar a variação de empregos, o setor da indústria extrativa mineral e de processamento mineral (indústria de transformação mineral), o desempenho da Amazônia brasileira foi superior ao restante do país. Na indústria extrativa mineral da Amazônia, o emprego aumentou em média 9,0% em 2020 e 5,93% no primeiro trimestre de 2021, enquanto na indústria de transformação mineral cresceu em média 7,2% em 2020 e 9,7% no primeiro trimestre de 2021. Esse crescimento na variação de empregos foi acima da média da indústria extrativa mineral no país, que alcançou o patamar de 2,1% em 2020 e 2,37% no primeiro trimestre de 2021, e também acima da média da indústria de transformação mineral no Brasil, que foi de 3,64% em 2020 e 4,39% no primeiro trimestre de 2021 (PDET, 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou evidenciar que há uma possível relação entre a manutenção das atividades de extração mineral nos municípios mineradores selecionados da Amazônia Legal, com base em dados oficiais do Ministério da Saúde, onde foi analisado, em paralelo, indicadores socioeconômicos e de condições de vida locais, além de uma revisão bibliográfica de artigos científicos sobre conflitos e análises

espaciais na região amazônica. A análise dos resultados aqui relatados pode ser resumida nos seguintes tópicos:

- (i) Entre os 772 municípios que compõem a Amazônia Legal, os municípios mineradores selecionados apresentaram uma maior incidência de infecção por COVID-19.
- (ii) Em geral, foi verificada uma proporção maior de casos de COVID-19 nos municípios mineradores selecionados do que em outros da Amazônia que estão na mesma faixa populacional.
- (iii) Do ponto de vista do valor da produção mineral, com base nos *royalties* arrecadados, os municípios selecionados apresentaram um crescimento da arrecadação que corresponde a quase o dobro da média de todo o setor de mineração no Brasil.
- (iv) Entre os municípios com maior crescimento na arrecadação em relação ao ano anterior, os produtores de ouro apresentaram as maiores taxas de crescimento (em média, 3,5 vezes superior à média nacional).
- (v) Os municípios mineradores cuja principal produção é o ouro, em geral, apresentaram altas taxas de incidência de COVID-19 durante o período de estudo analisado.

Os resultados apontados neste estudo ressaltam a importância da adoção práticas mais rigorosas para os indivíduos que trabalham, de acordo com as recomendações preventivas de enfrentamento da COVID-19 estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (ONU, 2020). No contexto da Amazônia brasileira, verificou-se que a incidência de COVID-19 na região está entre as mais altas do país e devido à gravidade da situação nas regiões mineradoras, várias empresas que atuam na extração de minerais têm sido fortemente criticadas e até mesmo alvo de ações judiciais (Wanderley et al., 2021).

Para as “atividades essenciais” pactuadas em Lei, como é o caso da mineração, algumas das medidas necessárias para mitigar o problema incluem testagem periódica, monitoramento de casos e vacinação prioritária de todas as pessoas que trabalham nesse setor, direta ou indiretamente. Dessa forma, mesmo que as empresas mineradoras contribuam para a adoção desses procedimentos, mais atenção e esforços devem ser efetuados pelo poder público, dado a gravidade da situação na região da Amazônia. Atenção prioritária deve ser dada às Terras Indígenas que se sobrepõem às Áreas de Mineração (Oliveira et al. 2021).

Embora os dados analisados demonstrem que os maiores municípios mineradores da Amazônia brasileira apresentam uma maior incidência média de COVID-19 do que outros municípios da região Norte e do Brasil, não se pode afirmar conclusivamente apenas com esses dados que a mineração tem sido o principal fator por trás desta elevada incidência. As informações apresentadas, contudo, revelam a susceptibilidade da região à COVID-19 e a necessidade de ampliar a coleta e análise de dados sobre o funcionamento das atividades econômicas para esclarecer questões de infraestrutura de saúde na Amazônia brasileira.

Especialmente no contexto da Amazônia, o desenvolvimento de um conjunto de indicadores fidedignos e o seu monitoramento responsável não são apenas vitais para os tomadores de decisão, mas também contribuem a melhoria dos indicadores de desenvolvimento no alcance das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no longo prazo (ONU, 2020; 2016). Para a continuidade desta pesquisa, é importante ampliar o seu escopo a fim de incluir dimensões adicionais, como infraestrutura de saúde (incluindo comunidades indígenas), sistemas de transporte e dependência econômica da mineração e atividades relacionadas no nível local/municipal.

Os resultados aqui relatados e o aprimoramento da pesquisa com a inserção de um conjunto de variáveis para uma avaliação mais ampla pode contribuir para a elaboração de recomendações para tomadores de decisão e governos locais de municípios mineradores.

REFERÊNCIAS

- [1] ACUÑA, R.M. (2015). The politics of extractive governance: indigenous peoples and socio-environmental conflicts. *The Extractive Industries and Society*, 2(1):85-92.
- [2] ANGELO, Maurício. (2020). Mais vulneráveis à Covid-19, terras indígenas com povos isolados também são alvo de mineradoras e garimpeiros. *Observatório da Mineração*. 31 jul. 2020. Available at: <<https://observatoriodamineracao.com.br/mais-vulneraveis-a-covid-19-terras-indigenas-com-povos-isolados-tambem-sao-alvo-de-mineradoras-e-garimpeiros/>>. Accessed on Apr. 19th, 2021.
- [3] ANM – Agência Nacional de Mineração (2020). CFEM Collection System. [Online]. Available at: <https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/cfem/maiores_arrecadadores.aspx>. Accessed on Jul. 10th, 2020.
- [4] BRASIL (2020a). Law No. 13.979, from Feb. 6th2020, provides coping measures for the coronavirus pandemic. Brasília: Presidência da República.
- [5] BRASIL (2020b). Decree No. 10.282, from March 20th 2020, provides for public services and essential activities. Brasília: Presidência da República.
- [6] BRASIL (2020c). Decree No. 10.329, From Abril 28th2020, amends Decree No. 10,282 and regulates Law No. 13,979. Brasília: Presidência da República.
- [7] BRASIL (2020d). Ordinance No. 135 / GM, from March 28th 2020, provides for the attributions of the mineral activity as essential. Ministério de Minas e Energia-MME. Brasília: MME.
- [8] BRASIL (2017). Law No. 13.540, from Dec. 27th2017, provides for the Financial Compensation for the Exploitation of Mineral Resources (CFEM). Brasília: Senado Federal. 2017.
- [9] CALVIMONTES J., MASSARO L., ARAUJO C.H.X., MORAES R.R., MELLO J., FERREIRA L.C. (2020). Small-scale gold mining and the Covid-19 pandemic: conflict and cooperation in the Brazilian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, 7(2020):1347-1350.
- [10] CRODA, J., OLIVEIRA, W.K., FRUTUOSO, R.L., et al. (2020). COVID-19 in Brazil: advantages of a socialized unified health system and preparation to contain cases. *Rev Soc Bras Med Trop*, 53(e20200167).
- [11] GÓES, Geraldo S., CARDOSO, Daniel M., SENA, José A., REYMÃO, Ana E.N., BEGOT, Ligia H., RODRIGUES, Cinthia P. (2020). Macroeconomia ambiental e pandemia: impactos da Covid-19 no setor mineral. *Carta de Conjuntura/IPEA*, n. 5 (4th quarter).
- [12] HILSON, G., VAN BOCKSTAEL, S., SAUERWEIN, T., HILSON, A., Mcquilken, J. (2021). Artisanal and small-scale mining, and COVID-19 in sub-Saharan Africa: A preliminary analysis. *World Development*, 139, art. no. 105315.
- [13] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Municipal population estimate. [online]. SIDRA / IBGE. Available at: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Accessed on: Jul. 10, 2020.
- [14] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Gross Domestic Product of Municipalities. [online]. SIDRA/IBGE.
- [15] IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Setor Mineral - 2^o trimestre 2020. [online]. IBRAM. 21 de julho de 2020. Available at: <<http://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2020/07/ppt-final-completo-site-e-portal.pdf>>. Accessed on: Aug. 1, 2020.
- [16] IFDM – FIRJAM Municipal Development Index. (2018). [online]. Available at: <<https://www.firjan.com.br/ifdm/>>. Accessed on: Apr. 4th, 2021.
- [17] FMI – International Monetary Fund. (2020). Primary Commodity Pricing System. Access to IMF macroeconomic and financial data. [online]. Available at: <<https://data.imf.org/?sk=471DDDF8-D8A7-499A-81BA-5B332C01F8B9>>. Accessed on: Maio 27, 2021.
- [18] LAING, Timothy. (2020) The economic impact of the coronavirus 2019 (Covid-2019): implications for the mining industry. *The Extractive Industries and Society*, 7(2020): 580-582.
- [19] LOAYZA, Norman V., PENNINGS, Steven. (2020). Macroeconomic Policy in the Time of COVID-19: A Primer for Developing Countries. *Research and Policy Briefs*, No. 28. Washington: Banco Mundial.
- [20] MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional. (2019). PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília: Ministry of Regional Development, National Sanitation Secretariat. Available at: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf>. Accessed on: Sep. 6, 2021.
- [21] MS – Ministério da Saúde. (2021). Painel Coronavírus. [online]. Available at: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Accessed on: Jun. 1, 2021.

- [22] MS – Ministério da Saúde. (2020). Notas metodológicas. [Methodological Notes]. Painel Coronavírus. 2020. Available at: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Accessed on: Jul. 9, 2020.
- [23] OLIVEIRA U., SOARES FILHO B., OVIEDO A., MOREIRA T., CARLOS S., RICARDO J., PIAZ A. (2020). Modelagem da vulnerabilidade dos povos indígenas no Brasil ao Covid-19. [In press]. Nota técnica do Instituto Socioambiental (ISA) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Available at: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nota_tecnica_modelo_covid19.pdf>. Accessed on: sep. 6, 2021.
- [24] PDET – Programa de Divulgação das Estatísticas de Trabalho.(2020). Painel de Informações do Novo CAGED. [online]. Ministério do Trabalho. Available at: <<http://pdet.mte.gov.br/novo-caged>>. Accessed on: Jul. 7, 2020.
- [25] SCARR, Simon. (2020). Amazon gold rush: illegal mining threatens Brazil's last major isolated tribe. Reuters. Available at: <<https://www.reuters.com/article/us-brazil-indigenous-mining-insight-idUSKBN23W2W0>>. Accessed on: Jul. 25th, 2020.
- [26] SIQUEIRA-GAY, Juliana, SÁNCHEZ, Luis E. (2021). The outbreak of illegal gold mining in the Brazilian Amazon boosts deforestation. *Regional Environmental Change*, 21(28).
- [27] SISCOMEX (2020). Sistema Integrado de Comércio Exterior. Comex Stat. Available at: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/16168> Accessed on: 20 Jan. 2021.
- [28] UN – United Nations. (2020). Progresso em direção às metas de desenvolvimento sustentável. [e/2020/57]. Conselho Econômico e Social.
- [29] UN – United Nations. (2016). The Sustainable Development Goals Report 2016. New York: United Nations.
- [30] UNDP – United Nations Development Program; Columbia University et al. (2017). Mapping Mining to the SDGs: An Atlas. New York: UNDP. 2017. Available at: <https://www.undp.org/content/dam/undp/library/Sustainable%20Development/Extractives/Mapping_Mining_SD_Gs_An_Atlas_Executive_Summary_FINAL.pdf> Accessed on: Jul. 15, 2020.
- [31] UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. (2020). World Investment Report 2020 – International production beyond the pandemic. Nova York: UNCTAD. pp. 46-50. Available at: <https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2020_en.pdf>. Accessed on: Jun. 1, 2020.
- [32] WANDERLEY, L.J.; ZUCARELLI, M. C.; FARIAS, M. C. (2021). Essencialidade forjada e danos da mineração na pandemia da Covid-19 [online]. Available at: <http://emdefesadosterritorios.org/wp-content/uploads/2021/08/1_Publicacao_Minerao_Covid_2021_.pdf>. Accessed on: Sep. 11, 2021.
- [33] WORLD BANK. (2020). O impacto da pandemia de COVID-19 na economia brasileira: preservando a vida e o sustento. [online]. Available at: <<https://blogs.worldbank.org/pt/latinamerica/o-impacto-da-pandemia-de-covid-19-na-economia-brasileira-preservando-vida-eo-sustento>>. Accessed on: May 15, 2020.
- [34] ZVARIVADZAA, T., NHLEKOA, A.S. (2018). Resolving artisanal and small-scale mining challenges: Moving from conflict to cooperation for sustainability in mine planning. *Resources Policy*, 56(2018): 78-86.

Capítulo 6

Diagnóstico do saneamento rural na Comunidade de Valéria localizada no município de Catas Altas-MG

Jocilene Ferreira da Costa

Jean Aparecido Viegas

Anna Carolina Simões

Fabília Nunes de Jesus

Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia

Resumo: O saneamento básico de acordo com a Lei no 11.445/2007 é um conjunto de serviços, infraestrutura e instalações que envolvem o abastecimento de água, tratamento de esgotos, manejo de resíduos sólidos (RS) e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. O saneamento básico está entre os mais importantes fatores sociais que são determinantes na área da saúde e do desenvolvimento regional. A inadequada prestação desses serviços podem gerar sérios problemas ambientais, tais como poluição dos solos e das águas, afetando assim a saúde pública, sendo as populações rurais as que mais sofrem. Assim a presente pesquisa buscou caracterizar a situação do saneamento básico na comunidade de Valéria em Catas Altas/MG. Foram realizadas visitas *in loco* e registro fotográficos, identificando as deficiências nas estruturas de saneamento e metodologias participativas como, aplicação de questionário em 30 residências, entrevistas informais com moradores e gestores municipais, afim de coletar informações relativas as questões sanitárias, investimentos na área. Observou-se que 23% utilizam cisternas, 47% poços artesianos e 30% nascentes como fonte de abastecimento, e que estas necessitam de melhoria em suas infraestruturas, algumas residências fazem uso compartilhado com animais e/ou utilizam na produção de hortaliças. Na disposição de esgoto dos sanitários, 97% utilizam fossa negra, 3% fossa séptica, já os esgotos da cozinha e lavanderia há situações de lançamentos em rios e quintais. Das casas pesquisadas 87% os moradores alegaram não ter o serviço de coleta contínuo de RS, quando ocorre a recolha municipal 67% dos domiciliares realizam a segregação e 70% dos resíduos não coletados são queimados. Através da análise dos dados coletados, verificou-se a necessidade de ações melhorias do saneamento rural, para evitar, por exemplo, problemas de saúde aos moradores e também ambientais.

Palavras-chave: Saneamento Rural; Tratamento de Água e Esgoto; Resíduos Sólidos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil enfrenta sérios problemas com relação ao crescimento desenfreado da população, e a má distribuição demográfica das pessoas, das comunidades. De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD (BRASIL, 2015) a maior parte da população brasileira, 84,72%, vive em áreas urbanas, e 15,28% dos brasileiros vivem em áreas rurais. Esse processo de êxodo rural teve início nas décadas de 1970 e 1980, na qual as máquinas da produção agrícola expandiram, necessitando de mão de obra qualificada e expulsou trabalhadores do campo que se deslocaram para as cidades em busca de oportunidades de trabalho e melhores condições de vida (IBGE EDUCA, 2018).

De acordo com a Fundação Nacional da Saúde - Funasa, (2011) a população rural brasileira é marcada por uma diversidade cultural, econômico e pelas suas características próprias regionais. São raças, origens étnicas, religiões, sistemas de produções de rendas, atividades de segmentos sociais e econômicos que define e se desenvolve em cada comunidade. Uma outra particularidade sobre comunidades rurais no Brasil, é que a distribuição pelo país, apresenta um aspecto de concentração em algumas regiões. De acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010) são cerca de 29,8 milhões de pessoas que vivem em áreas rurais no país, o que representa aproximadamente 8,1 milhões de domicílios, sendo que quase a metade está distribuída em apenas cinco Estados (Bahia, Minas Gerais, Maranhão, Pará e Ceará).

De acordo com o Sistema Único de Saúde –SUS (Brasil, 2011), os gastos com o tratamento de doenças ligadas à falta de higiene chegam a R\$ 300 milhões por ano. Estudos realizados pela Fundação Getúlio Vargas – FGV divulgado pelo instituto Trata Brasil (2010) apontam uma estimativa de que as internações hospitalares poderia ser reduzido em 25% e a mortalidade em 65% caso as estruturas do saneamento fossem acessíveis. As mais afetadas são as crianças, pois pesquisadores estimam que cerca de 65% das internações pelo SUS de crianças com menos de 10 anos são provocadas de doenças de veiculação hídrica (FUNASA, 2011).

Desde os tempos remotos que a sociedade mundial preocupa com a relação entre saúde e saneamento e esta vem aumentando devido à evolução e ao desenvolvimento socioeconômico nas esferas governamentais e das organizações internacionais (CEGRAF UFG, 2020). Porém para analisar e conhecer as ações das áreas rurais, com todas as suas definições e peculiaridades, são necessárias implementações de políticas públicas bem como e as compreensões das principais competências dos gestores e dos prestadores de serviços relacionadas ao saneamento básico rural.

Outro fator comum são de parcela da população vivendo em áreas rurais, sem muitas condições ou com baixo grau de instruções. Sem infraestrutura do saneamento básico, a população rural em sua maioria, lançam os esgotos diretamente nos rios, lagos ou mesmo no solo nas proximidades das suas casas, tendo como consequência a degradação do meio ambiente, além de trazer riscos à saúde, piorando a contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, gerando sérios problemas ao próprio ambiente em que vivem, (TONETTI; FILHO; BERTONCINI; OLIVEIRA; STEFANUTTI, 2010).

Nesse contexto, este trabalho se baseia em diagnosticar os principais impactos socioambientais negativos, relacionados com saneamento básico na comunidade de Valéria, localizada em Catas Altas/MG, bem como propor forma de conscientizar e garantir melhores condições de vida e saúde para as populações que reside nesta área rural.

2. METODOLOGIA

O trabalho apresenta-se como uma pesquisa aplicada da comunidade rural da Valéria no município de Catas Altas-MG, um estudo de caso do sistema de abastecimento de água, esgotamento sanitário e destinação dos resíduos sólidos gerados, para obter dados e propor possíveis soluções, sistemas utilizados na região e os impactos ambientais. O presente trabalho foi desenvolvido nas seguintes etapas:

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE SANEAMENTO BÁSICO

Foi desenvolvida uma pesquisa para caracterizar o sistema de saneamento na comunidade rural da Valéria, que fica situada a 12 km de Catas Altas/MG, bem como as características detalhadas dos sistemas de águas e esgotos, além da destinação dos resíduos sólidos. Foram realizadas visitas *in loco* e registros fotográficos das características das instalações físicas e condições das estruturas sanitárias e investimentos no serviço do saneamento básico na comunidade. Aplicou-se questionário em 30 (trinta) residências, entrevistas informais com moradores e gestores municipais. No sistema de abastecimento de

água, foi analisado desde a captação, como equipamentos, origem, seus estados de conservação e a qualidade da água para consumo humano.

Já no sistema de esgotamento sanitário, investigou-se a forma de coleta e tratamento, e suas condições atuais. No que diz respeito aos resíduos sólidos, realizou-se um levantamento do tipo de resíduo gerado pela comunidade, o tratamento e destino final. Foram realizadas visitas *in loco* para as pesquisas e registro fotográfico das características físicas e condições que se encontram.

2.2. ESTUDOS ECONÔMICOS DO SANEAMENTO

Em conjunto com as pesquisas em campos, foram analisadas formas de investimentos na infraestrutura de saneamento na comunidade em estudo. Buscando verificar as necessidades atuais das residências na região relativas às ao saneamento básico.

2.3. ESTUDOS AMBIENTAIS E SOCIAIS DO SANEAMENTO

Na área ambiental e social, foram pesquisadas as ocorrências ambientais com relação direta e indireta com o processo de tratamento de água e esgoto, e destinação correta dos resíduos sólidos, por exemplo, investigou-se as doenças por veiculação hídricas relacionadas nas qualidades das águas de abastecimento entre outros fatores que causam impactos na comunidade.

2.4. CONSCIENTIZAÇÕES DA SOCIEDADE

Posterior a coleta de todas informações e dados obtidos pela pesquisa, foi realizada a sensibilização da comunidade com ressaltando a importância do desenvolvimento sustentável e os impactos ambientais que podem ser gerados. Propondo a população e aos gestores, meios viáveis para precauções e investimentos para as necessidades encontradas, relacionando os pilares ambientais, sociais e econômicos pesquisados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa teve como finalidade, investigar os principais impactos socioambientais negativos, relacionados com a falta de saneamento básico na comunidade de Valéria, localizada em área rural no município de Catas Altas/MG (Figura 1).

Figura 1 – Localização da Comunidade de Valéria/MG



Fonte: Google Earth, 2019.

Para tal, buscou-se conhecer melhor a área pesquisada com visitas *in loco*, realizando também mapeamento e descrição dos locais de abastecimento de água, lançamento de esgoto doméstico e destinação de RS, obtendo dados sobre estas infraestruturas. Para a caracterização do sistema de saneamento básico, foram aplicados questionários e registros fotográficos em 30(trinta) residências, identificando-se a carência de tratamento de água, algumas residências não possui canal para captação adequada e faz uso compartilhado com animais e/ou utilizam para regar as hortaliças (Figuras 2 a, b).

Figura 2 – a) Animais na área de captação de água; b) Captação de água de nascente



(a)



(b)

Fonte: Acervo próprio, 2019.

Quanto ao destino e tratamento do esgoto, somente 3% das residências possuem fossa séptica e as outras 97% fossa negra, há situações de lançamentos em rios e quintais (Figuras 3 a, b). Identificou-se o descarte incorreto dos RS gerados, pois 87% das casas pesquisadas alegaram não ter o serviço de coleta, quando ocorre a coleta 67% realizam a segregação e 70% dos resíduos não coletados são queimados.

Figura 3 – a) Esgoto a céu aberto; b) Fossa negra



(a)



(b)

Fonte: Acervo próprio, 2019.

Larsen (2010), estudando o saneamento rural na Comunidade Colônia Figueiredo – Campo Largo/PR, encontrou satisfação por parte da população local nas questões relativas a qualidade e disponibilidade de água, porém semelhante ao que foi observado na Comunidade de Valéria, o mesmo autor (2010) observou que as pessoas da área estudada, não tinham informações sobre o saneamento, tais como,

construção e operação de fossas sépticas, sumidouros, distanciamento entre poço e fossa, dentre outras ações que a garantem a potabilidade da água de consumo humano.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho permitiu identificar que a situação atual do saneamento na comunidade que podem trazer impactos negativos ao meio ambiente e riscos à saúde da população local, mostrando que é necessária uma melhoria nos serviços prestados, trabalho de preservação ambiental, instruções sobre formas de tratamento da água e esgoto e separação e descarte correto dos resíduos sólidos. Espera-se que as informações venham contribuir para uma nova gestão dos serviços de água, esgoto, resíduos sólidos na comunidade estudada.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Instituto Brasileiro De Geografia e Pesquisa. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD, 2015. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/saude/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=o-que-e>>. Acesso: 24 de mar. 2022.
- [2] BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. O desafio de universalizar o Saneamento Rural, Boletim Informativo Publicação da Fundação Nacional de Saúde - Dezembro de 2011- Edição nº 10. Disponível em: < http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/blt_san_rural.pdf>. Acesso: 24 de mar. 2022.
- [3] BRASIL. Instituto Brasileiro De Geografia e Pesquisa. Censo, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/l/>>. Acesso: 24 de mar. 2022.
- [4] BRASIL. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08.01.2007.
- [5] Curso de especialização de saneamento e saúde ambiental: saneamento básico rural. [Ebook] / Organizadores Paulo Sérgio Scalize, Nolan Ribeiro Bezerra. – Goiânia: CEGRAF UFG, 2020.
- [6] TONETTI, A. L., FILHO, B. C., BERTONCINI, E. I., OLIVEIRA, R. A., STEFANUTTI, R. Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, p.227-234, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, 2010.
- [7] LARSEN, D. Diagnóstico do saneamento rural através de metodologia participativa. Estudo de caso: bacia contribuinte ao reservatório do Rio Verde, região metropolitana de CuritibaPR. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2010.

ANEXO I

INFORMAÇÕES GERAIS

1. Qual o tipo de residência?

- A. Casa própria
- B. Alugada
- C. Funcionário/caseiro
- D. Outros. Qual _____

2. Nível de escolaridade no grupo familiar? (nº pessoas)

- A. ____ Sem Escolaridade
- B. ____ Ensino Fundamental
- C. ____ Ensino Médio
- D. ____ Ensino Superior
- E. Não Sei Informar

3. Qual a função do principal sustento da família?

- A. Trabalho rural/ Autônomo
- B. Agricultor
- C. Apicultor
- D. Pecuário
- E. Vinhateiro
- F. Carvoeiro
- G. Outros. Qual? _____

CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA

4. Qual o tipo de captação de água na residência?

- A. Água de chuva
- B. Fontes (nascentes)
- C. Poços Artesianos
- D. Cisternas
- E. Mananciais superficiais
- F. Outros. Qual _____

5. Em sua opinião, a água que chega à sua residência é de boa qualidade?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

6. Quais os problemas que a água apresenta?

- A. Cor
- B. Gosto
- C. Odor (Cheiro)
- D. Sujeira
- E. Outros.
- F. Não possui

7. Em sua casa chega água toda dia?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

8. Se não, quantas vezes por semana?

- A. 1 vez
- B. 2 vezes
- C. 3 vezes
- D. 4 ou 5 vezes
- E. Não sei

9. Qual (is) o(s) motivo(s) do(s) racionamento(s)?

- A. Problema de secagem/estiagem
- B. Problema na captação de água
- C. Outros. Qual _____

10. Em sua casa existe caixa d' água (reservatório)?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

11. Qual o volume de água consumida em litros por dia?

- A. até 100L
- B. 100L até 500L
- C. 500L até 1000L

- D. 1000 até 2000L
- E. Acima de 2000L
- F. Não sei

12. Há estação de tratamento de água na comunidade rural?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

13. Algum órgão do município já coletou amostra para análise da água em sua residência?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

TRATAMENTO E DESTINO DO ESGOTO

14. Quais os tipos de esgoto existente?

- A. Esgoto Doméstico
- B. Esgoto Pluvial
- C. Esgoto Industrial

15. Você sabe para onde o esgoto é levado, se é tratado ou se é lançado diretamente em algum rio?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

16. Existem locais próximos à sua casa com esgoto lançado em locais inadequados?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

17. Em sua casa você se sente incomodado com mau cheiro de esgoto?

- A. Sim
- B. Não
- C. Não sei

18. Existe tratamento de esgoto na sua casa?

- A. Sim. Qual tipo_____
- B. Não

19. Usa o corpo receptor de esgoto?

- A. Abastecimento de água
- B. Irrigação
- C. Recreação
- D. Outros. Qual_____
- E. Não tem uso

20. Existe serviço de atendimento público ao tratamento e destinação de esgoto na comunidade?

- A. Sim
- B. Não

COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

21. O município realiza o serviço de limpeza/ ou coleta de lixo?

- A. Sim
- B. Não

22. O município cobra pelo serviço de limpeza / ou coleta de lixo?

- A. Sim
- B. Não

23. Vocês moradores realizam a separação de lixos/ entulhos para a coleta?

- A. Sim
- B. Não

24. O órgão municipal realiza o serviço de limpeza/ coleta de lixo com qual frequência?

- A. Uma vez por semana
- B. Duas vezes por semana
- C. Mais de duas vezes por semana
- D. Uma vez há cada 15 dias
- E. Duas vezes a cada 15 dias
- F. Uma vez por mês
- G. Todos os dias
- H. É irregular

25. Quais são os serviços prestados pelo órgão municipal em sua residência?

- A. Limpeza no espaço rural
- B. Coleta de lixo
- C. Reciclagem
- D. Remoção de entulho
- E. Coleta seletiva de lixo especial
- F. Tratamento/ ou disposição final
- F. Outros. Qual_____

26. Existe próximo a sua casa terrenos baldios com resíduos sólidos (lixo)?

- A. **Sim**
- B. **Não**
- C. **Não sei**

29. Se o resíduo sólido (lixo) não é coletado, qual é o destino?

- A. Queimado
- B. Enterrado
- C. Levado para caçamba
- G. Outros. Qual_____

Capítulo 7

Balanço hídrico em um município do semiárido em anos de El Niño e La Niña forte

Felipe Jeferson de Medeiros

Anderson Flávio Silva de Queiroz

João Vinícius Cruz Barbosa

Ruan Otavio Teixeira

Rafaela dos Santos Gomes

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do balanço hídrico no município de Cruzeta localizado no estado do Rio Grande do Norte em anos de ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña forte. Para o cálculo do balanço hídrico climatológico, foram utilizados os dados constantes das Normais Climatológicas do período de 1961 a 1990, enquanto que para o balanço hídrico sequencial foram utilizados os dados meteorológicos mensais da temperatura média do ar e precipitação, obtidos da estação convencional de Cruzeta-RN, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (NMET), durante o período de 1994 a 2014. O método utilizado foi o proposto por Thornthwaite & Mather. Os resultados indicaram que a precipitação anual durante o evento de El Niño forte (1997/1998) foi 26,5% inferior aos respectivos valores observados no evento de La Niña forte (2007/2008), e 32% inferior em relação a normal climatológica. Mostraram também que nos anos de ocorrência de La Niña a precipitação pluviométrica é superior a climatologia em apenas 13 mm na época chuvosa (janeiro a maio) e inferior 113 mm na época seca (junho a dezembro). Com relação ao déficit hídrico foi observado que mesmo em anos de La Niña forte predomina no município de Cruzeta-RN déficit hídrico durante todos os meses dos anos, com exceção dos meses de março e abril de 2008. Em anos de El Niño essa situação tende a ser ainda pior. Esse comportamento de déficit hídrico predominantemente em todos os meses do ano, seja em ano de El Niño e La Niña forte, evidencia ainda mais a característica semiárida da região, com elevadas taxas de evapotranspiração potencial. Como consequência desse déficit hídrico, constatou-se que o solo utiliza a capacidade de armazenamento para fornecer umidade pra atmosfera, tornando o armazenamento mensal em todos os meses inferior a capacidade de armazenamento. De maneira geral, os resultados do balanço hídrico indicaram que o município de Cruzeta-RN apresenta limitações dos recursos hídricos, em especial entre os meses de junho a dezembro, indicando o quão árduo é a agricultura nesta localidade.

Palavras-Chave: Déficit hídrico; ENOS; Climatologia; Cruzeta

1. INTRODUÇÃO

Para uma planta usar energia para crescer, água deve estar disponível, caso contrário, a energia atuará apenas para calor e estresse da planta. Da mesma forma, para a planta usar água para crescer, energia deve estar disponível, caso contrário, a água apenas se infiltra no solo ou desaparecerá. Os efeitos do clima sobre as plantas, portanto, são determinadas pelas interações entre energia e água. Essa interação pode ser descrita pelo balanço hídrico climatológico (Stephenson, 1990).

O balanço hídrico climatológico é uma técnica que consiste em contabilizar a evapotranspiração contra precipitação, considerando-se uma capacidade de armazenamento de água no solo, de forma a determinar a disponibilidade hídrica para as culturas, nas diversas épocas do ano, oferecendo um indicativo do excedente ou do grau de estresse que a comunidade vegetal está submetida (Barreto et al., 2006). Seus cálculos são úteis na caracterização de períodos de secas e de seus efeitos na agricultura, como redução na produção.

Por estar localizada na mesorregião Central Potiguar do estado do Rio Grande do Norte, Cruzeta faz parte da região semiárida do Nordeste brasileiro. Regiões semiáridas são caracterizadas por elevada vulnerabilidade dos recursos naturais, alta variabilidade climática, escassez de água e estresse social relacionado (Krol e Bronstert, 2007). Segundo o Ministério da Integração Nacional os municípios do semiárido apresentam pelo menos um dos seguintes critérios: i) precipitação média anual inferior ou igual a 800 mm; ii) índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50, e iii) percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

Nesta região, a precipitação é modulada principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Medeiros et al., 2020), no entanto, em anos de atuação dos eventos climáticos El Niño e La Niña, as condições climáticas sobre esses locais tendem a ser modificadas. Segundo Marengo (2006) e Medeiros & Oliveira (2021), em anos de El Niño ocorrem reduções na precipitação, no escoamento e na convergência de umidade, já em anos de La Niña, ocorre o aumento destas variáveis.

Mediante o exposto, o objetivo deste trabalho é realizar o balanço hídrico de Cruzeta-RN em anos de atuação dos eventos de El Niño e La Niña forte e identificar possíveis mudanças durante esses eventos no balanço hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O município de Cruzeta-RN está localizado na mesorregião Central Potiguar do estado do Rio Grande do Norte (06°43'S, 36°58'W, 222,4 m de acima do nível médio do mar), inserido na região Nordeste do Brasil (Figura 1) O clima do município, de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares et al. 2013) é semiárido (BSh) com excesso de água pequeno ou nulo. A precipitação média anual é de 710 mm e a temperatura média varia de 29,8°C em dezembro a 24,7°C em agosto (Figura 2). O padrão pluviométrico de Cruzeta é caracterizado por duas estações bem definidas: a estação chuvosa, que vai de janeiro a maio, com máximo em fevereiro, março e abril, e a seca de junho a dezembro, sendo que os meses mais secos são agosto e setembro (Figura 2).

Figura 1: Localização geográfica do município de Cruzeta, no estado do Rio Grande do Norte

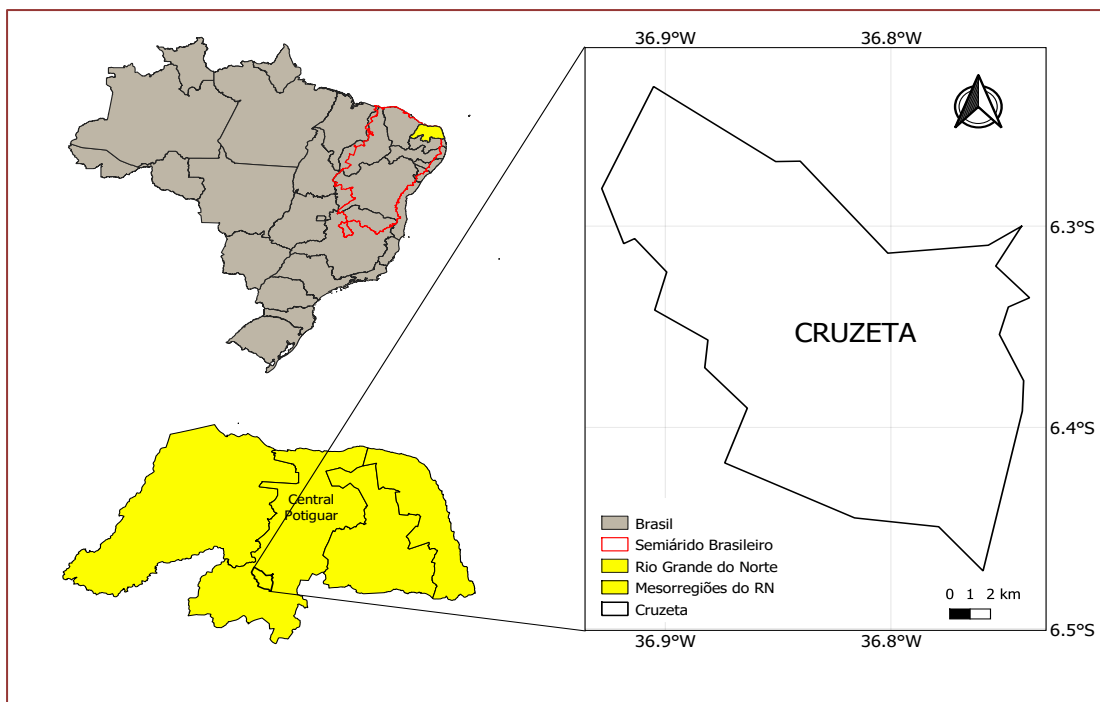
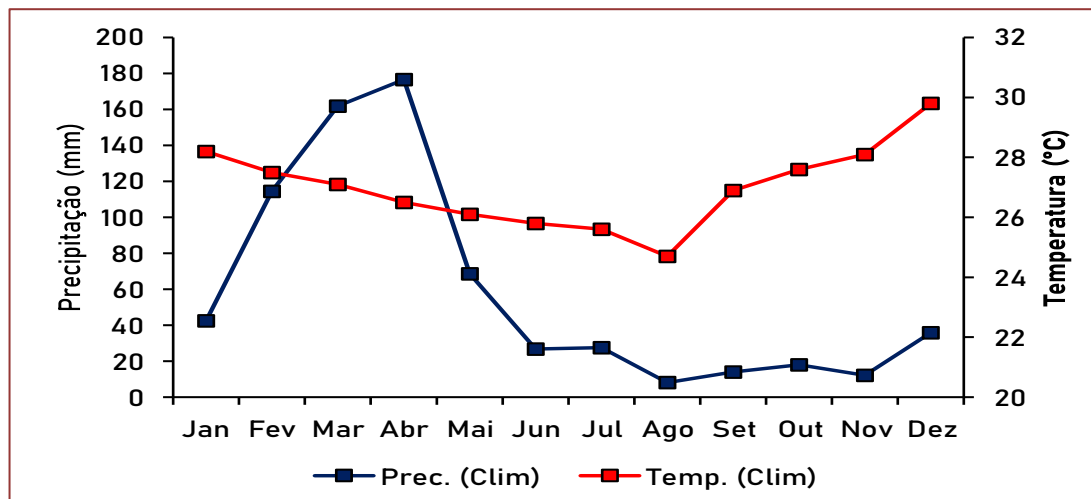


Figura 2: Normal climatológica de 1961-1990 da precipitação e temperatura média do ar no município de Cruzeta-RN.



O balanço hídrico climatológico (BHC) foi calculado segundo o método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), para uma capacidade de água disponível de 100 mm, com a evapotranspiração potencial sendo estimada pelo método de Thornthwaite (1948) (Eq. 01) que considera as temperaturas médias mensais para estimar a evapotranspiração potencial baseando-se em índices de calor a partir das temperaturas médias mensais. No balanço hídrico climatológico, de 1961 a 1990, foram utilizados os dados constantes das Normais Climatológicas, Brasil (1992).

Já o balanço hídrico sequencial (BHS) foi calculado com um programa elaborado por Rolim et. Al. (1998). Para tanto, foram utilizados dados meteorológicos mensais de temperatura média do ar e precipitação obtidos da estação convencional de Cruzeta-RN, pertencente à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante o período de 1994 a 2014.

Após determinado o BHC, foi realizado o BHS para os anos de ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña forte. Para esse estudo foram selecionados os eventos de 1997-1998 (El Niño) e 2007-2008 (La Niña). Uma descrição completa dos anos de ocorrência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) pode ser encontrado no endereço eletrônico:

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

$$ET_p = 16 \left(10 \frac{T_n}{I} \right)^a, \text{ para } 0 \leq T_n \leq 26^\circ\text{C} \quad 01$$

Onde: Etp é a evapotranspiração potencial mensal (mm), T_n é a temperatura média do mês n , em $^\circ\text{C}$, a é um índice térmico regional (Eq. 02) e I é um índice que expressa o calor disponível na região (Eq. 03).

$$a = 6,75 \times 10^{-7}I^3 - 7,71 \times 10^{-5}I^2 + 1,7912 \times 10^{-2}I + 0,49239 \quad 02$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2T_n)^{1,514} \quad 03$$

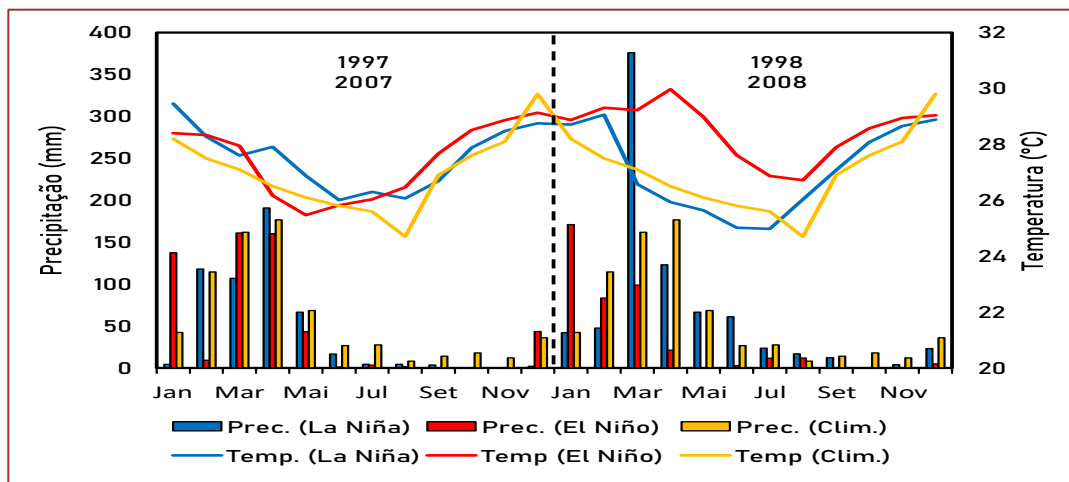
No caso de $T_n \geq 26^\circ\text{C}$ a Etp deve ser calculada pela equação de Willmott et al. (1985) (Eq. 04), que substitui a tabela de Thornthwaite (1948).

$$ET_p = 415,85 + 32,24T_n - 0,43T_n^2 \quad 04$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a Figura 3, que apresenta os valores mensais da precipitação e temperatura média do ar nos anos de El Niño, La Niña e da normal climatológica, constata-se que a precipitação anual durante o evento de El Niño forte (1997-1998) é 26,5% inferior aos respectivos valores observados no evento de La Niña (2007-2008) e 32% inferior em relação a normal climatológica. Nota-se que nos anos de ocorrência de La Niña a precipitação pluviométrica é superior a climatologia em apenas 13 mm na época chuvosa e inferior 113 mm na época seca. Na situação de El Niño, por sua vez, são observadas anomalias negativas em ambas as épocas, sendo 243 mm na época chuvosa e 205 mm na seca. Com relação a temperatura nota-se que no primeiro ano do evento de El Niño e La Niña, 1997 e 2007, respectivamente, a temperatura média do ar climatológica foi sempre inferior, com exceção nos meses de abril, maio e dezembro no El Niño e nos meses de setembro e dezembro na La Niña. Por outro lado, em 1998 e 2008, anos de El Niño e La Niña, respectivamente, a temperatura do ar durante a ocorrência do El Niño foi sempre superior a climatológica e a da La Niña, com exceção do valor no mês de dezembro para a climatologia. Esses resultados corroboram com os apresentados por Medeiros e Oliveira (2021) no qual os autores mostraram que em anos de El Niño intenso a porção norte do Nordeste do Brasil tende a apresentar anomalias negativas de precipitação.

Figura 3: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) no município de Cruzeta nos anos de ocorrência do El Niño (1997-1998) e La Niña (2007-2008) forte e sua comparação em relação a normal climatológica de 1961-1990



Na Figura 4 observa-se que mesmo em anos de La Niña forte, predomina no município de Cruzeta-RN déficit hídrico durante todos os meses dos anos, com exceção dos meses de março e abril de 2008, nos quais foram verificados excedente hídrico de 134,2 e 2,1 mm. Nesses meses a precipitação foi de 375,9 mm e 122,9 mm, respectivamente, enquanto que os valores climatológicos são 161,9 e 176,6 mm, respectivamente. Esse comportamento de déficit hídrico predominantemente em todos os meses do ano, seja em ano de El Niño e La Niña forte, evidencia ainda mais a característica semiárida do município, que conforme apresentado por CABRAL-JÚNIOR et al., (2019) apresenta como uma das principais características elevadas taxas de evapotranspiração potencial. Segundo (Santos e Carlesso, 1998) a deficiência hídrica é responsável por alterações no comportamento dos vegetais e sua intensidade e frequência são os fatores que determinam a limitação ao cultivo.

Ainda de acordo com a Figura 4, nota-se que em anos de El Niño o déficit hídrico no município tende a ser ainda maior, como consequência dos menores índices de precipitação pluvial. Em resposta a esse déficit hídrico, o solo utiliza a capacidade de armazenamento (CAD) para fornecer umidade pra atmosfera, dessa forma, o armazenamento mensal em todos os meses torna-se inferior ao CAD, conforme ilustrado na 5. Portanto, independente da ocorrência do fenômeno climático La Niña, que de modo geral costuma favorecer chuvas acima da média na porção norte do Nordeste do Brasil (Grimm, 2004), embora nem sempre isso seja verificado (Rodrigues & McPhaden 2014), o balanço hídrico no município de Cruzeta tende a apresentar condições de déficit hídrico, ressaltando a importância do gerenciamento hídrico adequado e o uso consciente da água no município.

Figura 4: Excedente (EXC) e déficit hídrico (DEF) no município de Cruzeta nos anos de ocorrência do El Niño (1997-1998) e La Niña (2007-2008) forte e sua comparação em relação a climatologia

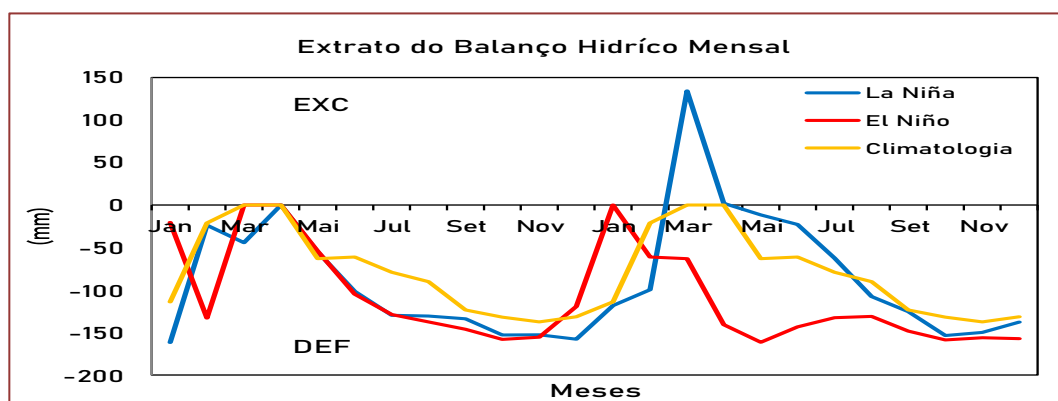
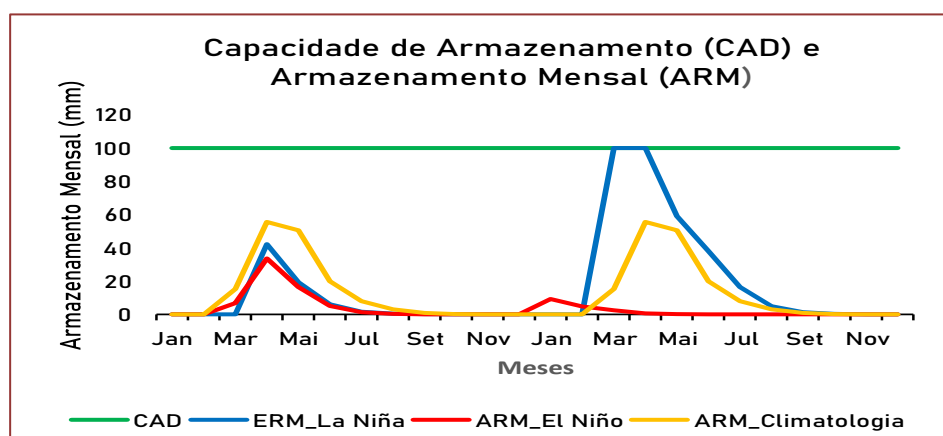


Figura 5: Capacidade de Armazenamento (CAD) e armazenamento mensal (ARM) no município de Cruzeta nos anos de ocorrência do El Niño (1997-1998) e La Niña (2007-2008) forte e sua comparação em relação a climatologia



4. CONCLUSÕES

As análises dos resultados mostraram que apesar da ocorrência do evento climático La Niña forte nos anos de 2007-2008 a precipitação no município de Cruzeta-RN durante estes anos foi inferior à da normal climatológica, especialmente durante a estação seca.

Perante os resultados do balanço hídrico, o município de Cruzeta-RN apresentou limitações dos recursos hídricos. Em especial, entre os meses de junho a dezembro. Apresentando um quadro ainda mais grave em anos de El Niño.

Estes resultados indicam o quão árduo é a agricultura nesta localidade, mostrando assim, a necessidade de um adequado planejamento hídrico, visando uma maior produtividade aliada a qualidade agrícola.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitsch*, 22(6): 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- [2] BARRETO, N. J. C.; SOUZA, A. L. L.; CASAGRANDE, F.; LUCAS, E. W. M. Influência dos fenômenos El Niño/La Niña no balanço hídrico do município de Jacareaganca-pa. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis.
- [3] CABRAL JÚNIOR, J. B.; SANTOS E SILVA, C. M.; ALMEIDA, H. A.; BEZERRA, B. G.; SPYRIDES, M. H. C. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*, v.138: 215-225, 2019.
- [4] GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dynamics*, v.22: 123-138, 2004.
- [5] KROL, M.S; BRONSTERT, A. Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*, Volume 22, n.259-268, 2007.
- [6] MARENGO, J.A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21: 1-19. 2006.
- [7] MEDEIROS, F. J; OLIVEIRA, C, P. Dynamical aspects of the recent strong El Niño events and its climate impacts in Northeast Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, v.178: 2315-2332, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02758-3>
- [8] MEDEIROS, F. J; OLIVEIRA, C, P; SANTOS E SILVA, C. M.; ARAÚJO, J. M. Numerical simulation of the circulation and tropical teleconnection mechanisms of a severe drought event (2012-2016) in Northeastern Brazil. *Climate Dynamics*, v.54: 4043-4057, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05213-6>
- [9] NORMAIS CLIMATOLÓGICAS: 1961-1990. Brasília, DF, 1992. 84p.
- [10] RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M, J. Why did the 2011-2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? *Geophysical Research Letters*, v.41(3): 1012-1018. 2014. <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>

- [11] ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133- 137, 1998.
- [12] SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998
- [13] STEPHENSON, N.L. Climatic Control of Vegetation Distribution: The Role of the Water Balance. American Naturalist, v.135, Issue 5, p.649-670, 1990.
- [14] THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey, v.8, 1955, 104p.
- [15] THORNTHWAITE, W. C. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, v.38, n.1, p.55-94, 1948.
- [16] WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, v.90, p.8995-9005, 1985.

Capítulo 8

Quantificação do teor de sólidos solúveis totais (Brix^o) de aguapé para produção de etanol de segunda geração usando ácido sulfúrico

Gabriela de Cássia Javorski

Maria Cristina Souza

Marcia Mendes Costa Guareski

Everson do Prado Banczek

Cynthia Beatriz Furstemberger

Resumo: O desenvolvimento e implementação de biocombustíveis como o bioetanol tem se tornado uma importante ferramenta sustentável para frear o uso de combustíveis fósseis, e a biomassa de aguapé *Eichhornia crassipes* vem se destacando por seu crescimento rápido e baixo custo, visto que é considerada praga em corpos hídricos, porém converter os polissacarídeos em açúcares fermentáveis é um desafio. O objetivo deste trabalho é quantificar o teor de sólidos solúveis totais (brix^o) na biomassa de *Eichhornia crassipes* por meio de hidrólise ácida usando ácido sulfúrico (H₂SO₄) com testes em agitador magnético e em autoclave com diferentes concentrações de ácido e em distintas temperaturas. Os testes em autoclave foram feitos a 120°C por 30 minutos, usando 9mL do ácido nas concentrações de 1% (v/v), 2% (v/v) e 4% (v/v) com 1g de biomassa. Os ensaios em agitador magnético foram conduzidos nas mesmas condições variando apenas a temperatura para 80°C. O pré-tratamento em agitador magnético foi considerado ineficiente, pois não resultou em teor de sólidos solúveis apropriado, todavia os testes em autoclave promoveram a conversão do material lignocelulósico em sólidos solúveis (12 Brix^o) na concentração de 4% (v/v) podendo ser empregado para a produção de etanol celulósico de segunda geração.

Palavras-chave: biomassa, bioetanol, macrófita aquática

1. INTRODUÇÃO

O uso de biocombustíveis vem sendo uma alternativa muito promissora frente ao consumo de combustíveis fósseis que muito prejudicam o meio ambiente, o bioetanol celulósico usando biomassa residual tem se mostrado um produto sustentável muito vantajoso do ponto de vista econômico e ambiental, podendo ser produzido a partir de diversos resíduos vegetais, dentre estes destaca-se a macrófita aquática *Eichhornia crassipes*, nativa da região amazônica e amplamente difundida pelo mundo, caracterizada pelo crescimento rápido em água doce (POOMSAWAT *et al.*, 2019). O fato de não sofrer predação também dificulta o controle do vegetal, podendo gerar diversos problemas ambientais e econômicos, pois uma vez fixada em represas e reservatórios atrapalha o funcionamento de turbinas e consequentemente inviabiliza a produção de energia, além de obstruir rotas marítimas (POOMSAWAT *et al.*, 2019; TEIXEIRA *et al.*, 2019) fazendo-se necessário que o vegetal seja retirado dos corpos hídricos e receba um novo destino, a produção de biocombustível é uma alternativa muito nobre e relevante para esta destinação.

O teor de celulose e hemicelulose (25% e 35% respectivamente) tornam o aguapé uma matéria prima promissora para conversão de açúcares fermentescíveis em bioetanol (TEIXEIRA *et al.*, 2019). Entretanto a ruptura destes polissacarídeos é um processo complexo e requer pré-tratamento químico e/ou enzimático, sendo a hidrólise química a mais usual, podendo ser feita com ácidos, bases ou a combinação destes, afim de converter os polissacarídeos complexos em açúcares fermentáveis (KARTHIKEYA *et al.*, 2020). O ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluído tem sido muito utilizado como catalisador no processo de solubilização da biomassa por proporcionar teores de sólidos solúveis totais (Brix^º) favoráveis para a fermentação alcoólica (12-18 Brix^º) de acordo com a literatura especializada (TEIXEIRA *et al.*, 2019).

O objetivo deste trabalho é quantificar o teor de sólidos solúveis totais (Brix^º) na biomassa de *Eichhornia crassipes* por meio de pré-tratamento ácido, usando ácido sulfúrico (H_2SO_4) com testes em agitador magnético e em autoclave com diferentes concentrações de ácido em distintas temperaturas afim de produzir etanol de segunda geração utilizando matéria prima residual de baixo custo de forma sustentável e renovável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

Com o aumento da demanda humana por energia os países desenvolveram grande dependência por combustíveis fósseis como petróleo e carvão, o que leva à liberação de gases do efeito estufa na atmosfera, causando mudanças irreversíveis no planeta, esse problema fez com que diversas nações se esforçassem para inserir combustíveis de fontes renováveis em suas matrizes energéticas (LIN *et al.*, 2018).

O Brasil é o segundo maior produtor global de etanol, perdendo apenas para os Estados Unidos (VIDAL, 2020). O etanol brasileiro usa a cana de açúcar como matéria prima, todavia os biocombustíveis produzidos a partir de materiais lignocelulósicos, o chamado bioetanol de segunda geração, vem recebendo destaque nos últimos anos por apresentar vantagens energéticas, econômicas e ambientais em relação ao etanol sacarino (ALVIRA *et al.*, 2010). Diante dos sucessivos reajustes no preço do combustível de primeira geração, faz-se necessários mais investimentos e pesquisas para o desenvolvimento de etanol de segunda geração, com diversificação de matérias primas afim de baratear e ampliar a produção. Os materiais lignocelulósicos derivados de plantas aquáticas de flutuação livre, como o aguapé (*E. crassipes*) fornecem uma solução a longo prazo em termos de matéria-prima de baixo valor e elucidam o manejo disruptivo, uma vez que está facilmente disponível com menor custo de cultivo e preparação (SASMAL; GOUD; MOHANTY, 2012). Sabe-se que as estruturas monossacarídicas e polissacarídicas do aguapé contêm diferentes tipos de açúcares com alto teor de celulose. Portanto, pode ser considerado como uma possível matéria-prima para produção de bioetanol de segunda geração, através da aplicação de diferentes técnicas e procedimentos no tratamento de biomassa (LIN *et al.*, 2018).

Muito se discute sobre a importância da sustentabilidade nos últimos anos, e como forma de consolidar e materializar as propostas de desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 objetivos que apresentam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo, o presente estudo está vinculado a 3 destes objetivos. A produção de um biocombustível renovável enquadrasse no objetivo 7 (Energia limpa e acessível), por meio do desenvolvimento de técnicas e matérias primas inovadoras, com possível aplicação industrial (objetivo 9- Indústria, inovação e infraestrutura), que pode promover desenvolvimento econômico, social e

preservação ambiental (objetivo 11- cidades e comunidades sustentáveis) (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2021).

2.2. BIOMASSA

A macrófita aquática *E. crasipes* é nativa da América do Sul e ao longo do tempo foi se espalhando por todo o globo (PLANTS OF THE WORLD ONLINE, 2020). A espécie é adaptada ao clima tropical e de fácil acesso em todo o Brasil (DE SOUSA *et al.*, 2018) e presente em todas as regiões do país (FLORA DO BRASIL 2020, 2020).

O fato da grande expansão do jacinto d'água está atrelado a reprodução, visto que se reproduz vegetativamente com a formação de estolões e também é propagado sexualmente por meio de sementes, as quais são capazes de sobreviver na água por seis anos (WEIPING *et al.*, 2018) podendo atingir o tamanho médio de 40cm e máximo de 1m, de acordo com o trabalho de Gaurav e colaboradores (2020).

Esse crescimento descontrolado faz com que as macrófitas cubram a lâmina d'água dos corpos hídricos causando redução do oxigênio e consequentemente afetando o ecossistema, causando perda da biodiversidade local (TEIXEIRA *et al.*, 2019). Além disso a presença da macrófita promove o bloqueio do tráfego de água, entupindo turbinas e prejudicando a hidroeletricidade e os sistemas de abastecimento de água (WEIPING *et al.*, 2018) fazendo-se necessário sua retirada.

2.3. PRÉ-TRATAMENTO

As plantas possuem parede celular composta por celulose, hemiceluloses e lignina, as quais estão ligadas formando uma estrutura forte e rígida, o que dificulta o processamento de materiais lignocelulósicos para a produção de etanol, a lignina em especial é a mais rígida e menos interessante para a produção (HARUN *et al.*, 2011; REZANIA *et al.*, 2017).

Uma forma de separar a celulose e a hemicelulose da lignina é por meio de pré-tratamentos, estes podem ser: mecânicos (trituração, moagem), físico-químicos (auto-hidrólise, água quente líquida, vapor, fluidos supercríticos), químico (ácidos, alcalinos, solventes orgânicos, agentes oxidantes) e processos biológicos (fungos) e / ou combinações desses métodos, os quais podem aumentar a eficiência e reduzir os custos de produção (SHIRKAVAND *et al.* 2016; BILAL *et al.*, 2017; REZANIA *et al.*, 2017). O trabalho de Maurya; Singla; Negi (2015) mostrou que o rendimento de açúcares fermentáveis pode chegar a 90% com algum pré-tratamento, e resultado inferior a 20% sem qualquer pré-tratamento. Os trabalhos de Romam e Winter (2004) e Wolfaardt e coautores (2021) indicaram que o uso de ácido sulfúrico como uma boa opção, pois este promove a quebra das fibras de celulose reduzindo a cristalinidade e o grau de polimerização, resultando em moléculas menores possíveis de fermentação.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no Laboratório de Análises de Combustíveis na Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO). Utilizando como biomassa a macrófita aquática *Eichhornia crassipes*. Folhas e caules foram secos em estufa durante 12 horas a 100°C e processados em moinho de facas. Para o pré-tratamento fez-se uso de ácido sulfúrico (H₂SO₄), com testes em autoclave e agitador magnético, variando as concentrações de ácido diluído em água deionizada e a temperatura de hidrólise.

Os ensaios em autoclave vertical AV Plus-Phoenix foram realizados a 120°C por 30 minutos, pressão de 1 kgf cm⁻², utilizado 9 mL de ácido sulfúrico nas concentrações de 1% (v/v), 2% (v/v), 4% (v/v) e 1g de aguapé (1:10), em erlenmeyers de 100 mL. Os testes em agitador magnético da marca IKA Works modelo IKA C-MAG HS7, foram conduzidos em capela de exaustão, usando 9 mL de ácido sulfúrico nas mesmas concentrações (1%v/v, 2%v/v, 4%v/v) e 1g de aguapé (1:10), com temperatura constante de 80°C por 30 minutos, ressalta-se que todos os ensaios foram feitos em triplicatas.

Para caracterização das amostras utilizou-se refratômetro digital portátil de grau Brix, modelo ITREF90, marca Instrutemp. Os resultados foram expressos por meio de cálculo estatístico da média de grau Brix de cada experimento.

4. RESULTADOS

Os resultados mostram grande discrepância nos valores de grau Brix no tratamento de *Eichhornia crassipes* com ácido sulfúrico em agitador magnético apresentados na Tabela 1 quando comparado com os testes em autoclave indicados na Tabela 2.

Tabela 1 - Valores de Brix^º, temperatura, tempo e concentração de ácido sulfúrico (H₂SO₄) por grama de *Eichhornia crassipes* em agitador magnético

Teor de Aguapé (g/L)	Ácido H ₂ SO ₄ (% v/v)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Brix ^º
1	1	80	30	1
1	2	80	30	1
1	4	80	30	2

Fonte: O autor (2021).

Tabela 2 - Valores de Brix^º, temperatura, tempo e concentração de ácido sulfúrico (H₂SO₄) por grama de *Eichhornia crassipes* em autoclave

Teor de aguapé (g/L)	Ácido H ₂ SO ₄ (% v/v)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Brix ^º
1	1	120	30	10
1	2	120	30	10
1	4	120	30	12

Fonte: O autor (2021).

Os testes em agitador magnético (Tabela 1) indicam valores baixos (1; 1; 2) de grau Brix, em relações ao necessário para a fermentação alcoólica (12 a 18 Brix^º) quando submetidos a temperatura de 80°C por 30 minutos, nas concentrações de 1, 2 e 4 % (v/v). Estes resultados corroboram com os achados de Karthikeya *et al.* (2020) que também obtiveram valores incipientes de grau Brix em temperatura inferior a 120°C no período de 30 minutos de modo que a temperatura e o tempo foram considerados insuficientes para a conversão de sólidos solúveis.

Os experimentos realizados em autoclave (Tabela 2) apresentaram valores de grau Brix (10; 10; 12) superiores aos obtidos nos ensaios em agitador magnético nas mesmas concentrações (1, 2 e 4 % (v/v)) e no mesmo período de tempo (30min), porém na temperatura de 120°C. Nota-se que o aumento da concentração de 1% para 2% (v/v) não teve efeito significativo no teor de açúcares solúveis, apenas a concentração de 4% (v/v) atingiu (12 Brix^º) valor necessário de conversão em açúcares fermentáveis, esta variação também foi observada por Karthikeya *et al.* (2020) considerando que não houve diferença significativa no valor de grau Brix com o aumento da concentração de 1 para 2% (v/v) nas condições estudadas.

Os resultados alcançados condizem com o estudo de Wolfaardt e colaboradores (2021) os quais demonstraram que a concentração de 4% de ácido sulfúrico foi considerada eficaz para biomassas lignocelulósicas, resultando em rendimentos de açúcar próximos aos necessários para a fermentação. O trabalho de Fileto-Pérez *et al.* (2013) também conseguiu melhores rendimentos usando ácido sulfúrico com temperatura superior a 100°C por 90 min, ou seja, condições de temperatura semelhante a empregada neste estudo. O trabalho de Satyanagalakshmi *et al.* (2011) também relata a temperatura de 120°C como a ideal para o pré-tratamento químico usando 2% (v/v) de ácido sulfúrico, entretanto no período de 60 minutos com aguapé, ressaltando que o maior tempo pode culminar em um melhor resultado usando menores concentrações de ácido. Considera-se, portanto que a concentração do ácido, a temperatura e o tempo influenciam diretamente na conversão de açúcares da biomassa de *E. crassipes*.

5. CONCLUSÕES

O pré-tratamento com H₂SO₄ diluído a 1, 2 e 4 % (v/v) e 1g de extrato em agitador magnético na temperatura de 80°C por 30 minutos é ineficiente na conversão de açúcares fermentáveis da macrófita aquática *Eichhornia crassipes*,

O pré-tratamento usando H₂SO₄ em autoclave na temperatura de 120°C por 30 minutos com 1g de extrato promove a conversão do material lignocelulósico em sólidos solúveis (12 Brix^o) na concentração de 4% (v/v) e pode ser utilizada para a produção de etanol de segunda geração.

Ressalta-se que mais estudos utilizando planejamento experimental detalhado com um número maior de variáveis se faz necessário.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVIRA, P. et al. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*. v.101, p.4851–4861, 2010.
- [2] BILAL, M. et al. Biotransformation of lignocellulosic materials into value-added products—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. v.98, p.447–458, 2017.
- [3] DE SOUZA, T. D. et al. Kinetics of arsenic absorption by the species *Eichhornia crassipes* and *Lemna valdiviana* under optimized conditions. *Chemosphere*. v. 209, p. 866-874, 2018.
- [4] FILETO-PÉREZ, H. A. et al. Avaliação de *Eichhornia crassipes* como matéria-prima alternativa para redução da produção de açúcares. *BioResources*. v.8, n.4, p.5340-5348, 2013.
- [5] FLORA DO BRASIL 2020. *Eichhornia crassipes*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB22511>. Acesso em: 21 de out de 2020.
- [6] GAURAV, G. K. et al. Water hyacinth as a biomass: A review. *Journal of Cleaner Production*. v. 277, p. 122214, 2020.
- [7] HARUN, M.Y. et al. Effect of physical pretreatment and dilute acid hydrolysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresource Technology*. v. 102, n. 8, p. 5193-5199, 2011.
- [8] KARTHIKEYA, K. et al. Exploring optimal strategies for aquatic macrophyte pre-treatment: Sustainable feedstock for biohydrogen production. *Biomass and Bioenergy*.v.140, 2020.
- [9] LIN, Y. C. et al. Microwave irradiation with dilute acid hydrolysis applied to enhance the saccharification rate of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Renewable Energy*. v.125, p. 511-517, 2018.
- [10] MAURYA, D. P.; SINGLA, A.; NEGI, S. An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol. *Biotech*. v. 5, p. 597–609, 2015.
- [11] NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 10 de Out. 2021.
- [12] PLANTS OF THE WORLD ONLINE. Kew Science. *Terminalia catappa* distribution. Disponível em: <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:310928-2>. Acesso em: 13 de out de 2020.
- [13] POOMSAWAT, W. et al. Experimental studies of furfural production from water hyacinth (*Eichhornia Crassipes*). *Energy Science Engineering*.v.7, p. 2155–2164, 2019.
- [14] REZANIA, S. et al. Review on Pretreatment Methods and Ethanol Production from Cellulosic Water Hyacinth. *BioResources*. v.12, n. 1, p. 2108-2124, 2017.
- [15] ROMAM, M.; WINTER, W. Effect of Sulfate Groups from Sulfuric Acid Hydrolysis on the Thermal Degradation Behavior of Bacterial Cellulose. *Biomacromolecules*. v.5, p. 1671-1677, 2004.
- [16] SASMAL, S.; GOUD, V. V.; MOHANTY, K. Characterization of biomasses available in the region of North-East India for production of biofuels, *Biomass Bioenergy*. v.45, p.212-220, 2012.
- [17] SATYANAGALAKSHMI, K. et al. Bioethanol production from acid pretreated water hyacinth by separate hydrolysis and fermentation. *Journal of Scientific and Industrial Research*. v.70, n.2, p.156-161, 2011.
- [18] SHIRKAVAND, E. et al. Combination of fungal physicochemical processes for lignocellulosic biomass pretreatment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 54, p. 217-234, 2016.
- [19] TEIXEIRA, D. A. et al. Produção de Etanol de Segunda Geração a Partir de Aguapé: Uma Revisão. *Revista Virtual de Química*. v.11, n.1, p.127-143, 2019.

- [20] VIDAL, F. Produção e mercado de etanol. Caderno Setorial Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. n. 121. p.1- 10. 2020. Disponível em:
https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6888601/2020_CDS_121.pdf/9ab6ae84-a1f1-2fa5-0c0f-837553f9879f. Acesso em: 22 de jan. 2021.
- [21] WEIPING, S. et al. The Resource Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) and Its Challenges. *Resources*. v.7, n.46, 2018.
- [22] WOLFAARDT, F. J. et al. Recovery approaches for sulfuric acid from the concentrated acid hydrolysis of lignocellulosic feedstocks: A mini-review. *Energy Conversion and Management: X*. p.100074, 2021.

Capítulo 9

Processos Oxidativos Avançados: Uma breve revisão

Maria Eliza Nagel Hassemer

Beatriz Lima Santos Klienchen Dalari

Dayane Gonzaga Domingos

Juliana Barden Schalleberger

Amanda Dalalibera

Fabíola Tomassoni

Resumo: A poluição do meio ambiente e águas residuárias por efluentes industriais tem aumentado gradativamente nas últimas décadas, tornando-se um grave problema social e ambiental. Neste contexto, os Processos Oxidativos Avançados (POAs), como fotólise, fotocátalise, ozonização, processo Fenton, oxidação anódica, processos eletroquímicos, entre outros, têm sido estudados extensivamente para a degradação efetiva da ampla gama de poluentes/contaminantes. De modo geral, todos os POAs produzem espécies de radicais livres reativos, especialmente radicais de hidroxila ($\bullet\text{OH}$), sendo este, altamente reativo, não seletivo e capaz de oxidar e decompor várias espécies tóxicas e/ou recalcitrantes, o que configura importante ponto no tratamento de resíduos. Os POAs são uma alternativa de tratamento viável, eficiente, versátil, com rápida mineralização de inúmeras espécies químicas de poluentes/contaminantes e custo compatível. Seus diferentes processos são indicados quando o tratamento convencional não seja possível ou mesmo adequado, por exemplo, no caso de compostos tóxicos, recalcitrantes, misturas complexas e/ou muito concentradas. Esta revisão analisa criticamente a visão geral dos POAs já estabelecidos, seus princípios básicos de funcionamento, além das particularidades dos processos Fenton, Fotocátalise, Eletroquímicos, Ozonização e UV/H₂O₂, bem como o desempenho destes na degradação de poluentes presentes em águas e efluentes relatados em estudos recentes.

Palavras-chave: Efluentes industriais, Processos Oxidativos Avançados, Radical de hidroxila, Remoção de poluentes.

1. INTRODUÇÃO

O descarte inapropriado de efluentes industriais e águas residuais no meio ambiente, torna-se imprescindível o desenvolvimento de tecnologias ecologicamente corretas e economicamente viáveis, tendo como alvos específicos a remoção e degradação dos compostos potencialmente poluidores. Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são considerados promissores devido sua alta eficiência, custo e sustentabilidade, principalmente pela ampla gama de aplicação, cinética rápida e a transformação completa dos poluentes em produtos finais inofensivos.

Os POAs como por exemplo, a química de Fenton, Foto-Fenton, Fotólise e Fotocatálise, além das tecnologias de oxidação eletroquímica, baseiam-se na geração de radicais livres reativos. No qual apresentam em comum a participação do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) no mecanismo de reação, sendo este, altamente reativo, não seletivo e capaz de oxidar e decompor várias espécies tóxicas e/ou recalcitrantes, o que configura importante ponto no tratamento de resíduos (ARAÚJO et al., 2016).

O uso de processos oxidantes na degradação de poluentes é antigo e tem sido aprimorado ao longo dos anos com o avanço científico e o emprego de tecnologias inovadoras. As diversas possibilidades de combinações desses componentes resultam em diferentes opções de sistemas e essa versatilidade permite a escolha do mais vantajoso para cada situação (TUNAY et al., 2010).

Neste capítulo, serão abordados os fundamentos e considerações gerais sobre os POAs, além dos processos Fenton, Fotocatálise, Eletroquímicos, Ozonização e UV/H₂O₂, bem como o desempenho destes na degradação de poluentes.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS

Os POAs caracterizam-se por transformar parcial ou totalmente substâncias poluidoras em espécies mais simples, como dióxido de carbono, água, ânions inorgânicos ou substâncias menos tóxicas e de fácil degradação por tecnologias comuns (LITTER; QUICI, 2010). Essa degradação ocorre pela oxidação química, que é um processo em que o átomo perde elétron e o seu estado de oxidação é aumentado. Toda oxidação é acompanhada da reação de redução, em que uma espécie recebe o elétron, denominado como potencial eletroquímico ou potencial redox (TUNAY; KABDAŞLI; ARSLAN-ALATON E ÖLMEZ-HANCI, 2010).

A eficácia dos POAs depende da geração de radicais livres reativos, sendo o mais importante o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$). Dessa forma, a maioria dos POAs tem o objetivo de gerar $\bullet\text{OH}$ no efluente, pois este é capaz de oxidar ampla gama de poluentes com rápida cinética (OH; DONG; LIM, 2016). A Tabela 1 apresenta o Potencial Redox (E°) de diferentes agentes oxidantes.

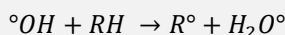
Tabela 1 - Potencial Redox de diferentes espécies oxidantes

Espécie	E° (V)
Flúor (F)	+3,03
Radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$)	+2,80
Oxigênio atômico (O)	+2,42
Ozônio (O ₃)	+2,07
Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂)	+1,77
Permanganato de Potássio (MnO ₄ ⁻)	+1,67
Ácido hipobromoso (HBrO)	+1,59
Ácido hipocloroso (HClO)	+1,49
Radical Peridroxil (HO ₂ \bullet)	+1,42
Cloro (Cl ₂)	+1,36
Oxigênio (O ₂)	+1,23

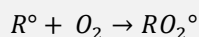
Adaptado de Linden e Mohseni (2014) e Peres e Lucas (2011).

Observa-se na Tabela 1 que o radical livre hidroxila ($\bullet\text{OH}$) é a segunda espécie com maior potencial redox (E° de 2,8 V), ficando atrás apenas do flúor (E° de 3,03 V). Gerado pelos processos oxidativos avançados, o radical hidroxila pode levar a mineralização de ampla faixa de espécies orgânicas em efluentes, dependendo das condições operacionais. A reação do $\bullet\text{OH}$ com compostos orgânicos pode ocorrer por três diferentes mecanismos: (a) adição de ligações duplas, (b) abstração do átomo de hidrogênio ou (c) transferência de elétrons, apresentada nas Equações 1 a 3 (LEGRINI, 1993).

Equação 1



Equação 2



Equação 3



A Equação 1 mostra a desestabilização dos compostos orgânicos pelo radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) ao abstrair o hidrogênio dos grupos C-H. Na Equação 2 observa-se as interações radical-radical na adição de O_2 , levando a formação do radical peroxil. A etapa de transferência direta de elétrons é explícita na Equação 3, em que os intermediários resultantes podem mineralizar completamente os compostos orgânicos em CO_2 , H_2O e ácidos inorgânicos (LEGRINI, 1993).

Em função do grande número de reações possíveis quando o radical livre entra em contato com o poluente, o sistema é caracterizado pela complexibilidade e dificilmente os produtos de oxidação podem ser previstos. A concentração de radicais é influenciada por diversos fatores como pH, temperatura, presença de íons e tipo do poluente (PARSONS, 2004). Além do radical hidroxila, outras espécies como e^-_{aq} , O_2^{\bullet} , HO_2^{\bullet} , SO_4^{\bullet} , SO_3^{\bullet} , H^{\bullet} e RO^{\bullet} também podem ser gerados nos POAs para oxidar poluentes (KHAN et al., 2019; KARE et al., 2021).

Os POAs podem ser aplicados como etapa de tratamento e/ou como pré-tratamento, visando a quebra de moléculas recalcitrantes em produtos facilmente biodegradáveis para posterior tratamento biológico (PHAM et al., 2020). Segundo Silva e Jardim (2006) e Covinich et al. (2014) os POAs podem promover três níveis de degradação:

- 1) Degradação primária: alteração na estrutura do composto possibilitando a remoção dos contaminantes por outros processos, como por exemplo o biológico e a adsorção.
- 2) Degradação intermediária: decomposição dos compostos e redução de sua toxicidade.
- 3) Degradação final: mineralização de compostos orgânicos.

Diferentes métodos podem ser empregados nos POAs, como oxidantes fortes (H_2O_2 ou O_3), catalisadores (íons de metais de transição), semicondutores (TiO_2) e irradiação (ultravioleta (UV), ultrassom (US), ou feixe de elétrons). A Tabela 2 apresenta diferentes poluentes que podem ser degradados pelos diferentes métodos de POAs.

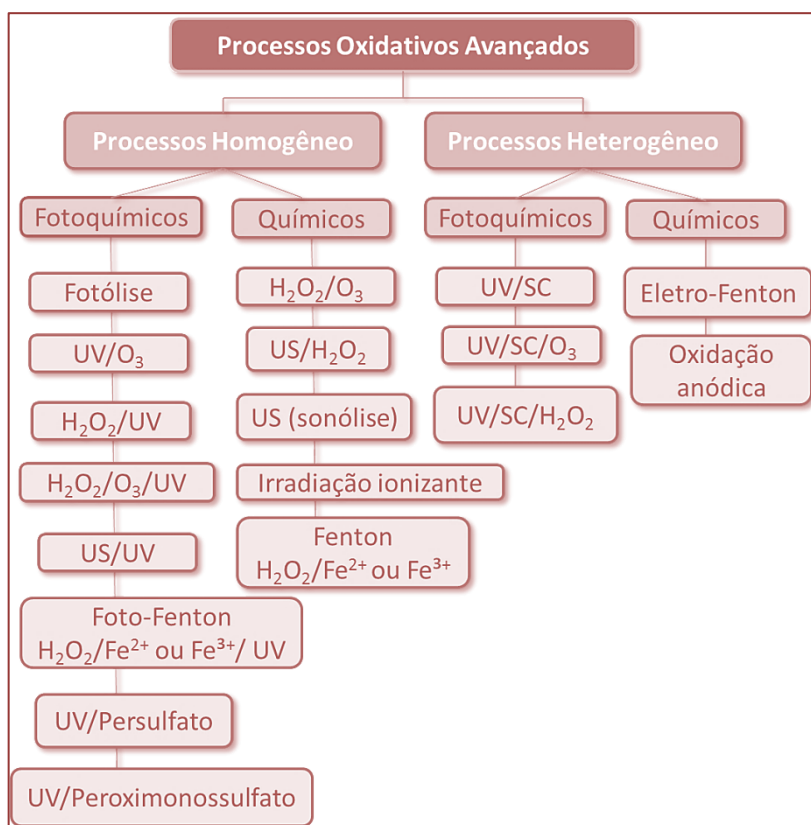
Tabela 2 - Exemplos de poluentes degradados pelos POAs

• Antibióticos	• Arsênio	• Herbicidas
• Aminoácidos	• Tinturas	• Pesticidas
• Desreguladores endócrinos	• Compostos orgânicos voláteis	• Inseticida
• Patógenos	• Matéria orgânica	• Cromo
• Parasitas	• Compostos fenólicos	• Trinitrotolueno
• Substâncias húmicas	• Compostos oleosos	• Cianeto
• Causadores de sabor e odor	• Subprodutos da desinfecção	• -Toxinas

Adaptado de Parsons (2004) e Linden e Mohseni (2014).

Na Figura 1 estão apresentados os sistemas de POAs constituídos por diferentes combinações, classificados como homogêneos e heterogêneos (HUANG et al., 1993).

Figura 1 - Principais sistemas de POAs



Adaptado de Khan et al. (2020) e Huang et al. (1993).
 SC significa materiais semicondutores como TiO₂, ZnO e MoS₂.

Algumas das vantagens da utilização dos POAs são a taxa de reação rápida para a maioria dos produtos químicos, não seletividade que permite a degradação de qualquer contaminante e capacidade de mineralização completa da maioria dos poluentes. Além disso, promove a degradação e não apenas a separação do contaminante, sem geração de resíduos sólidos e necessidade de regeneração do processo (LINDEN; MOHSENI, 2014).

Dentre as desvantagens dos POAs destaca-se a possibilidade da formação de subprodutos da transformação, muitas vezes desconhecidos, além da interferência de determinados compostos presentes no efluente na eficiência de degradação. Por exemplo, POAs baseados em O₃ podem conduzir a formação de brometo, substância genotóxica e cancerígena, exigindo assim estratégias de controle (ALJUNDI, 2011).

Ademais, os POAs também podem exigir uma etapa subsequente para eliminação do oxidante residual (LINDEN; MOHSENI, 2014).

Em relação aos custos, os POAs são baratos para implantação, mas caros para operação devido ao custo dos produtos químicos e consumo de energia elétrica. No entanto, estratégias para redução dos custos podem ser adotadas, como a utilização de fontes renováveis de energia (fotocatálise solar), utilização do POA como pré-tratamento, aplicação de tecnologias de baixo custo, uso de materiais catalíticos ativos, estáveis e recicláveis (KHAN et al., 2020).

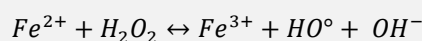
3. PRINCIPAIS PROCESSOS

3.1. PROCESSOS FENTON E VARIANTES

A reação de Fenton foi descoberta por HJH Fenton em 1894, onde foi relatado que o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) poderia ser ativado por sais ferrosos (Fe^{2+}) com o objetivo de oxidar o ácido tartárico. Essas reações apresentam alta eficiência de remoção para os diversos tipos de poluentes sendo um dos processos mais utilizados para o tratamento de águas (BABUPONNUSAMI; MUTHUKUMAR, 2013; NIDHEESH, 2015; XAVIER et al., 2015.)

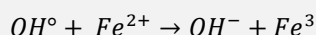
O mecanismo de reação do processo Fenton se inicia na formação do radical hidroxila ($\bullet OH$) (Equação 4), que é altamente reativo, a partir da reação de H_2O_2 com o Fe^{2+} sob ácido forte, para que ocorra a degradação rápida de poluentes orgânicos (ZHANG et al., 2019).

Equação 4



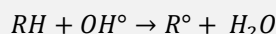
O processo ocorre em meio aquoso e envolve uma série de reações complexas. A Equação 4 representa o início do processo, enquanto a Equação 5 representa seu término. Essas reações ocorrem competitivamente.

Equação 5

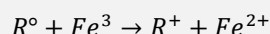


Os radicais hidroxila são capazes de atacar rapidamente substratos orgânicos (RH), causando ao longo de diversas etapas sua degradação e mineralização. Esse processo ocorre por meio de remoção do H e saturação das ligações entre carbonos, em tais compostos produzindo radicais orgânicos (R^\bullet), que são altamente oxidativos dando continuidade ao processo, conforme mostrado nas Equações 6 a 8.

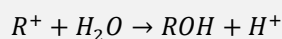
Equação 6



Equação 7



Equação 8



Para que a reação Fenton ocorra, o pH do meio deve ser mantido ácido, pois o equilíbrio deve ser deslocado para a direita na Equação 4. Além disso, pH acima de 3,0 deve ser evitado para que o íon férrico não precipite e reduza a capacidade catalítica (WANG et al., 2016). Sendo assim, a otimização desses fatores é fundamental para o desempenho do processo. Outras características como, temperatura e quantidade de constituintes orgânicos e inorgânicos, também devem ser consideradas.

O processo Fenton pode ser classificado como homogêneo ou heterogêneo. Quando o processo ocorre com os íons Fe (II) em solução, se caracteriza como Fenton homogêneo. Entretanto, com os íons Fe (II) em fase sólida presentes em diferentes compostos ou imobilizados em sólido inerte, é denominado como Fenton heterogêneo (SOUZA et al., 2019).

A principal desvantagem da aplicação da reação de Fenton, em escala industrial, é a geração de lodo, atuando como penalizadora na avaliação de custos, por acrescer a necessidade de tratamento do resíduo e disposição controlada. Assim, um método de melhorar a eficiência do processo Fenton e reduzir a formação de complexos férricos é o emprego de radiação UV, denominando-se de foto-Fenton.

3.1.1. FOTO-FENTON

O processo foto-Fenton recebe muitas atenções devido à sua alta capacidade de oxidação e cinética de reação rápida (QUI et al., 2019). Com a incidência de radiação UV a energia extra aumenta o potencial catalítico e produz mais radicais hidroxila, aumentando a taxa de degradação de poluentes.

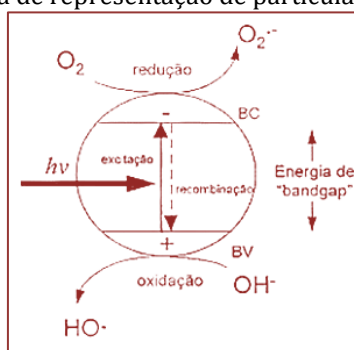
O processo Foto-Fenton, teve seu reconhecimento como poderosa ferramenta no tratamento de efluentes aquosos contendo poluentes não biodegradáveis (PIGNATELLO, 1992). Destaca-se entre os POAs que utilizam a luz em sua reação, pois tem a vantagem de ser sensível à luz UV-visível, uma vez que as espécies foto-reativas deste processo absorvem luz em comprimentos de onda maiores do que 300 nm, possibilitando o aproveitamento da luz solar (CUNHA et al., 2007).

3.2. FOTOCATÁLISE

Dentre os diferentes processos avançados de oxidação, a fotocatalise heterogênea têm encontrado grande potencial de aplicação na remediação ambiental, sendo capaz de provocar degradação de ampla gama de poluentes. Fujishima e Honda em 1972 foram pioneiros e relataram a oxidação da água em suspensão de dióxido de titânio (TiO_2) irradiado em célula fotoeletroquímica, gerando hidrogênio e oxigênio. Diante disto, diversos trabalhos vêm relatando os processos fotocatalíticos envolvendo a oxidação da água e íons inorgânicos.

O princípio da fotocatalise heterogênea envolve a ativação de um semicondutor (geralmente TiO_2) por luz solar ou artificial. O semicondutor é caracterizado por bandas de valência (BV) e bandas de condução (BC), sendo a região entre elas chamada de "bandgap", como pode ser observado no esquema da Figura 2. Quando a energia do fóton é maior ou igual ao fóton da lacuna de banda do semicondutor, os elétrons fotoinduzidos são excitados para BC para formar elétrons (e^-) com alta redutividade, deixando buracos (h^+) com alta oxidação habilidade na BV.

Figura 2 - Esquema de representação de partícula de um semicondutor



Adaptado de Nogueira (1998).

Estas lacunas mostram potenciais na faixa de +2,0 a +3,5 V, bastante positivos, medidos contra um eletrodo de calomelano saturado, dependendo do semicondutor e do pH. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais •OH, a partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor, os quais podem oxidar o contaminante orgânico.

As variáveis que influenciam a degradação em sistemas fotocatalíticos são, principalmente, a superfície do semicondutor e seu nível de dopagem. Além disso, o processo sofre influências de fatores como a área superficial reativa, da concentração do poluente e dos aceptores de elétrons, da intensidade da luz incidente, do pH e da temperatura (HOFFMANN; MARTIN, 1995). Deve ser considerado também, o modo de operação da fotocatalise heterogênea, onde o semicondutor pode estar imobilizado em algum suporte ou em suspensão e, ainda, o sistema de operação, geometria e hidrodinâmica do reator.

3.3. PROCESSOS ELETROQUÍMICOS

Os processos eletroquímicos oferecem opções viáveis para o tratamento de efluente aquosos, sendo capazes de remediar problemas ambientais (FREIRE et al., 2000). Diferentes técnicas eletroquímicas como eletrorredução, eletrodialise, eletroflotação e eletrocoagulação são aplicadas no tratamento de efluentes nos últimos anos (MARTÍNEZ-HUITLE, et al., 2015). Dentre eles, os processos oxidativos avançados eletroquímicos (POAE) vêm ganhando destaque no decorrer da última década, gerando grande interesse na redução de poluentes persistentes (CHANIKYA, et al., 2020; NIDHEESH; ZHOU; OTURAN, 2018).

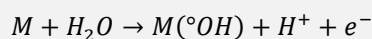
O processo eletroquímico consiste na eletrolise do efluente, aplicando corrente elétrica em uma célula eletroquímica composta de pares de eletrodos (cátodo e ânodo), e quando polarizados, ocorre a reação de redução (cátodo) e oxidação (ânodo), transformando o poluente em uma substância mais simples, ou até a sua completa mineralização (NIDHEESH; ZHOU; OTURAN, 2018). Os POAE são processos baseados na transferência de elétrons, ou seja, durante o processo ocorre a produção *in situ* do radical hidroxila (•OH) pela oxidação da água na superfície do ânodo (Equação 9) (MORADI et al., 2020; ARAUJO et al., 2016).

Equação 9



Em vista disso o radical •OH é capaz de degradar ampla gama de compostos orgânicos recalcitrantes. Esta degradação pode ocorrer em duas categorias, diretamente (através de processo de oxidação anódica) ou indiretamente (através de processo Eletro-Fenton) (MORADI et al., 2020). No caso de POAE diretos, os radicais hidroxila são produzidos na superfície do ânodo por oxidação direta da água, sem a adição externa de produtos químicos, conforme pode ser visto na Equação 10 (NIDHEESH; ZHOU; OTURAN, 2018).

Equação 10



Onde *M* é material do ânodo.

Já no POAE indireto, a geração dos radicais •OH são baseados no processo Fenton com a geração *in situ* (Eletro-Fenton) ou com a adição externa de reagente (H₂O₂ ou ferro ferroso). Devido a materiais específicos dos eletrodos o H₂O₂ pode ser produzido eletroliticamente e o ferro ferroso pode ser gerado anodicamente, ou ambos podem ser adicionados externamente (BRILLAS; SIRÉS; OTURAN, 2009).

Para haver a geração do radical hidroxila junto ao eletrodo durante o processo de eletrólise, é necessário a utilização de materiais na confecção dos eletrodos. Sendo o preparo do eletrodo um dos fatores mais importantes para a eficiência do sistema, de forma que as propriedades físico-químicas do material determinam o seu desempenho. Vários materiais vêm sendo estudados para confecção dos eletrodos como cerâmica, carbono e metais (Al, Si, Ta, Nb, W, etc) (MORADI et al., 2020).

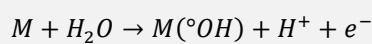
Algumas vantagens dos POAE em relação aos processos de tratamentos convencionais como a compatibilidade ambiental deve a ser considerada, pois o reagente principal para todos os POAE, o elétron, é considerado uma espécie limpa, ou seja, não causa danos ambientais (PERALTA-HERNÁNDEZ et al., 2009). Outra vantagem é a sua natureza versátil, maior eficiência na degradação de poluentes, segurança operacional e facilidade de automação (NIDHEESH; ZHOU; OTURAN, 2018).

3.3.1. OXIDAÇÃO ANÓDICA

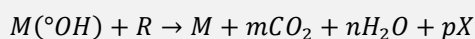
A oxidação anódica (OA) baseia-se na oxidação direta de poluentes na superfície do ânodo (NIDHEESH et al., 2019). A OA corresponde a transferência de elétrons dos poluentes orgânicos no ânodo, onde durante a eletrólise este mecanismo pode ocorrer de duas maneiras: (a) conversão eletroquímica, no qual os poluentes alvo são parcialmente transformados em compostos intermediários e/ou subprodutos orgânicos, que podem ou não ser biodegradáveis, requerendo algum tratamento subsequente; (b) combustão eletroquímica, converte os poluentes em derivados desidrogenados ou hidroxilados que são completamente mineralizados durante a eletrólise e convertidos em H₂O, CO₂ e outros compostos (TITCHOU et al., 2021).

Durante o processo de OA, os radicais OH são gerados através da oxidação direta das moléculas de água na superfície do ânodo (Equação 11) oxidando os poluentes orgânicos (Equação 12). Contudo, durante este processo algumas reações secundárias podem acontecer, como a oxidação de radicais a dioxigênio, a produção de agentes mais fracos, formação de O₃, geração eletroquímica de outros oxidantes a partir de íons coexistentes, como o cloro, peroxidissulfato, peroxidicarbonato, peroximonocarbonato, peroxidifosfato, podendo interferir na oxidação direta na superfície do ânodo (TITCHOU et al., 2021; MOREIRA et al., 2017).

Equação 11



Equação 12



Onde *M* (material anódico), *M*(•OH) (radicais OH heterogêneos), *R* (matéria orgânica) e *X* (íons inorgânicos).

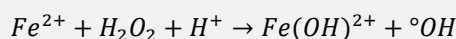
Dois comportamentos distinguem-se na degradação de poluentes: (a) degradação parcial de materiais orgânicos juntamente com a formação de espécies persistentes como produtos finais; (b) mineralização orgânica, ou seja, conversão para CO₂, água e íons inorgânicos (MORADI et al., 2020). A eficiência da OA é totalmente dependente da transferência dos poluentes para a superfície do ânodo, onde a natureza do material de produção do eletrodo influencia na eficiência do processo.

Materiais anódicos não ativos são conhecidos pela sua interação mais fraca com •OH, e acabam promovendo uma baixa atividade eletroquímica na evolução de O₂. Já ânodos ativos são caracterizados pelo seu baixo poder de oxidação devido a sua baixa sobretensão de O₂, eles apenas são capazes de promover a conversão de poluentes alvos em intermediários, que podem ou não, ser biodegradáveis (TITCHOU et al., 2021). Desta forma, pode-se colocar como regra geral que quanto maior o potencial de evolução de O₂ do material do ânodo, menor será a sua interação *M* (•OH) com a superfície do ânodo e maior a reatividade química (MORADI et al., 2020).

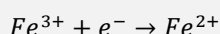
3.3.2. ELETRO-FENTON

O processo Eletro-Fenton (EF) e seus processos similares são baseados na reação de Fenton. A degradação do poluente ocorre através da formação de agente oxidante *in-situ*, que é capaz de migrar do eletrodo para o meio reacional (ARAUJO et al., 2016). Neste método ocorre a eletro-oxidação indireta, ou seja, os radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) são gerados eletroquimicamente, onde o H_2O_2 é cataliticamente decomposto por Fe^{2+} para formar o oxidante forte $\bullet\text{OH}$ em meio ácido (Equação 13). O processo é catalisado pela regeneração eletroquímica de íons Fe^{2+} (Equação 14) (GANIYU; MARTINEZ-HUTILE; OTURAN, 2020).

Equação 13

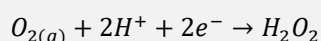


Equação 14

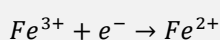


No processo EF são envolvidas três etapas importantes: (a) a eletro-geração contínua de H_2O_2 em cátodo de carbono alimentado com oxigênio (Equação 15); (b) a adição de catalisador Fe^{2+} na solução; e (c) a redução catódica de Fe^{3+} para Fe^{2+} (Equação 16), com consequente geração contínua do reagente de Fenton (MORADI et al., 2020).

Equação 15



Equação 16



Além do EF podemos destacar seus processos similares como fotoeletro-Fenton e fotoeletro-Fenton solar, que além das condições já estabelecidas pelo processo EF há irradiação na solução por UV e luz solar, respectivamente. Nesses processos em que são baseados na radiação, a degradação dos poluentes acaba sendo acelerada por (a) fotorredução de Fe^{3+} -Hidroxi, como FeOH^{2+} a um pH de aproximadamente 3, e (b) fotólise direta formada entre Fe^{3+} e alguns compostos orgânicos como ácidos carboxílicos (MORADI et al., 2020).

3.4. OZONIZAÇÃO

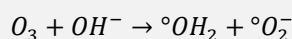
O ozônio (O_3) é um gás altamente reativo aos compostos orgânicos e inorgânicos por duas diferentes vias: (1) direta pelo ozônio molecular; (2) indireta por radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), produzidos no processo de decomposição do ozônio e quando dissolvido em água atua como forte oxidante devido seu alto potencial redox (E° : +2,07 V) (BELTRAN, 2003; POZNYAK; ORIA; POZNYAK, 2019).

No mecanismo direto as moléculas de ozônio reagem diretamente com os poluentes por 3 reações: oxidação-redução, cicloadição dipolar, eletrofilica e nucleofílica. A reação de oxidação-redução consiste na transferência de elétrons entre as espécies e está relacionada ao alto potencial redox do ozônio. Na cicloadição dipolar, o ozônio reage com as ligações duplas $\text{C}=\text{C}$ de moléculas orgânicas, como olefinas e aromáticos, para formar o intermediário cíclico ozoneto, que posteriormente sofre uma série de reações como ozonólise anormal e produz duas moléculas menores (cetonas, aldeídos ou ácidos carboxílicos). Na reação eletrofilica, o ozônio reage com uma molécula orgânica que apresenta elevada densidade eletrônica, promovendo a substituição de parte da molécula em uma das posições nucleofílicas. Devido a sua dipolaridade, o ozônio também pode atuar como agente nucleofílico nos sítios que apresentam déficit eletrônico, principalmente nos compostos orgânicos aromáticos carregados de grupos receptores de elétrons (LANGLAIS et al., 2019).

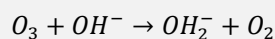
As desvantagens do mecanismo direto são a seletividade do ozônio em suas reações com os compostos orgânicos e a cinética relativamente lenta (10^{-1} a 10^3 L mol⁻¹ s⁻¹) (GOTTSCHALK; LIBRA; SAUPE, 2000). A mineralização completa dos compostos orgânicos a H₂O e CO₂ geralmente não ocorre, resultando em produtos finais como aldeídos, álcoois, cetonas e ácidos carboxílicos. O ozônio reage preferencialmente com compostos insaturados como alcenos, alcinos e anéis aromáticos, enquanto que reações lentas ocorrem com compostos saturados (alcanos) e substâncias fortemente desativadas (hidrocarbonetos clorados) (GLAZE; KANG; CHAPIN, 1987).

Na ozonização indireta, o ozônio é decomposto em espécies reativas de oxigênio, principalmente o radical •OH, que degradam diversos compostos recalcitrantes presentes na água e efluentes. Os íons de hidróxido (OH⁻) são os principais responsáveis por iniciar a decomposição do ozônio e a formação dos radicais •OH, o que está fortemente relacionado ao pH do meio. Uma série de reações em cadeia promovem a formação do •OH, envolvendo três etapas: iniciação, propagação e finalização. A Equação 17 apresenta a reação de iniciação em pH ácido a neutro, e as Equações 18 e 19 em pH alcalino (IKEHATA; LI, 2018).

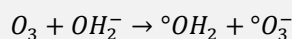
Equação 17



Equação 18

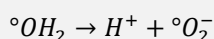


Equação 19

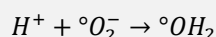


Em função da cinética relativamente lenta das reações entre as moléculas de ozônio e íons hidroxila, a iniciação é a etapa limitante do processo. Porém, o íon hidroperóxido (OH₂⁻) gerado em condição alcalina, reage rapidamente com o ozônio e produz o radical hidroperóxil (°OH₂) que se decompõe em outro radical livre (IKEHATA; LI, 2018). Dessa forma, no meio ácido (pH<4) predomina as reações diretas de ozônio e no meio alcalino (pH>9), as indiretas (RAJESWARI; KANMANI, 2009). Após a iniciação, as reações em cadeia são propagadas, conforme as Equações 20 a 27 (HOIGNÉ, 1998):

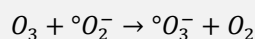
Equação 20



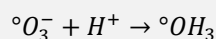
Equação 21



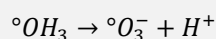
Equação 22



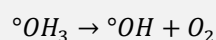
Equação 23



Equação 24



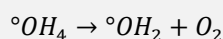
Equação 25



Equação 26



Equação 27



Para a finalização das reações podem ser utilizados inibidores conhecidos da decomposição do ozônio, como carbonato, bicarbonato, terc-butanol, p-clorobenzoato e substâncias húmicas, além de uma alta concentração de peróxido de hidrogênio (IKEHATA; LI, 2018). Devido à alta taxa de decomposição do ozônio em pH alcalino, essa ozonização indireta é considerada um processo oxidativo avançado. Além do radical $\bullet\text{OH}$, outras espécies reativas de oxigênio como radical ânion superóxido ($^{\circ}\text{O}_2^-$), radical hidroperóxil ($^{\circ}\text{OH}_2$), oxigênio trigêmeo ($^3\text{O}_2$) e radical orgânico peróxil ($\text{ROO}\bullet$) também participam do processo (IKEHATA; LI, 2018).

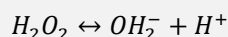
Os POA baseados em ozônio são eficientes no tratamento do esgoto doméstico, água para abastecimento humano e ampla diversidade de efluentes industriais (como têxtil, papel e celulose, farmacêutica, laticínios, petroquímica e de curtume), visando a inativação bacteriana e/ou a degradação de poluentes como pesticidas, herbicidas, fenol, detergentes, corantes, estrogênios, fármacos, compostos orgânicos voláteis, subprodutos da desinfecção e outros. A eficiência do tratamento avançado com o ozônio depende de diversos fatores, como o pH do meio, dosagem e fluxo de ozônio, temperatura, tempo de reação, uso de catalisador e oxidantes auxiliares, entre outros (REKHATE; SRIVASTAVA, 2020; WANG; CHEN, 2020).

O ozônio apresenta baixa solubilidade na água e curto tempo de vida. Portanto precisa ser gerado continuamente *in situ*, implicando em alto consumo de energia e custos operacionais. Para superar essas limitações, uma alternativa é a combinação do ozônio com outros métodos, como H_2O_2 , luz ultravioleta (UV) ou a incorporação de catalisador em fase homogênea ou heterogênea, denominada de ozonização híbrida (ORTIZ; RIVERO; MARGALLO, 2019).

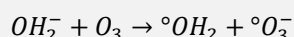
3.4.1 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$

O sistema de POA mais estudado e implementado com base no ozônio é o $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$. Na presença do H_2O_2 , a decomposição do ozônio na água é acelerada e, conseqüentemente, a concentração do radical $\bullet\text{OH}$ aumenta, degradando os contaminantes de forma eficaz. Para a formação do radical $\bullet\text{OH}$, o íon hidroperóxido (OH_2^-), resultante da ionização do H_2O_2 , inicia a decomposição do O_3 , conforme as Equações 29 a 34 (REKHATE; SRIVASTAVA, 2020).

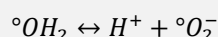
Equação 28



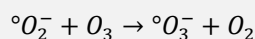
Equação 29



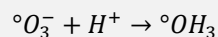
Equação 30



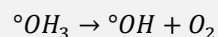
Equação 31



Equação 32



Equação 33

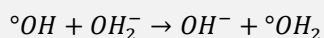


Em condições ácidas foi constatado lenta ativação do O_3 pelo íon OH_2^- , desse modo o sistema $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ geralmente é empregado em condições de pH alto (KHAN et al., 2020). Uma das exigências de $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ é a otimização adequada das concentrações de H_2O_2 , pois o excesso leva à eliminação de $\bullet\text{OH}$ e à formação do íon $^{\circ}\text{OH}_2$, já em concentração muito baixa o H_2O_2 compete com os radicais $\bullet\text{OH}$ e se decompõe sem oxidar os poluentes. A eliminação de radicais $\bullet\text{OH}$ devido à presença de excesso de O_3 ou H_2O_2 é demonstrada pelas Equações 35 a 37 (LINDEN; MOHSENI, 2014).

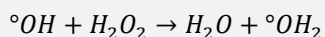
Equação 34



Equação 35



Equação 36

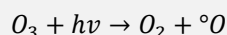


3.4.2 O₃/UV

Outro sistema amplamente difundido é a combinação do ozônio com a luz ultravioleta (O₃/UV), que pode apresentar eficiência superior a O₃/H₂O₂. As moléculas de O₃ absorvem fortemente a UV com coeficiente de absorção molar de 3300 M⁻¹ cm⁻¹ no comprimento de onda de 254 nm (PEYTON; GLAZE, 1988). A decomposição do ozônio pelo efeito sinérgico do O₃ com a radiação UV pode ocorrer pela produção direta e indireta de radicais •OH.

Na reação direta (Equação 38 a 40), a irradiação UV promove a decomposição do O₃, gerando o radical ^oO, que ao reagir com a água resulta em dois •OH e pode formar H₂O₂. Na reação indireta (Equação 41 e 42), o radical •OH é produzido pela decomposição do H₂O₂ (REKHATE; SRIVASTAVA, 2020).

Equação 37



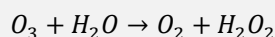
Equação 38



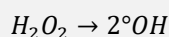
Equação 39



Equação 40



Equação 41



Quando o contaminante alvo absorve luz ultravioleta, a fotólise também pode contribuir para a degradação em conjunto com o ozônio molecular e as reações dos radicais •OH, podendo proporcionar melhores resultados em comparação com o sistema O₃/H₂O₂. No entanto, quando o efeito da fotólise é baixo para determinado contaminante, a utilização de O₃/UV é inviável, pois a geração de radicais •OH pode ser obtida com a aplicação direta do H₂O₂ em substituição à produção *in situ* via O₃/UV, reduzindo os custos com energia elétrica (GLAZE, 1987).

3.4.3. OZONIZAÇÃO CATALÍTICA HOMOGÊNEA

Na ozonização catalítica homogênea, íons de metais de transição, como Fe²⁺, Cu²⁺, Cr²⁺, Mn²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Cd²⁺, Ag⁺ e Zn²⁺ são adicionados ao meio para aumentar a degradação dos poluentes orgânicos. Esse processo é caracterizado pela elevada eficiência de remoção de compostos refratários e o baixo consumo de ozônio (GUO et al., 2012). O tipo de íon metálico e o contaminante alvo determinam tanto a taxa de reação como a seletividade e o consumo do ozônio, além da velocidade de degradação do composto e o mecanismo de reação (KASPRZYK-HORDERN; ZIÓŁEK; NAWROCKI, 2003).

Uma das vantagens da ozonização catalítica homogênea é a capacidade de atingir elevadas taxas de degradação em meio ácido, considerando que na ozonização convencional pode ocorrer a formação de compostos refratários em baixo pH. Além disso, a formação do complexo entre o íon metálico e o contaminante pode impedir que compostos sequestradores de radicais •OH, influenciem na ozonização

catalítica (ASSALIN; DURÁN, 2007).

3.4.4. OZONIZAÇÃO CATALÍTICA HETEROGÊNEA

Os catalisadores sólidos utilizados para melhorar a ozonização de poluentes incluem óxidos de metais (MnO_2 , Fe_2O_3 , $MgFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$, MgO), óxidos de metais em materiais suporte (Fe-SBA-15, $MnO_x/SBA-15$, Fe/MCM41, Mg-Ce-MCM41, Fe_3O_4/Co_3O_4) e materiais porosos (carvão ativado, nanotubo de carbono e zeólitas) (REKHATE; SRIVASTAVA, 2020). Nesse processo, as reações ocorrem tanto na solução como na superfície do catalisador, combinando as propriedades adsorptivas e catalíticas. Os mecanismos de ozonização são complexos e não totalmente compreendidos, pois dependem de muitos fatores (KASPRZYK-HORDERN; ZIÓŁEK; NAWROCKI, 2003).

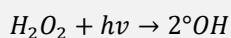
As propriedades físicas e químicas dos catalisadores interferem na eficiência do processo e devem ser consideradas na escolha do catalisador. As principais características físicas são: área da superfície, densidade, volume, porosidade, distribuição do tamanho do poro, resistência mecânica e pureza. As características químicas são a estabilidade química e, especialmente, a presença de superfícies ativas, pois são responsáveis pelas reações catalíticas, como sítios ácidos de Lewis (LINDEN; MOHSENI, 2014).

Dentre os diversos catalisadores disponíveis, os óxidos de ferro e de manganês são os mais explorados. Os óxidos de ferro são mais comuns devido a abundância na natureza, ausência de toxicidade e facilidade de sintetização. Alguns catalisadores à base de ferro apresentam características especiais, como as propriedades magnéticas do Fe_3O_4 e alta densidade de grupos hidroxila do FeOOH (oxihidróxidos de ferro) (WANG; BAI, 2017). O dióxido de manganês (MnO_2) é uma opção atraente pois além da abundância natural e baixo custo, os múltiplos estados de oxidação do Mn podem aumentar a transferência de elétrons, conferindo alta atividade catalítica. No entanto, os íons de manganês tendem a lixiviar, constituindo-se uma poluição secundária (XING et al., 2016). O dióxido de titânio (TiO_2) também é indicado como catalisador porque não é tóxico, apresenta elevada atividade catalítica e custo relativamente baixo (ASSALIN; DURÁN, 2007).

3.5. UV/ H_2O_2

Considerado um dos processos oxidativos avançados (POAs) mais antigo, o processo foto-oxidativo UV/ H_2O_2 consiste na combinação do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) com radiação ultravioleta (UV). A fotólise (UV) do H_2O_2 gera radical hidroxila, ou seja, a quebra da molécula em $\bullet OH$ com rendimento de $2\bullet OH$. A formação de radicais hidroxilas ocorre via clivagem homolítica, em comprimento de onda menor que 280 nm, conforme a Equação 43.

Equação 42



A absorção de fótons UV pelo H_2O_2 o faz dissociar-se em radicais hidroxilas, os quais por apresentarem baixa seletividade, reagem rapidamente e não seletivamente com a maioria dos compostos orgânicos. O radical $\bullet OH$ é capaz de degradar a matéria orgânica podendo levar à sua mineralização, o que resulta na real destruição do contaminante (LEGRINI et al., 1993; MARTÍNEZ et al., 2009; DE LA CRUZ, 2012).

O processo UV/ H_2O_2 é relativamente de fácil manuseio e ao mesmo tempo resulta em significativa remoção de poluentes no tratamento de efluentes (YUAN et al., 2011; HERMOSILLA et al., 2015). A associação desses processos tem sido amplamente estudada e aplicada no tratamento e purificação de águas de abastecimento e de águas residuárias, permitindo a degradação de uma série de contaminantes (BAEZA et al., 2011; KATSOYIANNIS et al., 2011; YUAN et al., 2011; DE LA CRUZ et al., 2012).

Dentre os vários processos de tratamento dos POAs (H_2O_2/Fe^{2+} , UV/ O_3 , UV/ TiO_2), o processo UV/ H_2O_2 apresenta como vantagem a miscibilidade completa do H_2O_2 em água, a mineralização de compostos orgânicos e descoloração de águas residuárias, a ausência de problemas de transferência de fase, a alta disponibilidade comercial do H_2O_2 , além do baixo custo de investimento (AHMED, 2009).

4. REMOÇÃO DE POLUENTES VIA POA

As Tabelas a seguir (Tabelas 3 – 7) descrevem o resumo dos artigos relacionados aos POAs em diferentes aplicações, sendo eles industriais, águas residuais, esgoto sanitário e efluentes sintéticos.

Tabela 3 - Resumo das condições ótimas do processo Fenton e semelhantes na remoção de contaminantes

Processo	Efluente	Poluente	Eficiência	Referência Bibliográfica
Fenton	Sintético	6 etoxilatos de álcool e 4 etoxilatos de alquilfenol	96-99%	Pagano et al., (2008)
foto-Fenton	Real	Carbamazepina, Crotamiton, Ibuprofeno	> 92%	Dong et al., (2019)
Fenton e foto-Fenton	Sintético	Amoxicilina	100%	Verma e Haritash (2019)
Fenton e foto-Fenton	Sintético	Prednisolona	Degradação completa	Díez et al., (2018)
foto-Fenton	Real	Tetraciclina 24 mg L ⁻¹	Degradação completa	Bautitz e Nogueira, e (2007)
foto-Fenton	Real	Cetaminofeno, antipirina, atrazina, cafeína, carbamazepina, diclofenaco, flumequina, hidroxibifenil, ibuprofeno, isoproturon, cetorolaco, ofloxacina, progesterona, sulfametoxazol e triclosan	Degradação completa	Klamerth, et al., (2012)
Fenton Heterogêneo	Real	Degradação de corantes	91,9%	Dalari et al., (2020)
Fenton Heterogêneo	Sintético	Corante	42%	Souza-Neto et al., (2019)

Tabela 4 - Resumo das condições ótimas do processo Fotocatálise na remoção de contaminantes

Processo	Efluente	Poluente	Eficiência	Referência Bibliográfica
Fotocatálise heterogênea utilizando TiO ₂ /O ₂ /UV e TiO ₂ /O ₂ /UV solar	Sintético	Dipirona	80%, 70%	Terra et al., (2020)
Fotocatálise heterogênea utilizando TiO ₂	Sintético	Cloridrato de norfloxacino	54,61%	Santos et al., (2017)
Fotocatálise heterogênea utilizando TiO ₂ -P25 e auxiliada com H ₂ O ₂	Sintético	Sulfametoxazol, Carbamazepina e Diclofenaco	-	Moreira et al., (2018)

Tabela 5 - Resumo das condições ótimas do processo Eletroquímico e semelhantes na remoção de contaminantes

POA	Contaminante	Tipo Efluente	Condições operacionais	Eficiência	Referência Bibliográfica
Sonoeletroquímica	Clorpirifós	Efluente sintético	Eletrodo de aço inoxidável combinado com ultrassom	93,3% ~ 72,8%	Ren et al., (2019)
Oxidação Eletroquímica	Clorpirifós e DQO	Efluente sintético	Eletrodos de Nb/PbO ₂ (ânodo) e barra de carbono grafite (cátodo)	76% COD; A oxidação de Clorpirifós não foi alcançada	Samet; Agengui; Abdelhedi, (2010)
Oxidação Eletroquímica	Tiametoxam (TMX)	Efluente sintético, água residual tratada secundária, água engarrafada	Eletrodo de diamante dopado com boro (ânodo), eletrodo de aço inoxidável (cátodo)	76% - Efluente sintético;	Lebik-Elhadi et al., (2018)
Eletrocoagulação	Nanopartículas à base de TiO ₂	Efluente sintético	Eletrodos de Ferro como ânodo e cátodo	95%	Ghanbari et al., (2020)
Carbocatálise eletroquímica	Ácido Húmico e Cr (IV)	Efluente sintético	Partículas de Carvão ativado/PdNPs; Eletrodo de diamante dopado com boro (ânodo) e folha de Pt (cátodo)	Ácido húmico foi totalmente removido; Remoção de Cr (VI) foi > 90%	Yin et al., (2020)

Tabela 6 - Resumo das condições ótimas do processo de ozonização e semelhantes na degradação de contaminantes

Processo	Efluente	Contaminante	Remoção	Referência Bibliográfica
Catalisador: Mn _x Cu _{1-x} O _y /γ-Al ₂ O ₃ .	Efluente sintético de piridina (500 mg L ⁻¹).	COT e NT	99,8% COT e 45,8% NT	Jiang et al., (2021)
Catalisador: aparas de ferro residuais (Fe ⁰).	Esgoto sanitário municipal na etapa de lodos ativadas.	Sulfametoxazol (20 mg L ⁻¹).	99%	Shahmahdi et al., (2020)
O ₃ /H ₂ O ₂ -carvão ativado biológico (CAB);	Água superficial utilizada para abastecimento humano;	COD; trihalometano e matéria orgânica (UV ₂₅₄);	~25% a ~80% de COD; ~40% a 95% de UV ₂₅₄ ; Trihalometano reduziu de ~300 mg L ⁻¹ na água bruta a ~75 mg L ⁻¹	Tak e Vellanki (2020)
Catalisador: Hidróxidos Duplos em Camadas de Ni ₃ -Fe.	Efluente sanitário municipal no tanque de decantação secundária (COT e TOC);	COD, TOC e Bisfenol A	68% COD, 56% TOC e 100% Bisfenol A	Huang et al., (2019)
Catalisador: nano-MgO.	Efluente de gaseificação de carvão pré-tratado biologicamente.	Quinolina	100%	Zhu et al., (2017)
Catalisador: zeólita natural carregada de cério.	Solução de Penicilina G (50 mg L ⁻¹).	Penicilin a G	99,5%	Zhang et al., (2020)

Tabela 7 - Resumo das condições ótimas dos processos UV/H₂O₂ na remoção de contaminantes

Contaminante	Tipo Efluente	Eficiência	Referência Bibliográfica
Atrazina, alacloro, carbamazepina, 17- α -etinilestradiol e pentaclorofeno.	Solução sintética de diferentes poluentes, ambos na concentração de 200 μ g/L.	Atrazina, alacloro e 17- α -etinilestradiol >80% Carbamazepina e pentaclorofeno >90%	Liu et al., (2019)
Ácidos haloacéticos iodados	Solução sintética contendo ácido iodoacético, iodobromoacético e diiodoacético.	77,5%	Xiao et al., (2016)
Atrazina, Mecoprop, Dicamba, Bentazole, 2,4-D	Água bruta de ETA	Atrazina >80%, Mecoprop >95%, Dicamba e Bentazole >60%, 2,4-D >70%	Kruithof et al., (2007)
2,4-D, Mecoprop, Atrazina	Água Residual municipal	2,4-D >89%, Mecoprop >98% e Atrazina >88%	James et al., (2014)
Compostos de lignina e aromáticos	Efluente da indústria de papel e celulose	100%	Giroletti, (2017)
Cloreto de 1-butil-3-metilimidazólio, brometo de 1-etilpiridínio, 1-etil-Trifluorometanossulfonato de 3-metilimidazólio	Solução sintética contendo líquidos iônicos	100%	Kurata et al., (2017)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poluição do meio ambiente e águas residuárias por efluentes industriais tem aumentado gradativamente nas últimas décadas, tornando-se um grave problema social e ambiental. Os processos oxidativos avançados (POAs) são uma alternativa de tratamento viável, eficiente, versátil, com rápida mineralização de inúmeras espécies químicas de contaminantes e custo compatível. Seus diferentes processos são indicados quando o tratamento convencional não seja possível ou mesmo adequado, por exemplo, no caso de compostos tóxicos, recalcitrantes, misturas complexas e/ou muito concentradas.

A eficiência do tratamento depende da matriz, do contaminante, do objetivo do tratamento, do volume a ser tratado, do limite de degradação desejado, do custo operacional, entre outros fatores. Contudo, os diferentes métodos e técnicas encontrados nos processos oxidativos avançados apresentam grande potencial de aplicação como método de descontaminação de águas residuárias, considerando vários fatores, um deles é a eficiência na relevância ambiental. Entretanto, cabe acrescentar que os POAs não devem ser vistos como uma solução única para o tratamento de toda e qualquer matriz ambiental contaminada, mas sim, nas combinações de processos de tratamento.

Muitos estudos vêm destacando os processos combinados como metodologias de tratamento promissoras quando se trata de matrizes extremamente poluentes tais como: herbicidas, efluentes têxteis, efluentes de polpa e papel, entre outros. Desta forma é importante a busca por combinações entre os POAs e outros processos de tratamento, visando a eliminação ou transformação de produtos resistentes à biodegradação em produtos com maior potencial de biodegradabilidade, além de manter as descargas industriais dentro dos limites propostos pelas legislações ambientais.

REFERÊNCIAS

- [1] AHMED, B.; MOHAMED, H.; LIMEM, E.; NASR, B. Degradation and mineralization of organic pollutants contained in actual pulp and paper mill wastewaters by a UV/H₂O₂ process. *Industrial e Engineering Chemistry Research*, v.48, p.3370-3379, 2009.
- [2] ALJUNDI, I. H. Bromate formation during ozonation of drinking water: A response surface methodology study. *Desalination*, v.277, n.1-3, p.24-28, 2011.
- [3] ARAÚJO, K. S. et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Revista Ambiente & Água*, v.11, n.2, p.387-401, 2016.
- [4] ASAITHAMBI, P.; AZIZ, A. R. A.; DAUD, W. M. A. B. W. Integrated ozone—electrocoagulation process for the removal of pollutant from industrial effluent: Optimization through response surface methodology. *Chemical*

Engineering and Processing: Process Intensification, v.105, p.92-102, 2016.

- [5] ASSALIN, M. R; DURÁN, N. Novas tendências para aplicação de ozônio no tratamento de resíduos: ozonização catalítica. *Revista Analytica*, n.26, p.76-86, 2007.
- [6] BABUPONNUSAMI, A; MUTHUKUMAR, K. Treatment of phenol-containing wastewater by photoelectro-Fenton method using supported nanoscale zero-valent iron. *Environmental Science and Pollution Research*, v.20, n.3, p.1596-1605, 2013.
- [7] BAEZA, C; KNAPPE, D. R. U. Transformation kinetics of biochemically active compounds in low-pressure UV photolysis and UV/H₂O₂ advanced oxidation processes. *Water Research*, v.45, p.4531-4543, 2011.
- [8] BAI, Z; WANG, J; YANG, Q. Advanced treatment of municipal secondary effluent by catalytic ozonation using Fe₃O₄-CeO₂/MWCNTs as efficient catalyst. *Environmental Science and Pollution Research*, v.24, n.10, p.9337-9349, 2017.
- [9] BELTRAN, F. J. Ozone reaction kinetics for water and wastewater systems. Lewis Publisher, 2003.
- [10] BRILLAS, E; SIRÉS, I; OTURAN, M. A. Electro-Fenton process and related electrochemical technologies based on Fenton's reaction chemistry. *Chemical reviews*, v.109, n.12, p.6570-6631, 2009.
- [11] CAREY, J. H; LAWRENCE, J; TOSINE, H. M. Photodechlorination of PCB's in the presence of titanium dioxide in aqueous suspensions. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v.16, n.6, p.697-701, 1976.
- [12] CHANIKYA, P. et al. Treatment of dyeing wastewater by combined sulfate radical based electrochemical advanced oxidation and electrocoagulation processes. *Separation and Purification Technology*, v.254, p.117570, 2020.
- [13] CUNHA, G. M. A; NETO, A. A. E; MEDEIROS, G. G. D; SILVA, D. N; MOTA, A. L. N; CHIAVONE-FILHO, O. Uso do processo foto-fenton no tratamento de águas produzidas em campos de petróleo. 4^o PDPEURO, Campinas, SP, 2007.
- [14] DE LA CRUZ, N; GIMENEZ, J; ESPLUGAS, S; GRANDJEAN, D; ALENCASTRO L. F; PULGARI'N, C. Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. *Water Research*, v.46 p.947-957, 2012.
- [15] Dunn, C. G. Treatment of Water and Sewage by Ionizing Radiations. *Sewage and Industrial Wastes*, v.25, n.11, p.1277-1281, 1953.
- [16] FENTON, HJH LXXIII. - Oxidação de ácido tartárico na presença de ferro. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, v.65, p.899-910, 1894.
- [17] FERNANDES, A; GAÇOL, M; MAKÓŠ. P; KHAN, J. A; BOCZKAJ, G. Integrated photocatalytic advanced oxidation system (TiO₂/UV/O₃/H₂O₂) for degradation of volatile organic compounds. *Separation and Purification Technology*, v.224, p.1-14, 2019.
- [18] FREIRE, R. S. Novas Tendências para o Tratamento de Resíduos Industriais Contendo Espécies Organocloradas. *Química Nova*, v.23, n.4, p.504-511, 2000.
- [19] FUJISHIMA, A; HONDA, K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, v.238, n.5358, p.37-38, 1972.
- [20] GANIYU, S. OI; MARTINEZ-HUTILE, C. A; OTURAN, M. A. Electrochemical advanced oxidation processes for wastewater treatment: Advances in formation and detection of reactive species and mechanisms. *Current Opinion in Electrochemistry*, p.100-678, 2020.
- [21] GAO, G; SHEN, J; CHU, W; CHEN, Z; YUAN, L. Mechanism of enhanced diclofenac mineralization by catalytic ozonation over iron silicate-loaded pumice. *Separation and Purification Technology*, v.173, p.55-62, 2017.
- [22] GHAHRCHI, M.; REZAEI, A. Electro-catalytic ozonation for improving the biodegradability of mature landfill leachate. *Journal of environmental management*, v.254, p.1-8, 2020.
- [23] GHANBARI, F. et al. TiO₂ nanoparticles removal by electrocoagulation using iron electrodes: Catalytic activity of electrochemical sludge for the degradation of emerging pollutant. *Journal of Molecular Liquids*, v.310, p.113217, 2020.
- [24] GLAZE, W. H; KANG, J; CHAPIN, D. H. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *Ozone: Science & Engineering*, v.9, n.4, p.335-352, 1987.
- [25] GOGATE, P. R; PANDIT, A. B. A Review of Imperative Technologies for Wastewater Treatment I: Oxidation Technologies at Ambient Conditions. *Advances in Environmental Research*, v.8, p.501-551, 2004.
- [26] GOI, A; TRAPIDO, M. Hydrogen Peroxide photolysis, Fenton reagent and photo-Fenton for degradation of nitrophenols: a comparative study. *Chemosphere*, n.46, p.913-922, 2002.
- [27] GOTTSCHALK, C; LIBRA, J. A; SAUPE, A. Ozonation of water and waste water: A practical guide to understanding ozone and its applications. John Wiley & Sons, 2009.

- [28] GRACIA, R; ARAGÜES, J. L; OVELLEIRO, J. L. Study of the catalytic ozonation of humic substances in water and their ozonation byproducts. *Ozone: Science & Engineering*, v.18, 1996.
- [29] GUO, Y; YANG, L; CHENG, X; WANG, X. The application and reaction mechanism of catalytic ozonation in water treatment. *J Environ Anal Toxicol*, v.2, n.7, p.2-7, 2012.
- [30] HERMOSILLA, D; MERAYO, N; CASCÓ, A; BLANCO, Á. The application of advanced oxidation technologies to the treatment of effluents from the pulp and paper industry: a review. *Environmental Science Pollution Research*, v.22, p.168-191, 2015.
- [31] HOFFMANN, M. R; MARTIN, S. et al. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chemical Reviews*, v.95, n.1, p.69–96, 1995.
- [32] HOIGNE, J; BADER, H. Ozonation in water: Role of hydroxyl radicals as oxidizing intermediates. *Science*, v.190, p.782–784, 1975.
- [33] HOIGNE, J; BADER, H. Role of hydroxyl radical reactions in ozonation processes in aqueous solutions. *Water Research*, v.10, n.5, p.377–386, 1976.
- [34] HOIGNÉ, J. Chemistry of aqueous ozone and transformation of pollutants by ozonation and advanced oxidation processes. In: Hrubec, Jiri (Ed.). *Quality and treatment of drinking water II*. Springer, Berlin, Heidelberg, p.83-141, 1998.
- [35] HUANG, C. P; DONG, C; TANG, Z. Advanced Chemical Oxidation: its present role and potential future in hazardous waste treatment. *Waste Management*, v.31, p.361-377, 1993.
- [36] HUANG, Y; YANG, T; LIANG, M; WANG, Y; XU, Z; ZHANG, D; LI, L. Ni-Fe layered double hydroxides catalyzed ozonation of synthetic wastewater containing Bisphenol A and municipal secondary effluent. *Chemosphere*, v.235, p.143-152, 2019.
- [37] IKEHATA, K; LI, Y. Ozone-based processes. In: AMETA, S. C; AMETA, R. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*. Academic Press, p.115-134, 2018.
- [38] JIANG, H; ZHANG, R; HAO, J; XU, X; CHEN, J; ZHANG, Y; YANG, F. Design, preparation, characterization, and application of $Mn_xCu_{1-x}O_y/\gamma-Al_2O_3$ catalysts in ozonation to achieve simultaneous organic carbon and nitrogen removal in pyridine wastewater. *Science of The Total Environment*, v.774, p.1-10, 2021.
- [39] KASPRZYK-HORDERN, B; ZIÓŁEK, M; NAWROCKI, J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment. *Applied Catalysis B: Environmental*, v.46, n.4, p.639-669, 2003.
- [40] KATSOYIANNIS, I. A; CANONICA, S; VON GUNTEN, U. Efficiency and energy requirements for the transformation of organic micropollutants by ozone, O_3/H_2O_2 and UV/ H_2O_2 . *Water Research*, v.45, p.3811-3822, 2011.
- [41] KHAN, J. A; SAYED, M; KHAN, S; SHAH, N. S; DIONYSIOU, D. D; BOCZKAJ, G. Advanced oxidation processes for the treatment of contaminants of emerging concern. In: HERNANDEZ-MALDONADO, A; BLANEY, L. *Contaminants of emerging concern in water and wastewater*. Butterworth-Heinemann, p.299-365, 2020.
- [42] KHARE, P; PATEL, R. K; SHARAN, S; SHANKAR, R. Recent trends in advanced oxidation process for treatment of recalcitrant industrial effluents. In: *Advanced Oxidation Processes for Effluent Treatment Plants*. Elsevier, p.137-160, 2021.
- [43] KWAN, W. P; VOELKER, B. M. M. Rates of hydroxyl radical generation and organic compound oxidation in mineral-catalyzed Fenton-like systems. *Environ. Sci. Technol.* v.37, p.1150-1158, 2003.
- [44] LANGLAIS, B; RECKHOW, D. A; BRINK, D. R. *Ozone in water treatment: application and engineering*. Chelsea: AWWARF and Lewis Publishers, p. 568, 1991.
- [45] LEBIK-ELHADI, H. et al. Electrochemical oxidation of pesticide thiamethoxam on boron doped diamond anode: Role of operating parameters and matrix effect. *Process Safety and Environmental Protection*, v.116, p.535-541, 2018.
- [46] LEGRINI, O; OLIVEROS, E; BRAUN, A. M. Photochemical Processes for Water Treatment. *Chemical Reviews*, v.93, p.671-698, 1993.
- [47] LIMA, D. R. S; TONUCCI, M. C; LIBÂNIO, M; AQUINO, S. F. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. *Eng Sanit Ambient.*, v.22, n.6, 2017.
- [48] LINDEN, K. G; MOHSENI, M. Advanced oxidation processes: applications in drinking water treatment. In: AHUJA, Satinder et al. (Ed.). *Comprehensive water quality and purification*. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- [49] LITTER, M; QUICI, N. Photochemical advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. *Recent Patents on Engineering*, v.4, n.3, p.217-241, 2010.
- [50] LIU, Z; HOSSEINZADEH, S; WARDENIER, N; VERHEUST, Y; CHYS, M; HULLE, S. V. Combining ozone with UV

and H₂O₂ for the degradation of micropollutants from different origins: lab-scale analysis and optimization. *Environmental technology*, v.40, n.28, p.3773-3782, 2019.

- [51] MAHMOUD, A; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. *Química Nova*, v.30, n.1, p.198-205, 2007.
- [52] MALIK, S. N; GHOSH, P. C; VAIDYA, A. N; MUDLIAR, S. N. Hybrid ozonation process for industrial wastewater treatment: Principles and applications: A review. *Journal of Water Process Engineering*, v.35, p.2-21, 2020.
- [53] MARTÍNEZ- HUITLE, C. A; BRILLAS, E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental*, v.87, p.105-145, 2009.
- [54] MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. et al. Single and coupled electrochemical processes and reactors for the abatement of organic water pollutants: a critical review. *Chemical reviews*, v.115, n.24, p.13362-13407, 2015.
- [55] MATTOS, I. L; SHIRAIISHI, K. A; BRAZ, A. D; FERNANDES, J. R. Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. *Quím. Nova*, v.26, n.3, 2003.
- [56] MEHRJOUEI, M; MÜLLER, S; MÖLLER, D. A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater. *Chemical Engineering Journal*, v.263, p.209-219, 2015.
- [57] MORADI, M. et al. Service life and stability of electrodes applied in electrochemical advanced oxidation processes: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2020.
- [58] MOREIRA, F. C. et al. Electrochemical advanced oxidation processes: a review on their application to synthetic and real wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, v.202, p.217-261, 2017.
- [59] NAWROCKI, J; KASPRZYK-HORDERN, B. The efficiency and mechanisms of catalytic ozonation. *Applied Catalysis B: Environmental*, v.99, n.1-2, p.27-42, 2010.
- [60] NEYENS, E; BAEYENS, J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*, v.98, p.33-50, 2003.
- [61] NIDHEESH, P. V. et al. Environmental applications of boron-doped diamond electrodes: 1. Applications in water and wastewater treatment. *ChemElectroChem*, v.6, n.8, p.2124-2142, 2019.
- [62] NIDHEESH, P. V. Heterogeneous Fenton catalysts for the abatement of organic pollutants from aqueous solution: a review. *Rsc Advances*, v.5, n.51, p.40552-40577, 2015.
- [63] NIDHEESH, P. V; ZHOU, M; OTURAN, M. A. An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemosphere*, v.197, p.210-227, 2018.
- [64] NOGUEIRA, R. F. P; SILVA, M. R. A; TROVÓ, A. G. Influence of the iron source on the solar photo-Fenton degradation of different classes of organic compounds. *Solar Energy*, n.79, p.384-392, 2010.
- [65] NOGUEIRA, R. F. P; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. *Quím. Nova*, v.21, n.1, p.69-72, 1998.
- [66] OH, W; DONG, Z; LIM, T. Generation of sulfate radical through heterogeneous catalysis for organic contaminants removal: current development, challenges and prospects. *Applied Catalysis B: Environmental*, v.194, p.169-201, 2016.
- [67] OLEA-MEJIA, O; FERNÁNDEZ-MONDRAGÓN, M; BARRERA-DÍAZ, C; CABRAL-PRIETO, A. Effect of the Fe nanoparticles generated by pulsed plasma in liquid in the catalyzed ozone removal of phenolphthalein. *International Journal of Photoenergy*, p.1-6, 2017.
- [68] ORTIZ, I; RIVERO, M. J; MARGALLO, M. Advanced oxidative and catalytic processes. In: GALANAKIS, C; AGRAFIOTI, E. *Sustainable Water and Wastewater Processing*. Elsevier, p.161-201, 2019.
- [69] PARRA, S; STANCA, S. E; GUASAQUILLO, I; THAMPI, K. R. Photocatalytic degradation of atrazine using suspended and supported TiO₂. *Applied Catalysis B: Environmental*, v.51, n.2, p.107-116, 2004.
- [70] PARSONS, S. (Ed.). *Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment*. IWA publishing, 2004.
- [71] PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. et al. Recent advances in the application of electro-Fenton and photoelectro-Fenton process for removal of synthetic dyes in wastewater treatment. *Journal of Environmental Engineering and Management*, v.19, n.5, p.257-265, 2009.
- [72] PERES, J. A; LUCAS, M. S. *Processos de Oxidação Avançados: fundamentos teóricos e aplicações no tratamento de águas e efluentes, Série didática, UTAD*, 2011.
- [73] PEYTON, G. R; GLAZE, W. H. Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 3. Photolysis of aqueous ozone. *Environmental science & technology*, v.22, n.7, p.761-767, 1988.
- [74] PHAM, T. H; BUI, H. M; BUI, T. X. Advanced oxidation processes for the removal of pesticides. In: *Current*

Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, p.309-330, 2020.

- [75] PIRSAHEB, M; MORADI, S; SHAHLAEI, M; WANG, X; FARHADIAN, N. Simultaneously implement of both weak magnetic field and aeration for ciprofloxacin removal by Fenton-like reaction. *Journal of environmental management*, v.246, p.776-784, 2019.
- [76] POZNYAK, T. I; ORIA, I. C; POZNYAK, A. S. Ozonation as main method for organic contaminants degradation in three different phases: liquid, solid, and gaseous. In: *Ozonation and Biodegradation in Environmental Engineering*, Elsevier, p.3-23, 2019.
- [77] QIU, W; ZHENG, M; SUN, J; TIAN, Y; FANG, M; ZHENG, Y; ZHENG, C. Photolysis of enrofloxacin, pefloxacin and sulfaquinoxaline in aqueous solution by UV/H₂O₂, UV/Fe (II), and UV/H₂O₂/Fe (II) and the toxicity of the final reaction solutions on zebrafish embryos. *Science of the Total Environment*, v.651, p.1457-1468, 2019.
- [78] RAJESWARI, R; KANMANI, S. A study on synergistic effect of photocatalytic ozonation for carbaryl degradation. *Desalination*, v.242, n.1-3, p.277-285, 2009.
- [79] REKHATE, C. V; SRIVASTAVA, J. K. Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater-A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, v.3, p.100031, 2020.
- [80] REN, Q. et al. Efficient sonoelectrochemical decomposition of chlorpyrifos in aqueous solution. *Microchemical Journal*, v.145, p.146-153, 2019.
- [81] SAMET, Y; AGENGUI, L; ABDELHÉDI, R. Anodic oxidation of chlorpyrifos in aqueous solution at lead dioxide electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v.650, n.1, p.152-158, 2010.
- [82] SHAHMAHDI, N; DEGHANZADEH, R; ASLANI, H; SHOKOUHI, S. B. Performance evaluation of waste iron shavings (Fe₀) for catalytic ozonation in removal of sulfamethoxazole from municipal wastewater treatment plant effluent in a batch mode pilot plant. *Chemical Engineering Journal*, v.383, p.1-14, 2020.
- [83] SHARMA, A; AHMAD, J; FLORA, S. J. S. Application of advanced oxidation processes and toxicity assessment of transformation products. *Environmental Research*, v.167, p.223-233, 2018.
- [84] SOUZA-NETO, A. L; COELHO, C. M; MOREIRA, F. M. S; ARDISSON, J. D; URZEDO, A. P. F. M; BERNARDES-SILVA, A. C. Aplicação da Cinza Volante em Reações Tipo Fenton Heterogêneo na Degradação do Corante Índigo Carmim, 2019.
- [85] STOCKINGER, H; HEINZLE, E; KUT, O. M. Removal of chloro and nitro aromatic wastewater pollutants by ozonation and biotreatment. *Environmental science & technology*, v.29, n.8, p.2016-2022, 1995.
- [86] TAK, S.; VELLANKI, B. P. Comparison of O₃-BAC, UV/H₂O₂-BAC, and O₃/H₂O₂-BAC treatments for limiting the formation of disinfection byproducts during drinking water treatment in India. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, n. 5, p. 104434, 2020.
- [87] TAREK S. J; MONTASER Y. G; IBRAHIM E. E.S; EGLAL R. S; RABAB A. N. A comparative study among different photochemical oxidation processes to enhance the biodegradability of paper mill Wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, v.185, p.353-358, 2011.
- [88] TITCHOU, F. E. et al. An overview on the elimination of organic contaminants from aqueous systems using electrochemical advanced oxidation processes. *Journal of Water Process Engineering*, v.41, p.102040, 2021.
- [89] TUNAY, O; KABDASLI, I; ARSLAN-ALATON, I; ÖLMEZ-HANCI, T. Chemical oxidation applications for industrial wastewaters. IWA publishing, 2010.
- [90] USEPA. Wastewater disinfection. Cincinnati: Center for Environmental Research Information, 1986.
- [91] VITTENET, J. et al. Removal of 2, 4-dimethylphenol pollutant in water by ozonation catalyzed by SOD, LTA, FAU-X zeolites particles obtained by pseudomorphic transformation (binderless). *Microporous and mesoporous materials*, v.189, p.200-209, 2014.
- [92] WANG, H; ZHAN, J; YAO, W; WANG, B; DENG, S; HUANG, J; YU, G; WANG, Y. Comparison of pharmaceutical abatement in various water matrices by conventional ozonation, peroxone (O₃/H₂O₂), and an electro-peroxone process. *Water research*, v.130, p.127-138, 2018.
- [93] WANG, J; BAI, Z. Fe-based catalysts for heterogeneous catalytic ozonation of emerging contaminants in water and wastewater. *Chemical Engineering Journal*, v.312, p.79-98, 2017.
- [94] WANG, J; CHEN, H. Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: recent advances and perspective. *Science of the Total Environment*, v.704, p.1-17, 2020.
- [95] WANG, J. L; XU, L. J. Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Formation of Hydroxyl Radical and Application. *Environmental Science and Technology*, v.42, p.251-325, 2012.
- [96] WANG, N; ZHENG, T; ZHANG, G; WANG, P. A review on Fenton-like processes for organic wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v.4, n.1, p.762-787, 2016.

- [97] XAVIER, S; GANDHIMATHI, R; NIDHEESH, P. V; RAMESH, S. T. Comparison of homogeneous and heterogeneous Fenton processes for the removal of reactive dye Magenta MB from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, v.53, p.109-118, 2015.
- [98] XING, S; LU, X; LIU, J; ZHU, L; MA, Z; WU, Y. Catalytic ozonation of sulfosalicylic acid over manganese oxide supported on mesoporous ceria. *Chemosphere*, v.144, p.7-12, 2016.
- [99] YANG, S; SONG, Y; CHANG, F; WANG, K. Evaluation of chemistry and key reactor parameters for industrial water treatment applications of the UV/O3 process. *Environmental Research*, v.188, p.2-9, 2020.
- [100] YIN, H. et al. Electrochemical-driven carbocatalysis as highly efficient advanced oxidation processes for simultaneous removal of humic acid and Cr (VI). *Chemical Engineering Journal*, v.396, p.125-156, 2020.
- [101] YUAN, F; HU, C; HU, X; WEI, D; CHEN, Y; QU, J. Photodegradation and toxicity changes of antibiotics in UV and UV/ H2O2 process. *Journal of Hazardous Materials*, v.185, p.1256-1263, 2011.
- [102] ZHANG, J; XIONG, Z; WEI, J; SONG, Y; REN, Y; XU, D; LAI, B. Catalytic ozonation of penicillin G using cerium-loaded natural zeolite (CZ): Efficacy, mechanisms, pathways and toxicity assessment. *Chemical Engineering Journal*, v.383, p.2-12, 2020.
- [103] ZHANG, M. H; DONG, H; ZHAO, L; WANG, D. X; MENG, D. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. *Science of the total environment*, v.670, p.110-121, 2019.
- [104] ZHU, H; MA, W; HAN, H; HAN, Y; MA, W. Catalytic ozonation of quinoline using nano-MgO: Efficacy, pathways, mechanisms and its application to real biologically pretreated coal gasification wastewater. *Chemical Engineering Journal*, v.327, p.91-99, 2017.

Capítulo 10

Tratamento do efluente de laboratório de análises físico-químicas por bioissorção simultânea de metais utilizando resíduo de levedura

Mônica Beatriz Kolicheski

Tiago Nunes Billerbeck

Marcelly Iohhany Miguel Bastos

Resumo: A matéria orgânica do solo é quantificada por queima úmida com dicromato, porém gera o Cr^{+6} no efluente, sendo um risco ambiental. Os limites de Cr^{+3} no efluente são elevados e necessitam de tratamento complementar. Neste estudo avaliou-se a bioissorção simultânea de metais para o tratamento do efluente do Laboratório INTERPARTNER (PR). O tratamento consistiu de redução e precipitação combinado com bioissorção utilizando *S. cerevisiae* (resíduo da indústrias cervejeira) permitindo que Cr^{+3} , Fe, Mg, Cd e Zn atingissem a legislação (CONAMA 430/11) com eficiência de remoção de 87,5% para o Cr^{+3} e 90% para o Fe. As condições ótimas de bioissorção ($\text{pH} = 6,0$; $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 1,5 \text{ g}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) foram obtidas por planejamento fatorial. A capacidade total de bioissorção foi de $0,20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Além de simples e barato o método aproveita um resíduo industrial.

Palavras-chave: Bioissorção. Cromo. Levedura. Metais pesados.

1. INTRODUÇÃO

Em laboratórios de análises de solo é realizada a determinação da matéria orgânica pelo método titrimétrico de Walkley-Black, ou de queima úmida por dicromato. Este método utiliza sais de cromo para a oxidação da matéria orgânica em meio fortemente ácido. O método possui boa exatidão e precisão, mas contribui para a presença do cromo hexavalente (Cr^{+6}) nos efluentes laboratoriais, o que é um risco ao meio ambiente e à saúde pública (GRACEPAVITHRA et al., 2019).

Para efluentes contendo cromo os tratamentos consistem de precipitação por via química, oxidação por peróxido de hidrogênio e queima por ignição. A precipitação química é o método mais empregado devido à simplicidade do processo, baixo custo de capital e eficiência de remoção superior a 95%. Porém este método tem a desvantagem de gerar grandes quantidades de lodo de difícil tratamento além de não ser efetivo para a redução de metais quando a concentração destes se encontra na faixa de 1 a 100 mg. L⁻¹. (FARINE et al., 2011; GUPTA; RASTOGI, 2009).

O efluente gerado pelas análises de solo do Laboratório INTERPARTNER (PR) possui concentrações elevadas de cromo (2.000 mg.L⁻¹) além de outros metais. Devido a alta concentração de metais, mesmo após o tratamento, a concentração de Cr^{+3} é superior a 1,0 mg.L⁻¹ e não atende aos padrões da CONAMA 430/11. Sendo necessário o emprego de técnicas complementares para remover os metais dissolvidos residuais, foco deste estudo. As técnicas que tem sido estudadas para a remoção dos metais em concentrações relativamente baixas são evaporação, coagulação e filtração, osmose reversa, troca iônica, adsorção em carvão ativado ou alumina, biossorção e oxirredução (BAKALIAN, 2012; FU; WANG, 2011; KANAMARLAPUD et al., 2018; KURNIAWAN et al., 2006). Entretanto, muitos destes métodos são limitados devido ao elevado capital e custo operacional envolvido e podem estar associados a geração de resíduos secundários (FU; WANG, 2011).

Neste estudo optou-se pela biossorção. Certos tipos de biossorbentes podem reter grandes quantidades de íons metálicos. O processo é efetivo, seletivo, regenerável (em função do biosorbente), de baixo custo de operação (se biossorbentes de baixo custo forem utilizados), gera pequenas quantidades de lodo e a demanda química de oxigênio (DQO) do efluente não aumenta (PRAKASHAM et al., 1999; KANAMARLAPUD et al., 2018; FU; WANG, 2011; SHENG et al., 2007; ORHAN et al., 2006; REHMAN et al., 2006). A biossorção atua como um sistema de polimento do processo, pois a remoção de metais só é efetiva quando a concentração do metal é de apenas alguns miligramas por litro (BILLERBECK et al., 2016; COSSICH, 2000; TOBIN et al., 1994).

A aplicação da biossorção depende de fatores como: tipo do biossorbente, *status* da biomassa (viva ou passiva), capacidade de biossorção, eficiência e seletividade para o metal presente na solução, características da solução (pH, concentração inicial de metais e presença de outros íons), facilidade de recuperação do metal, equivalência com processos tradicionais em desempenho, economia, imunidade a interferências de outros compostos do efluente ou condições de operação (KANAMARLAPUD et al., 2018; PALLU, 2006; TSEZOS et al., 2006, COSSICH, 2000).

Existe uma vasta gama de biossorbentes que podem ser empregados (quitosana, bactérias, fungos e leveduras, algas marinhas). Alguns são materiais de baixo custo (resíduos agrícolas e industriais), eficientes e sustentáveis. Estes podem remover, dependendo das condições do processo, diferentes tipos de metais (alumínio, arsênio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, ouro, prata, platina, selênio, telúrio, urânio, vanádium, zinco) (BENI; ESMAEILI, 2020; DITTERT, 2011; MIMURA et al., 2010; VELÁSQUEZ; DUSSAN, 2009; PRAKASHAM, 1999; VELÁSQUEZ; DUSSAN, 2009; PRAKASHAM et al., 1999; PARK et al., 2005; LOUKIDOU et al., 2006).

Dentre os diversos tipos de biossorbentes a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um material promissor e uma boa alternativa para tratamento de efluentes (MASSOUD et al., 2019; FADEL et al., 2017; VOLESKY; HOLAN, 1995). Seu uso tem como vantagem a fácil manipulação, o que facilita o cultivo e a obtenção de alta produção de biomassa (MASSOUD et al., 2019; PARK et al., 2005; HATZIKIOSEYIAN et al., 2001; BROCK et al., 1994; PARK; GADD, 1888). Embora a *S. cerevisiae* tenha valores de biossorção medianos para remoção de metais, esta levedura é usada em fermentações de larga escala nas indústrias alimentícias, de bebidas e na produção de álcool, e, conseqüentemente, gera uma alta quantidade de resíduo de levedura (FERREIRA et al., 2007; LOUKIDOU et al., 2006; PARK et al., 2005; VOLESKY, 1994; ASHKENAZY et al., 1999).

Neste estudo avaliou-se o tratamento por precipitação e redução combinado à biossorção do efluente bruto do Laboratório INTERPARTNER. Na etapa de biossorção foi estudado o uso de resíduo de *S.*

cerevisae como bioissorvente para a remoção simultânea de metais de forma a propor o aproveitamento da biomassa de levedura gerada na indústria de bebidas fermentadas da região.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. EFLUENTE DE LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS

O Laboratório de Análises Físico-Químicas INTERPARTNER (Ponta Grossa – PR) atua junto ao setor agrícola realizando análises de solo, fertilizantes, corretivos, adubos foliares, bem como análises de água, efluentes e resíduos realizado o tratamento do efluente das análises de solo. O efluente gerado nas análises de solo e devidamente armazenado. As amostras simples do efluente (2 L) foram coletadas, semanalmente, por 4 meses, homogeneizadas e armazenadas em um tambor de 50 L. A composição do efluente é relativamente homogênea e constante, podendo variar apenas em função dos solos analisados, sem comprometer a eficácia do processo de bioissorção.

O efluente foi caracterizado com relação ao pH e metais (cromo, cobre, ferro, zinco, cádmio, manganês, chumbo). Os testes foram realizados em triplicata. Os metais escolhidos foram definidos em função dos reagentes e soluções utilizados na quantificação do teor de matéria orgânica no solo, ou seja, cromo e ferro. Além destes metais também foi avaliada a presença de outros metais (Pb, Mn, Zn, Cu, Cd) devido à sua ocorrência natural em solos. A metodologia analítica foi realizada de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

2.2. BIOSSORVENTE

2.2.1. SACCHAROMYCES CEREVISIAE LIOFILIZADA

A levedura liofilizada (*S. cerevisiae*) utilizada nos testes preliminares foi da marca Fermentis (França). A ativação foi realizada utilizando como substrato extrato de malte. Tanto a propagação como o preparo de levedura ativada foram realizados de acordo com Billerbeck (2013).

2.2.2. RESÍDUO DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE

O resíduo de levedura foi cedido pela Microcervejaria Schultz (Ponta Grossa - PR). O resíduo de levedura (biomassa) foi lavado com água destilada (três lavagens) para remoção do excesso de cerveja e armazenado sob refrigeração ($T \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$) até o momento do uso. Os ensaios foram realizados com biomassa ativa.

2.3. TRATAMENTO DO EFLUENTE DO LABORATÓRIO DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS INTERPARTNER

2.3.1 REDUÇÃO E PRECIPITAÇÃO

O efluente foi tratado com bissulfito de sódio P.A. (99%) em meio ácido para a redução do Cr^{+6} . Foi utilizado como indicador difenilamina 0,5% p/v em H_2SO_4 . O Cr^{+3} formado foi precipitado com NaOH de 45% p/v, gerando um lodo com coloração verde claro e sobrenadante translúcido levemente amarelado. O sobrenadante foi caracterizado (mesmos parâmetros do efluente bruto) e armazenado para posterior utilização na etapa de bioissorção.

2.3.2. BIOSSORÇÃO SIMULTÂNEA

Os ensaios de bioissorção foram realizados em batelada colocando-se 100 mL do efluente tratado em contato com o bioissorvente (*S. cerevisiae*) em erlenmeyer de 250 mL. A etapa de bioissorção, após ajuste do pH, foi mantida sob agitação e temperatura constante por um período de 4 horas. Após foram retiradas amostras de 50 mL e filtradas a vácuo utilizando membrana (UNIFILL) com poros de 0,45 μm para determinação dos metais.

2.4. AVALIAÇÃO DOS FATORES QUE AFETAM A BIORSORÇÃO SIMULTÂNEA DE METAIS UTILIZANDO *S. CEREVISIAE*

Os fatores avaliados foram pH, temperatura e concentração de biomassa. Foi utilizado como bioissorvente a *S. cerevisiae* liofilizada, por possuir maior atividade e com o objetivo de avaliar a eficiência da levedura para a bioissorção de metais presentes no efluente estudado.

O pH é um dos parâmetros que influenciam a bioissorção de metais (COSSICH, 2000). Para o melhor pH este foi ajustado para os valores de 2,0 a 8,0, utilizando soluções de NaOH (1 N) e HCl (1 N). A bioissorção em batelada foi realizada com 1,0 g de biomassa mantendo o sistema a 30 °C.

Para determinar a temperatura mais adequada foram conduzidas no melhor valor de pH e com 1,0 g de biomassa para temperaturas de 10 a 50 °C.

Del Rio (2004) e De Borba (2010) indicaram que a quantidade de biomassa varia de 0,01 a 2,0 g.100 mL⁻¹. Assim foram realizados testes de bioissorção para 0,5 g e 1,0 g de biomassa. O ensaio foi realizada com os melhores valores de pH e temperatura.

Todos os ensaios foram realizados em triplicata e sob agitação e temperatura constante.

2.5. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BIORSORÇÃO SIMULTÂNEA DE METAIS EM BATELADA UTILIZANDO RESÍDUO DE *S. CEREVISIAE*

As condições de bioissorção em batelada foram otimizadas em relação ao pH, concentração de biomassa e temperatura utilizando um planejamento experimental fatorial 2³ com quatro repetições no ponto central. A concentração de metais foi avaliada após 4 horas de bioissorção.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com Minitab® Statistical Software 16.0 (MINITAB INC, 2010) com um intervalo de confiança de 95%. A eficiência de bioissorção (E_i) de cada metal, em %, foi determinada pela Equação 01.

$$E_i = \frac{100(\bar{C}_{o_i} - \bar{C}_{f_i})}{\bar{C}_{o_i}} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

\bar{C}_{o_i} é a concentração média inicial do metal i quando $t = 0$ (mg.L⁻¹)

\bar{C}_{f_i} é a concentração média do metal i após 4 horas de bioissorção (mg.L⁻¹)

Nas condições ótimas simulou-se a capacidade de bioissorção (Q_i), em mg.g⁻¹, para cada metal avaliado utilizando-se a Equação 02.

$$Q_i = \frac{V(\bar{C}_{o_i} - \bar{C}_{f_i})}{m} \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

V é o volume do efluente (L)

m é a massa do bioissorvente (g).

2.6. METODOLOGIA ANALÍTICA

O pH foi medido com um eletrodo combinado de vidro e prata/cloreto de prata (Denver, modelo UB-10). O potenciômetro foi calibrado com soluções tampão de pH 4,0, 7,0, e 10,0 de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Os metais pesados foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Agilent, modelo 55A). Após a digestão, 50 mL de amostra (ou quantidade apropriada para chegar ao nível de concentração do metal desejado) foram transferidos a um béquer. Em capela de exaustão foram adicionados 5 mL de HNO₃ 65% e o sistema foi coberto com um vidro de relógio o qual foi aquecido até ebulição leve. A amostra foi reduzida ao menor volume possível (10 a 20 mL) sem secar. Quando necessário foi adicionado HNO₃ 65% até a digestão completa. A amostra fria foi filtrada e transferida para um balão volumétrico de 50 mL. Após a digestão realizou-se a leitura de absorção atômica. As curvas de calibração do espectrofotômetro de absorção atômica foram preparadas a partir de soluções padrões (Specsol) de 1.000 mg.L⁻¹ de cada metal analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE E TRATAMENTO PRELIMINAR

O Laboratório de Análises Físico-Químicas INTERPARTNER realiza em média 20.000 análises de solo de todas as regiões do Brasil por ano. O que gera de 4 a 5 m³ de efluente de análises de solo por ano. Atualmente o efluente gerado é encaminhado para uma empresa especializada em tratamento de resíduos Classe I, de acordo com a ABNT NBR 10004.

Este efluente foi caracterizado em relação ao pH e metais e tratado por redução e precipitação e o pH foi ajustado para 7,0. Para este efluente, o pH neutro (BILLERBECK, 2013) é mais adequado para a precipitação de Cr(OH)₃ do que o pH alcalino, como recomendado por Kanamarl *apud* et al. (2018) e Claas e Maia (1994).

Na Tabela 1 é possível observar as características do efluente antes e após a etapa de tratamento preliminar do efluente (redução e precipitação).

Tabela 1. Concentração dos metais no efluente antes e após a redução e precipitação dos metais

Parâmetro	Concentração no efluente (mg.L ⁻¹)		Limite CONAMA 430/11 (mg.L ⁻¹)	Eficiência do tratamento preliminar (%)
	Bruto	Após redução e precipitação		
pH	0,0 ± 0,0	7,00 ± 0,05	5,0 a 9,0	-
Cr ⁺³	1880,0 ± 112,0	1,29 ± 0,05	1,0	99,93
Cd	0,32 ± 0,25	0,30 ± 0,03	0,2	6,25
Pb	1,23 ± 0,60	1,20 ± 0,08	0,5	2,44
Fe	3040,0 ± 125,0	1,49 ± 0,03	15,0	99,95
Cu	0,50 ± 0,32	0,19 ± 0,02	1,0	62,00
Mn	12,5 ± 3,25	0,12 ± 0,02	1,0	99,04
Zn	10,5 ± 2,15	0,15 ± 0,01	5,0	98,57

Os valores em negrito indicam os parâmetros que estão acima do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 430/11.

Com exceção da concentração de cobre, os demais parâmetros analisados, para o efluente bruto, estão em desacordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11 (valores em negrito Tabela 1). Os valores de pH, ferro (203 vezes acima do limite) e cromo (1.880 vezes acima do limite) são provenientes dos reagentes analíticos requeridos pelo protocolo analítico utilizado para a determinação da matéria orgânica no solo. Os demais metais são naturais dos solos analisados e a variação dos

resultados encontrados pode estar relacionada com o fato de que são analisados solos de diferentes regiões do território nacional.

Observa-se que concentração de chumbo e de cádmio no efluente bruto são elevadas (Tabela 1). Estes metais podem ser oriundos de solos contaminados com estes metais. Contudo o chumbo é um contaminante do H₂SO₄ comercial, de acordo com Coradi e Satos (2009) a concentração de Pb no H₂SO₄ comercial foi de 1.20 mg.L⁻¹ valor similar ao obtido no efluente bruto (1,23 mg.L⁻¹).

Após o tratamento preliminar e em condições ótimas de redução do cromo hexavalente e precipitação do cromo trivalente, a concentração do Cr⁺³ (1,29 mg.L⁻¹), Cd (0,30 mg.L⁻¹) e Pb (1,20 mg.L⁻¹) no efluente tratado possuía parâmetros acima limites estabelecidos pela legislação vigente. A eficiência do processo para o cromo trivalente foi elevada (99,93%), porém devido a alta concentração de cromo no efluente, mesmo após o tratamento, a concentração ficou acima do permitido pela CONAMA 430/11. Para o chumbo e o cádmio a eficiência foi baixa, pois este método não é adequado para o tratamento destes metais, e praticamente não ocorreu a remoção de Cd e Pb. Uma alternativa para o tratamento deste tipo de efluente seria realizar uma nova precipitação do Cr⁺³ porém de acordo com Kanamarlapud et al. (2018), Gupta e Shrivastava (2001) este método não é efetivo para concentrações baixas e não removeria Cd e Pb presentes no efluente.

Para os demais metais do efluente bruto e em desacordo com a legislação, o tratamento preliminar teve uma eficiência acima de 98,5% permitindo obter os limites exigidos pela CONAMA 430/11. Com relação ao pH, durante o tratamento este foi ajustado para 7,0 e adequado à legislação.

3.2. DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES IDEAIS PARA O PROCESSO DE BIOSSORÇÃO SIMULTÂNEA DE METAIS UTILIZANDO *S. CEREVISIAE*

Para avaliar se o processo de biossorção simultânea de metais por *S. cerevisiae* traria resultados positivos para o efluente estudado foram realizados ensaios com a levedura liofilizada ativa e cultivada em diferentes valores de pH. Os resultados obtidos, após 4 horas de biossorção estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. pH ideal para a biossorção de metais por *S. cerevisiae* ($m = 1,0$ g; $T = 30$ °C)

Metal	\bar{C}_o (mg.L ⁻¹)	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)					
		pH = 3	pH = 4	pH = 5	pH = 6	pH = 7	pH = 8
Cr ⁺³	1,06	0,93	0,52	0,31	0,26	0,38	0,44
Cd	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Pb	1,10	0,94	0,88	0,92	0,81	0,81	0,85
Fe	1,32	1,00	0,56	0,39	0,32	0,94	0,95
Cu	0,19	0,10	0,16	0,15	0,17	0,15	0,15
Mn	0,12	0,25	0,25	0,24	0,23	0,21	0,23
Zn	0,15	0,13	0,12	0,12	0,14	0,15	0,18

Os valores em negrito indicam a menor concentração obtida nos diferentes valores de pH.

De acordo com Beni e Esmaeili (2020), Kanamarlapud et al. (2018) e Moreira (2007) metais como Zn, Cu, Fe, Mn, Cr, Cd, Pb, dentre outros podem ser removidos por biossorção utilizando diferentes tipos de biomassa. Contudo, para o efluente estudado não houve a remoção de Cd e de Zn e a concentração de Mn aumentou (Tabela 2). Observa-se também que a concentração de Zn também aumentou após o processo de biossorção quando o pH do efluente estava em 8,0.

Del Rio (2004) estudou a biossorção do Cd em soluções sintéticas com *S. cerevisiae* (ativa e passiva) e os melhores resultados foram obtidos na faixa de pH 5,5 a 6,0 e com a levedura passiva, o que indica que a *S. cerevisiae* é efetiva para a remoção do cádmio. Estudos realizados por FADEL et al. (2017) mostraram que

diferentes cepas de *S. cerevisiae* removem manganês de soluções sintéticas, porém verificaram que a adição de outros metais à solução afetava a quantidade de manganês bioissorvido. Volesky e May-Phillips (1995) verificaram que o melhor bioissorvente para a remoção de zinco, na presença de outros metais (Cd, U, Cu) foi a *S. cerevisiae* passiva. As células mortas da levedura removeram aproximadamente 40% a mais de zinco do que as células vivas. Estes estudos indicam que a presença de diferentes tipos de metais no efluente poderiam estar inibindo a bioissorção de Cd, Mn e Zn e o uso de levedura passiva melhoraria a eficiência da bioissorção.

Na Tabela 2 também se observa que ocorreu um aumento da concentração de manganês e zinco no efluente. Para investigar a causa deste aumento a levedura liofilizada da Fermentis foi analisada para quantificar os metais presentes e constatou-se 233,0 mg.kg⁻¹ de Zn; 31,5 mg.kg⁻¹ de Fe; 6,0 mg.kg⁻¹ de Mn e 2,5 mg.kg⁻¹ de Cu. De acordo com Palmer (2006) estes metais são nutrientes importantes para o desenvolvimento da levedura e são adicionados ao levedo liofilizado.

Vale ressaltar que não existiu um único valor ótimo de pH para a bioissorção simultânea para os metais analisados (valores em negrito, Tabela 2). Contudo a faixa entre 5,0 e 7,0 é a mais adequada para a bioissorção simultânea deste efluente. Em pH 6,0, três dos sete metais analisados o valor ótimo foi obtido com este valor de pH, bem como a maior eficiência total (48,6%) de remoção de metais. Assim este valor foi adotado nos demais ensaios.

De acordo com Cossich (2000) a temperatura também exerce influência na bioissorção e o estudo desta variável foi conduzido entre 10 °C e 50 °C (pH = 6,0). Os resultados obtidos após 4 horas de bioissorção em batelada estão mostrados na Tabela 3, exceto para o zinco e manganês devido ao excesso destes metais na levedura liofilizada.

Tabela 3. Temperatura ideal para a bioissorção de Cr⁺³ por *S. cerevisiae* (pH = 6,0; *m* = 1,0 g)

Metal	\bar{C}_o (mg.L ⁻¹)	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)				
		T = 10 °C	T = 20 °C	T = 30 °C	T = 40 °C	T = 50 °C
Cr ⁺³	1,67	0,61	0,53	0,52	1,12	1,32
Cd	0,21	0,14	0,13	0,12	0,21	0,21
Pb	1,15	1,04	0,86	0,85	1,12	1,12
Fe	1,85	0,65	0,60	0,58	1,03	1,22
Cu	0,31	0,23	0,24	0,23	0,29	0,29

Os valores em negrito indicam a menor concentração obtida nos diferentes valores de temperatura.

As menores concentrações médias para os metais avaliados foram obtidas na temperatura de 30 °C (valores em negrito, Tabela 3), e as maiores eficiências de remoção foram para o Cr+3 (76,0%) e para o Fe (68,9%). Na temperatura de 40 °C e de 50 °C a remoção do Cd não ocorreu, para o Cu e Pb foi muito baixa e a concentração de Cr+3e de Fe reduziu em 20% e 34%, respectivamente. De acordo com Beni e Esmacili (2020), o processo de bioissorção é endotérmico e, assim, o aumento da temperatura reduz a eficiência da remoção dos metais, o que também foi verificado neste estudo.

Para a temperatura de 20 oC observou-se que os resultados são similares aos obtidos na temperatura de 30 °C; dessa forma a faixa de 20 oC a 30 oC pode ser considerada adequada e possui a vantagem do processo de bioissorção para este efluente ser conduzido a temperatura ambiente em alguns períodos do ano. Na faixa de 10 oC a 30 oC, com exceção do chumbo, a concentração dos metais avaliados ficou de acordo com limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11.

3.2.1. DETERMINAÇÃO DO TIPO E DA CONCENTRAÇÃO DE BIOMASSA IDEAL PARA A BIOSSORÇÃO SIMULTÂNEA DE METAIS POR *S. CEREVISIAE*

Após estabelecida as melhores condições de pH (6,0) e temperatura (30 °C) para o tratamento do efluente por biossorção em batelada com *S. cerevisiae* foi avaliado o uso de duas fontes *S. cerevisiae* (ativa e passiva): a levedura liofilizada e o resíduo da levedura.

A quantidade de biossorvente adotada foi de 0,5 g e de 1,0 g de biomassa por 100 mL de efluente. Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 4 e demonstraram que houve a remoção de todos os metais avaliados no efluente quando o resíduo de levedura foi adotado. Contudo com eficiência de remoção, em geral, menores para o resíduo de levedura, o que indica que a origem da levedura também influencia o processo de biossorção.

Tabela 4. Comparação da biossorção para a levedura liofilizada e resíduo de levedura da indústria cervejeira em diferentes concentrações de biomassa (pH = 6,0; T = 30 °C)

Metal	\bar{C}_o (mg.L ⁻¹)	<i>S. cerevisiae</i> liofilizada				Resíduo de <i>S. cerevisiae</i>			
		m = 0,5 g				m = 1,0 g			
		Ativa		Passiva		Ativa		Passiva	
	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)	E (%)	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)	E (%)	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)	E (%)	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)	E (%)	
Cr ⁺³	1,28	0,59	53,9	0,37	71,1	0,66	48,4	0,45	64,8
Cd	0,30	0,23	23,3	0,18	40,0	0,25	16,7	0,22	26,7
Pb	1,20	0,88	26,7	0,82	31,7	0,94	21,7	0,86	28,3
Fe	1,49	0,50	66,4	0,28	81,2	0,67	55,0	0,56	62,4
Cu	0,19	0,15	21,1	0,12	36,8	0,17	10,5	0,12	36,8
Mn	0,12	0,11	8,3	0,10	16,7	0,10	16,7	0,08	33,3
Zn	0,15	0,19	-	0,30	-	0,10		0,08	33,3

Os valores em negrito indicam os parâmetros que estão acima do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 430/11.

Como esperado, para a *S. cerevisiae* liofilizada a eficiência de biossorção para o Mg foi baixa e ocorreu um aumento na concentração de Zn devido à presença destes na levedura da Fermentis.

Com estes ensaios foi possível verificar que o Cr⁺³ (71,1%) e o Fe (81,2%) tiveram melhor afinidade com a levedura, e, portanto, a maior eficiência de remoção. Estes valores foram obtidos com a levedura liofilizada passiva e com maior quantidade de biossorvente. Observa-se ainda que a eficiência do processo foi, em geral, melhor quando se utilizou levedura liofilizada, exceto para o cobre. Para esse metal a origem da levedura não influenciou a eficiência da biossorção.

De acordo com Kanamarlapud et al. (2018) os mecanismos de retenção de metais pela levedura envolvidos no processo de biossorção, bem como um maior número de células vivas, ou seja, propicia uma melhor eficiência na remoção de metais, o que explica a melhor remoção de metais observada neste estudo. Para melhorar a eficiência do processo da biossorção utilizando o resíduo de levedura de acordo com Mapolelo e Torto (2014) poderia ser realizado o enriquecimento do resíduo com glicose, porém isso aumentaria o custo do tratamento do efluente.

Mesmo com menor eficiência, o uso do resíduo da levedura cervejeira permitiu a remoção de metais e, conseqüentemente, tratar o efluente por biossorção. Desta forma o resíduo de levedura ativo foi adotado para a continuidade do estudo. O uso de resíduo de *S. cerevisiae* gera menor custo para o tratamento e elimina a necessidade de preparação e ativação da levedura, além de agregar valor para este resíduo antes do seu descarte final.

Os ensaios preliminares mostraram que é possível utilizar resíduo de levedura pra remoção simultânea de metais e que as condições ideais são para pH 6,0; temperatura de 30 °C e biomassa de 1,0 g.100 mL⁻¹.

3.3. OTIMIZAÇÃO DA BIORSORÇÃO SIMULTÂNEA DE METAIS EM BATELADA UTILIZANDO RESÍDUO DE LEVEDURA

Após a validação do resíduo de levedura *S. cerevisiae* como biossorevente para remoção simultânea de metais para o efluente estudado as variáveis de processo (pH, temperatura e concentração de biomassa) foram otimizadas. Nesta etapa avaliou-se a eficiência da biossorção para cada metal e a eficiência total utilizando como ferramenta de análise um planejamento fatorial 2³ com quatro repetições no ponto central.

A otimização do processo de biossorção conduziu a uma eficiência total de remoção dos metais de 62,4% (C = 1,5 g.100 mL⁻¹; pH = 6,0; T = 25 °C). Porém, cada metal avaliado apresentou condições ótimas específicas para a sua remoção. Por exemplo, a melhor eficiência de remoção do Cr⁺³ (89,0%) foi com pH 6,0; 1,5 g e temperatura de 25 °C; já para o Mn a melhor eficiência (58,8%) foi com pH 7,0; 2,0 g e temperatura de 30 °C. A análise estatística conduziu a um R² de no mínimo 99,91%, garantindo a confiabilidade dos resultados. Estes resultados permitiam uma análise de superfície de resposta para cada metal avaliado presente no efluente. O resumo desta análise está mostrado na Tabela 5. Os resultados completos podem ser obtidos em Billerbeck (2013).

A Tabela 5 também compara a eficiência da biossorção utilizando resíduo de levedura com os valores de máxima eficiência obtidos nas análises preliminares (C = 1,0 g.100 mL⁻¹; pH = 6,0; T = 30 °C) e com os valores ótimos obtidos na otimização do processo. O ótimo só foi obtido para o Cr⁺³ e o Fe (valores em negrito), nestas condições a eficiência de remoção foi de 87,5% e 90,0%, respectivamente.

Tabela 5. Comparação da eficiência de biossorção simultânea de metais utilizando resíduo de levedura da indústria cervejeira

Metal	Variáveis			E (%)	
	pH	Temperatura (°C)	m (g)	Ensaio preliminares*	Condições ótimas para cada metal
Cr ⁺³	5,75 - 6,25	24 - 26	1,4 - 1,6	64,8	87,5
Cd	>7,00	20 - 30	> 2,0	26,7	25,0
Pb	>7,00	20 - 30	> 2,0	28,3	26,0
Fe	5,75 - 6,25	24 - 26	1,4 - 1,6	62,4	90,0
Cu	5,00 - 7,00	> 30	> 2,0	36,8	35,0
Mn	> 7,00	20 - 30	> 2,0	46,7	50,0
Zn	> 7,00	20 - 30	> 2,0	33,3	35,0

*C = 1,0 g.100 mL⁻¹; pH = 6,0; T = 30 °C. Os valores em negrito indicam as condições ótimas para cada metal pela análise de superfície de resposta.

As faixas de pH e temperatura obtidas para o Cr⁺³ e para o Fe estão de acordo com outros estudos. Para Wang e Chen (2006), Mapolelo e Torto (2004) e Brock et al. (1994) a maior remoção dos metais foi na temperatura de 25 °C. Mapolelo e Torto (2004) e Volesky (1994) determinaram que o pH deve ser maior que 5,0 para que ocorra a biossorção de cromo. Beni e Esmaili (2020) afirmam que nos meios com pH baixo cria-se uma competição entre o metal e o H⁺ reduzindo a eficiência de biossorção e, portanto, adotar valores de pH abaixo de 5,0 não favorece a biossorção simultânea de metais. Para os demais metais avaliados a eficiência foi de no máximo 50%. Um novo planejamento fatorial poderia ser realizado adotando uma maior quantidade de resíduo de *S. cerevisiae* pois a concentração de biomassa influencia o processo. Contudo, de acordo com Massoud et al. (2019) a remoção de metais por biossorção, em geral, diminui com o aumento da concentração de biomassa. E essas devem ser evitadas pois aumentam a quantidade de lodo gerado no processo.

Pelos resultados obtidos para o cádmio, chumbo, manganês e zinco os valores de pH devem ser superiores a 7,0 (Tabela 5). De acordo com Wang e Chen (2006) e Brock et al. (1994) indicam que em meio alcalino pode ocorrer a precipitação destes. Já para Hamza et al. (2010) e Mapolelo e Torto (2004) a eficiência de remoção para o zinco e cádmio aumenta com o aumento do pH, sendo que o ótimo de 6,0 para o zinco e 8,5 para o cádmio. Para o cobre o pH deve estar na faixa de 5,0 a 7,0 (Tabela 5), resultado que coincide com o ótimo (pH = 6,0) obtido por Hamza et al. (2010).

Hassan et al. (2018) utilizando biomassa de *Neopestalotiopsis clavispora* a eficiência de remoção para o cádmio e o zinco foi de 62% e 51%, respectivamente. Esses valores são superiores aos obtidos neste estudo (Tabela 5) e demonstram que o tipo de bioissorvente influencia na eficiência do processo de bioissorção.

Como o efluente avaliado contém vários metais não foi possível obter um ótimo ideal, pois o processo de bioissorção por *S. cerevisiae* é seletiva e competitiva. Desta forma avaliou-se a remoção do Cr^{+3} e do Fe por apresentarem a maior concentração no efluente bruto. Um ensaio na faixa ótima de pH, temperatura e concentração de biomassa (Tabela 5) foi realizado. Os resultados estão mostrados na Tabela 6. Com estes dados foi possível obter a capacidade de bioissorção.

Tabela 6. Capacidade de bioissorção simultânea de metais para resíduo de levedura

Metal	\bar{C}_o (mg.L ⁻¹)	\bar{C}_f (mg.L ⁻¹)	Q (mg.g ⁻¹)
Cr ⁺³	1,73	0,20 ± 0,010	0,1018
Cd	0,18	0,16 ± 0,005	0,0015
Pb	1,08	0,81 ± 0,010	0,0182
Fe	0,98	0,08 ± 0,000	0,0600
Cu	0,15	0,11 ± 0,005	0,0025
Mn	0,17	0,09 ± 0,000	0,0053
Zn	0,45	0,34 ± 0,005	0,0075

$m = 1,5$ g; pH = 6,0; T = 25 °C. Os valores em negrito indicam os parâmetros estão acima do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 430/11.

O tratamento do efluente do Laboratório INTERPARTNER foi realizado por redução precipitação e bioissorção. Após as etapas de redução e precipitação, a concentração de Fe, Cu, Mg e Zn ficaram de acordo com a CONAMA 430/11. Após a etapa de bioissorção com resíduo de levedura, a concentração de Cr⁺³ e Cd se adequaram aos limites da legislação. Porém, devido a baixa eficiência de bioissorção para o chumbo, esse ficou em desacordo com o estabelecido pela legislação. Uma alternativa para eliminar o chumbo do efluente seria utilizar o reagente H₂SO₄ com uma pureza maior.

Com relação a afinidade dos metais por bioissorção com *S. cerevisiae* foi observada a seguinte ordem: Cr⁺³ > Fe > Pb > Zn > Mn > Cu e Cd. Brock et al. (1994) estudaram a bioissorção para *S. cerevisiae*, sem a presença de Cr⁺³ no efluente, e a afinidade foi na seguinte ordem: Zn > Pb > Cd > Cu, percebe-se que a afinidade do zinco é reduzida quando o cromo está presente na solução. Mattuschka e Straube (1993) também observaram que a remoção de cromo diminui quando o chumbo está presente.

Como citado por Beni e Esmaili (2020), Kanamarlapud et al. (2018), Tsezos et al. (2006) e Volesky (2001) e também observado neste estudo a seletividade do metal bioissorvido depende do tipo de biomassa, da mistura da solução, do tipo e do status da biomassa (ativa ou passiva). Neste estudo a capacidade de bioissorção total foi de aproximadamente 0,20 mg.g⁻¹. A capacidade foi baixa, porém permitiu a remoção dos metais do efluente analisado por um método simples, de baixo custo, a temperatura ambiente e com o reaproveitamento de um resíduo industrial.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A remoção de metais presentes no efluente estudado deve ser eficiente e segura, pois este possui elevada acidez e alta concentração de cromo e ferro, além de outros metais. Para tal o efluente foi tratado por redução do Cr^{+6} presente à Cr^{+3} , precipitação química do Cr^{+3} com uma eficiência de remoção elevada (superior a 98%) e por biossorção com resíduo de *S. cerevisiae* da indústria cervejeira em condições otimizadas. Com as etapas de tratamento propostas neste estudo foi possível atender aos limites exigidos pela Resolução CONAMA 430/11 para todos os parâmetros avaliados, exceto para o chumbo (proveniente do reagente comercial na análise de matéria orgânica de solos).

A etapa de biossorção simultânea de metais por resíduo de *S. cerevisiae* foi influenciada pelo pH, temperatura e concentração de biomassa e se mostrou mais seletiva para o Cr^{+3} e para o Fe. Com a otimização das condições de processo, pH (pH = 6,0), temperatura (T = 25 °C) e concentração de biomassa ($m = 1,5$ g) obteve-se uma eficiência total de remoção de metais pouco acima de 60%, sendo que para Cr^{+3} foi de 88,4% e para o ferro foi de 91,8%. Nestas condições a capacidade total de biossorção foi de 0,20 mg.g^{-1} . Mesmo com uma baixa capacidade de remoção de metais o resíduo de levedura se mostrou eficiente para o tratamento do efluente do Laboratório INTERPARTNER por um método simples, de baixo custo e com reaproveitamento de um resíduo industrial.

REFERÊNCIAS

- [1] APHA; Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation: Washington, 2012.
- [2] ASHKENAZY, R.; YANNAI, S.; RAHMAN, R.; Fixation of spent *Saccharomyces cerevisiae* biomass for lead sorption. *Applied Microbiology and Biotechnology*. doi: 10.1007/s002530051567, 1999.
- [3] BAKALIAN, A. C.; Caracterização e Tratamento do Efluente de Solução Sulfocrômica Utilizada em Análise de Solos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil, 2012.
- [4] BENI, A. A.; ESMAEILI, A.; Biosorption, an efficient method for removing heavy metals from industrial effluents: A Review. *Environmental Technology & Innovation*. doi: 10.1016/j.eti.2019.100503, 2020.
- [5] BILLERBECK, T. M.; KOLICHESKI, M. B.; METZGER, J. W.; Proposta de Tratamento para Remoção de Metais por Redução, Precipitação e Biossorção do Efluente de Laboratório de Análises de Solo. cap. 5. In: KOLICHESKI, M. B.; FEILSTRECKER, M.; ERBE, M. C. L.; AMARAL, K. J.; NEUFFER, D.; KAWANO, M., (eds) *Meio Ambiente Urbano e Industrial: Soluções, Tecnologias e Estratégias Aplicadas à Gestão*; Setor de Tecnologia UFPR: Curitiba, 2016.
- [6] BILLERBECK, T. N.; Remoção de metais de efluente de laboratórios de análise de solo por meio da biossorção com resíduo de *Saccharomyces cerevisiae*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2013.
- [7] BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 20 fev. 2021.
- [8] BROCK, T. D.; MADIGAN, M. T.; MARTINCO, J. M.; PARKER, J.; *Biology of Microorganisms*, 7th ed. Prentice Hall: New Jersey, 1994.
- [9] CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M.; *Manual Básico de Resíduos Industriais de Curtumes*. SENAI-RS: Porto Alegre, 1994.
- [10] CORADI, L.; SANTOS, N. J.; *Produção de ácido sulfúrico a partir do resíduo da reciclagem de baterias*. Fema: Assis, 2009
- [11] COSSICH, E. S.; Biossorção de cromo (III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum sp.* Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Brasil, 2000.
- [12] DE BORBA, T. R.; *Estudo da Aplicação de Biossorbentes no Tratamento de Rejeitos Radioativos Líquidos Contendo Amerício-241*. Dissertação de Mestrado, IPEN. Universidade de São Paulo. Brasil, 2010.
- [13] DEL RIO, D. T.; *Biossorção de cádmio por leveduras *Saccharomyces cerevisiae** Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Brasil, 2004.
- [14] DITPERT, I. M.; *Remoção de espécies de cromo em águas contaminadas utilizando alga marinha como adsorvente*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2011.

- [15] FADEL, M.; HASSANEIN, N. M.; ELSHAFEI, M. M.; MOSTAFA, A. H.; AHMED, M. A.; KHATER, H. M.; Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *HBRC Journal*. doi: 10.1016/j.hbrj.2014.12.006, 2017.
- [16] FARINE, E. L.; MOREIRA, D. A.; NARDO, A. E.; CAMARGO, I. S.P.; JORDÃO, L.; GERMANO, M. G.; KLEINERT, J.; JUNIOR, A. O.; Comparação de dois métodos para determinação do teor de carbono orgânico do solo *Anais [...]* Londrina, Brasil, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 05 out. 2019.
- [17] FERREIRA, J. M.; SILVA, F. L. H.; ALSINA, O. L. S.; OLIVEIRA, L. S. C.; CAVALCANTI, E. B.; GOMES, W. C.; Estudo do equilíbrio e cinética da biossorção do Pb²⁺ por *Saccharomyces cerevisiae*. *Química Nova*. 30, 1188, 2007.
- [18] FU, F.; WANG, Q.; Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.011, 2011.
- [19] GADD, G. M. Accumulation of metals by microorganisms and algae. cap. 14. REHM, H. J. (ed.) In: *Biotechnology, Special Microbial Processes (Vol. 6b)*; Wiley-Blackwell: Weinheim, pp. 1988.
- [20] GRACEPAVITHRA, K.; JAIKUMAR, V.; KUMAR, P. S. SUNDARRAJAN, P.; J. A Review on Cleaner Strategies for Chromium Industrial Wastewater: Present Research and Future Perspective. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.117, 2019.
- [21] GUPTA, V. K.; RASTOGI, A.; Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid-treated green alga *Oedogonium hatei* from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.06.104, 2009.
- [22] GUPTA, V. K.; SHRIVASTAVA, A. K.; JAIN, N.; Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species. *Water Research*. doi: 10.1016/S0043-1354(01)00138-5, 2001.
- [23] HAMZA, S. M.; AHMED, H. F.; EHAB, A. M.; MOHAMMAD, F. M.; Optimization of cadmium, zinc and copper biosorption in an aqueous solution by *Saccharomyces cerevisia*. *Journal of American Science*. 6, 597, 2010. Disponível em: www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0612. Acesso em: 20 set. 2018.
- [24] HASSAN, S. H. A.; KOUTB, M.; NAFADY, N.A.; HASSAN, E. A.; Potentiality of *Neopetalotopsis clavispora* ASU1 in biosorption of cadmium and zinc. *Chemosphere*. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.114, 2018.
- [25] HATZIKIOSEYIAN, A.; REMOUDAKI, E.; TSEZOS, M.; Biosorption and biological reduction of chromium by microbial biomass in batch and pilot scale rotating biological contactor (RBC). In: *International Biohydrometallurgy Symposium IBS 2001: Biohydrometallurgy Fundamentals, Technology and Sustainable Development*. Ouro Preto, 2001.
- [26] KANAMARLAPUDI, S. L. R. K.; CHINTALPUDI, V. K.; MUDDADA, S. Application of Biosorption for Removal of Heavy Metals from Wastewater (2018). doi: 10.5772/intechopen.77315. Disponível em: www.10.5772/intechopen.77315 Acesso em: 30 mar. 2020.
- [27] KURNIAWAN, T. A.; CHAN, G. Y. S.; LO, W. H.; BABEL, S.; Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*. doi: 10.1016/j.cej.2006.01.015, 2006.
- [28] LOUKIDOU, M. X.; ZOUBOULIS, A. I.; KARAPANTSIOS, T. D.; MATIS, K. A.; Equilibrium and kinetic modeling of chromium (VI) biosorption by *Aeromonas caviae*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* doi: 10.1016/j.colsurfa.2004.03.030, 2004.
- [29] MAPOLELO, M.; TORTO, N.; Trace enrichment of metal ions in aquatic environments by *Saccharomyces cerevisiae*. *Talanta*. doi: 10.1016/j.talanta.2003.10.058, 2004.
- [30] MASSOUD R.; HADIANI M. R.; HAMZEHLU, P.; DARANI K.; Bioremediation of heavy metals in food industry: Application of *Saccharomyces cerevisiae*. *Electronic Journal of Biotechnology*. doi: 10.1016/j.ejbt.2018.11.003, 2019.
- [31] MATTUSCHKA, B.; STRAUBE, G.; Biosorption of metals by a waste biomass. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. doi: 10.1002/jctb.280580108, 1993.
- [32] MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F.; Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu²⁺, Al³⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺. *Química Nova*. 33,1279, 2010.
- [33] MINITAB INC. Minitab 16 Statistical Software; www.minitab.com, 2010. Acesso em: 20 mai. 2019.
- [34] MOREIRA, A. S.; Biossorção utilizando alga marinha (*Sargassum* sp.) aplicada em meio orgânico. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2007.
- [35] ORHAN, Y.; HRENOVIC, J.; BUYUKGUNGOR, H.; Biosorption of Heavy Metals from Wastewater by Biosolids. *Engineering in Life Science*. doi: 10.1002/elsc.200520135, 2006.
- [36] PALLU, A. P. S.; Biossorção de cádmio por linhagens de *Aspergillus* sp. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil, 2006.
- [37] PALMER, J. J.; *How To Brew: Everything You Need To Know To Brew Beer Right the First Time*, Brewers Publications: Boulder, 2006.

- [38] PARK, D.; YUN, Y. S.; JO, J. H.; PARK, J. M.; Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Water Research*. doi: 10.1016/j.watres.2004.11.002, 2005.
- [39] PARK, D.; YUN, Y. S.; PARK, J. M. Studies on hexavalent chromium biosorption by chemically-treated biomass of *Ecklonia* sp. *Chemosphere*. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.02.020, 2005.
- [40] PRAKASHAM, R. S.; MERRIE, J. S.; SHEELA, R.; SASWATHI, N.; RAMAKRISHNA, S. V.; Biosorption of chromium VI by free and immobilized *Rhizopus arrhizus*. *Environmental Pollution*. doi: 10.1016/S0269-7491(98)00174-2, 1999.
- [41] REHMAN, A.; SHAKOORI, F. R.; SHAKOORI, A.R.; Uptake of Heavy Metals by a Ciliate, *Tachysoma pellionella*, Isolated from Industrial Effluents and Its Potential Use in Bioremediation of Toxic Wastewater. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. doi: 10.1007/s00128-006-1088-6, 2006.
- [42] SHENG, P. X.; TING, Y. P.; CHEN, J. P.; Biosorption of Heavy Metal Ions (Pb, Cu, and Cd) from Aqueous Solutions by the Marine Alga *Sargassum* sp. in Single- and Multiple-Metal Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. doi: 10.1021/ie0615786, 2007.
- [43] TOBIN, J. M.; WHITE, C.; GADD, G. M.; Metal accumulation by fungi: Applications in environmental biotechnology. *Journal of Industrial Microbiology*. doi:10.1007/BF01584110, 1994.
- [44] TSEZOS, M.; REMOUNDAKI, E.; HATZIKIOSEUIAN, A.; Biosorption-principles and applications for metal immobilization from wastewater streams. *Workshop on Clean Production and Nano Technologies*, Seoul, Korea, p. 23-33, 2006.
- [45] VELÁSQUEZ, L.; DUSSAN, J.; Biosorption and bioaccumulation of heavy metals on dead and living biomass of *Bacillus sphaericus*. *Journal of Hazardous Materials*. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.01.044, 2009.
- [46] VOLESKY, B.; Advances in biosorption of metals: selection of biomass types. *FEMS Microbiology Reviews*. doi: 10.1111/j.1574-6976.1994.tb00102.x, 1994.
- [47] VOLESKY, B.; Detoxification of metal-bearing effluents: Biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*. doi: 10.1016/S0304-386X(00)00160-2, 2001.
- [48] VOLESKY, B.; HOLAN, Z. R.; Biosorption of Heavy Metals. *Biotechnology Progress*. doi: 10.1021/bp00033a001, 1995.
- [49] VOLESKY, B.; MAY-PHILLIPS, H. A.; Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. doi: 10.1007/bf00171964, 1995.
- [50] WANG, J.; CHEN, C.; Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*. doi: 10.1016/j.biotechadv.2006.03.001, 2006.

Capítulo 11

Avaliação da estrutura normativa para a correta utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cimento Portland no estado do Espírito Santo

Luciana Marelli Mofati

Geilma Lima Vieira

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Monica Regina da Costa Marques Calderari

Resumo: Apesar da necessidade de utilização e dos diversos estudos que garantem a viabilidade técnica de uso, hoje os resíduos de rochas ornamentais são importantes poluentes dos rios e impactam significativamente o volume de resíduos industriais de aterros classe II. Então por que não vem sendo reciclados na quantidade desejada? A cada dia a destinação final torna-se um custo maior para o produtor e para a sociedade. A questão reside apenas nos altos custos? Há um intervalo entre a incorporação de novos usos dos resíduos e a existência de legislação compatível e pertinente. Como incorporar o resíduo sem normas, regulamentos técnicos e procedimentos de avaliação da conformidade que permitam o seu uso com qualidade e com respaldo jurídico? Por meio de uma revisão de literatura e análise de normativas relacionadas ao uso do resíduo de rochas ornamentais, manejo e transporte, aplicação e disposição final do mesmo, o presente estudo buscou evidenciar que, para as empresas, as normativas não representam apenas poder replicar a utilização do resíduo em condições que garantam o seu uso em escala. Antes de tudo, é o aval positivo para a sua utilização, com regras claras a serem seguidas. Em seguida é feita uma análise do Projeto de Normatização para a Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais em Artefatos de Concreto à Base de Cimento Portland e seus desdobramentos. O primeiro passo para a construção de um rol normativo aplicado ao uso dos resíduos no segmento.

Palavras-Chave: Economia circular, gestão de resíduos sólidos, rochas ornamentais, cimento Portland, logística reversa.

1. INTRODUÇÃO

Em suas diversas etapas, o beneficiamento de rochas ornamentais gera resíduos que são destinados a aterros sanitários sem nenhum tratamento para eliminação ou redução dos contaminantes presentes. Estima-se que no Brasil são gerados aproximadamente 2 milhões de toneladas de resíduos finos de rochas por ano (VIDAL, 2013), sendo 1,5 milhões de toneladas produzidos no Estado do Espírito Santo. Segundo dados do SINDIROCHAS (2021), o Estado responde por 82% das exportações de rochas ornamentais brasileiras. Apesar da relevância econômica, o Estado atingiu o limite de aterros industriais aptos a receberem tais resíduos.

Existem diversas soluções viáveis para a utilização dos resíduos. Produção de britas e areia tem sido as mais aplicadas. Porém, existem outras duas, em especial, que permitem a utilização em larga escala dos resíduos e dos finos: o coprocessamento e a incorporação do resíduo fino ao pó do cimento.

O Coprocessamento utiliza resíduos industriais como combustíveis para a queima nos fornos de cimento ou como substituto de matéria-prima (calcário e/ou argilas) utilizadas na produção do clínquer. Resíduos de rochas ornamentais apresentam desempenho mecânico e podem ser utilizados in natura na queima, e o resíduo fino de rocha ornamental pode ser adicionado à mistura que gerará o cimento Portland, desde que sejam atendidos requisitos técnicos para a sua utilização.

Apesar de diversas pesquisas desenvolvidas incorporando o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em materiais e componentes cimentícios e dos resultados apontarem para a viabilidade técnica de uso, existe a necessidade de normalização do processo para permitir o uso em escala industrial.

O grande entrave para a sua utilização permanece no alto custo do transporte e na carência de um rol normativo mais consistente. A legislação é clara quanto a necessidade de destinação final do resíduo. A Política Nacional de Resíduos sólidos, do Plano Estadual de Resíduos Sólidos e mesmo de instruções normativas que tratam do tema, todos atribuem à empresa geradora a responsabilidade pela segregação dos resíduos sólidos visando ao seu reaproveitamento. Mas faltam normativas técnicas que explicitem os requisitos para a correta separação, utilização do mesmo e seu compartilhamento. Cabe esclarecer que o sentido de normativas técnicas aqui descrito se refere tanto a normas de caráter voluntário, a exemplo de Normas ABNT, quanto de caráter compulsório, como os regulamentos técnicos e as Instruções Normativas.

O primeiro passo foi dado neste sentido. Em 2019 a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES encomendou ao Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM um projeto de normatização para a utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em artefatos de concreto à base de cimento Portland.

O projeto, efetuado em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, encontra-se em sua fase final e vem elaborando uma Instrução Normativa IEMA contendo os requisitos para a referida utilização. Mas este é apenas o início dos trabalhos. Outras normativas deverão ser elaboradas e revistas para que a responsabilidade de uso e disposição final de resíduos seja cumprida e que se traduza em ganhos para as empresas, para o Estado do Espírito Santo e para a sociedade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente avaliação descritiva se dispôs a analisar a estrutura normativa no Brasil e particularmente no Estado do Espírito Santo, de modo a apontar as lacunas e inconstâncias existentes para a correta utilização, evidenciando a necessidade de elaboração de normas técnicas, instruções normativas e outros instrumentos que permitam validar tecnicamente e legalmente a aplicação do resíduo de rocha ornamental no segmento de cimento Portland.

A metodologia utilizada consistiu em uma revisão de literatura e análise de normativas relacionadas ao uso do resíduo de rochas ornamentais, manejo e transporte, aplicação e disposição final do mesmo, dando uma maior ênfase na utilização da produção de cimento Portland, o coprocessamento e outras possíveis aplicações.

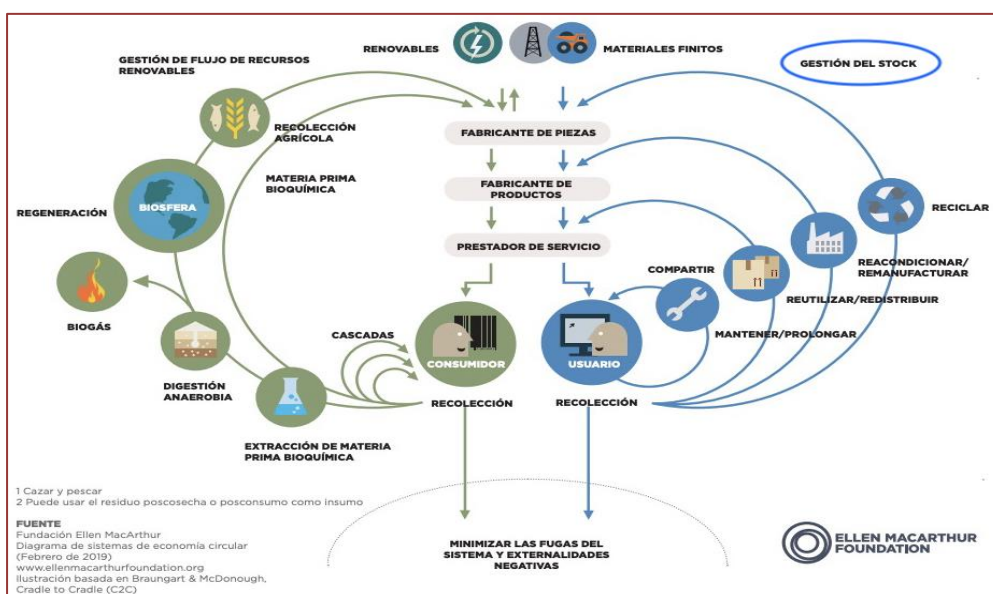
Em seguida foi efetuada uma análise do Projeto de Normatização para a Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais em Artefatos de Concreto à Base de Cimento Portland e seus desdobramentos. O primeiro passo para a construção de um rol normativo aplicado ao uso dos resíduos no segmento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ECONOMIA CIRCULAR E O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS FINOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O modelo de aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais para a utilização em cimento Portland se baseia no compartilhamento e uso do material residual como um dos novos insumos para a elaboração do Cimento Portland ou como substrato para a queima (coprocessamento). O redesenho de um processo incluindo a entrada de resíduos em sua cadeia produtiva por intermédio da logística reversa é parte dos princípios da Economia Circular (Fig. 1).

Figura 1 – Diagrama sistêmico da economia circular



Fonte: Fundação Ellen MacArthur, 2019.

Na Economia Circular, a reciclagem de materiais finitos, a exemplo dos resíduos finos de rochas ornamentais, aparecem com o propósito de gestão de estoque de matérias-primas, uma vez que reduzem a dependência para a utilização de materiais primários (cal, areia, argila) na composição do Cimento. Ao tempo que reduzem a volatilidade do mercado pela oferta abundante do recurso e geram novas oportunidades de renda para os atores envolvidos na logística reversa. Mas o modelo se torna frágil quando a governança não se espelha no modelo circular e quando não há estudos compatíveis com a nova cadeia instituída a partir da logística reversa.

Em 2019 a Confederação Nacional das Indústrias - CNI apontava alguns principais obstáculos para a adesão nacional ao modelo circular, sendo as mais impactantes: a falta de documentação autodeclaratória que especificasse a natureza, a origem e o destino das cargas de resíduos; e a regulação do mercado com princípios circulares, o que permitiria o compartilhamento de bens e imóveis.

O estudo da CNI (2019) apontava ainda a cumulatividade do sistema tributário brasileiro, com a cobrança repetida sempre que uma empresa adquirisse insumos de outras empresas e não pudesse descontar totalmente o valor dos tributos pagos pela empresa produtora. O que poderia levar materiais reciclados a se tornarem mais caros do que materiais considerados convencionais, prejudicando o desenvolvimento de cadeias de reciclagem no Brasil. Apesar de sua relevância, a proposição do artigo se concentra na base regulatória não tarifária estabelecida em um modelo econômico linear de produção-consumo-descarte, que já atinge o seu limite.

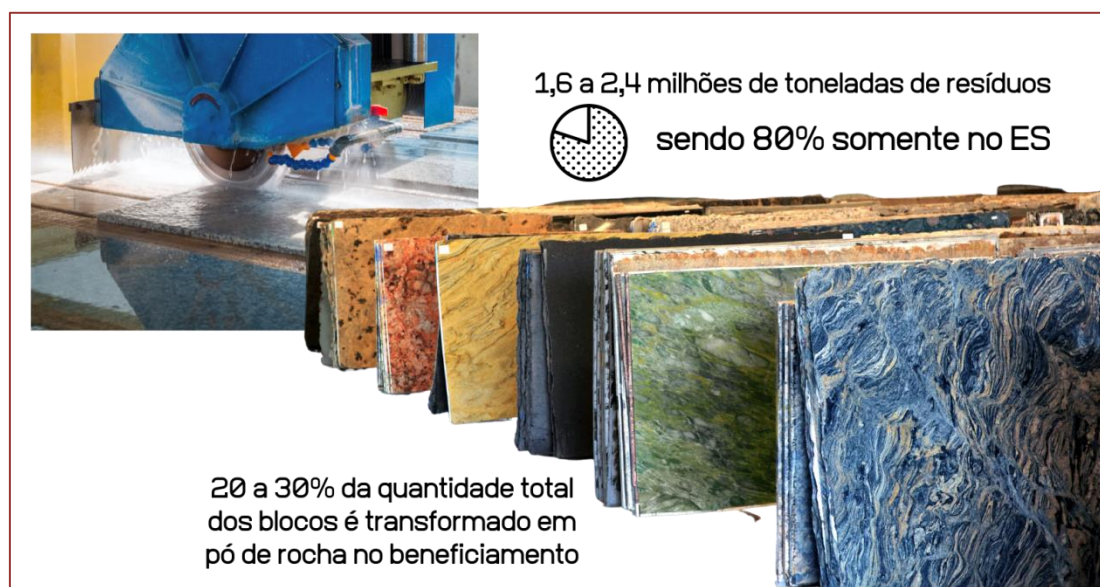
Tendo em vista o volume dos resíduos, além da carência de um rol normativo mais consistente é preciso considerar também o alto custo do transporte. Via de regra, o atraso da legislação, a carência de um enquadramento regulamentar, a burocracia e as altas taxas para a movimentação dos resíduos são

entraves mais comumente apontados pelo segmento de rochas ornamentais para a adoção de um modelo que se baseia na reintrodução do resíduo na cadeia de produção.

3.2. VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO

Segundo dados do setor (ABIROCHAS, 2019; FINDES, 2020; SINDIROCHAS, 2019; 2021) o Brasil produziu 8 milhões de toneladas de rochas ornamentais em 2018. Uma extensa literatura relacionada ao setor de rochas ornamentais indica que um volume de 20 a 30% da quantidade total dos blocos é transformado em pó de rocha no beneficiamento, o que significa uma estimativa de 1,6 a 2,4 milhões de toneladas de resíduos. O estado do Espírito Santo, naquele ano, foi o responsável por 80% do total nacional produzido. Ou seja, 1,2 a 1,9 milhões de toneladas de resíduos de rochas ornamentais sendo produzidos por ano e aguardando destinação final. Cabe destacar que 90% do processo de serragem dos blocos no estado se dá por meio de teares multifios. O tear multifio (diamantado) gera um resíduo sem elementos metálicos, como a granalha de ferro, uma vez que utiliza como insumo adicional apenas a água.

Figura 2 – Viabilidade do uso do resíduo



Fonte: ABIROCHAS, 2019; FINDES, 2020; SINDIROCHAS, 2019; 2021. Imagens: Canva®

Já a quantidade de cimento produzida no Brasil em 2020 foi de 61 milhões de toneladas, sendo 700 mil toneladas apenas no ES (SNIC, 2021). Produção menor que o volume de resíduos de rochas ornamentais gerados no Estado. Com um consumo interno de 1,1 mil toneladas de cimento ao ano, a demanda pela produção no ES é crescente e a proximidade com as empresas de rochas ornamentais do Estado torna o uso do resíduo a alternativa de substituição parcial ao cimento em larga escala.

Em 2019 a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES encomendou ao Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM um projeto de normatização para a utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em artefatos de concreto à base de cimento Portland. Como justificativa para o projeto, além do volume de resíduos, aponta que diversas pesquisas já foram desenvolvidas incorporando o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em inúmeros materiais e componentes construtivos, em sua maioria, com resultados satisfatórios. Mas a conclusão sobre a viabilidade técnica de utilização do resíduo ocorre no âmbito acadêmico e científico, sendo necessário criar um arcabouço de normativas que permita a transferência de tecnologia em todas as etapas, englobando: coleta, caracterização, aplicação e desempenho do produto, até possibilidade de comercialização do produto final fabricado a partir deste material (VIDAL, 2019).

Ao longo de dois anos foi executado um extenso trabalho de levantamento em base de dados, tais como: Science Direct, Portal Periódicos CAPES, Scielo, entre outros, de bibliografia atualizada de artigos, dissertações e teses a respeito da utilização do uso de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

para a produção de concretos, com o objetivo de responder as dúvidas fundamentais para a sua aplicação. Como principais resultados, foram elencados (VIEIRA, 2020):

- A existência de inúmeras terminologias para os resíduos oriundos do processamento de Rochas Ornamentais. As principais: Lama do beneficiamento de rochas ornamentais (Fig. 3), resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO), resíduos de rochas ornamentais, resíduos de mármore e granito. Após a Instrução Normativa IEMA, o resíduo passa a ser um coproduto, denominado Finos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais – FiBRO.
- A diferenciação entre o FiBRO e os demais resíduos da produção de rochas ornamentais: O FiBRO é definido como material fino gerado nos processos de beneficiamento de rochas ornamentais, composto basicamente de pó de rocha com ou sem elementos abrasivos e demais insumos do processo de beneficiamento.
- A elaboração de uma proposta de instrução normativa IEMA, um dos resultados do Projeto FAPES. A Instrução Normativa dispõe sobre requisitos (incluindo teores máximos e limites químicos permitidos) para incorporação do FiBRO na produção de materiais e componentes construtivos à base de cimento Portland.

Figura 3 - Resíduos de rochas ornamentais com maior ou menor teor de umidade



Fonte: Neto, 2005 e CETEM, 2020.

3.3. NOVAS PERSPECTIVAS DE ESTUDOS

No coprocessamento, técnica que consiste na inserção de resíduos sólidos para a fabricação de produtos que necessitam de altas temperaturas, a indústria do cimento tem sido uma das grandes beneficiadas. Na produção do clínquer, Oliveira et. al (2019) apontam diversos artigos pesquisados que indicam como positivo o uso de resíduos de rochas ornamentais, e cujas análises químicas revelam o óxido de cálcio, CaO e o óxido de silício, SiO₂ como maiores valores observados na composição dos resíduos, variando segundo o tipo de rocha (sedimentar, metamórficas ou ígnea) e o método de extração dos blocos, uma vez que podem conter elementos abrasivos.

Neste ano foi publicado um artigo na Revista Geociências (NEVES et.al, 2021) onde os autores agrupam as amostras estudadas em função dos possíveis usos dos resíduos gerados pela serragem de rochas ornamentais. Além dos resíduos finos, usados como filler (preenchimento) em diversos produtos, como na produção de cimento Portland que vimos aqui retratando, também aponta para:

- Resíduos com teores mais elevados de potássio, sódio e cálcio (entre 12 e 17%) podendo ser utilizados na indústria cerâmica tradicional, ou de revestimento, ou sanitária.
- Resíduos com teores mais elevados de silício (em torno de 70%) poderiam ser aplicados à produção de vidros.
- Resíduos com teores mais elevados de potássio (entre 5 e 6%) - e desde que não apresentem altos teores de sódio e alumínio -, poderiam ser usados como rochagem na agricultura.
- Resíduos com alvura e granulação fina seriam ideais para a indústria de cosméticos.

As perspectivas acima elencadas apenas reforçam a necessidade de um rol normativo que oriente as empresas quanto à utilização correta dos resíduos, desenho de suas plantas produtivas e parcerias estratégicas para o armazenamento, distribuição e coleta destes novos insumos. Ainda o desenvolvimento de políticas públicas para o setor para autorização da comercialização do coproduto

A proposição da norma técnica para uso do FiBRO explicitou uma questão envolvendo diretamente a Instrução Normativa IEMA Nº.11, de 11/10/2016, que dispõe sobre critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais. A Instrução Normativa menciona uma única vez o teor de umidade do resíduo (lama), máximo de 30%, e apenas o faz com o propósito de disposição no aterro. A reinserção do resíduo (FiBRO) no processo exige uma classificação específica, com diferentes teores de umidade distintas da “Lama do Beneficiamento”.

Reforçando o que já foi descrito, a partir do momento em que o FiBRO se torna um coproduto, torna-se necessário pensar normativas adicionais, que envolvam requisitos técnicos, operacionais, de controle e monitoramento para o manejo de pontos de coletas, triagem; preparo da área de disposição, proteção das águas e proteção ambiental.

3.4. TRANSBORDO DE RESÍDUOS

Até recentemente o transporte de materiais entre estados ocorria apenas com as notas fiscais que detalhavam o valor dos bens e os impostos a serem recolhidos. Em 2020, o Ministério do Meio Ambiente, através da Portaria nº 280, instituiu o Manifesto de Transporte de Resíduos – MTR (<<https://sinir.gov.br/>>) nacional, como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos. Em vigor desde janeiro de 2021, o MTR é uma ferramenta online, válido no território nacional, que registra informações sobre a movimentação de resíduos. É vinculado ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos – SINIR, instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. O SINIR coleta, integra, sistematiza e disponibiliza dados de operacionalização e implantação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos, dentre eles, o transporte de resíduos para a sua destinação final.

No ciclo do descarte via MTR, existem 3 entidades. O gerador, o transportador e o destinador. As entidades geradoras são as empresas de rochas ornamentais, fornecendo os resíduos; as cimenteiras são entidades destinadoras e as transportadoras, nova categoria, deverão apresentar licença ambiental para executar a atividade. A licença de transporte pode ser do IBAMA (caso ocorra transporte interestadual), do órgão ambiental estadual, a exemplo do IEMA para o Espírito Santo, ou mesmo isento (caso seja aplicável). Caso o transbordo do resíduo seja efetuado pela mineradora ou pela cimenteira, a atividade adicional de transporte deverá ser cadastrada no sistema e as licenças ambientais deverão ser obtidas. Após a burocracia do cadastramento, que inclui assinatura digital dos responsáveis, a tramitação é relativamente simples. O gerador abre o processo e indica o transportador e o receptor, enquadrando a carga. Por fim, emite uma Declaração de Movimentação de Resíduos – DMR. Caso não tenha como pesar o material, a DMR pode conter uma estimativa. O transportador apenas monitora o processo e usa os dados para efeitos de fiscalização. O destinador, ao receber os resíduos de terceiros, corrige os dados de peso e enquadramento, se for o caso, e dá baixa no sistema, emitindo um Comprovante de Destinação Final - CDF.

A documentação gerada no âmbito do MTR deve ser incorporada aos registros da empresa, gerando um histórico de destinações e ser rastreável. Isso vale tanto para as empresas envolvidas, quanto para os entes fiscalizadores. As empresas geradoras, no caso as produtoras de rochas ornamentais, bem com as empresas de transporte, necessitam implementar um sistema mínimo de gerenciamento e controle de documentação para esta finalidade. Atualmente poucas empresas produtoras de rochas ornamentais do ES possuem sistemas de gestão certificados, especialmente um sistema de gestão ambiental. Sem as

certificações, como gerar rastreabilidade para uma futura Declaração Ambiental de Produto, caso as empresas passem a adotar rótulos tipo III? Ou mesmo um rótulo ambiental que indique a destinação adequada dos resíduos? Quando empresas usam grandes volumes de resíduos como coprodutos é viável pensar em rótulos ambientais mais complexos, não apenas para as empresas produtoras do resíduo, mas também para toda a cadeia que utilize o coproduto.

4. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS APLICADOS À PRODUÇÃO DE CIMENTO

O trabalho de Zulcão et. al. (2020) traz uma importante contribuição para os estudos sobre os resíduos finos de rochas ornamentais e sua utilização na produção de cimento. O resíduo apresenta potencial para ser utilizado como substituição parcial ao cimento e resultados satisfatórios quando utilizado em altos teores (acima de 50%) na produção de argamassas de revestimento, assentamento e de concreto autoadensável. Também apresenta baixo custo, uma vez que não possuem valor comercial. As cargas para o balanço de massa do inventário de seu processo de geração são nulas (sendo atribuídas à produção de rochas ornamentais).

Os impactos são quantificados apenas em sua reciclagem – secagem e destorroamento, para transformá-los em insumo, além do consumo energético, emissões e distância de deslocamento. Para os autores, as alternativas de secagem artificial implicam em um grande aumento do impacto, entre 5 a 16 vezes maior que a secagem ao ar livre. O que reforça a necessidade de normas específicas para a gestão dos resíduos, adicionais aos requisitos para disposição no Aterro.

Outro impacto relacionado ao deslocamento nos faz pensar sobre até onde é viável transportar o resíduo, considerando as condições de transporte (carretas e em rodovias). No caso do ES, o número e espraiamento das empresas de rochas ornamentais torna competitivo ambientalmente o uso do resíduo em relação aos materiais convencionais.

5 RESULTADOS

Apesar da necessidade de utilização e dos diversos estudos que garantem a viabilidade técnica de uso, hoje os resíduos de rochas ornamentais são importantes poluentes dos rios e impactam significativamente o volume de resíduos industriais de aterros classe II. Então por que não vem sendo reciclados na quantidade desejada? A cada dia a destinação final torna-se um custo maior para o produtor e para a sociedade. A questão reside apenas nos altos custos? Há um intervalo entre a incorporação de novos usos dos resíduos e a existência de legislação compatível e pertinente. Como incorporar o resíduo sem normas, regulamentos técnicos e procedimentos de avaliação da conformidade que permitam o seu uso com qualidade e com respaldo jurídico?

O estudo buscou demonstrar que para as empresas as normativas não representam apenas poder replicar a utilização do resíduo em condições que garantam o seu uso em escala. Antes de tudo, é o aval positivo para a sua utilização, com regras claras a serem seguidas.

Um direcionamento foi dado neste sentido. O Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR é implementado como uma ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano nacional de gerenciamento de resíduos.

Outro importante passo foi dado no Espírito Santo a partir do trabalho efetuado em parceria com o CETEM e a UFES para a elaboração da normativa para utilização do fino de rocha ornamental, o FiBRO. O projeto contou com a participação de empresas, associações e sindicatos e motivou a recém criação de um Grupo de Trabalho coordenado pela Federação das Indústrias do Espírito Santo – FINDES.

Mas este é apenas o começo. Também é necessário revisar as normativas existentes, harmonizar nomenclaturas e pensar normativas adicionais, que envolvam requisitos técnicos, operacionais, de controle e monitoramento para o manejo de pontos de coletas, triagem; preparo da área de disposição, proteção das águas e proteção ambiental. Desta forma, o resíduo, que já se apresenta como viável para uso industrial, torna-se um coproduto.

6 CONCLUSÕES

Espera-se que esta avaliação descritiva evidencie a lacuna de instrumentos normativos pertinentes e a necessidade de elaboração de normas técnicas, instruções normativas e outros instrumentos que permitam validar tecnicamente e legalmente a aplicação do resíduo de rocha ornamental no segmento de cimento Portland.

Como recomendações de futuros trabalhos, é necessário pensar o rol normativo para a utilização do resíduo fino de rocha ornamental em aplicações mais nobres, além da produção de cimento, de outros materiais relacionados à construção civil.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS). Dossiê Brasil, 2019. Disponível em: <www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/dossie/Dossier_Brazil_2019%20mailing.pdf>. Acesso em: 20/03/2021.
- [2] Confederação Nacional da Indústria (CNI). Economia circular: o uso eficiente dos recursos. Brasília: CNI, 2018. 36 p.: il. – (Propostas da indústria eleições 2018; v. 12)
- [3] Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Instrução Normativa n.º.11, de 11 de outubro de 2016. Dispõe sobre critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Diário Oficial dos Poderes do Estado: Vitória (ES), Terça-feira, 18 de Outubro de 2016.
- [4] Federação das Indústrias do Estado do Espírito Santo (FINDES). Espírito Santo é o Líder no País em Exportação de Rochas Ornamentais. FINDES, Reportagem publicada em 14 de janeiro de 2020. Disponível em: <<https://findes.com.br/news/espírito-santo-e-o-lider-no-pais-em-exportacao-de-rochas-ornamentais/>>. Acesso em 02/10/2021.
- [5] Neves, M. A.; Prado, A. C. A.; Marques, R. A.; Fonseca, A. B.; Machado, M. E. S. Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais Processadas no Espírito Santo: Composição e Aproveitamento. Em: Revista Geociências. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 40, n. 1, p. 123 - 136, 2021. Disponível em: <www.researchgate.net/profile/Mirna-Neves/>. Acesso em 02/10/2021.
- [6] Oliveira, T.R. et al. Avaliação da Utilização de Resíduos incorporados ao Clínquer Portland: Revisão Sistemática. Anais. V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. Novembro de 2019. DOI:10.5151/siintec2019-11. Disponível em: <www.researchgate.net>. Acesso em: 20/03/2021.
- [7] Reis, A. S., Alvarez, C. E. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. Anais, 2007. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Disponível em: <lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/2007_artigo_009.pdf>. Acesso em: 15/03/2021.
- [8] Santos, G.V.; Vazzoler, J.S. Projeto de normatização do uso de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais na produção de concreto de cimento Portland. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM): Relatório Parcial, janeiro de 2021.
- [9] Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcários do Espírito Santo (SINDIROCHAS). Espírito Santo coloca o Brasil entre os maiores países em produção e exportação de Mármore e Granito. Notícias. SINDIROCHAS: 11 de Janeiro de 2019 -15h42min. Disponível em: <www.sindirochas.com/noticias/-espírito-santo-coloca-o-brasil-entre-os-maiores-paises-em-producao-e-exportacao-de-marmore-e-granito.html>. Acesso em 02/10/2021.
- [10] Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcários do Espírito Santo (SINDIROCHAS). Exportações de Rochas: anuário mensal – SINDIROCHAS, janeiro de 2021. Disponível em: <www.sindirochas.com/downloads/relatorios/exportacoes-de-rochas-janeiro-2021.pdf>. Acesso em: 15/03/2021
- [11] Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. Números da Indústria (SINIC). Banco de Dados Consolidados SINIC. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acesso em: 02/10/2021.
- [12] Vidal, F.W.H. Normatização da Utilização de Resíduos de Rochas Ornamentais em Artefatos de Cerâmica Vermelha e à base de Cimento Portland. Edital FUNCITEC/MCI – Resolução N° 233/2018. Projeto FAPES, 2019.
- [13] Vidal, F.W.H.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N.F. Tecnologia de Rochas Ornamentais – Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. 1.ed. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2013. 677p. ISBN: 987-85-8261-005-3
- [14] Zulkão, R. Calmon, L. Rebello, T.A. Vieira, D.R. Life cycle assessment of the ornamental stone processing waste use in cement-based building materials. Construction and Building Materials 257 (2020) 119523. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119523>.

Capítulo 12

Uso de efluentes gerado pela codigestão anaeróbia de resíduos de restaurante universitário em conjunto com resíduos de frutas e hortaliças para a produção de mudas

Lucas D'avila

Amanda Ortega

João Henrique Lima Alino

JheniferAline Bastos

Laercio Mantovani Frare

Thiago Edwiges

Resumo: O biofertilizante pode ser utilizado como alternativa na substituição de produtos químicos no cultivo de culturas. Para isso, a caracterização físico-química é importante para evitar problemas de salinização do solo e impacto no crescimento de plantas. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do digestato gerado pela digestão anaeróbia com resíduos de restaurante universitário (RU) e resíduos de frutas e hortaliças (RFH) na produção de mudas de Agrião do seco (*Lepidium sativum*). Foram analisados quatro tipos de digestatos com diferentes composições de resíduos de RU e RFV (0, 25%, 50% e 75%) que foram diluídos em água destilada (100%, 50%, 10% e 1%) para determinação dos índices de fitotoxicidade. As amostras de digestato foram caracterizadas quanto a condutividade elétrica e pH e os ensaios fitométricos foram realizados para encontrar as diluições de interesse do digestato. Como principal resultado, observou-se que não houve germinação para todas as amostras de digestato sem diluição (100%) e quando parcialmente diluídas (50%). Em contrapartida, os tratamentos com concentração de 1% do digestato contendo 25% de RU e 75% RFV foi 118% superior ao controle quando avaliado massa seca. Valor próximo também foi observado para o tratamento com a mesma concentração (1%) e com digestato contendo 75% de RU e 25% RFV, sendo 112% superior ao controle. Deste modo, verifica-se que o digestato pode ser utilizado como biofertilizante quando diluído em água destilada até concentração de 1%, visto que concentrações acima desse valor pode causar inibição no desenvolvimento de plantas.

Palavras-chave: Digestato. Biofertilizante. Fitotoxicidade.

1. INTRODUÇÃO

A busca por insumos menos agressivos ao meio ambiente e produtos alternativos vem crescendo em todo o Brasil. Vários produtos têm sido lançados no mercado buscando o desenvolvimento de uma agricultura menos dependente de produtos químicos (DELEITO *et al.*, 2005). O biofertilizante é um destes insumos que tem sua origem da biodegradação de substratos orgânicos para a produção de biogás em reatores anaeróbios (MARTINS *et al.*, 2009). Este produto apresenta potencial para ser aproveitado como fertilizante devido a composição mineral e orgânica que torna capaz de influenciar no desenvolvimento de plantas.

O desenvolvimento de uma planta depende da absorção de água, nutrientes e energia. Estes nutrientes podem ser encontrados na matéria orgânica, que por sua vez está disponível no biofertilizante. Entretanto, quando presentes em altas concentrações os nutrientes podem prejudicar o desenvolvimento das plantas. Além disso, o composto ainda pode conter outras substâncias tóxicas para o metabolismo vegetal, tais como metais pesados, sais, e outros tóxicos (TRAUTMANN; KRASNY, 1997).

Uma das formas de identificação da presença de substâncias inibitórias ao crescimento de plantas é o teste de fitotoxicidade. No entanto, o teste não consegue determinar quais são os contaminantes específicos que causaram a toxicidade, mas são importantes para avaliar o efeito inibitório do efluente utilizado no crescimento de plantas. Para a determinação é necessário o uso de plantas sensíveis, de rápido crescimento e rentáveis, como o agrião de jardim (*Lepidium sativum L.*) e a alface (*Lactuca sativa L.*), que mudam o seu padrão de desenvolvimento conforme o meio inserido (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Portanto, avaliar a fitotoxicidade de um composto é importante, uma vez que com os resultados obtidos nas análises é possível determinar se o produto a ser usado como fertilizante irá inibir a germinação de sementes, o crescimento das raízes ou o desenvolvimento das plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a fitotoxicidade e o efeito do uso de digestato gerado a partir da digestão anaeróbia de resíduos de RU e RFV na produção de mudas de hortaliças.

2. METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO

O estudo foi realizado utilizando efluente (digestato) proveniente de testes de produção de biogás em reator anaeróbio de mistura completa em escala de bancada (CSTR). O reator foi alimentado com quatro proporções diferentes de substratos compostas por uma mistura de resíduos da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados no restaurante universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira (RU), e resíduos de frutas e hortaliças provenientes da CEASA, unidade atacadista de Foz do Iguaçu - Paraná (RFH) (Tabela 1).

Tabela 1. Proporção de resíduos utilizado em cada tratamento

Digestatos	RU (%)	RFH (%)
A	100	0
B	75	25
C	50	50
D	25	75

Preliminarmente aos ensaios de fitotoxicidade dos digestatos brutos foram caracterizados a partir do pH e da condutividade elétrica. Para isso, 100 mL foram centrifugados a 1500 rpm por 15 minutos e o sobrenadante foi filtrado em papel qualitativo (3 micras de porosidade) para posterior caracterização e ensaios de fitotoxicidade.

2.2 ENSAIOS DE FITOTOXICIDADE

Para os ensaios de fitotoxicidade foram definidos quatro tratamentos com diluições da fração sobrenadante dos digestatos em água destilada (Quadro 1). Foram utilizadas sementes de *Lepidium sativum* (Agrião-do-seco) devido as características de rápido crescimento e alta sensibilidade de níveis de toxicidade (DING *et al.*, 2010).

Quadro 1. Concentrações dos compostos utilizados nos testes de fitotoxicidade

Digestatos	Tratamentos (diluições)			
A	1%	10%	50%	100%
B	1%	10%	50%	100%
C	1%	10%	50%	100%
D	1%	10%	50%	100%

Como medida para evitar a contaminação das sementes, as placas de Petri utilizadas nos ensaios foram forradas com papel filtro de análise qualitativa, embaladas em papel Kraft e submetidas ao processo de autoclavagem à 121 °C por 15 minutos. Foram adicionados 2 mL da fração sobrenadante do digestato e 10 sementes de Agrião-do-seco em cada placa, sendo posteriormente mantidas em estufa tipo BOD por 72 horas a 23 °C. Os testes foram realizados em quintuplicata para cada tratamento e um teste controle com água destilada foi realizado para avaliar a qualidade da semente, totalizando 85 placas.

A fitotoxicidade foi avaliada a partir do índice de germinação proposto por Zucconi *et al.* (1985 apud SILVA; BOAS, 2007) conforme a Equação 1.

$$IG = \%G * (Lm/Lc)$$

Eq. 1

Em que:

IG = Índice de germinação

%G = Porcentagem de germinação em relação ao controle
Lm = Longitude média das raízes da amostra (cm)

Lc = Longitude média das raízes do controle (cm).

2.3 TESTE DE GERMINAÇÃO DE MUDAS EM BANDEJA

A produção de mudas em bandeja foi adaptada através da metodologia proposta por Albuquerque (2012). Nesta etapa, sementes de Agrião-do-seco foram semeadas em bandejas de poliestireno com 30 células. Para acomodar as sementes e dar suporte ao crescimento das mudas, utilizou-se pedra de perlita expandida no interior das células. Duas sementes foram colocadas em cada célula. As bandejas foram imersas em um recipiente contendo água destilada a um nível adequado para promover a absorção do meio líquido pelas perlitas (Figura 1). Após a semeadura, as bandejas permaneceram em estufa por 30 dias a 21 °C e com fotoperíodo de 16 horas, sendo que nos primeiros 9 dias ocorreu a saturação das perlitas com água destilada. Após o nono dia de semeadura, a água destilada presente no recipiente foi substituída pelo respectivo tratamento.

Devido à evaporação da fase líquida, tornou-se necessário manter o nível de líquido nos recipientes durante os 30 dias de incubação. Esta reposição do nível de fase líquida foi feita diariamente com água destilada.

Figura 1. Estrutura de montagem das bandejas



2.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FITOMÉTRICOS

Após o período de germinação, foram realizados os testes fitométricos de medição da raiz e parte aérea, medição do diâmetro do coleto da muda bem como a contagem do número folhas seguindo a metodologia adaptada de Kratz e Wendling (2013). Cinco mudas foram retiradas aleatoriamente de cada tratamento, e então foram feitas as medições com o auxílio de um paquímetro digital (Digital Caliper F&M).

Figura 2. Determinação dos parâmetros fitométricos



2.5 MASSA FRESCA E MASSA SECA

Para a determinação das massas, adaptou-se a metodologia seguida por Kratz e Wendling (2013). As mudas foram pesadas em balança analítica para a determinação da massa fresca. Após a pesagem, as mudas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel Kraft. Os sacos foram levados para a estufa com circulação de ar mecânica, onde permaneceram por 48 horas a uma temperatura de 65°C. Após este período, as mudas foram novamente pesadas, obtendo assim os resultados de massa seca.

Figura 3. Determinação de massa fresca e massa seca

3. RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS DIGESTATOS

Observou-se que os valores de pH apresentaram baixa variação independente da proporção de resíduos utilizada na mistura do substrato (Tabela 2). Além disso constatou-se que o pH dos substratos apresentou característica levemente alcalina. Marrocos (2011) encontrou valores semelhantes de pH para biofertilizante de esterco bovino, onde o pH observado foi de 8,11. Campos *et al.* (2008) utilizando biofertilizante bovino em fermentação anaeróbia observou pH com valor de 6,8.

Tabela 2. Resultados das análises do composto

Digestato	pH	CE (ms cm ⁻¹)
A	8,4	10,0
B	8,3	9,9
C	8,3	9,1
D	8,3	11,4

A condutividade elétrica representa os níveis de sais e nutrientes presentes no digestato. A salinidade tem um efeito complexo para a nutrição das culturas, reduzindo o crescimento das plantas pois atua afetando a atividade dos íons em solução e os processos de transporte, absorção e distribuição de água e nutrientes (MUNNS, 2002). Estas alterações levam a mudanças fisiológicas nas plantas, principalmente na área foliar e na fotossíntese, o que acaba prejudicando a produção de massa seca das mudas (BELTRÃO *et al.*, 1997).

Os resultados de CE foram distintos entre os digestatos. Costa (1994) afirma que os níveis de CE presentes em biofertilizantes variam de acordo com o material de origem. O digestato D foi o que apresentou maior CE (11,4 ms cm⁻¹). Este resultado pode estar relacionado à maior concentração de sais e nutrientes provenientes da elevada proporção de resíduos do RU.

A tolerância à salinidade depende da espécie de planta, porém o intervalo aceitável é de 1,0 a 2,5 ms cm⁻¹ (CARON *et al.*, 2004). Um valor próximo também é descrito por Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999), estes autores dizem que o valor limite deve permanecer em torno de 1,3 ms cm⁻¹, podendo prejudicar o desenvolvimento de plantas em condição de CE mais elevada.

Desta forma, nota-se que valores elevados de CE devem servir de alerta quanto ao uso de biofertilizantes, pois em altas concentrações podem ocasionar a salinização do solo e prejudicar o crescimento das culturas. Portanto, torna-se necessária a diluição destes digestatos antes de utilizá-los como biofertilizante.

3.2 FITOTOXICIDADE

Após a incubação, foram realizadas as contagens do número de sementes germinadas e a medição do comprimento da radícula de cada semente. Os resultados obtidos compõem o teste de fitotoxicidade do composto (Tabela 3). Uma observação é que alguns tratamentos obtiveram resultados superiores ao do controle, por este motivo a germinação relativa destes tratamentos ultrapassou 100%.

Tabela 3 - Resultados obtidos no teste de fitotoxicidade

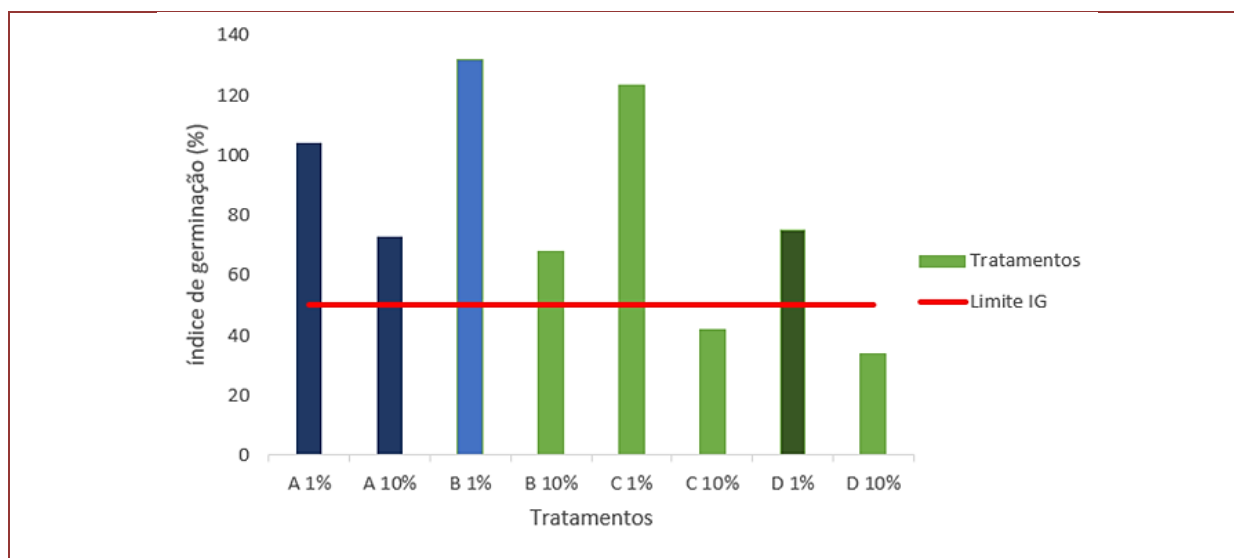
Digestato	Tratamento	nº Sementes ¹	Comprimento médio da Radícula (mm)	Germinação relativa a semente(%)	Germinação relativa a raiz(%)
A	1 %	46	6,67	96	108
	10 %	36	5,99	75	97
B	1 %	49	7,99	102	130
	10 %	46	4,36	96	71
C	1 %	49	7,44	102	121
	10 %	19	6,53	40	106
D	1 %	39	5,69	81	92
	10 %	29	3,43	60	56
Controle	-	48	6,16	100	100

¹ somatório do número de sementes germinadas nas cinco placas.

A partir dos dados apresentados na Tabela 3, determinou-se o Índice de Germinação (IG) (Equação 1) de cada tratamento. Os tratamentos que obtiveram IG inferior a 50% (Limite IG) foram classificados como fitotóxicos.

Observou-se que os digestatos A e B apresentaram IG superior a 50% apenas para as diluições de 1% e 10%. Para os digestatos C e D, apenas as diluições de 1% apresentaram IG superior a 50%. As diluições de 50% e 100% de todos os tratamentos apresentaram IG inferior ao mínimo requerido, portanto não tiveram os parâmetros fitométricos de número de sementes e diâmetro da radícula contabilizados. Os tratamentos C e D de 10% foram classificados quanto a fitotoxicidade (Gráfico 1).

Gráfico 1. Índice de germinação dos tratamentos



3.3 PARÂMETROS FITOMÉTRICOS

Uma vez definido o IG e encontrada as diluições de interesse, seguiu-se com os testes de bandeja, visando avaliar o efeito na produção de mudas. Os resultados expressos na Tabela 4 são referentes as médias obtidas nesta etapa do experimento.

Tabela 4 - Resultados dos testes de bandeja

Tratamento	nº Folhas	Comprimento Raiz (mm)	Diâmetro coleto (mm)	Parte aérea (mm)
A (01%)	4	9	0,5	55,3
B (01%)	4	18,55	0,45	58,3
C (01%)	2	6,4	0,46	54,8
D (01%)	4	13,6	0,51	67,5
A (10%)	4	10,3	0,5	60
B (10%)	2	7,3	0,2	52,8
Controle	2	9,2	0,44	43

Nota-se que os tratamentos B e D de 1% foram os que mais influenciaram no crescimento das mudas. A eficiência de crescimento proporcionada por estes dois tratamentos, quando somados os comprimentos da raiz e da parte aérea foi de 47% e 55% respectivamente a mais que o controle. A terceira melhor eficiência de crescimento ficou com o tratamento A de 10%, que apresentou crescimento 34% superior ao controle.

3.4 MASSA FRESCA E MASSA SECA

As análises de Massa Fresca (MF) e Massa Seca (MS) permitem comprovar a eficiência dos tratamentos, já que através do peso é possível estimar quais mudas obtiveram um melhor crescimento. A massa fresca indica uma maior produção de fotossíntese que consequentemente influencia na biomassa da muda, já a massa seca indica o peso da muda sem a contribuição da água, evidenciando seu crescimento e quantidade de biomassa (SANCHEZ, 2007). As figuras 1 e 2 representam os valores de MF e MS obtidos no experimento.

Figura 1. Média de Massa Fresca das Mudas

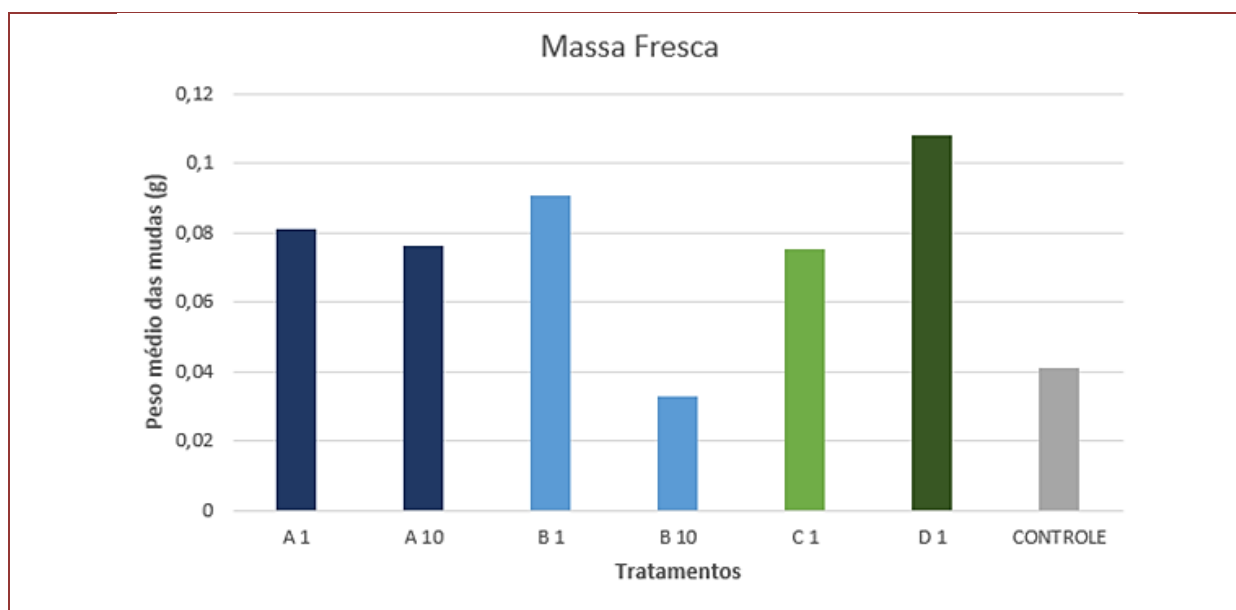
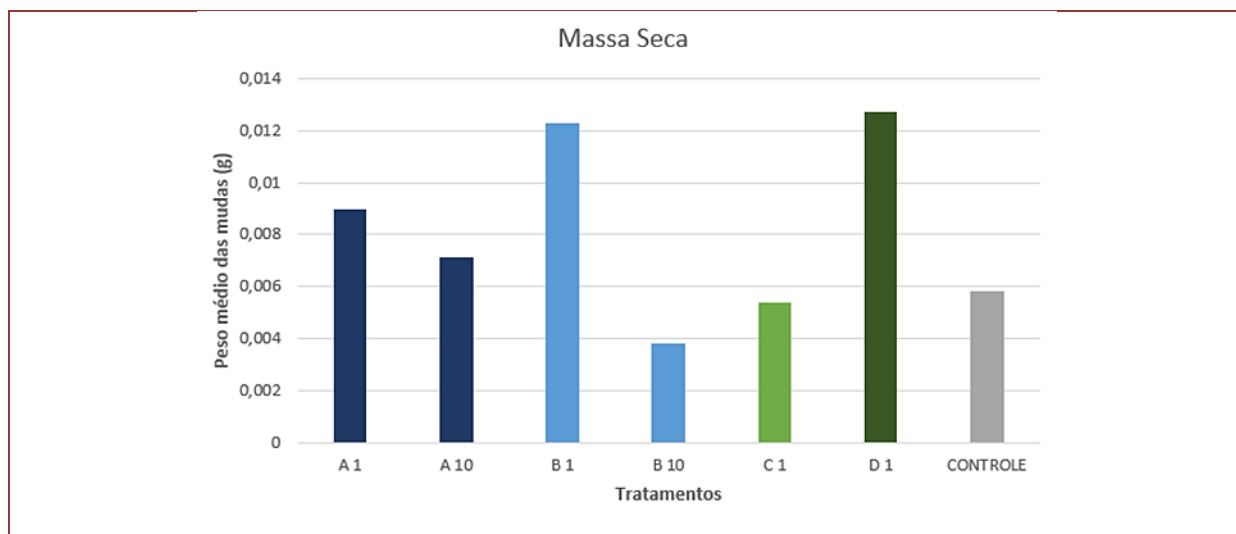


Figura 2. Média de Massa Seca das Mudanças

Nota-se que os tratamentos D e B com concentração de 1% obtiveram respectivamente os maiores pesos de MF e MS (118% e 112% superior ao controle), indicando desta forma, que a maior absorção de macronutrientes e presença de matéria orgânica ocorreu nestes tratamentos, proporcionando melhor crescimento das mudas (WATTHIER, 2014). Os tratamentos B 10% e C 1% apresentaram resultados inferiores ao próprio controle, evidenciando que estes tratamentos agiram de forma negativa no crescimento das mudas.

A presença de substâncias tóxicas e excesso de nutrientes podem ter influenciado nos resultados negativos dos tratamentos B 10% e C 1%. Micro e macronutrientes são exigidos pelas plantas para garantir o seu crescimento, entretanto, quando encontrados em grandes quantidades passam a ser tóxicos (KIHTEL, 1985). Este fato pôde ser verificado com o tratamento B 1% que mostrou bons resultados no crescimento das mudas, mas quando a diluição foi de 10%, a grande quantidade de micro e macro nutrientes provavelmente prejudicou o desenvolvimento das plantas. Este fato evidencia a necessidade da diluição do digestato para equilibrar a concentração de sais e nutrientes fornecidos às plantas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pH dos digestatos foram levemente alcalinos, fator considerado favorável para o uso de biofertilizantes na produção de mudas de agrião do seco. Quando os digestatos foram utilizados em concentrações de 100% e 50%, não ocorreu a germinação das sementes. Os tratamentos B1% e C1%, não apresentaram fitotoxicidade, entretanto quando foram submetidos aos testes de produção de mudas em bandeja demonstraram influência negativa no desenvolvimento de massa, produzindo resultados inferiores ao do controle.

Para viabilizar a utilização dos digestatos, torna-se necessário encontrar uma relação ideal na concentração de sais e nutrientes, uma vez que um composto muito concentrado se torna fitotóxico, impedindo o crescimento das sementes e/ou influenciando negativamente o crescimento das mudas.

Com este trabalho observou-se que o melhor potencial de crescimento para as mudas de agrião esteve presente no digestato D (25% RU e 75% RFH). Quando este foi usado a uma concentração de 1%, proporcionou crescimento de 47% no comprimento médio das mudas de agrião do seco e aumento de 118% no conteúdo médio de biomassa (massa seca). O digestato B (75% RU e 25% RFH) quando utilizado com concentração de 1% também apresentou bons resultados, proporcionando um aumento médio de 112% no conteúdo de massa seca.

REFERÊNCIAS

- [1] ALBUQUERQUE, J.A.; FUENTE, C. de L.; COSTA, A.F.; CARRASCO, L.; CEGARRA, J.;
- [2] ABAD, M.; BERNAL, M.P.; Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*, v40, p181-189, 2012.
- [3] BELTRÃO, N.E. de M.; AZEVEDO, D.M.P. de; VIEIRA, D.J.; NÓBREGA, L.B. da.
- [4] Recomendações técnicas e considerações gerais sobre o uso de herbicidas, desfolhantes e reguladores de crescimento na cultura do algodão. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997. 32p. (Embrapa Algodão. Documentos, 48).
- [5] CARON, B.O; et al. Crescimento da alface em diferentes substratos. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages/SC* v.3, n.2, p. 97-104, 2004
- [6] COSTA, D. M. A.; MELO, N. S.; FERREIRA, S. R.; DANTAS, J. A. Conteúdo de N, P, K, Ca²⁺
- [7] e Mg²⁺ no amaranto (*Amaranthus spp*) sob estresse salino e cobertura morta. *Revista Ciência Agrônômica*, v.39, n.2, p.209-216, 2008.
- [8] DELEITO C.S.R; CARMO M.G.F; FERNANDES M.C.A; ABOUD A.C.S. 2005. Ação do
- [9] biofertilizante Agrobio sobre a mancha-bacteriana e desenvolvimento de mudas de pimentão. *Horticultura Brasileira* 23: 117-122.
- [10] DING, L.; JING, H.; QIN, B.; QI, L.; LI, J.; WANG, T.; LIU, G. Regulation of cell division and growth in roots of *Lactuca sativa* L. seedlings by the ent-kaurene diterpenoid rabdosin B. *Journal of Chemical Ecology*, v.36, n.5, p.553-563, 2010.
- [11] KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. *Floresta, Curitiba, PR*, v. 43, n. 1, p. 125 - 136, 2013.
- [12] KIEHL, E.J. Fertilizantes Orgânicos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985.
- [13] MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, v.25, p.239-250, 2002.
- [14] OLIVEIRA, E.C.A.; SARTORI, R.H; GARCEZ, T.B., 2008. Compostagem. 2008. 19 f. Disciplina:
- [15] Matéria Orgânica do Solo (LSO-897). Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.
- [16] SANCHEZ, S.V. Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP). 2007. 78 f. Tese (Mestre em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.
- [17] TRAUTMANN, N.; KRASNY, M. Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students, 1997.
- [18] WATTHIER, M. Substrato Orgânico: Caracterização, produção de mudas e desenvolvimento a campo de alface e beterraba e influência na atividade enzimática. 2014. 116 f. Dissertação (Mestre em Fitotecnia Ênfase Horticultura) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.
- [19] ZUCCONI, F.; MONACO, A.; FORTE, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In: Gasser, J.K.R (Ed), *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, Barking, Essex, UK, pp. 73-86.

Capítulo 13

Gestão de resíduos sólidos e sua relação com a presença de animais peçonhentos em um aterro controlado da Amazônia Brasileira

Claudiran de Oliveira Braz

Joacir Stolarz de Oliveira

Deyanira Fuentes-Silva

Resumo: O progressivo incremento e a disposição ambientalmente inadequada dos resíduos sólidos urbanos são, atualmente, dois dos grandes problemas enfrentados por diversos setores da nossa sociedade. A disposição ambientalmente adequada destes materiais é uma das metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual estabelece a distribuição ordenada de rejeitos em aterros verdadeiros, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a minimizar os danos ambientais. No município de Santarém – PA, se encontra em funcionamento o aterro controlado municipal do Perema, o qual é utilizado para disposição final de resíduos sólidos principalmente da área urbana de Santarém. O local é próximo às comunidades de Perema, Cristo Rei, Miritituba, Estrada Nova e Castela, em uma área não muito distante da zona urbana. O presente estudo teve como objetivo verificar a estrutura, a disposição, a triagem e a destinação de resíduos sólidos dentro do Aterro e sua correlação com a incidência de animais peçonhentos dentro do Aterro e comunidades próximas. Inicialmente foi realizada uma pesquisa dos documentos de implantação do Aterro ante a Secretaria Municipal de Infraestrutura - SEMINFRA - Divisão de Saneamento da Prefeitura Municipal de Santarém, seguida da coleta de informações por meio de entrevistas e aplicação de formulários aos indivíduos dentro dos grupos entrevistados: *i)* catadores, *ii)* moradores próximos ao Aterro e *iii)* moradores da comunidade Urumanduba (comunidade afastada considerada como Grupo Controle). Na pesquisa, observou-se que o Aterro opera com uma infraestrutura precária e dentro dele funciona uma Cooperativa de Materiais Recicláveis, a qual procura dar condições mais seguras aos trabalhadores na área. Entretanto, os resíduos sólidos provenientes da coleta domiciliar são dispostos em áreas a céu aberto e, posteriormente, aterrados sem nenhum tratamento. A inadequada disposição destes resíduos tem gerado o aparecimento de animais peçonhentos dentro do Aterro, representando um risco de envenenamentos em humanos causados por tais animais. Este trabalho contribuiu para o esclarecimento da possível presença de animais peçonhentos e/ou perigosos no aterro do Perema, de modo a servir de subsídio para a implementação futura de medidas mais eficazes na prevenção de acidentes provocados por estes animais.

Palavras-Chave: aterros sanitários, resíduos sólidos, animais peçonhentos, Amazônia.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e tecnológico trouxe melhores condições de vida para o homem, incrementando sua expectativa de vida o qual, no Brasil, subiu para 76,8 anos em 2020, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse incremento no tempo de vida das pessoas tem como consequência imediata o aumento da população e, paralelamente, o aumento na produção de alimentos, dos bens de consumo, etc., cuja destinação inadequada de seus resíduos sólidos tem gerado a poluição da biosfera, um dos maiores problemas atuais da humanidade.

Nesse contexto, a Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII, trouxe não só novos produtos, mas também novos agentes químicos, os quais foram inseridos nos diversos meios de produção. Na agricultura, se por um lado o uso de pesticidas e herbicidas contribuiu para uma maior produção de alimentos, por outro introduziu novos componentes tóxicos, causando diversos danos à biodiversidade e, conseqüentemente, também ao ser humano (HUNTER, 2007).

A partir desse momento, surge a necessidade de regulamentação da produção industrial de modo a proteger o meio ambiente. Como um dos sinais de alerta destaca-se a publicação do livro “Primavera Silenciosa”, em 1962, no qual a cientista, bióloga e ecologista norte-americana Rachel Louise Carson critica e denuncia as práticas agrícolas dos cientistas e do governo do seu país, e a forma com que utilizavam os praguicidas, especialmente o inseticida diclorodifeniltricloroetano, o DDT, largamente empregado na época (CONSUEGRA, 2012; PASSOS, 2009).

Desde então, os problemas associados às questões ambientais tornaram-se foco de diversos encontros e debates em nível local e global. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo na Suécia, é considerada um marco histórico político internacional decisivo para o surgimento de políticas de gerenciamento ambiental (PASSOS, 2009). Deste encontro surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, que tem a preocupação de garantir o bem-estar e uma vida digna a toda humanidade, com a obrigação de proteger e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações.

Mais tarde, outras conferências foram realizadas surgindo acordos, convenções e documentos que direcionaram a atenção das nações para as questões ambientais, como é o caso da Rio-92. Esta, mundialmente conhecida como Eco-92 ou Cúpula da Terra, foi realizada na cidade do Rio de Janeiro, onde foram produzidos três importantes documentos: a Carta da Terra, a Declaração de Uso de Florestas e a Agenda 21 (MOTA et al., 2008). De modo geral, neles é destacada a terra como nosso lar, ao qual deve-se voltar todo o cuidado; também é recomendada a proteção e o gerenciamento sustentável das florestas e indicado um planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilie métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

1.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

No Brasil, a problemática ambiental recebeu amparo legal de forma mais abrangente na década de 80 com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), por meio da lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. A PNMA tem por objetivo:

(...) a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, as condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (...) (BRASIL, 1981).

A PNMA também criou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), com a finalidade de assessorar, estudar e propor diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com um meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida. As resoluções do Conama são atos normativos importantes que norteiam a gestão ambiental no âmbito dos estados e municípios.

Nesta mesma década, a Constituição Federal de 1988 determinou que todos os entes da federação (união, estados e municípios) são responsáveis conjuntamente pela proteção do meio ambiente. Com isto, a PNMA ganhou uma base sólida de grande relevância com o texto do Art. 225 da Constituição Federal, onde todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, este considerado um bem de uso comum do povo e essencial a uma vida saudável e de qualidade (BRASIL, 1988).

Reis (2018) aponta que o desenvolvimento sustentável, amparado pela base constitucional, é um direito fundamental e norteador para assegurar a harmonia entre o homem e o meio ambiente, tanto para o poder público como para a coletividade, que são responsáveis de defender e proteger o meio ambiente para a presente e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Outros objetivos da PNMA (BRASIL, 1981), em busca do equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação do meio ambiente, visam:

I - à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico;

(...)

VI - à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida;

VII - à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

Quanto aos danos causados ao meio ambiente destaca-se a destinação e disposição inadequada dos resíduos sólidos. Logo, o gerador que não destinar corretamente os seus resíduos são considerados poluidores e poderão sofrer sanções previstas no inciso V do Art. 54 da Lei nº 9.605/1998, a Lei de Crimes Ambientais, devido ao lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, detritos, óleos ou substâncias oleosas, no ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas (BRASIL, 1998).

Em 2007, a Lei nº 11.445 estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico como princípio fundamental à universalização do acesso e efetiva prestação de serviço de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente.

1.2 A SITUAÇÃO ATUAL NO CUMPRIMENTO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Com relação à gestão dos resíduos, após 20 anos de tramitação no Congresso Nacional, ou seja, somente em 2010 é que foi sancionada a Lei Federal nº 12.305, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Brasil, 2010), a qual dispõe:

(...) sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

A PNRS conceitua como “destinação final ambientalmente adequada” a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras formas admitidas por órgãos competentes, entre elas a disposição final, desde que observadas as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e também para minimizar os impactos ambientais diversos. Em uma de suas metas, esta lei estabeleceu o fim dos lixões em todo o país no prazo máximo de quatro anos, bem como a implantação de aterros controlados ou sanitários. Entretanto, após doze anos da sanção da lei nº 12.305/2010, o Brasil ainda apresenta grandes dificuldades na implementação da PNRS (ZAGO; BARROS, 2019). No ano de 2020, após ter sofrido previamente duas prorrogações, nos anos 2014 e 2018, houve uma nova alteração dos prazos de implantação com a sanção da Lei nº 14.026/2020, de 15 de julho de 2020, dentro do novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil (BRASIL, 2020). Conforme o Art. 11 desta nova lei, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada entre os anos 2020 e 2024, dependendo do tamanho da população e da situação econômico-financeira de cada município. Por disposição final ambientalmente adequada, entende-se como “a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010). Vale destacar que o prazo para muitos municípios já expirou, enquanto que para outros o tempo está praticamente esgotado, inviabilizando o cumprimento no tempo adequado conforme previsto na lei.

No município de Santarém, os resíduos sólidos são dispostos no Aterro Controlado Municipal do Perema que entrou em operação no ano de 2003 visando solucionar o problema da destinação de resíduos no

município. O projeto e planejamento do Aterro abrange um espaço territorial de 68 hectares, com uma projeção de utilização operacional de 110 anos (PMS, 2017). Da Cruz, Gomes e Blanco (2017), em levantamento realizado em 2015, demonstraram que o Aterro ainda está longe das condições ideais de funcionamento. Segundo eles, o trabalho de catação foi uma alternativa encontrada por muitos catadores como forma de serem incluídos na sociedade, mesmo que de forma precária e sem reconhecimento social. O Ranking ABES da Universalização do Saneamento, que utiliza a coleta e a destinação adequada de resíduos sólidos como dois dos seus indicadores, classifica o município de Santarém na categoria – Primeiros passos para a universalização, o último de um total de quatro categorias. Este ranking coloca Santarém entre os 10 municípios de grande porte que ainda estão dando os primeiros passos para a universalização do saneamento básico. O mesmo ranking diz que Santarém coleta aproximadamente 73,25% de resíduos e que somente 1,02% destes resíduos possui destinação final ambientalmente adequada (ABES, 2021).

A situação do cumprimento das metas da PNRS se torna mais crítica conforme passam os anos, principalmente devido ao incremento pronunciado da geração de resíduos sólidos, juntamente com a falta de integração entre os diversos atores e setores envolvidos no processo de gerenciamento dos resíduos sólidos, o que compromete e dificulta a implantação de uma gestão sustentável integrada. Jacobi e Besen (2011), na década passada, já demonstravam esta dificuldade em diversos municípios brasileiros.

1.3 OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A PNRS define como resíduo sólido todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas que podem ter diferentes possibilidades de tratamento e recuperação, como é o caso da reutilização e da reciclagem. Por outro lado, os rejeitos são considerados como todos “os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

De acordo com a PNRS os resíduos sólidos são classificados quanto a sua periculosidade e a sua origem. Quanto a esse último, podem ser citados os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que são os resíduos domiciliares e originários de limpeza urbana; os Resíduos Industriais, aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais; os Resíduos de Construção Civil; e os Resíduos de Serviços de Saúde (figura 1) (BRASIL, 2010). No contexto urbano, os grupos mais importantes estão relacionados aos resíduos domiciliares, comerciais e industriais, devido ao volume gerado diariamente e sua inadequada disposição.

Figura 1. Classificação dos principais resíduos sólidos segundo sua origem dada pela PNRS



Crédito das imagens: publicdomain.com e freepicks.com

1.4 IMPACTOS DA DISPOSIÇÃO IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS

É amplamente reconhecido que os resíduos sólidos urbanos gerados pela sociedade, em suas diversas atividades, ocasionam o deterioro do ambiente, riscos à saúde humana, tais como degradação do solo, comprometimento dos rios e mananciais, intensificação de enchentes, poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária, efeitos que também ocasionam prejuízos socioeconômicos à população (BESEN et al., 2010).

Um dos grandes desafios da sociedade moderna é a diminuição na geração de resíduos e a disposição final ambientalmente adequada, visto os impactos causados pela má disposição final de resíduos sólidos, consequência da má aplicação da PNRS. Dentre essas más práticas está a permanência de pessoas realizando atividades de catação dentro dos locais de disposição dos resíduos, atividade proibida pela própria lei. A PNRS prevê o incentivo à criação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis como alternativa para extinguir a presença de pessoas dentro dos aterros. O funcionamento destas cooperativas e associações deve, de preferência, estar previsto nos planos de gerenciamento de resíduos sólidos e está condicionado ao cumprimento das leis trabalhistas e a garantia da segurança dos cooperados ou associados no ambiente de trabalho.

Estes locais podem ser instalados dentro dos aterros, desde que isolados do espaço destinado à disposição de resíduos. Contudo, isto não acontece em todos os municípios e, na maioria das vezes, estas pessoas trabalham de forma insalubre expondo-se a diversos riscos de acidentes (CARDOZO; MOREIRA, 2015; CAVALCANTE; FRANCO, 2007; DA CRUZ; GOMES; BLANCO, 2017; FONSECA et al., 2013; GUARDABASSIO et al., 2014).

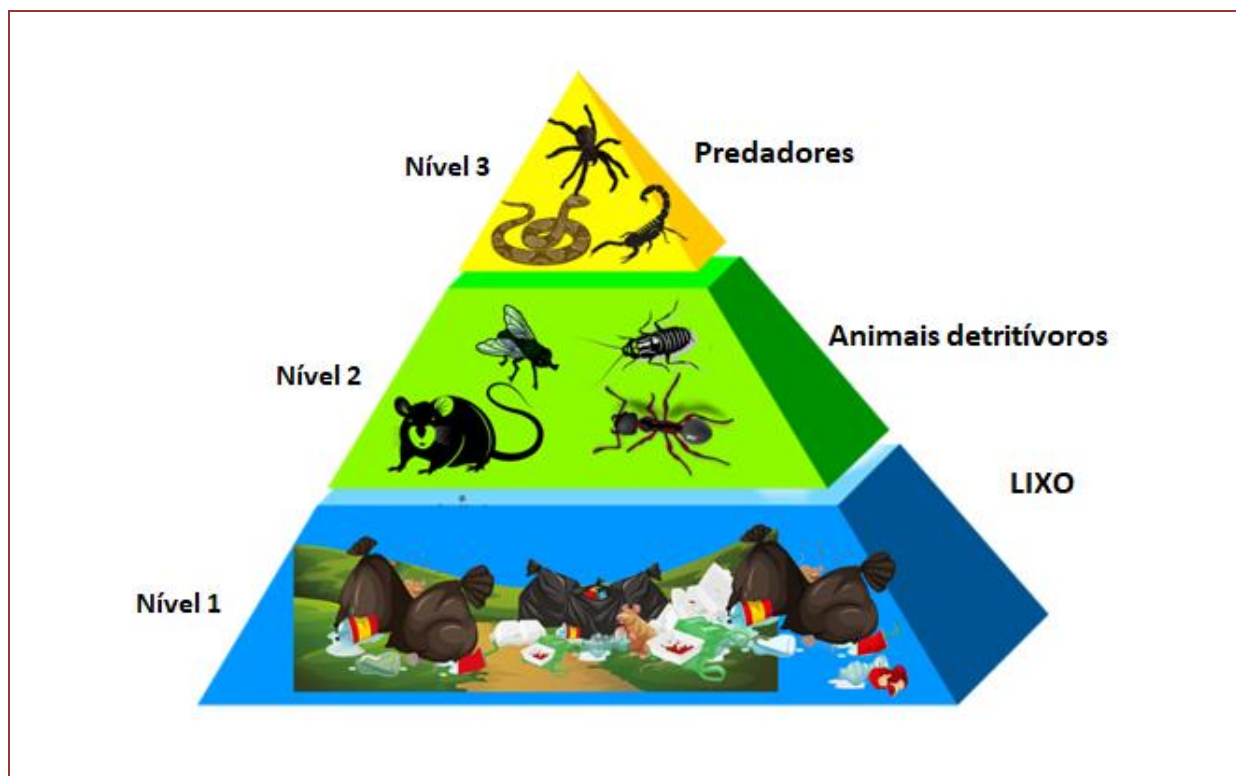
Segundo Porto (2000), o risco pode ser entendido como “toda e qualquer possibilidade de que algum elemento ou circunstância existente num dado processo e ambiente de trabalho possa causar danos à saúde”. Eles estão relacionados a diversos acidentes que podem provocar doenças ou sofrimento do trabalhador oriundo, principalmente, do ambiente de trabalho. Estes riscos podem, ainda, ser provenientes até mesmo da poluição ambiental.

Os diferentes tipos de riscos são classificados em físicos, mecânicos, químicos, ergonômicos e biológicos. Todos estes riscos se aplicam e estão associados às pessoas que trabalham em áreas de aterros, especialmente aos catadores (trabalhadores informais). De particular importância está o Risco Biológico, uma vez que os catadores estão em constante contato com materiais orgânicos mal acondicionados dentro dos lixões. Isto aumenta o contato com substâncias tóxicas e com diversos organismos como bactérias, fungos, protozoários e até mesmo alguns tipos vírus, oriundos principalmente de resíduos dos serviços de saúde.

De forma concomitante, a má disposição de resíduos torna o ambiente propício ao aparecimento de animais sinantrópicos como insetos, roedores e outros animais que se adaptaram rapidamente ao ambiente antrópico e que são verdadeiras pragas urbanas (moscas, ratos, baratas, etc.) muitas das quais são vetores de doenças ou servem de alimento para outros animais silvestres como, por exemplo, os peçonhentos – aranhas, escorpiões, serpentes, lacraias, etc. (figura 2) (CAVALCANTE; FRANCO, 2007; FONSECA et al., 2013; GUARDABASSIO et al., 2014; CARDOZO; MOREIRA, 2015; DA CRUZ, GOMES, BLANCO, 2017; SILVA et al., 2021).

No Brasil, os acidentes com animais peçonhentos representam aproximadamente 50% (48,98%) dos casos de intoxicação humana, ultrapassando a porcentagem de intoxicações por medicamentos (25,68%) (SINITOX, 2017). Entre os animais terrestres conhecidos como de importância médica, ou seja, aqueles que podem causar algum tipo de acidente em seres humanos, estão os invertebrados do filo Arthropoda, em particular os pertencentes ao subfilo Chelicerata, com a classe Arachnida (aranhas e escorpiões); ao subfilo Myriapoda, com as classes Chilopoda e Diplopoda (centípedes e milípedes, respectivamente); e ao subfilo Hexapoda, com a classe Insecta e as ordens Coleoptera (besouros), Hemiptera (percevejos), Hymenoptera (formigas, vespas e abelhas) e Lepdoptera (borboletas e lagartas). Também há animais vertebrados, sendo as serpentes as principais representantes. Essas incluem principalmente os membros das famílias Viperidae (gêneros *Bothrops*, *Bothriopsis*, *Bothrocophias*, *Lachesis* e *Crotalus*) e Elapidae (gênero *Micrurus*). Em geral, a maioria dos envenenamentos por animais peçonhentos é causada por escorpiões, serpentes e aranhas (CHIPPAUX, 2015; FUNED, 2015; OLIVEIRA; WEN; SIFUENTES, 2009; SILVA; BERNARDE; ABREU, 2015; SINITOX, 2017; VIDAL HADDAD et al., 2015).

Figura 2. Pirâmide alimentar associada ao lixo



O nível 1 é o lixo, constituído por diferentes tipos de resíduos sólidos e orgânicos que servem de abrigo e alimento; constituindo o nível 2 estão os animais detritívoros (carnívoros, herbívoros ou onívoros) que quando se proliferam descontroladamente configuram as pragas urbanas; no nível 3 encontram-se os animais predadores como as aranhas, escorpiões e serpentes, que se beneficiam de presas em abundância. A presença do lixo urbano conduz a uma dinâmica predatória alterada dentro da cadeia alimentar dos animais silvestres. (Crédito das imagens: publicdomain.com e freepicks.com)

Em 2009, a Organização Mundial da Saúde (OMS) incluiu o ofidismo, envenenamento causado por picadas de serpentes, na Lista de Doenças Tropicais Negligenciadas como problema de saúde pública devido, principalmente, à necessidade de soros específicos para o tratamento, que nem sempre estão disponíveis para a população (SILVA; BERNARDE; ABREU, 2015). A subnotificação dos acidentes ocorridos também contribui para este problema, uma vez que muitos acidentes ora deixam de ser notificados, ora fornecem dados incompletos, comprometendo o seu monitoramento. Além disso, os acidentes constituem um importante fator de morbimortalidade, afetando principalmente a população do campo, das florestas e das águas, a saber: produtores e trabalhadores na exploração agropecuária, de áreas extrativistas florestais, trabalhadores da mecanização agropecuária e florestal, bem como pescadores e ribeirinhos (WHO, 2007, BRASIL, 2019a).

De acordo com o Boletim Epidemiológico divulgado pelo Ministério da Saúde, entre 2007 e 2017 foram notificados 95.205 acidentes de trabalho com animais peçonhentos em trabalhadores do campo, florestas e águas (BRASIL, 2019a). Deste total, 45.763 ocorreram com serpentes, 22.596 com escorpiões e 16.474 com aranhas. Ainda segundo este levantamento, o número de casos de acidentes com animais peçonhentos subiu 1,2% no período estudado, com um aumento de 164,64% dos acidentes com escorpiões e 31,03% com aranhas, enquanto que com serpentes houve uma redução de 2,96%. Também houve um aumento de 24% nos casos letais de acidentes com animais peçonhentos. Os estados que mais registraram casos letais foram Amazonas, Goiás e Piauí. O levantamento utilizou o total de pessoas economicamente ativas ocupadas (PEAO) do campo, envolvendo trabalhadores da agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura.

A presença de animais peçonhentos em áreas de lixão e aterros, especialmente os localizados dentro de áreas de floresta, pode representar um risco tanto às pessoas que trabalham no local, como para as pessoas que residem no seu entorno. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar as condições de funcionamento do Aterro Controlado Municipal do Perema, enquanto à disposição e à destinação de resíduos sólidos e correlação com a presença de animais peçonhentos dentro do Aterro e comunidades próximas.

2. METODOLOGIA

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O município de Santarém, no estado do Pará, está localizado na margem direita do rio Tapajós, na mesorregião do baixo Amazonas. O território do município é formado 100% pelo bioma Amazônia, abrangendo uma área territorial de quase 18 mil km² e uma população estimada em aproximadamente 308 mil habitantes, dos quais 70,3% moram na área urbana (IBGE, 2022). Em 2010 o município registrou um índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,691; enquanto seu PIB per capita alcançou R\$ 16.829,80 em 2019 (IBGE, 2022). De acordo com a Prefeitura Municipal de Santarém (PMS), o perímetro urbano que ocupa ao redor de 97 km² está dividido em cinco zonas, os quais albergam 58 bairros e 3 sub-bairros (PMS, 2019). O Município de Santarém possui um Plano Municipal de Saneamento Básico e dentro dele foi implementado o Aterro Controlado Municipal do Perema, localizado às margens da Rodovia PA-370, que liga Santarém à Hidrelétrica de Curuá-Una. Ele está a 14 km do centro da cidade de Santarém, nas coordenadas 2°32'18.385" S e 54°39'42.956" W, próximo às comunidades de Cristo Rei, Estrada Nova e Miritituba.

2.2 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa teve uma abordagem qualitativa e quantitativa, tendo sido desenvolvida em três etapas. A primeira etapa consistiu da revisão integrativa das informações do município de Santarém e do tema dos Resíduos Sólidos urbanos (RSU) através de sites de notícias, sites oficiais da administração municipal e do governo federal, e de pesquisas publicadas. Também foi analisada a documentação de implantação e operação do Aterro Controlado Municipal do Perema, junto à Divisão de Saneamento da Secretaria Municipal de Infraestrutura. As duas etapas seguintes envolveram a pesquisa exploratória e a pesquisa descritiva.

2.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Os documentos sobre a implantação do Aterro do Perema foram cedidos pela Secretaria Municipal de Infraestrutura - SEMINFRA - Divisão de Saneamento da Prefeitura Municipal de Santarém, a qual também concedeu o acesso ao local de estudo para a realização de visitas técnicas e dos registros fotográficos. Parte dos dados primários deste estudo foram levantados pela aplicação de formulários para três grupos de indivíduos: *i*) catadores; *ii*) moradores próximos ao Aterro, em comunidades localizadas a uma distância média de 3 km; e *iii*) moradores da comunidade Urumanduba, distante 7 km do aterro (considerado como Grupo Controle). As entrevistas foram aplicadas no local de trabalho dos catadores e nas residências dos moradores. O tempo de coleta destes dados teve uma duração de 7 meses e foram aplicados dois formulários pré-estruturados contendo perguntas abertas e fechadas sendo apresentadas em duas seções, a primeira a respeito do perfil socioeducativo do entrevistado (sexo, faixa etária, escolaridade, ocupação e comunidade/bairro onde reside) e a segunda levantou o conhecimento sobre animais peçonhentos.

O estudo ainda incluiu uma pesquisa de campo para o levantamento de animais peçonhentos dentro do Aterro Perema, o qual foi realizado por meio das técnicas de coleta por busca ativa e uso de armadilhas de interceptação e queda do tipo *pitfall*. A coleta por *pitfalls* foi realizada mediante instalação de armadilhas, potes plásticos, nas áreas do Aterro destinadas aos resíduos de saúde, aos resíduos da construção, na área próxima à entrada principal e na área próxima aos galpões da Cooperativa de Recicláveis de Santarém, a COOPRESAM, única cooperativa que atua de forma legal dentro do Aterro Perema.

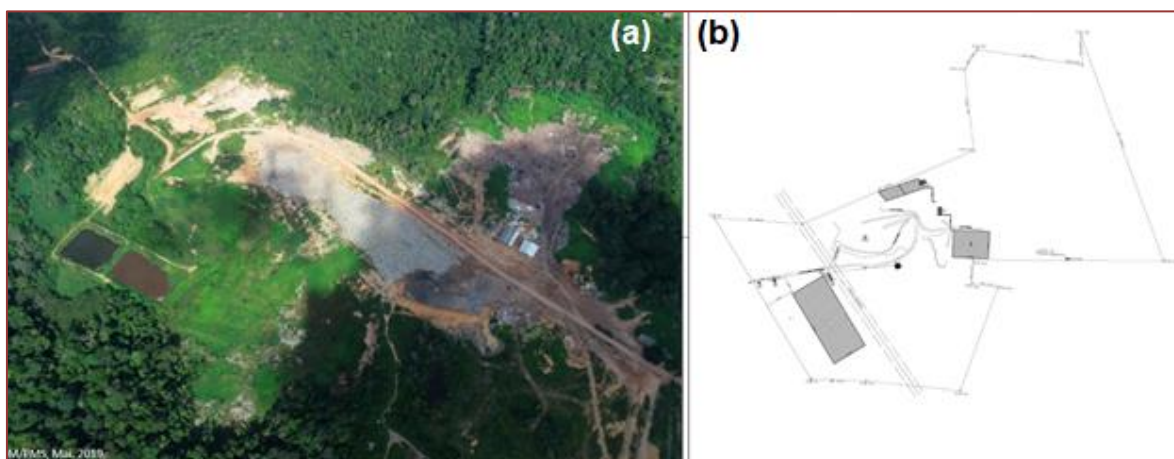
As informações relativas às coletas de espécimes de animais peçonhentos foram compiladas em tabelas e/ou quadros. Os dados foram transcritos para planilhas e convertidos em tabelas ou gráficos empregando-se o software Microsoft Excel (2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO ATERRO PEREMA

O Aterro Controlado Municipal do Perema se encontra em uma área não muito distante da zona urbana da cidade de Santarém, no entorno da microbacia do Maicá, rodeado de uma região de floresta (Figura 3a). O projeto e planejamento abrange um espaço territorial de 68 hectares (Figura 3b), com uma projeção de utilização operacional de 110 anos (PMS, 2017). O Aterro opera com uma infraestrutura básica, com iluminação ligada à rede pública de energia para uso dos equipamentos dos galpões, na guarita e também em parte das vias de acesso para a operação noturna. Não possui serviço de telefonia fixa, celular ou rádio para comunicação interna e externa, principalmente em ações de emergência, nem abastecimento de água. As instalações de apoio operacional se limitam ao prédio da guarita que funciona também como prédio administrativo contendo escritório, banheiro, copa e instalações sanitárias.

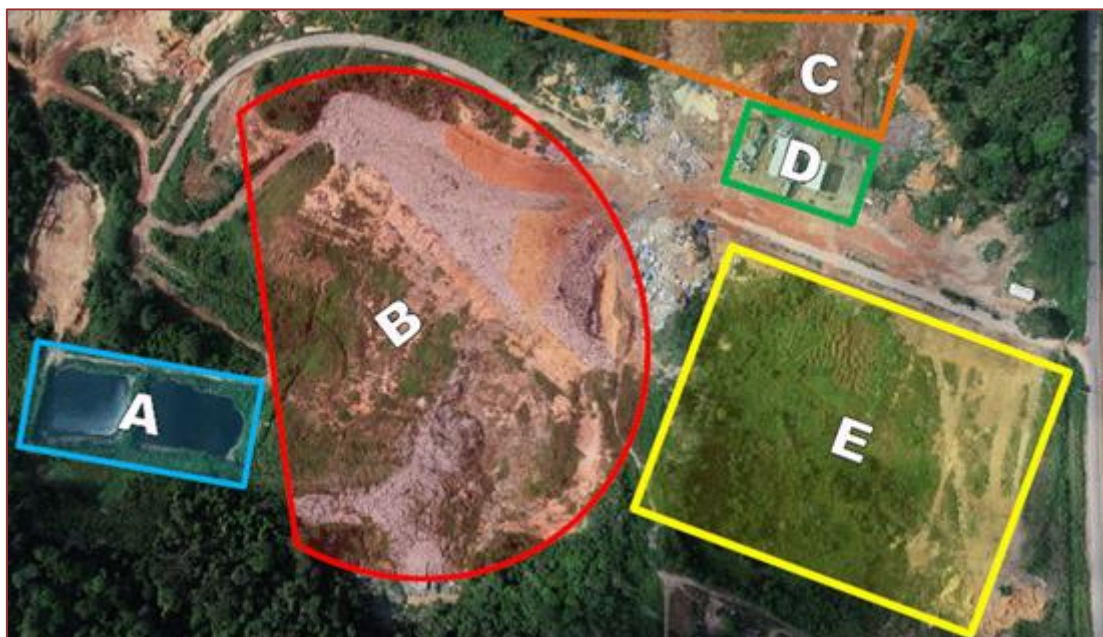
Figura 3. Localização do Aterro Controlado Municipal do Perema no município de Santarém - PA. a) vista aérea do Aterro o qual é rodeado por floresta e possui comunidades próximas; b) projeto de planejamento do Aterro cuja área total é de 68 hectares.



(Fonte: Dados Fornecidos pela Prefeitura Municipal de Santarém, PMS).

O funcionamento do Aterro é feito através do emprego de diferentes áreas para disposição de resíduos sólidos. Este conta com: a) área para a lagoa de chorume; b) área de resíduos domiciliares; c) área de resíduos de construção, a qual também recebe resíduos oriundos da limpeza de vias públicas; d) área dos galpões de triagem final de material reciclável; e) área de resíduos de saúde (Figura 4). Os galpões de triagem são as unidades receptoras dos resíduos sólidos provenientes da Coleta Seletiva, os quais têm como objetivo armazenar os resíduos coletados e que são separados pela Cooperativa de Recicláveis de Santarém (COOPRESAM), sendo a única cooperativa que atua dentro do Aterro. A COOPRESAM possui dois galpões no interior do Aterro que são utilizados para triagem final dos materiais, provenientes de aproximadamente 35 parceiros que os enviam parcialmente selecionados para a cooperativa. Nos galpões, o material triado é prensado, envelopado e, posteriormente, enviado para compradores nos estados do Amazonas, Goiás e São Paulo.

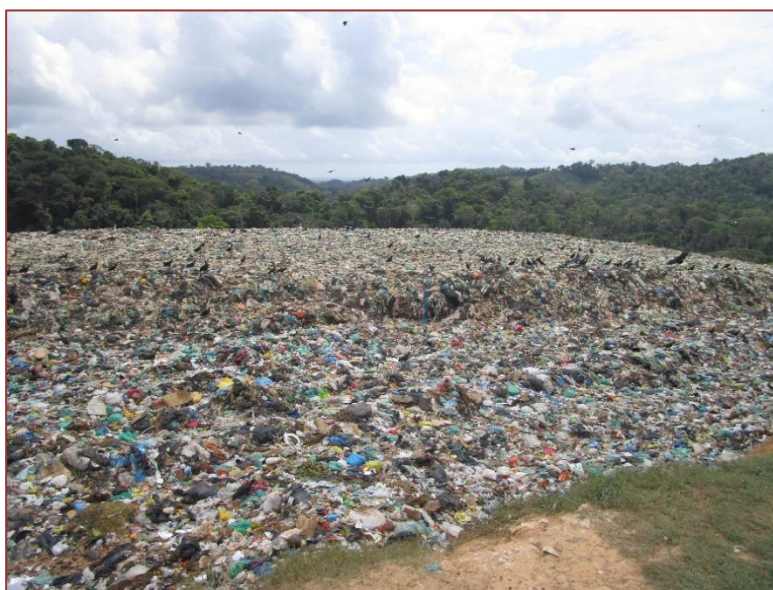
Figura 4. Distribuição das áreas do Aterro do Perema, no município de Santarém, Pará. Área da Lagoa de chorume (A), Área destinada para Resíduos Domiciliares (B), Área destinada para Resíduos de Construção (C), Galpões de Triagem (D) e Área destinada para Resíduos de Saúde (E).



(Fonte: Adaptado de dados fornecidos pela PMS, 2017)

Os resíduos sólidos provenientes da coleta domiciliar são vertidos nas áreas de destinação a céu aberto, sem controle de operação e com escassas medidas de proteção ambiental. Eles permanecem expostos até serem aterrados sem a impermeabilização do solo ou qualquer tratamento que permita minimizar os impactos ao meio ambiente (Figura 5). Nesses lugares, os catadores autônomos realizam atividades de coleta manual de material reciclável como meio de obtenção de renda, sem nenhum tipo de proteção. Já os trabalhadores da COOPRESAN dispõem de EPI's como luvas, botas e camisas fornecidas pela própria cooperativa.

Figura 5. Disposição dos resíduos domiciliares dentro do Aterro Controlado Municipal do Perema.



Fonte: Autores do Trabalho

Com a finalidade de melhorar e dar uma disposição adequada aos resíduos gerados pela população de Santarém, a Prefeitura Municipal iniciou, desde 2018, o planejamento de ações voltadas para os Profissionais de Reciclagem e de Triagem e Mesa de Compostagem, com o intuito de formalização de parceria para a Aquisição de Materiais Permanentes e de Estrutura para fortalecer a organização operacional local da Cooperativa de catadores e de Reciclagem do Município de Santarém-PA. Tais ações serão executadas mediante convênio de colaboração firmado entre o Governo Alemão e a Prefeitura Municipal de Santarém, em parceria com a Secretaria de Infraestrutura (Seminfra) e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Semma).

3.2 PERFIL SOCIOEDUCATIVO DOS ENTREVISTADOS

Na Cooperativa trabalham 28 pessoas, sendo 57% do sexo masculino, 42,8% com idades entre 15 e 25 anos e igual percentual para a faixa entre 26 e 40 anos, 64% estudaram até o ensino fundamental e 43% pertenciam à COOPRESAM, enquanto o restante trabalha de forma autônoma no Aterro no horário comercial (Tabela 1). A COOPRESAM iniciou os trabalhos em 2011, por iniciativa de uma das moradoras do bairro Perema que, percebendo as precárias condições em que os catadores trabalhavam, resolveu tomar a iniciativa para a criação da entidade e, ao mesmo tempo, tornou-se uma das lideranças do grupo.

A maioria dos catadores reside em comunidades próximas, como: Estrada Nova (29%), Cristo Rei (21%), Perema (21%) e Castela (14%). Estes dados corroboram com Da Cruz, Gomes e Blanco (2017) que também empregaram a técnica de entrevistas para investigar as condições de trabalho de catadores no Aterro Perema, onde dos 30 catadores, 50% eram do sexo masculino. Entretanto, a faixa etária foi de 33% para indivíduos entre 26 e 36 anos, menor do que o resultado obtido nesta pesquisa que foi de 42,8%. Entretanto, estes autores não reportaram o quantitativo de jovens trabalhando neste local.

As entrevistas realizadas nas comunidades ao redor do aterro totalizaram 17 famílias, das quais 75% das pessoas que responderam eram do sexo feminino, com idades variando entre 26 e 50 anos (59%). Quanto à escolaridade e ocupação, somente 37% concluíram o ensino fundamental e 75% declararam ser trabalhadoras do lar.

Com relação ao grupo controle, moradores da comunidade de Urumanduba, 75% eram do sexo feminino, com idade entre 31 a 60 anos. Neste grupo, o grau de escolaridade foi muito variável, incluindo indivíduos com o ensino fundamental incompleto até indivíduos com ensino superior completo. A maioria dos entrevistados, nesta comunidade, eram donas de casa (50%) e agricultores (25%).

Tabela 1. Perfil dos três grupos entrevistados

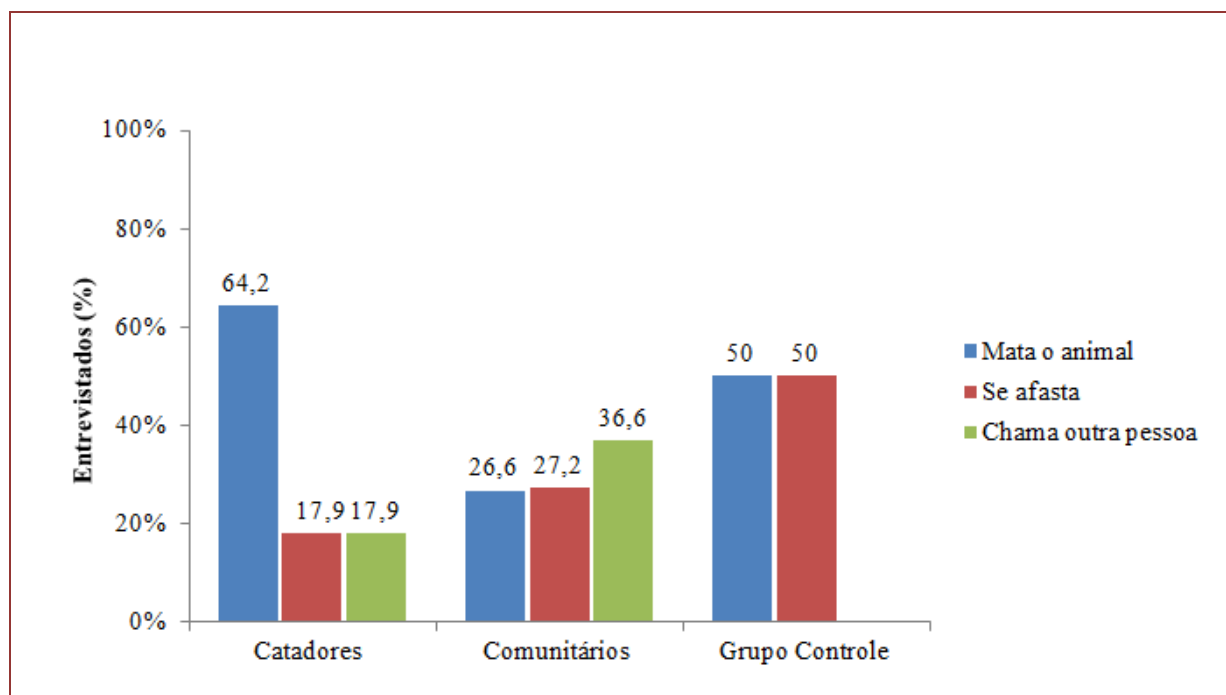
	Catadores	Comunitários	Grupo Controle
<i>Sexo Feminino</i>	43%	75%	75%
<i>Sexo Masculino</i>	57%	25%	25%
Faixa Etária			
<i>15 a 25</i>	42,8%	8%	-
<i>26-40</i>	42,8%	42%	25%
<i>41-70</i>	14,4%	25%	75%
<i>>70</i>	-	25%	-
Escolaridade			
<i>Analfabeto</i>	7%	-	-
<i>Fund. Incompleto</i>	21%	67%	25%
<i>Fund. Completo</i>	37%	33%	25%
<i>Méd. Incompleto</i>	21%	-	-
<i>Méd. Completo</i>	14%	-	25%
<i>Sup. Incompleto</i>	-	-	-
<i>Sup. Completo</i>	-	-	25%

3.3 PERCEÇÃO DOS ENTREVISTADOS EM RELAÇÃO AOS ANIMAIS PEÇONHENTOS

Quando indagados se eles sabiam o que era um animal peçonhento e/ou venenoso, a porcentagem daqueles que disseram que sabem foi de 92,8% entre os catadores e de 50% para os comunitários e o grupo controle (Comunidade Urumanduba). Quando solicitado exemplos de animais peçonhentos, os entrevistados citaram, majoritariamente, cobras, escorpiões, aranhas/caranguejeiras, centopeias e formigas tucandeiras. No caso das respostas negativas, ou seja, desconhecimento dos termos, foi esclarecido para o entrevistado a diferença entre peçonhento e venenoso, possibilitando a continuidade da aplicação do formulário. Em termos gerais, todos os grupos entrevistados demonstram ter conhecimento sobre o que é um animal peçonhento.

Com relação ao fato de se eles já tinham avistados estes animais dentro do aterro ou próximo às suas residências, 78,5% dos catadores disseram ter avistado estes animais no aterro, enquanto que o percentual foi de 83,3% e 25% entre os moradores das comunidades próximas ao aterro e o grupo controle, respectivamente. Dentre os animais mais avistados pelos entrevistados se destacam as serpentes, seguido dos escorpiões, centopeias e caranguejeiras, animais estes que, na maioria das vezes, são mortos pelas pessoas (Figura 6). Entre os grupos entrevistados, os catadores foram os que mostraram maior inclinação (64,2%) em matar o animal. Esse comportamento foi menor entre os moradores de comunidades próximas ao aterro. No grupo controle, a metade dos indivíduos entrevistados disseram matar o animal, enquanto que a outra se procura se afastar dele.

Figura 6. Comportamento dos entrevistados quando se encontram com animais peçonhentos



Fonte: Autores do Trabalho

Quando perguntados se os entrevistados sofreram algum tipo de acidente por animal peçonhento, 35,7% dos catadores responderam afirmativamente, informando (60% dos casos) que o aterro foi o local onde ocorreu o acidente. Os animais citados com os causadores dos acidentes foram: escorpiões, cobras, formigas tucandeiras e vespas. Com exceção de um acidente envolvendo serpente, que atingiu os membros inferiores do entrevistado, todos os demais disseram que o acidente ocorreu nos membros superiores, principalmente nas mãos. Ainda, do total de entrevistados que disseram ter sofrido acidente, somente 40% afirmaram ter procurado o serviço de saúde mais próximo. O restante afirmou não ter sentido dor (40%) ou fez o tratamento em casa (20%), esse à base de medicamentos como dipirona e paracetamol.

Entre os Comunitários, 25% informaram ter sofrido acidente com animal peçonhento. Destes, 66,6% disseram que o acidente aconteceu na comunidade em que reside. Os animais causadores citados foram serpentes e escorpiões. Os acidentes envolvendo serpentes atingiram os membros inferiores e os envolvendo escorpiões atingiram os membros superiores. Todos disseram ter procurado o serviço de saúde mais próximo e que, na unidade de saúde, o tratamento foi realizado mediante administração de soro específico. No grupo Controle, somente um entrevistado disse ter sofrido acidente envolvendo serpente, este informou que foi próximo à sua residência. O acidente ocorreu no pé e o mesmo disse ter procurado o serviço de saúde mais próximo.

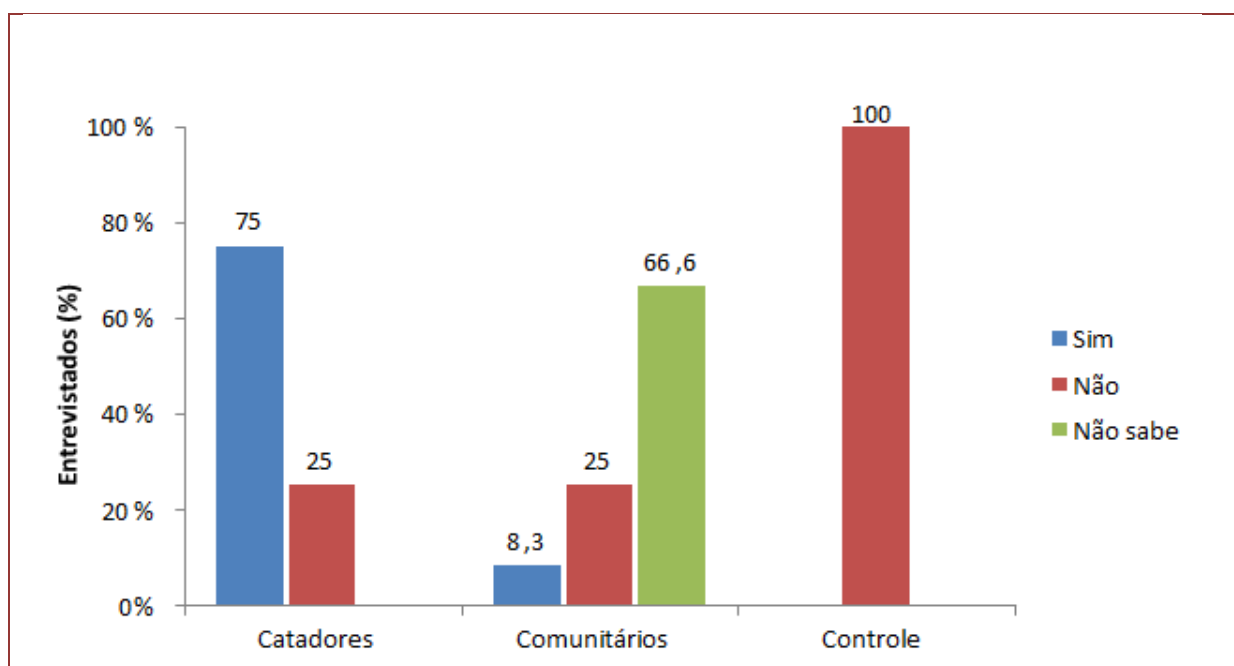
Ainda que alguns dos entrevistados que tiveram acidentes com animais peçonhentos fizeram uso de tratamentos caseiros, eles mencionaram ter o conhecimento de que a medida correta a ser realizada é ir ao posto de saúde mais próximo, demonstrando que os indivíduos entrevistados reconhecem a importância do cuidado médico nos acidentes que envolvem estes animais. Eles também declararam o pronto atendimento nos postos de saúde, e o uso de soro específico como base do tratamento.

Quando se indagou sobre a possível influência que teria o aterro nas comunidades próximas, 71,4% dos catadores se queixaram principalmente pelo mal cheiro e pela contaminação dos igarapés. Os restantes dos entrevistados não souberam responder esta pergunta. Porém, entre os moradores das comunidades a percepção foi principalmente no que tange ao aspecto econômico, onde 33,3% disseram que o aterro é uma fonte trabalho. O restante dos entrevistados não respondeu à pergunta. No grupo controle, todos responderam que o Aterro não influencia na sua comunidade.

As maneiras como foram expressas a opiniões pelos entrevistados mostram a diversidade de olhares que estes têm do Aterro. Enquanto que alguns optaram por um olhar ambiental e ecológico, outras optaram pelo olhar socioeconômico, como a geração de renda para os que residem nas proximidades. Isto mostra a importância social, ambiental e econômica que o Aterro representa para estes moradores.

Quanto à pergunta se o Aterro contribui para o aparecimento de animais peçonhentos dentro do aterro ou na comunidade, 75% dos catadores afirmaram que ele contribui porque o lixo atrai os animais e tem lugar para se esconder, por conta dos restos de comida, uma vez que animais peçonhentos procuram alimento no lixo como insetos e ratos. Entretanto, 25% dos catadores não considera o Aterro com um fator para o aparecimento de animais peçonhentos, uma vez que eles nunca viram esses animais dentro do aterro (Figura 7). Dentre os comunitários, apenas 8,3% disseram que o Aterro contribui para o aparecimento desses animais pela razão de terem visto serpentes próximas do Aterro. Outros 25% responderam que o aterro não influencia e o restante dos entrevistados (66,6%) não soube responder à pergunta.

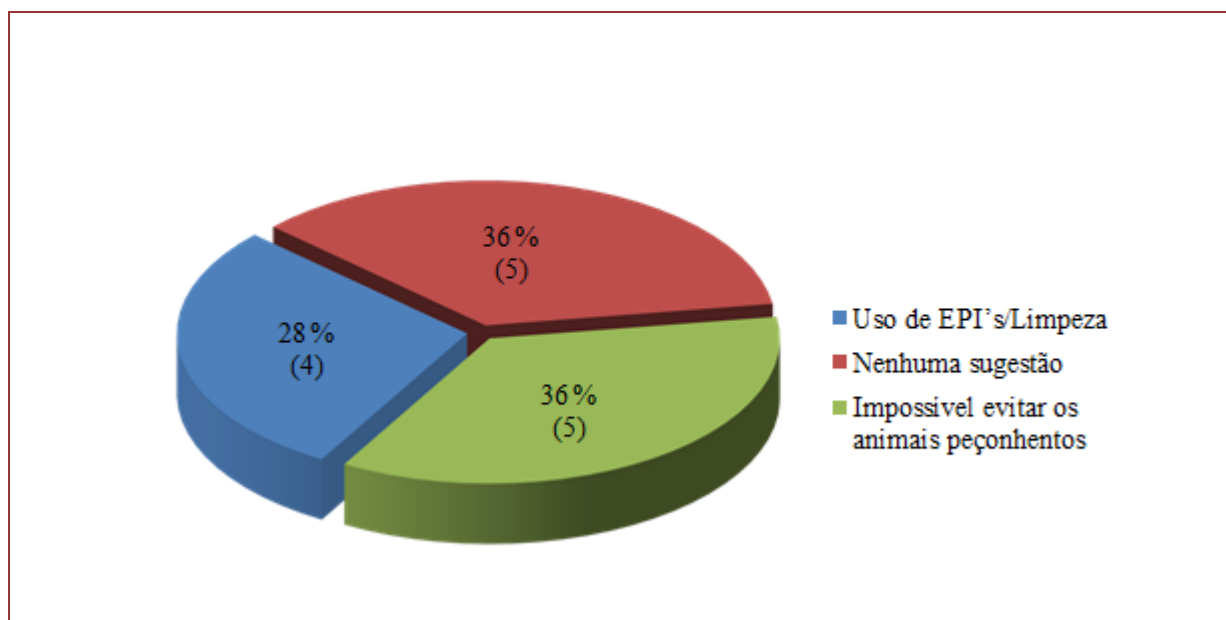
Figura 7. Percepção sobre a contribuição do Aterro Perema para o aparecimento de animais peçonhentos



Fonte: Autores do Trabalho

No formulário, as três últimas perguntas foram direcionadas apenas aos catadores, em uma delas foi perguntado se a administração do Aterro ou a cooperativa adota, fornece ou exige algum procedimento de segurança para evitar acidentes. Do total de entrevistados, 43% informaram que a cooperativa fornece, principalmente, botas e luvas. Porém, um dos entrevistados informou que o material e as campanhas/palestras realizadas só são destinados aos cooperados. Por outro lado, outros catadores (43%) negaram qualquer adoção, fornecimento ou exigência de procedimentos de segurança. No entanto, apenas um deles mencionou que tanto a cooperativa quanto a administração do Aterro ajudam quando ocorre algum acidente. No caso de acidente envolvendo animais peçonhentos, 79% dos catadores informaram que nem a administração do Aterro ou a cooperativa adota, fornece ou exige algum procedimento de segurança para evitar acidentes com animais peçonhentos. Os catadores (28%) externaram algumas sugestões para evitar o aparecimento ou mesmo acidentes com animais peçonhentos referindo-se ao uso de Equipamentos de Proteção individual (EPIs), enquanto que 36% deles não apresentaram sugestões e o restante argumentou a impossibilidade de evitar o aparecimento destes animais, tendo em vista que o aterro se encontra dentro da floresta, sendo ela o *habitat* natural destes animais (Figura 8).

Figura 8. Sugestões dos catadores para evitar o aparecimento e mesmo acidentes com animais peçonhentos no Aterro



Fonte: Autores do Trabalho

3.4 LEVANTAMENTO DE ANIMAIS PEÇONHENTOS NO ATERRO

A pesquisa da presença de animais peçonhentos no Aterro Perema foi realizada por busca ativa e também por armadilhas do tipo *pitfall*. Os exemplares encontrados em maior abundância foram da Ordem Araneae, especialmente da Família Lycosidae, que inclui as conhecidas “aranhas de jardim”. Também foram encontrados espécimes da formiga tucandeira, *Paraponera clavata* (Fabricius, 1775), que possui um tipo de ferrão ou agulhão no fim do abdome (Figura 9). Esta formiga também é chamada na região como “formiga vinte e quatro horas, tocandira ou formiga de febre”, devido ao tempo de duração da dor e os sintomas que causa a um indivíduo ferroadado. Estes animais têm coloração negra e podem chegar a 25 mm de comprimento (HADDAD-JÚNIOR et al., 1996). Sua picada é provocada por penetração do agulhão abdominal o qual é ligado a uma glândula de peçonha e sua toxina é classificada como neurotóxica. Os principais sintomas relatados por acidentados são tremores, febre, sudorese fria, náuseas, vômitos e arritmia cardíaca, no entanto, a dor extremamente violenta é o principal sintoma da picada e pode permanecer por períodos de até 24 horas (HADDAD-JÚNIOR et al., 1996, HADDAD-JÚNIOR, 2001, HADDAD-JÚNIOR; CARDOSO; MORAES, 2005, FERNANDES; SOUZA; BACCARO, 2015).

Figura 9. Formiga tucandeira (*Paraponera clavata*).



(Fonte: Autores do Trabalho)

Apesar de ser considerado um inseto carnívoro por muitos pesquisadores, a presença de *P. clavata* no aterro em estudo não está elucidada, pois esta é uma das espécies mais conspícuas das florestas tropicais, podendo ser encontrada forrageando sobre a vegetação (FERNANDES; SOUZA; BACCARO, 2015). Como mencionado pelos catadores, a presença deste animal no Perema tem ocasionado acidentes com os trabalhadores.

Apesar de terem sido citadas a presença de serpentes e escorpiões dentro do Aterro pelos catadores, nenhum exemplar destes animais foi capturado neste trabalho pelas técnicas de coleta utilizadas. Vale destacar que estes dois animais são os maiores causadores de envenenamentos em humanos no país e que a prevenção contra acidentes deve ser estimulada através do uso permanente de EPIs.

Estudos, como o de Hoefel et al. (2013), já elencaram acidentes com animais peçonhentos envolvendo catadores de materiais recicláveis no Distrito Federal. Cardozo e Moreira (2015) mostraram que entre os potenciais riscos à saúde de catadores de material recicláveis está a exposição aos riscos biológicos, mencionando o relato de um catador picado por animal peçonhento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Aterro Controlado Municipal do Perema funciona com uma infraestrutura básica. A disposição final dos resíduos sólidos provenientes da coleta domiciliar é inadequada, ainda não cumprindo com as metas previstas na PNRS. O percentual de resíduos reciclados é baixíssimo, sendo sua triagem realizada por catadores autônomos, os quais trabalham em condições precárias.

As entrevistas realizadas nos três grupos de indivíduos, catadores do Aterro Perema, moradores das comunidades próximos ao Aterro e moradores distantes do Aterro (grupo controle), mostraram a preponderância dos homens trabalhando dentro do Aterro. Por outro lado, entre os comunitários, a maioria dos indivíduos que responderam aos questionários foram mulheres, donas de casa, e esse número pode ser explicado pelo fato de que o horário das entrevistas possivelmente coincidiu com o horário em que os homens estão fora de casa trabalhando.

Apesar da baixa escolaridade dos catadores de materiais recicláveis, a maioria deles (92,8%) conhece o que é um animal peçonhento, enquanto que nos comunitários apenas a metade soube distinguir, de fato, quais são estes tipos de animais. Esta diferença pode ser explicada devido às informações e as palestras periódicas ministradas pela COOPRESAN, a qual também oferece periodicamente, palestras relacionadas à prevenção de acidentes de trabalho, muitas delas citando ou fazendo breve referência aos acidentes envolvendo animais peçonhentos, de alta ocorrência na região.

Em todos os grupos, o tipo animal mais avistado no local foram as serpentes, com um percentual três vezes maior entre os catadores e comunitários quando comparado ao do grupo controle. Os comunitários, moradores próximos ao Aterro Perema, foram as pessoas que menos tiveram a atitude de matar os animais quando estes eram avistados. A possível explicação para isto, pode ser devido à frequência do

contato com estes animais o que, portanto, ao longo do tempo teria se tornado um hábito natural no dia-a-dia destas pessoas.

Destaca-se que na opinião, tanto da maioria dos catadores quanto dos comunitários que moram perto do aterro, o Perema não influencia ou contribui para o aparecimento de animais peçonhentos em seu interior, nem nas comunidades. O que possivelmente contribuiria, segundo a opinião dos entrevistados, seria o fato de o Aterro estar rodeado de vegetação.

Em todos os entrevistados foi observado o conhecimento de que a primeira providência a ser tomada diante de um acidente com animal peçonhento, especialmente com cobra ou escorpião, é se dirigir a uma unidade de saúde.

Quanto aos animais capturados, nenhum animal peçonhento considerado perigoso foi encontrado pelas técnicas de captura empregadas neste trabalho. Deve se salientar que no caso das armadilhas do tipo *pitfall* houve o inconveniente de estas não poderem ser amplamente utilizadas no local, devido à presença e consequente interferência dos catadores. No caso da técnica de coleta ativa, esta teve como limitante o horário concedido pela SEMINFRA, por questões de segurança, para a realização das atividades, as quais ocorreram em horário diurno e preferencialmente pela manhã, quando há funcionários da administração trabalhando no local. Tal horário é de elevada exposição solar (alta luminosidade e temperatura) o que faz com que estes animais estejam bastante escondidos, o que demandaria muito mais tempo e esforço para encontrá-los. Portanto, apesar de não ter sido capturado nenhum animal peçonhento perigoso, não se pode descartar a existência destes animais circundando o Aterro, uma vez que já foram capturados ou mortos pelos catadores e que também já ocasionaram vários acidentes dentro do aterro, conforme levantado através das entrevistas. Além disso, os animais peçonhentos que possivelmente se encontram nas áreas de floresta, nos arredores do aterro, poderiam se deslocar para o seu interior a procura de alimento, geralmente no horário noturno que é o do hábito de vida destes animais.

Este trabalho é uma contribuição inicial no sentido de tentar esclarecer a possível presença de animais peçonhentos perigosos no Aterro Controlado Municipal do Perema e o potencial risco de acidentes que os trabalhadores do aterro podem estar expostos. O risco de acidentes com estes animais se torna ainda mais alto para locais inseridos em áreas de florestas, como é o caso do aterro do Perema em Santarém - PA e, portanto, o uso rotineiro de EPIs deve ser efetivamente implementado, pois é a forma mais eficaz de prevenção de acidentes aos trabalhadores neste local.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria Municipal de Infraestrutura - SEMINFRA - Divisão de Saneamento da Prefeitura Municipal de Santarém.

REFERÊNCIAS

- [1] ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Ranking ABES da Universalização do Saneamento 2021. ABES, 2021.
- [2] ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>> Acesso em: 20 abr. 2022.
- [3] BESEN, G. R. et al. Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. In: SALDIVA P et al. Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris, 2010.
- [4] BRASIL. Presidência da República. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- [5] BRASIL. Presidência da República. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Art. 225., 2019a. Disponível em: <https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_06.06.2017/art_225_.asp>. Acesso em: 04 jun. 2019.
- [6] BRASIL. Presidência da República. Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 04 jan. 2022.

- [7] BRASIL. Presidência da República. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 04 jun. 2019.
- [8] BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 04 jun. 2019.
- [9] BRASIL. Presidência da República. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- [10] BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Acidentes de trabalho por animais peçonhentos entre trabalhadores do campo, floresta e águas, Brasil, 2007 a 2017. Boletim Epidemiológico, v. 50, p. 14, 2019a.
- [11] CARDOZO, M. C.; MOREIRA, R. M. Potential health risks of waste pickers: Riscos potenciais à saúde de catadores de materiais recicláveis. O mundo da Saúde: São Paulo, p. 370–376, 2015.
- [12] CAVALCANTE, S.; FRANCO, M. F. A. Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre os catadores do Lixão do Jangurussu. Revista mal-estar e subjetividade, v. 7, n. 1, p. 211– 231, 2007.
- [13] CHIPPAUX, J. P. Epidemiology of envenomations by terrestrial venomous animals in Brazil based on case reporting: From obvious facts to contingencies. Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases, v. 21, n. 1, p. 1–17, 2015.
- [14] CONSUEGRA, N. P. Primavera Silenciosa: 50 Aniversario. Agricultura Orgânica, v. 2, n. 18, p. 34, 2012.
- [15] DA CRUZ, S. L. F.; GOMES, M. DE V. C. N.; BLANCO, C. J. C. Trabalho e Resíduos: Uma investigação sobre os catadores de lixo de um Aterro Controlado na Amazônia. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 6, n. 2, p. 351, 2017.
- [16] FERNANDES, I. O.; SOUZA, J. L. P. DE; BACCARO, F. B. Estado da arte sobre a Filogenia, Taxonomia e Biologia de Paraponerinae. In: DELABIE, Jacques H. C. et al. As formigas poneromorfas do Brasil. Ilhéus: Editus, p. 43-53, 2015.
- [17] FONSECA, M. D.; CARVALHO, G. C.; CORRÊA, M. M.; HOLANDA, R. M. DE. Os riscos relacionados ao ambiente e à atividade de coleta de resíduos sólidos urbanos. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 5, p. 96–100, 2013.
- [18] FUNED. Fundação Ezequiel Dias. Guia de Bolso: Animais peçonhentos. Belo Horizonte – Edição comemorativa do sesquicentenário de Vital Brasil Mineiro da Campanha, Funed, 2015.
- [19] GUARDABASSIO, E. V.; DIAS, M.; PEREIRA, R. DA S.; VENTURI, L. Occupational safety and health in the screening of municipal solid waste in Coop Cidade Limpa of Santo André. Revista Brasileira de Estratégia, v. 7, n. 3, p. 263–280, 2014.
- [20] HADDAD-JÚNIOR, V. Acidentes por formigas. In: Manual de Diagnóstico e Tratamento de Acidentes por Animais Peçonhentos. Brasília, Fundação Nacional da Saúde, p. 6566, 2001.
- [21] HADDAD-JUNIOR, V.; CARDOSO, J. L. C.; MORAES, R. H. P. - Description of an injury in a human caused by a false tocandira (*Dinoponera gigantea*, Perty, 1833) with a revision on folkloric, pharmacological and clinical aspects of the giant ants of the genera *Paraponera* and *Dinoponera* (sub-family Ponerinae). Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, 47(4): 235-238, 2005.
- [22] HOEFEL, M. G. DA.; CARNEIRO, F. F.; SANTOS P. L. M.; GOUBERT, B.M.; AMATE, E. M.; SANTOS, W. DOS. Acidentes de trabalho e condições de vida de catadores de resíduos sólidos recicláveis no lixão do Distrito Federal. Rev Bras Epidemiol. v. 16, n. 3, p.764-785, 2013
- [23] HUNTER, P. The human impact on biological diversity. European Molecular Biology Organization Reports, v. 8, n. 4, p. 316–318, 2007.
- [24] IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Santarém - Pará. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-eestados/pa/santarem.html?>>. Acesso em: 25 jan. 2022.
- [25] IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-11/ibge-esperanca-de-vida-do-brasileiro-aumentou-311-anos-desde-1940#> Acesso em: 25 jan. 2022.
- [26] JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Sustentabilidade urbana e redução de resíduos. Estudos Avançados, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- [27] MOTA, J. A.; GAZONI, J. L.; REGANHAN, J. M.; SILVEIRA, M. T. DA; GÓES, G. S. Trajetória da Governança Ambiental. Ipea, v. 01, n. Regional e Urbano, p. 11–20, 2008.

- [28] OLIVEIRA, R. C. DE; WEN, F. H.; SIFUENTES, D. N. Epidemiologia dos Acidentes por Animais Peçonhentos. In: J. L. Costa Cardoso; F. O. de S. França; F. H. Wein; C. M. S. Malaque; V. H. Júnior (Orgs.). *Animais Peçonhentos no Brasil: Biologia, Clínica e Terapêutica dos Acidentes*. 3ª ed. p.7378, 2009. São Paulo: Sarvier.
- [29] PASSOS, P. N. C. DE. A Conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. *Revista Direitos Fundamentais & Democracia*, v. 6, n. 6, p. 1–25, 2009.
- [30] PMS. PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTARÉM. Secretaria Municipal de Infraestrutura - SEMINFRA - Divisão de Saneamento. 2017.
- [31] PORTO, M. D. S. *Cadernos de Saúde do Trabalhador: Análise de riscos nos locais de trabalho: conhecer para transformar*. p. 41, 2000. Disponível em: <http://resgatebrasiliavirtual.com.br/moodle/file.php/1/Ebook/Materiais_para_Download/Analise_de_Riscos/Anali_sedeRISCOonoslocaisdetrabalho.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2019.
- [32] SILVA, A. M. DA; BERNARDE, P. S.; ABREU, L. C. DE. Accidents with poisonous animals in Brazil by age and sex. *Journal of Human Growth and Development*, v. 25, n. 1, p. 54–62, 2015.
- [33] SILVA, D. M. DA; ALMEIDA, S. P. M. DE; APRILE, F. M.; STOLARZ-DE-OLIVEIRA, J. Lixo e animais peçonhentos: a educação ambiental através de atividade de extensão em escolas como forma de prevenção de acidentes com animais peçonhentos. In *O Meio Ambiente e a Interface dos Sistema Social e Natural*. v. 3, n. 1, p. 87–129, 2021.
- [34] SINITOX. Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas. Casos Registrados de Intoxicação Humana, de Intoxicação Animal e de Solicitação de Informação por Agente Tóxico. Disponível em: <https://sinitox.iciict.fiocruz.br/sites/sinitox.iciict.fiocruz.br/files//Brasil4_9.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.
- [35] VIDAL HADDAD, J.; HADDAD DE AMORIM, P. C.; TEIXEIRA HADDAD JUNIOR, W.; COSTA CARDOSO, J. L. Venomous and poisonous arthropods: identification, clinical manifestations of envenomation, and treatments used in human injuries. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 48, n. 6, p. 650–7, 2015.
- [36] WHO. World Health Organization. Rabies and envenomings: A neglected public health issue: report of a consultative meeting. Report of a Consultative Meeting, 2007. Disponível em: <https://www.who.int/bloodproducts/animal_sera/Rabies.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.
- [37] ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. DE V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 219–228, 2019.

Capítulo 14

Proposta de uma nova metodologia para análise do impacto ambiental do atropelamento de fauna

Gustavo Aveiro Lins

Oscar Rocha Barbosa

Josimar Ribeiro de Almeida

Resumo: As rodovias representam avanços sociais de grande importância. No entanto também estão associadas a importantes impactos ambientais negativos, sobretudo desmatamento e redução da fauna. Dentre tais efeitos negativos, a mortalidade da fauna por atropelamento tem destaque. O entendimento do impacto ambiental causado pelo atropelamento da fauna é fundamental para o gerenciamento ambiental de rodovias. Até o momento, a avaliação deste tipo de impactos é feita de forma quantitativa e muito superficial. O propósito deste trabalho é propor uma metodologia de avaliação da significância do impacto causado pelo atropelamento da fauna silvestre, através da definição de atributos intrínsecos aos animais silvestres atropelados em função de suas características ecológicas, para em seguida, combiná-los segundo uma função matemática predeterminada, aportando peso ao atropelamento de diferentes espécies.

Palavras-chave: Ecologia de estrada; Atropelamento de fauna; Avaliação de impacto ambiental.

1. INTRODUÇÃO

As estradas, no imaginário popular, estariam associadas à ideia de progresso e modernidade, num “raciocínio de que, quanto mais estradas, melhor, não importando onde ou como” e que até algumas décadas atrás não fazia qualquer menção a nenhum aspecto ambiental dessas construções e sua operação (PRADA, 2004). No entanto, as rodovias também estão associadas a importantes impactos ambientais negativos, sobretudo desmatamento e redução da fauna.

Dentre tais efeitos negativos, a mortalidade da fauna por atropelamento tem destaque (LAURANCE et al., 2014; FAHRIG et al., 2009), isso porque, seu impacto é potencializado por eliminar indivíduos saudáveis das populações (BUJOCZEK et al., 2011), por isso, superando as pressões de predação (BUJOCZEK et al., 2011) e caça (FORMAN et al., 1998), aumentando ainda mais o risco de extinção local dessas espécies (HUCK et al., 2010; JACKSON et al., 2011). Segundo Bager et al. (2012), ocorrem aproximadamente 14,7 milhões de atropelamentos/ano em todo o território brasileiro em suas pouco mais de 1,7 milhões de quilômetros de estradas.

O entendimento do impacto ambiental causado pelo atropelamento da fauna é fundamental, para o gerenciamento ambiental de rodovias, pois permite apoiar a tomada de decisão no que concerne à realização de medidas mitigadoras de maneira mais específica para a situação encontrada, otimizando recursos, a serem feitos em medidas comprovadamente eficazes. Tais características ganham maior relevância, sobretudo no Brasil onde a manutenção da maioria das rodovias está a cargo de órgãos públicos, com orçamento rotineiramente escasso (BAGATINI, 2006).

Até o momento, a maneira usual e a legalmente exigida pelos órgãos ambientais de se avaliar o impacto causado pela rodovia no atropelamento de fauna é simplesmente emitir um relatório que enumera os animais atropelados ou, na melhor das hipóteses, estabelecer uma relação entre a quantidade de animais atropelados por km de rodovia, não levando em conta a espécie, a característica e a função ecossistêmica destes animais atropelados.

O risco de extinção não é análogo a todas as espécies, alguns grupos apresentam maior taxa de extinção do que outros (JOHNSON et al., 2002; JONES et al., 2003). O que sugere que estes grupos compartilham características intrínsecas às espécies que favorecem a situação de extinção (FISHER et al., 2003; CARDILLO et al., 2004).

O objetivo geral deste trabalho é propor uma metodologia de avaliação da significância do impacto causado pelo atropelamento da fauna silvestre em empreendimentos lineares, aportando maior robustez às análises atualmente realizadas. Como objetivo específico é possível destacar a criação de uma metodologia versátil capaz de avaliar o referido impacto em diferentes aspectos da rodovia, como por exemplo, a sua aplicação em momentos distintos da obra de restauração de uma rodovia, para uma análise temporal do impacto, ou em diferentes trechos, objetivando a identificação de trechos mais críticos, ou até mesmo na rodovia como um todo, para posterior comparação com outras rodovias.

2. METODOLOGIA

A metodologia proposta tem como base a correlação entre a frequência de atropelamento e a severidade ecológica da espécie atropelada, através da definição de atributos intrínsecos aos animais silvestres atropelados em função de suas características ecológicas, para em seguida, combiná-los segundo uma função matemática predeterminada, aportando peso ao atropelamento de diferentes espécies.

2.1 CÁLCULO DA FREQUÊNCIA

Na metodologia proposta, utilizaremos como medida de frequência a taxa de atropelamentos conforme proposto por BAGER et al. (2012) no livro *Ecologia de Estradas*. Este modelo atualmente é muito utilizado para representar quantitativamente os atropelamentos dos vertebrados. A possibilidade de poder ser utilizado, em rodovias de qualquer extensão, seja qual for o esforço de amostragem, certamente representa um grande avanço trazendo vantagens ao uso deste método. O referido modelo é calculado, conforme a equação que versa de Cálculo de indivíduos atropelados por quilometro percorrido e pelos dias de monitoramento, que é $Tx = (N/Km)/D$, na qual Tx = a taxa de atropelamento de indivíduos (N/Km/dia); N= número total de indivíduos atropelados; Km = distância da rodovia ou do trecho analisado em km; e D = número de dias dos monitoramentos.

Nota-se que, a taxa de atropelamento de indivíduos (Tx) deverá ser calculada para cada campanha de observação dos animais atropelados, haja vista, que cada campanha poderá apresentar valores diferentes relativos ao número total de indivíduos atropelados (N), ou a distância da rodovia ou do trecho (Km) ou o número de dias de monitoramento (D).

Após o cálculo da Tx de cada campanha, será feito uma média aritmética de todas as campanhas presentes no período, trecho ou na rodovia analisada. Posteriormente, a Tx média, deverá ser confrontado com a tabela 1, de forma a fornecer uma indicação qualitativa da frequência de atropelamento de animais silvestres relativas ao período, trecho ou rodovia analisada.

Tabela 1: Categorias de Frequência de atropelamento de animais vertebrados

Taxa de atropelamentos MÉDIO (indivíduos/Km/dia)	Categoria
0 ≥ 0,005	A
0,005 ≥ 0,015	B
0,015 ≥ 0,025	C
0,025 ≥ 0,035	D
0,035 ≥ 0,050	E
0,050 ≥ 0,1	F
0,1 ≥ 0,3	G
0,3 em diante	H

2.2 CÁLCULO DA SEVERIDADE

Após a obtenção da frequência de atropelamento, será necessário o cálculo da severidade. O objetivo desta etapa é conferir diferentes pesos para o atropelamento de espécies distintas, como por exemplo: o atropelamento de um animal em vias de extinção contribui para redução da biodiversidade local de forma diferente do que o atropelamento de um animal que ainda se encontra em abundância no meio ambiente.

Considerando a importância do atributo escolhido, bem como a facilidade da sua identificação na população impactada, foram propostos os seguintes atributos para a composição da severidade: Densidade populacional local; Status de conservação da fauna atropelada; Endemismo; e Atropelamento em área de preservação.

2.3 DENSIDADE POPULACIONAL LOCAL

A densidade populacional é um atributo estreitamente relacionado à chance de extinção (EWERS et al., 2006; MACE et al., 2008). Logo, o impacto do atropelamento de um animal que se encontra em uma situação de baixa densidade populacional no local, certamente terá um impacto muito maior do que o atropelamento de um animal pertencente a uma grande população local.

A densidade local será obtida através da análise do monitoramento de fauna presente na região. Espera-se que o estudo de impactos ambientais (EIA) atenda a estas condições. O referido monitoramento deve ser realizado, preferencialmente antes da implementação e operação do empreendimento, haja vista que, após esta etapa, há o risco da alteração das populações locais já estar em andamento; além disso é preciso que a metodologia aplicada esteja em perfeita consonância com a legislação pertinente ao assunto, e que, portanto, esteja homologada pelo órgão ambiental licenciador e, somado a isso, que o monitoramento seja considerado representativo da fauna conhecida para a região, com base em trabalhos científicos ou coleções zoológicas bem como através da aplicação da curva do coletor.

De posse do conhecimento da fauna local, o próximo passo será a classificação das espécies encontradas, para isso, sugerimos a classificação segundo o conceito de constância apresentado por Dajoz (1972), um método já consolidado dentre os estudos ecológicos. Segundo esta metodologia, a constância de captura de uma espécie indica a porcentagem de amostras em que uma determinada espécie esteve presente em um determinado tempo. Esta é determinada da equação do cálculo da constância de ocorrência de cada espécie, que é $FA = PA/P \times 100$, onde FA: Constância; PA: Número de vezes em que a espécie foi registrada nas coletadas; e P: Número total de coletas realizadas. A classificação das espécies quanto à constância é realizada da seguinte forma: Espécie constante - $\geq 50\%$; Espécie acessória - $25\% \leq C < 50\%$; e Espécie acidental ou rara - $C < 25\%$.

As espécies atropeladas receberão a mesma classificação (constante, acessória e acidental) que seus análogos receberam em função da sua presença no monitoramento da região. E posteriormente serão pontuados, conforme a tabela 2. Seguindo a lógica do princípio da precaução, adotaremos o mesmo valor de peso da categoria ‘acessória’ para os animais não identificados ou não encontrados.

Tabela 2: Peso dos atributos relacionados a densidade populacional local

Classificação	Peso
Constante	4
Acessória	6
Acidental	8
Não encontrado	6
Não identificado	6

Por exemplo, se durante o monitoramento fauna local a espécie *Didelphis aurita* foi classificada como constante, todos os animais da mesma espécie que forem encontrados atropelados receberão o peso 4, correspondente à classificação constante. Desta forma, os animais atropelados que ainda se encontram em relativa abundância no local terão um peso menor do que aqueles considerados raros antes mesmo da implantação do empreendimento.

2.4 STATUS DE CONSERVAÇÃO DA FAUNA ATROPELADA

Também utilizamos como critério de peso o status de conservação das espécies brasileiras ameaçadas de extinção, através da Lista Oficial das espécies brasileiras ameaçadas de extinção, ou lista nacional, publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), a lista da IUCN (União para a Conservação da Natureza), chamada de lista global. E caso tenha disponível, recomendamos também o uso das listas regionais publicadas pelo órgão estadual e/ou municipal do meio ambiente quando estes existirem.

O sistema desenvolvido pela UICN é a metodologia mais aceita e testada mundialmente. Ela é reconhecidamente objetiva, aplicável para uma ampla variedade de grupos e ambientes, razoavelmente rigorosa e defensável cientificamente e, em geral, produz resultados replicáveis independente do avaliador (VIÉ et al., 2009). A partir da lista de espécies atropeladas, será atribuído uma pontuação conforme preconizado na tabela 3, tendo como base as categorias de extinção presentes nas listas global, nacional e regionais.

Tabela 3: Pontuação de severidade em relação a categorias de extinção

Severidade	Sigla	Categoria
7	CR	Criticamente ameaçado (ou criticamente em perigo)
6	EN	Ameaçado (ou em perigo)
5	VU	Vulnerável
4	NT	Quase ameaçado
3	DD	Dados deficientes
3	NE	Não avaliado
3	NA	Não Aplicável
2	LC	Não ameaçada ou de menor preocupação

Tendo em vista que a presença, e, conseqüentemente, o atropelamento de espécies incluídas nas categorias Extinta (EX), extinto na natureza (EW) e regionalmente extinta (RE), são virtualmente impossíveis, estas categorias foram retiradas da tabela de pontuação de severidade. O emprego de um mesmo sistema com base em diferentes listas para a categorização das espécies fará com que pequenas adaptações sejam necessárias.

Conforme já descrito, não serão raras, as situações nas quais se encontre diferenças nas categorias das espécies em extinção em relação às listas brasileira, global ou regional. Dessa maneira, alguns táxons avaliados nacionalmente, que não correm risco de extinção, podem estar ameaçados de extinção localmente devido a problemas regionais, ou algumas espécies extintas regionalmente, podem ainda ser encontradas

em outros estados.

Em situações em que a lista regional (estadual ou municipal) for utilizada, pode ser necessária uma análise caso a caso, para se estabelecer equivalência entre as categorias de extinção das listas Nacionais (MMA) e internacionais (IUCN) com a regional. Diante desta questão e tendo em vista o princípio da precaução, na metodologia proposta, adotaremos sempre o valor indicado para a classificação mais restritiva.

2.5 ENDEMISMO

As espécies endêmicas são aquelas vulgarmente entendidas como ‘não se encontrando em nenhum outro lado’, ou seja, são organismos com uma distribuição limitada a habitats especializados, nativos de uma área geográfica restrita, as espécies que ocorrem numa área muito restrita. Devido ao reduzido tamanho de distribuição, as espécies endêmicas estão sempre no limiar da extinção (COLLEN et al., 2006; CARDILLO et al., 2008; FRITZ et al., 2009). Pequenas áreas de distribuição não permitem grandes densidades populacionais, o que pode agir reduzindo a probabilidade de persistência de populações por estocasticidade demográfica, catástrofes locais e endocruzamento, limitando seu potencial de sobrevivência em uma crise de extinção (PURVIS et al., 2000).

As espécies atropeladas serão classificadas como endêmicas ou não endêmicas, tendo como base o Estado do empreendimento. Sua pontuação, terá como base o peso descrito na tabela 4. Novamente em consonância com o princípio da precaução, adotaremos o mesmo valor de peso da categoria ‘endêmico’ para os animais não identificados.

Tabela 4: Peso dos atributos relacionados a classificação como endêmico

Classificação	Peso
Endêmico	4
Animal não identificado	4
Não endêmico	2

2.6 ATROPELAMENTO EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO

Populações de animais silvestres são mais vulneráveis aos impactos das estradas dentro de UCs do que fora de seus limites (PARKS et al., 2002; AMENT et al., 2008). Isso porque, animais silvestres inseridos em um ambiente preservado desempenham plenamente suas funções ecológicas, fundamentais para a manutenção do habitat. Tal entendimento é, inclusive, acolhido na nossa legislação ambiental, mais especificamente na Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais), onde no seu Capítulo V, Seção I, art. 29 e § 4º, diz que ‘A pena é aumentada de metade, se o crime é praticado em unidade de conservação’.

Claramente as unidades de conservação estão divididas segundo uma lógica relacionada prioritariamente com critérios de proteção, na qual as unidades de proteção integral apresentam restrições ao seu uso, ocupação e exploração, mais severas do que as unidades de uso sustentável. Neste sentido, é esperado que a biodiversidade contida nas unidades de proteção integral esteja desempenhando suas funções ecológicas de forma mais acentuada do que as presentes nas unidades de uso sustentável, portanto, propomos o acréscimo de peso para os empreendimentos que afetem diretamente as unidades de proteção integral, conforme o descrito na tabela 5.

Tabela 5: Peso dos atributos relacionados a presença do animal atropelado em uma área de preservação

Classificação		Peso
Unidades de proteção integral		
Estação Ecológica		2
Reserva Biológica		2
Parque Nacional		2
Monumento Natural		2
Refúgio de Vida Silvestre		2
Unidades de uso sustentável		Peso
Área de Proteção Ambiental		1
Área de Relevante Interesse Ecológico		1
Floresta Nacional		1
Reserva Extrativista		1
Reserva de Fauna		1
Reserva de Desenvolvimento Sustentável		1
Reserva Particular do Patrimônio Natural		1

Caso o empreendimento analisado não afete diretamente nenhuma unidade de conservação, o peso atribuído será 0. O somatório do peso correspondente a cada um dos itens que compõe a severidade (densidade populacional, status de conservação, endemismo e presença em área de conservação) determinará a severidade relativa a cada uma das espécies atropeladas.

Hipoteticamente, uma espécie atropelada poderá apresentar uma determinada configuração de severidade, estando essa proposta na tabela 6. Para que se tenha a severidade do período, trecho ou da rodovia, será necessário realizar uma média aritmética do somatório dos pesos de todos os animais atropelados de forma a resultar em um único valor de severidade. Após a definição da frequência e da severidade do atropelamento, devemos correlacionar os valores, utilizando a tabela 7 para que seja possível obter o enquadramento do grau de significância de impacto ambiental.

Tabela 6: Configuração de severidade

Espécie	Densidade populacional		Status de conservação		Endemismo	Área de preservação	Total (Σ dos pesos)
	Índice constância	peso	Categoria	Peso			
<i>Didelphis aurita</i>	Acidental	8	LC	2	2	2	14

Tabela 7: Grau de significância do impacto ambiental causado pelo atropelamento

Frequência de Atropelamento									Severidade
A	B	C	D	E	F	G	H		
								19≥21	
								15≥18	
								12≥15	
								9≥12	
								6≥9	
								3≥6	

Para que seja definido o enquadramento do grau de significância de impacto ambiental (baixo, médio, alto, muito alto e extremamente alto) causado pela rodovia no período estudado deverá ser utilizada a tabela 8. A tabela 8 foi denominada ‘Enquadramento do grau de significância de impacto ambiental em rodovias a partir do atropelamento de vertebrados’.

Tabela 8: Enquadramento do grau de significância de impacto ambiental em rodovias a partir do atropelamento de vertebrados

Parâmetros	Grau de significância do impacto ambiental causado pelo atropelamento
	Baixo
	Médio
	Alto
	Muito alto
	Extremamente alto

Novamente tendo em vista o princípio da precaução, sugerimos que caso alguma espécie atropelada esteja na categoria criticamente ameaçado (ou criticamente em perigo) (CR) ou 2 – caso mais de 50% das espécies atropeladas estejam na categoria Ameaçado (ou em perigo) (EM), a classe de impacto ambiental seja considerada crítica, conforme tabela 8.

3. CONCLUSÕES

Através da aplicação da metodologia proposta neste trabalho, será possível analisar de uma forma inédita, os impactos ambientais causados pelo atropelamento de vertebrados em uma rodovia, certamente aportando resultados mais precisos e consistentes do que os encontrados nas análises atuais. Esperamos que a aplicação desta metodologia possibilite aos gestores de empreendimentos lineares, bem como aos órgãos fiscalizadores, uma ideia mais próxima do real impacto ambiental gerado pelo atropelamento de vertebrados.

REFERÊNCIAS

- [1] AMENT, R.; CLEVENGER, A. P.; YU, O.; HARDY, A.. An assessment of road impacts on wildlife populations in U.S. National Parks. *Environmental Management*, v.42, n.3, p.480-496, 2008.
- [2] BAGATINI, T.. Evolução dos índices de atropelamento de vertebrados silvestres nas rodovias do entorno da Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF Brasil, e eficácia de medidas mitigadoras. Dissertação (Mestrado em Ecologia) -Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- [3] BAGER, A.; FONTOURA, V.. Ecologia de Estradas no Brasil: Contexto Histórico e Perspectivas Futuras. In: BAGER, A.. Ecologia de estradas: tendências e pesquisas. Lavras: EDUFLA, 2012.
- [4] BUJOCZEK, M.; CIACH, M.; YOSEF, R.. Road-kills affect avian population quality. *Biological Conservation*, v.144, n.3, p.1036-1039, 2011.
- [5] CARDILLO, M.; MACE, G. M.; GITTLEMAN, J. L.; JONES, K. E.; BIELBY, J.; PURVIS, A.. The predictability of extinction: biological and external correlates of decline in mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.275, p.1441-1448, 2008.
- [6] CARDILLO, M.; PURVIS, A.; SECHREST, C. D. L.; GITTLEMAN, J.L.; BIELBY, J.; MACE, G. M.. Human population density and extinction risk in the world's carnivores. *PLoS Biology*, v.2, p.909-914, 2004.
- [7] COLLEN, B.; BYKOVA, E.; STEPHEN, L.; MILNERGULLAND, E. J.; PURVIS, A.. Extinction risk: comparative analysis of Central Asian vertebrates. *Biodiversity and Conservation*, v.15, p.1859-1871, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10531-005-4303-6>
- [8] DAJOZ, R.. Ecologia geral. São Paulo: Vozes, 1972.
- [9] EWERS, R. M.; DIDHAM, E. R. K.. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*, v.81, p.117-142, 2006.
- [10] FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T.. Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. *Ecology and Society*, v.14, n.1, p.21, 2009.
- [11] FISHER, D. O.; BLOMBERG, S. P.; OWENS, P. F. I.. Extrinsic versus intrinsic factors in the decline and extinction of Australian marsupials. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.270, p.1801-1808, 2003.

- [12] FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E.. Roads and their majorecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.29, p.207-231, 1998.
- [13] FRITZ, S. A.; BININDA-EMONDS, O. R. P; PURVIS, A..Geographical variation in predictors of mammalian extinction risk: big is bad, but only in the tropics. *Ecology Letters*, v.12, p.538-549, 2009.
- [14] HUCK, M.; JĘDRZEJEWSKI, W.; BOROWIK, T.; MIŁOSZ- CIELMA, M.; SCHMIDT, K, J. E.; DRZEJEWSKA, B.; NOWAK, S.;MYS, Ł.; AJEK, R. W.. Habitat suitability, corridors anddispersal barriers for large carnivores in Poland.*Acta Theriologica*, v.55, n.2, p.177-192, 2010. DOI:<http://doi.org/10.4098/j.at.0001-7051.114.2009>
- [15] JACKSON, N. D.; FAHRIG, L.. Relative effects of road mortalityand decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, v.144, p.3143-3148, 2011.
- [16] JOHNSON, C. N.. Determinants of loss of mammal species during the Late Quaternary ‘megafauna’ extinctions: life history and ecology, but not body size. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.269, p.2221-2227, 2002.
- [17] JONES, K. E.; PURVIS, A.; GITTLEMAN, J. L.. Biological correlates of extinction risk in bats. *The American Naturalist*, v.161, p.601-614, 2003.
- [18] LAURANCE, W. F.; CLEMENTS, G. R.; SLOAN, S.; O’CONNELL, C. S.; MUELLER, N. D.; GOOSMEN, M.; VENTER, O.; EDWARDS, D. P.; PHALAN, B.; BALMFORD, A.; REE, R.; ARREA, I. B.. A global strategy for road building. *Nature*, v.513, p.229-232, 2014.
- [19] MACE, G. M.; COLLAR, N. J.; GASTON, K. J.; HILTON-TAYLOR,C.; AKCAKAYA, H. R.; LEADER-WILLIAMS, N.; MILNER-GULLAND, E. J.; STUART, S. N.. Quantification of extinctionrisk: IUCN’s system for classifying threatened species.*Conservation Biology*, v.22, p.1424-1442, 2008.
- [20] PARKS, S. A.; HARCOURT, A. H.. Reserve Size, Local Human Density, and Mammalian Extinctions in U.S. Protected Areas.*Conservation Biology*, v.16, n.3, p.800-808, 2002.
- [21] PRADA, C. S.. Atropelamento de vertebrados silvestres em uma região fragmentada do nordeste do Estado de São Paulo: quantificação do impacto e análise de fatores envolvidos. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2004.
- [22] PURVIS, A.; GITTLEMAN, J. L.; COWLISHAW, G.; MACE, G..Predicting extinction risk in declining species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.267, p.1947-1952,2000.
- [23] REIS, P. L.. Estudos de Impactos Ambientais nas rodovias do Estado de São Paulo: uma revisão crítica. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’, Botucatu, 2015.
- [24] ROCHA, C. D. F.; BERGALLO, H. G.; ALVES, M. A. S.; SLUYS, M.; MAZZONI, R.; SANTOS, S. B.. Fauna de ambientes interiores. In: BASTOS, M.; CALLADO, C. H.. *O ambiente da Ilha Grande*. Rio de Janeiro: UERJ, 2009.
- [25] VIÉ, J. C.; HILTON-TAYLOR, C.; STUART, S. N.. *Wildlife in a changing world: an analysis of the 2008*. Gland: IUCN, 2009.

Capítulo 15

Evaluation of the impacts of COVID-19's pandemic on air quality in the central region of Uberlândia

João Victor Delfino Silva

Lucas Marcelo Pereira Cruvinel

Vinícius Melo Duarte

Euclides Antônio Pereira de Lima

Abstract. O₃ is one of troposphere's main pollutants. As a volatile gas, factors that contribute to its formation, such as its predecessors and climatic conditions, are a means of analysing its behaviour. Motor vehicles and industrial activity emit VOCs and NO_x into the atmosphere, both of which affect O₃ concentration. In Brazil, the concentrations of both saw a large decline in 2020 due to the regulatory policies established by the federal government, recommended by the WHO, to contain COVID-19's pandemic. This study is an attempt to verify how climate conditions and social distancing measures affected O₃ concentrations in the last quarter of years 2017 and 2020, in Uberlândia's central region. Student's T-tests and boxplot graphs were used to treat the data for the studied period. Surprisingly, the 2017 results did not prove to be significantly higher than 2020's, contrary to what was expected. Therefore, further studies, consistent monitoring and better coverage of the region's air quality are suggested to enable an increase in the city's air quality with smarter city management and planning.

Keywords: Air quality, Ozone, COVID-19

1. INTRODUCTION

As development ensues, urban areas have to deal with a growing air pollution problem. Ozone (O_3) in the troposphere is among the main pollutants that contribute to a reduction of air quality, especially at high concentrations. It's known to cause health and environmental problems, degrade materials due to its high oxidation properties, among other harmful effects (EEA, 2020; TREVIZANI et al., 2019).

O_3 accounts for a very small amount of troposphere's composition, being a trace gas that plays a key role in the greenhouse effect. Its concentration constantly varies, for its precursors, and thus the gas itself, depend upon human activities and climate conditions. Moura et al. (2014, p. 65 apud Ashmore, 2005; Cape, 2008) explain that "These O_3 precursors have a mostly anthropogenic origin and primarily result from fossil fuel combustion". Carbone (2008 apud Seinfeld; Pandis, 1998); Cheung and Wang (2001) further detail that intense solar radiation, high temperatures, low relative humidity, weak winds, minimum rainfall, nitrogen oxides ($NO_x = NO + NO_2$) and volatile organic compounds (VOC's), the latter two being O_3 's precursors, all factor into its formation.

Total vehicle fleet steadily increases as years pass in Brazil. The city of Uberlândia, Minas Gerais, saw an increase of over 40,000 vehicles between 2017 and 2020 (BRASIL, 2016). They depend on fossil fuel's combustion to operate, emitting pollutants to the atmosphere as a result. Increase in industrial activities also factors into O_3 concentration, notably decreasing air quality on urban areas. That's due to an increase on NO_x and VOC's, contributing to O_3 's formation. Knowing values for both these precursors and climate data, which is broadly measured and provided by Brazil's National Meteorology Institute, it's possible to estimate how O_3 will behave in a given period on many cities all over the country.

Come 2020, a pandemic started due to the COVID-19 virus. A plethora of regulations and recommendations were made that affected all urban activities by restricting people's movement (BRASIL, 2021; WHO, 2021). The World Health Organization (WHO) recommended a quarantine that was promoted by Brazil's federal government starting second quarter that same year, which was, initially, adopted by a large portion of the population. That caused a drastic reduction on active vehicle fleet and industrial activities.

This study is an analysis of how the COVID-19 pandemic and local weather conditions affected O_3 's concentration on Uberlândia central region's low troposphere in 2020, compared to 2017. To achieve that, statistical T-tests were made with O_3 's data available for October, November and December at both years. A broader analysis is not possible because there's little to no data for earlier months in 2017, thus only the last quarter could be examined. Years 2018 and 2019 also lack plenty of data, severely hindering the possibility of analysing them.

2. MATERIAL AND METHODS

The equipment used for sampling was the Aeroqual Series 200. Measurements were performed at the intersection between Avenida João Pinheiro and Avenida João Naves de Ávila, in downtown Uberlândia - MG. The device was turned on and its unit was set to mg/m^3 , to then start sampling. Its first sample was discarded because the equipment was being zeroed. Then, for one hour, concentrations were recorded minute by minute, with the maximums and the average concentration value of the sampling, given by the equipment. This was done every three days.

The recorded values were put into an electronic spreadsheet, converted to $\mu g/m^3$, then the daily arithmetic mean of the concentrations and punctual maximums were calculated. The daily averages were separated according to each month. Same months in years 2017 and 2020 (October, November and December) were compared via Student's T-test. Statistical analyses were done with aid of software jamovi, which is based on R programming language. It provides the means to proper and satisfactory statistical analysis for the purposes of this study.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In order to statistically treat O_3 's concentration data at Uberlândia's central region, statistical software jamovi was used. Through it, the sampled point's daily mean and maximum data were plotted in graphs. Student's T-tests were also done with its help, which consists of a mean comparison, allowing verification of a predetermined hypothesis. The present study's hypothesis was that O_3 's concentration in 2017 is significantly greater than during the same periods in 2020. There are graphs that contemplate mean O_3

concentration values. These were obtained with measurements that occurred over each month. Tables with the tests' results are also present.

3.1. OCTOBER'S ANALYSIS

October's obtained concentrations are notably greater for 2017 when compared to 2021, especially the daily maximums. However, even though this month's median at 2017 was greater than 2020's, most data ranged between 70 and 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figure 01: October's daily average comparative boxplot

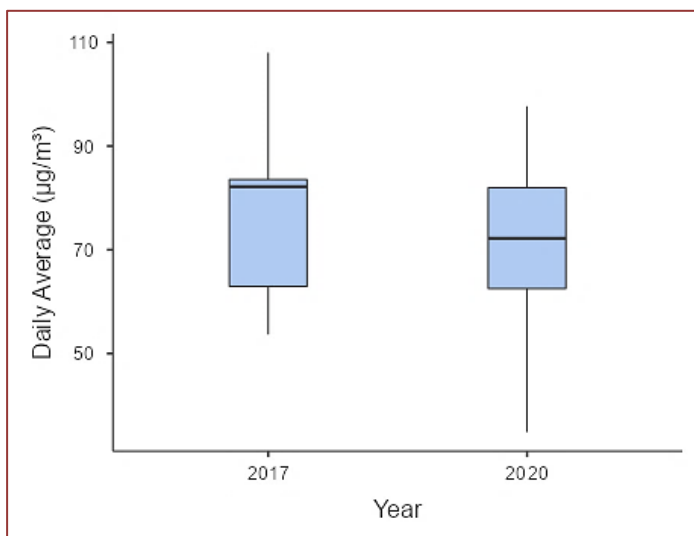
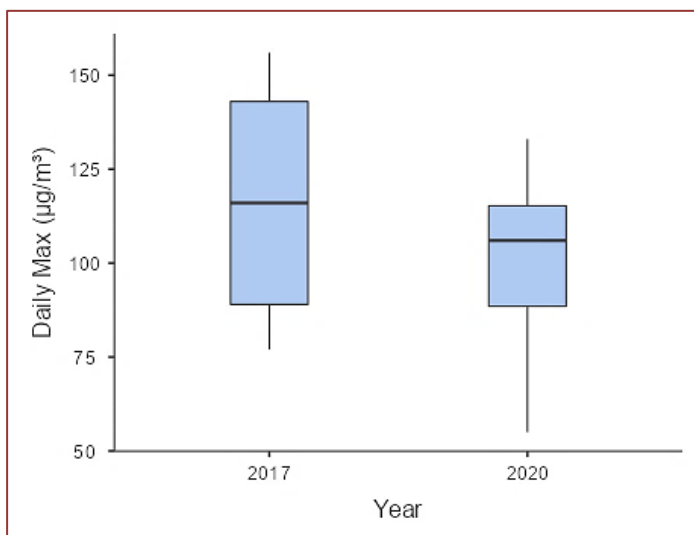


Figure 02: October's daily max. comparative boxplot



As proposed, data treatment was made with Student's T-tests. Results are at Table 1. When applying a T-test, p is an indicator that, when multiplied by 100, specifies associated error in percent of the proposed hypothesis. In this case, the obtained associated error in 2020 is 25% and 11% for daily mean and maximum, respectively. This indicates that with a relatively high p value, 2017's concentrations may, in fact, be slightly greater, though not with a significant difference.

Table 01: October's T-test

		Statistic	df	p
Daily Average	Student's	0.690	17.0	0.250
Daily Maximum	Student's	1.276	17.0	0.110

Note. $H_a: \mu_{2017} > \mu_{2020}$

3.2. NOVEMBER'S ANALYSIS

Figure 03: November's daily average comparative boxplot

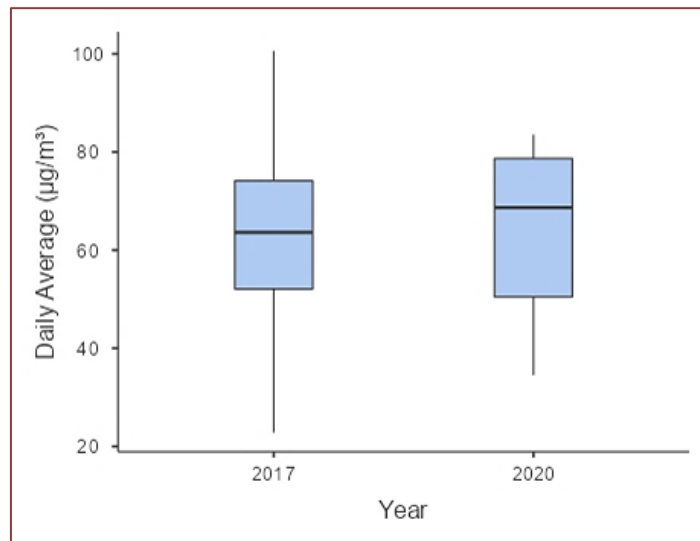
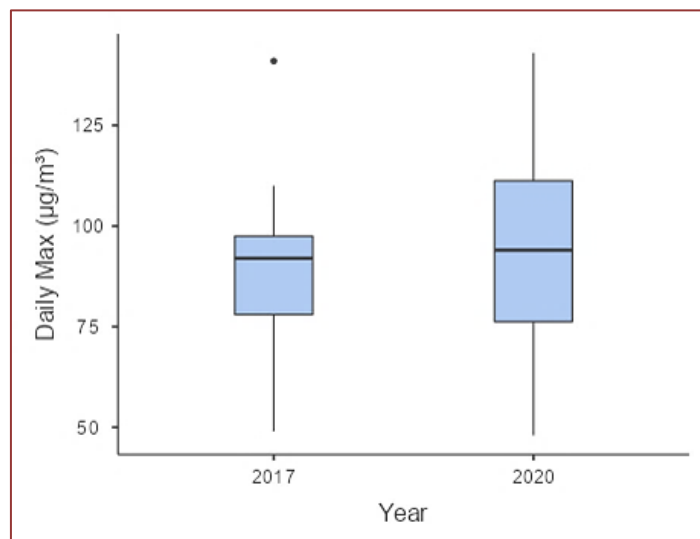


Figure 04: November's daily max. comparative boxplot



November’s values were around $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ both for 2017 and 2020. Still, it’s possible to identify a relatively greater concentration on Figures 3 and 4 for 2020, for both daily mean and maximum values. While social distancing measures were being adopted in the city, vehicle fleet and other external factors stimulated O_3 ’s formation, of which its concentration actually rose.

Table 02: November’s T-test

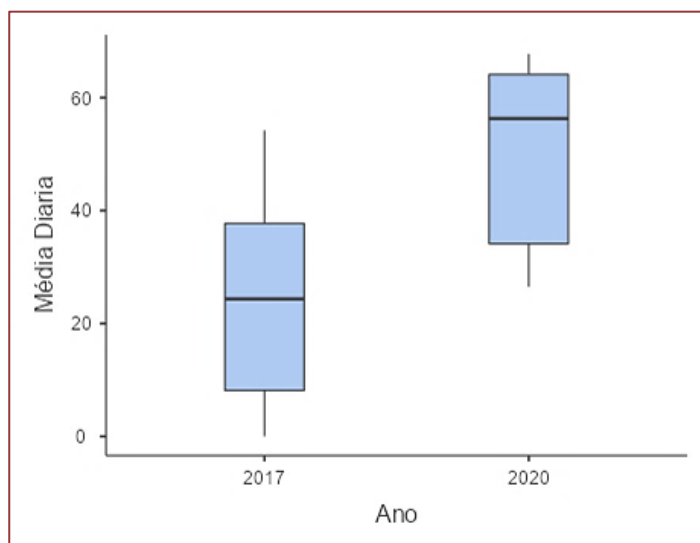
		Statistic	df	p
Daily Average	Student's	-0.415	18.0	0.658
Daily Max	Student's	-0.422	18.0	0.661

Note: $H_a: \mu_{2017} > \mu_{2020}$

Compliant to expected results, Table 2 shows an elevated error rate associated to the proposed hypothesis. Thus, as p’s error odds for daily mean and maximum values are 65,8% and 66,1%, respectively, it’s not possible to claim that 2020’s mean concentrations are significantly smaller when compared to 2017’s.

3.3. DECEMBER'S ANALYSIS

Figure 05: December’s daily average comparative boxplot



Among all analysed samples, December’s were the most prominent due to their discrepancy. In contrary to previous months, which show that 2020’s concentrations were relatively greater than 2017’s, December’s concentrations portray a notable difference in their values, with 2017 having values close to $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ while 2020’s were closer to $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Here, while Student’s T-test only emphasises what’s graphically visible, 2020’s O_3 concentrations were not significantly smaller than 2017’s. The associated errors of 99,7% and 99,2% for daily mean and maximums further illustrate how 2020’s concentration values were, forsooth, significantly superior to 2017’s.

After a direct analysis of comparative data, further understanding of what accounts to the obtained results must be sought. Climatic and behavioural factors surely are key aspects that interfere with air quality directly, in every place. A deeper analysis of the city’s situation during those months may make it possible to answer the open questions and provide new perspective for this study.

Figure 06: December’s daily max. comparative boxplot

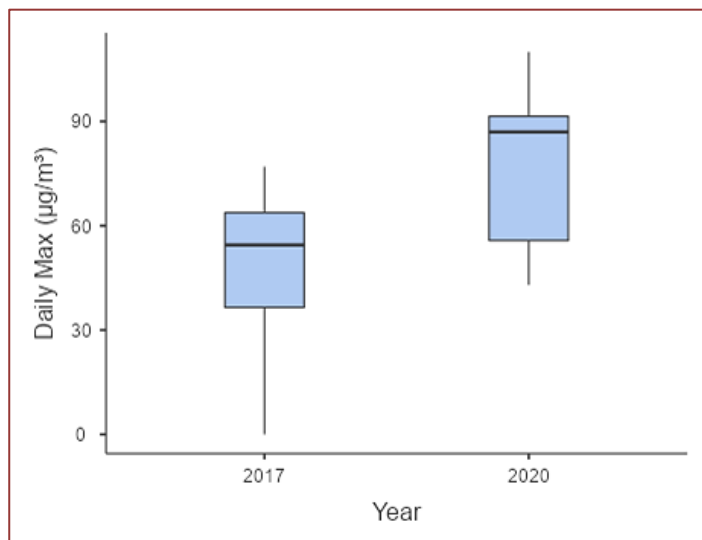


Table 03: December’s T-test

		Statistic	df	p
Daily Average	Student's	-3.06	18.0	0.997
Daily Max	Student's	-2.64	18.0	0.992

Note. $H_a: \mu_{2017} > \mu_{2020}$

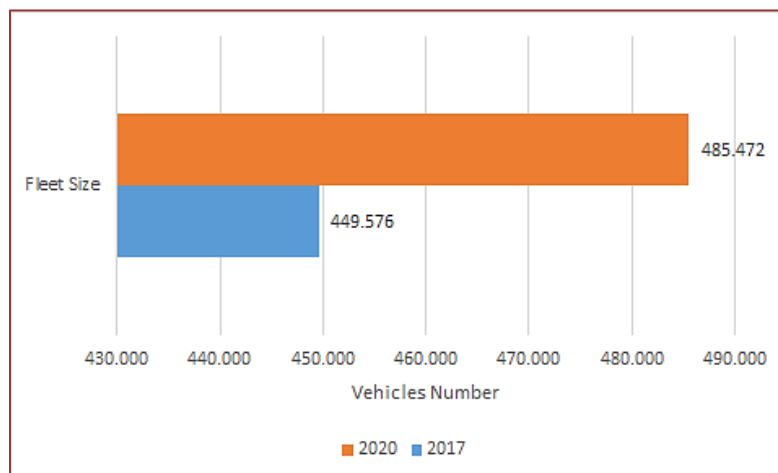
Though 2020 was a year stricken by COVID-19’s pandemic, people’s affected numbers was not at its peak on the analysed period, as indicated by Cssegisanddata (2020). Uberlândia was at a low on case numbers at the time. The local government loosened social distancing policies that were being adopted up until then, which can be verified on Uberlândia’s city hall official website (2020). A direct growth on the number of people that went to the city’s central region came as a result of this change.

The influx of people in itself can’t cause a significant impact on O₃’s concentration, but a raise in total active vehicle fleet that those utilise, can. There is a big increase on this variable in analysed years, as stated by Brasil (2016) and illustrated at Figure 07.

For motor vehicles to function, many O₃ precursor compounds are released into the atmosphere, so it’s natural to associate a raise in vehicle fleet with a significant increase in the gas’ concentrations for the city’s central region. Due to social distancing measures that occurred over the year, it was expected that these concentrations would have a significant drop, but that was not what was observed for Uberlândia, as these policies were loosened. According to Cssegisanddata (2020), starting early November, COVID-19’s cases grew significantly in the city.

December was, in turn, an entirely different scenario. The region’s time series and apparent motives for the obtained results were highly associated to climate factors and not as much with social distancing policies regulated for the city. Cabone’s (2008) work indicates a tendency to high O₃ values during December, contrary to what 2017 has shown.

That difference may be directly related to an extraordinarily high rainfall that occurred in the city by the end of that year. As Diário de Uberlândia (2017) tells, rains that month amounted more than 40 mm greater than expected for that period’s average rainfall, which may have played a key role on inhibiting O₃’s generation during that time.

Figure 07: Uberlândia's vehicle fleet size comparative boxplot

4. CONCLUSIONS

O₃'s concentrations on 2020, when compared to 2017, have not proved to be significantly smaller. By contrast, as this study was developed, it can be concluded that in some months they were much greater in 2020. It was expected that during quarantine period, with a reduction on active vehicle fleet at Uberlândia's central region, there'd be a drop on O₃'s values. Yet, the constant increase in vehicle numbers at the city was so significant that, even with the percent vehicle influx being relatively smaller than 2017's, the total number of vehicles was still greater than in past years.

With these results, a more precise comparison would be necessary, utilising closer data, for example from 2019, so that the difference in size of vehicle fleet would not be as distinct. Then, it'd be possible to verify more clearly if, in fact, the social distancing policies did not negatively impact on O₃'s reduction at the city in a significant way.

Unfortunately, there is not enough data from 2019 and not all 2017's months were measured, so a more precise analysis was not possible. Even though early 2020's months' O₃ concentrations were measured, there's not any data for the same months on past years. Those months would be crucial for the intent of this study, as early 2020 was when social distancing measures and the quarantine were most strictly followed.

Due to the extraordinary rainfall that occurred in December 2017, the comparison made is not effective, but it's worth mentioning that the region's climate conditions can influence directly on local air quality.

Thus, it's not possible to assert that social distancing affected positively to the city's air quality during that period. The means used to compare the data have not proved sufficient for the purpose of the analyses made. Therefore, further development of more studies, a better coverage and consistent monitoring of air quality prove necessary. That would enable a simple production of indicators and a smarter city management which can be based on the reduction of these high gas concentrations that are harmful to human health.

REFERENCES

- [1] Ashmore, M.R., 2005. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant Cell Environ.* 28, 949e964.
- [2] BRASIL. Governo Federal. Ministério da Infraestrutura. Estatísticas - Frota de Veículos. 2016. Available at: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>. Access on sep. 20, 2021.
- [3] BRASIL. Instituto Nacional do Seguro Social. Governo Federal. Portal COVID. Available at: <https://covid.inss.gov.br/>. Access on: sep. 20, 2021.
- [4] Carbone, Samara. Modelagem de ozônio troposférico em regiões urbanas - aperfeiçoamento do módulo químico no modelo CIT. 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia,

Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
doi:10.11606/D.14.2008.tde-20102008-082940.

[5] Cheung, V.T.F., Wang, T., 2001. Observational study of ozone pollution at a rural site in the Yangtze Delta of China. *Atmospheric Environment* 35, 4947-4958.

[6] CSSEGISANDDATA. COVID-19. 2020. Available at: <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>. Access on: 23 set. 2021.

[7] DIÁRIO DE UBERLÂNDIA. Chuva bate média histórica no mês. 2017. Available at: <https://diariodeuberlandia.com.br/noticia/14390/chuva-bate-media-historica-no-mes>. Access on: 23 set. 2021.

[8] EEA, 2020. Air Quality in Europe – 2020 Report. Technical Report No. 9/2020, European Environment Agency, Copenhagen.

[9] Moura, Bárbara B. et al. Ozone phytotoxic potential with regard to fragments of the Atlantic Semi-deciduous Forest downwind of Sao Paulo, Brazil. *Environmental Pollution*, São Paulo, v. 192, p. 65-73, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.014>.

[10] Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.

[11] Trevizani, Jéssica Luiza Bueno et al. Determinação da cinética de ozonização de efluente têxtil na remoção de cor e matéria orgânica. *Matéria* (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 1-13, may 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190001.0613>.

[12] UBERLÂNDIA, 2020. Decretos e documentos. PREFEITURA DE UBERLÂNDIA. Available at: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/saude/coronavirus/decretos-e-documentos/>. Access on: sep. 23, 2021.

[13] World Health Organization. Coronavirus diseases (COVID-19) advice for the public. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>. Access on: sep. 20, 2021.

Capítulo 16

Energia, Sociedade, Meio Ambiente: Economia do hidrogênio

Jean Constantino Gomes da Silva

José Luiz Francisco Alves

Guilherme Davi Mumbach

Resumo: A sociedade e a economia têm dependido cada vez mais da energia, em que o grau de seu consumo dos principais indicadores para o desenvolvimento de uma sociedade. O ápice da dependência energética começou após a descoberta e aplicação do petróleo e seus derivados pela sociedade. Porém, sabe-se que o consumo do petróleo (combustível fóssil) sem o devido controle ambiental causa e tem causado diversos problemas no passado, como o *Great Smog* na Inglaterra em 1952. Estes problemas resultaram em uma série de acordos mundiais prevendo a atuação sustentável de toda a sociedade, economia e órgãos governamentais para a mitigação dos impactos ambientais por meio do uso sustentável dos recursos e desenvolvimento de novas tecnologias e combustíveis. Diante desses fatores, atualmente estamos iniciando uma era que se encaminha para a utilização de tecnologias limpas e combustíveis eficientes, e dentre estes, o hidrogênio tem prevalecido. O hidrogênio (H_2) apresenta um elevado potencial energético e econômico, pois este composto está presente em diversas reações de síntese na indústria química, sendo atualmente importantíssimo na agricultura pela produção de amônia. Atualmente o H_2 é produzido a partir de reações de reforma do gás natural, porém, existem diversas rotas renováveis que podem ser utilizadas para a obtenção desse composto, sendo as mais importantes a gaseificação e eletrolise. Diante disto, diversas empresas estão realizando diversos esforços para o desenvolvimento de cadeia produtiva, enquanto, diversos países estão propondo diretrizes para incentivar a produção desse composto.

1. ENERGIA E SOCIEDADE

A nossas atividades corriqueiras da vida diária impedem, muitas vezes, que percebamos a crescente dependência da tecnologia que avança rapidamente com o passar dos anos. Atualmente estamos em uma corrida tecnológica e espacial de empresas privadas para cada vez mais trazer a melhor experiência, inovação e acessibilidade para nossa sociedade. Observando nosso dia a dia, computadores, smartphones, internet, carros, aviões, serviços etc. tem nos oferecido maior comodidade, porém, em contramão, temos cada vez mais necessidade energética a fim de suprir tal demanda, sendo a eletricidade e combustível para automóveis a mais destacável. Este avanço, que pouco observamos, veio com um custo que se chama “energia”, que é um fator determinante no desenvolvimento da sociedade, entretanto, tem levado a deterioração do ambiente em que vivemos, quando considerado as fontes não-renováveis. Deste modo, surge a pergunta: Como manter o desenvolvimento mitigando a deterioração do meio ambiente? Esta pergunta pode ser respondida observando a história da relação entre o ser humano e as diferentes formas e fontes de energia, bem como a capacidade de moldá-las e transferi-las.

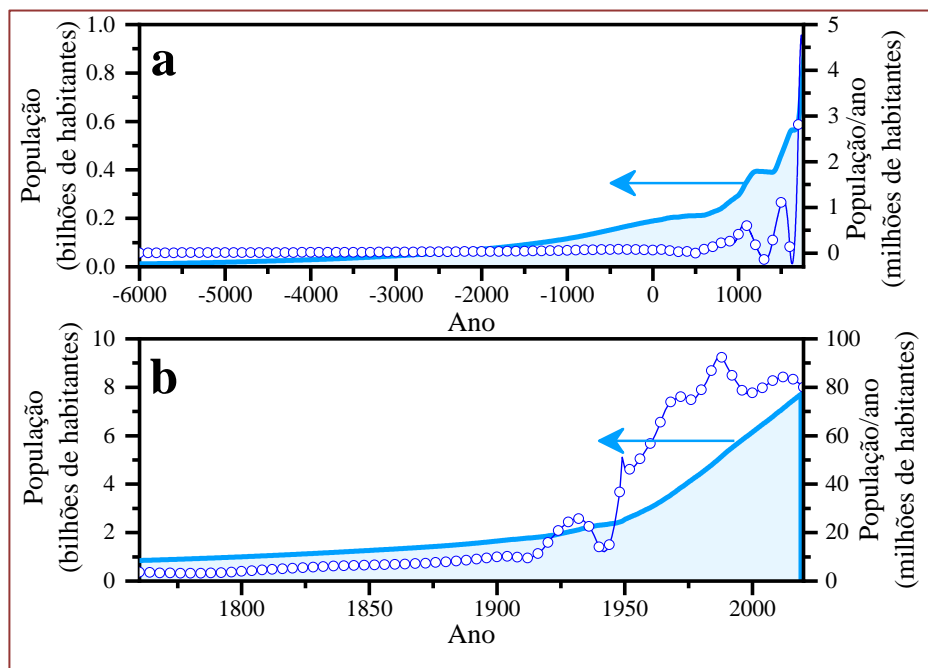
2. EVOLUÇÃO DA ENERGIA E SUAS FONTES

O primeiro contato do homem com a energia e sua manipulação ocorreu a vários anos atrás, em torno de 400-200 mil anos a.C. O homem vivia em uma sociedade primitiva e sobrevivia da caça e forrageamento, enquanto pouco necessitava de energia além daquela proveniente das reações biológicas oriundas da sua alimentação. Entretanto, o homem não foi mais o mesmo ao descobrir e controlar a reação entre madeira e oxigênio (combustão) para obtenção de calor e luz. O que para nós é muito comum, para o homem pré-histórico foi um grande avanço tecnológico. Os primeiros e principais benefícios do domínio da combustão foram: iluminação a noite, aquecimento em dias frios, possibilidade de cozimento de alimentos e dispersar animais perigoso. Esse pequeno avanço tecnológico provocou uma melhora na qualidade de vida, resultando também no aumento da expectativa de vida e aumento populacional entre os grupos ainda nômades.

A partir do ano 6 mil a.C. o homem começou a deixar as atividades nômades, assim fixando em locais onde as terras apresentavam características satisfatórias para o plantio, além da pecuária, assim começou a Revolução neolítica. Nesta etapa, a relação entre energia e o homem começou a se diversificar e estar mais presente no dia a dia como uma forma de melhoria de qualidade de vida. Devido a sazonalidade de algumas regiões (estações do ano), o plantio grãos foram escolhidos devido ainda pelo valor nutricional e capacidade de armazenamento. Para isso, o ser humano começou a manipular energia mecânica para o tratamento das terras a fim de plantar grãos, por meio da domesticação animais, como o gado. Esse período ainda proporcional que o homem começasse a manipular outras fontes de energia, como a energia cinética do vento e águas.

Cada vez em que o homem conseguia manipular, extrair e modificar um tipo e fonte de energia, a qualidade de vida da sociedade em que estava inserido era melhorada de maneira significativa. Entretanto, entre as diversas fontes de energia, a madeira ainda era a principal fonte de energia e material para a sociedade, o qual era utilizada na construção civil, naval, militar, produção de calor, refino de metais etc. A utilização dessa fonte de energia (biomassa) ficou estagnada por um grande período (6000 mil a.C. até 1760) por meio da extração da madeira (CARVALHO, 2014). Essa extração de madeira não causava grande problemas, uma vez que a população crescia a uma taxa muito baixa assim proporcionando a regeneração natural dos recursos (~7 milhões de habitantes em 6000 mil a.C. até ~800 milhões de habitantes em 1760 como visto na Figura 3).

Figura 3 - Crescimento populacional e a relação entre crescimento absoluto por ano para a faixa (a) 6000 a.C à 1760 e (b) 1760 à 2020

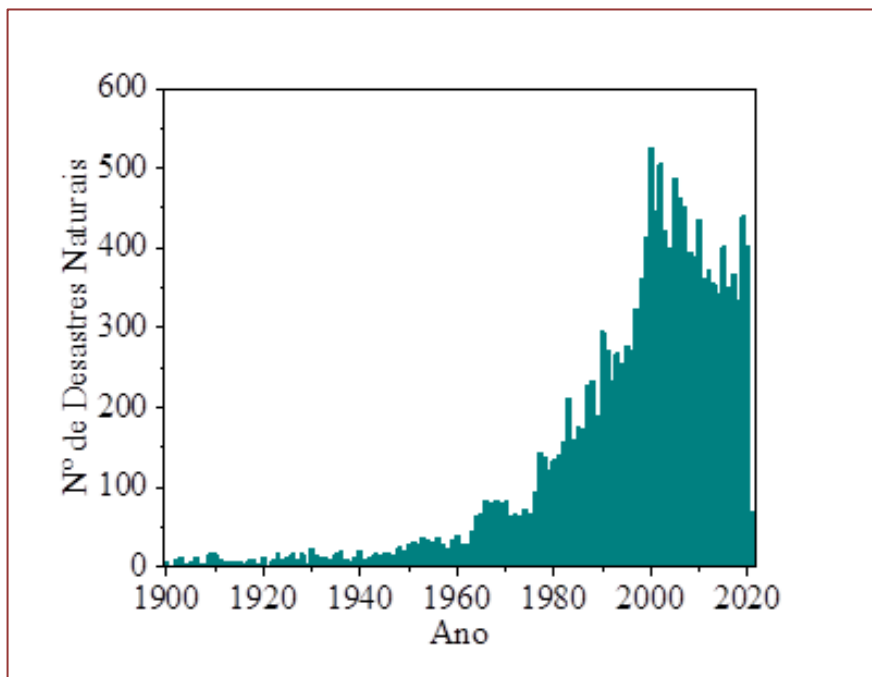


(OUR WORLD IN DATA, 2021a, 2021b)

O ano de 1760 foi um marco com relação ao desenvolvimento econômico, social e usos energético, sendo este o início da primeira revolução industrial. A partir deste momento o ser humano começou a entender e aplicar as leis termodinâmicas em máquinas térmicas (máquinas a vapor), transformando o calor em trabalho mecânico. Esse foi um dos fatores que proporcionou o aparecimento de grandes indústrias de bens, também fomentando pela necessidade do consumo social. Grande parte da população começou a se deslocar para grandes cidades e concentrar-se em regiões próximas a indústrias em busca de melhores qualidade de vida, experimentando padrões de vida em elevação e abundância de bens e alimentos em todo o mundo, resultando no rápido crescimento populacional (MAWLE, 2010). Entretanto, este acelerado desenvolvimento ou “progresso a qualquer custo” em diversas áreas sociais provocaram graves problemas ambientais provenientes da extração de recursos naturais e biodiversidade, além da baixa eficiência de conversão em energia e produtos (BARCA, 2011).

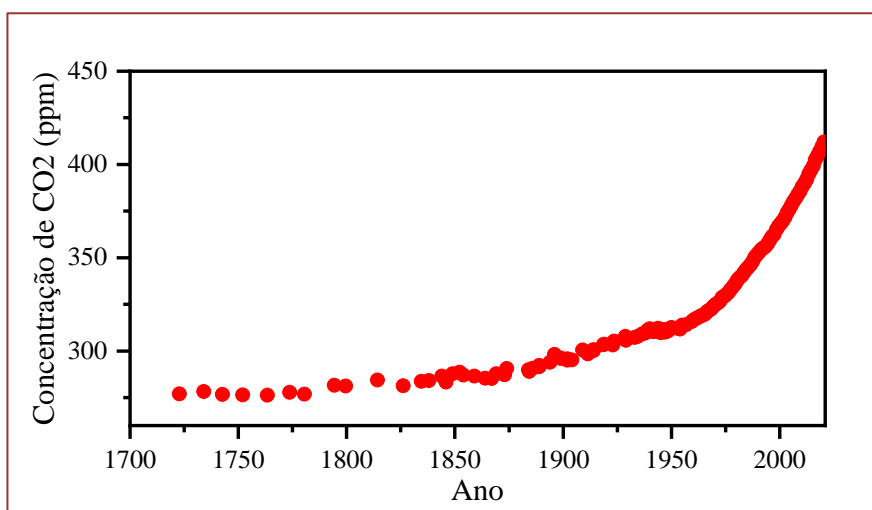
Esse desenvolvimento econômico desenfreado continuou com a descoberta, manipulação e aplicação do petróleo, como o uso de motores de combustão interna, ao chegar a segunda revolução industrial (1870-1914). Essa época foi marcada por grandes avanços em todas as áreas, civil, industrial e militar: aço, eletricidade, petróleo, indústria química, tecnologia marítima, borracha, automóveis, fertilizantes, turbinas, telecomunicações etc. Ao mesmo tempo, diversos impactos ambientais foram causados pela extração de recursos naturais e modificação dos solos. O crescimento populacional apenas durante esses dois períodos de revolução industrial foi superior ao de todo o período anterior (~1 bilhão de habitantes em apenas 154 anos). Após este período ocorreram as grandes guerras mundiais, que resultaram em rápido avanço tecnológico e energético para as diversas forças militares. Novas técnicas de obtenção de energia foram desenvolvidas, como a Alemanha durante a segunda guerra em que produzia combustível e compostos químicos diversos por meio de reações de Fisher-Tropch e gás de síntese de reatores de gaseificação (BASU, 2018). Alguns países intensificaram a aplicação e uso energias provenientes a reações nucleares. Nesse período os aviões comerciais começavam a dominar e a indústrias começaram a se globalizar. Embora diversos conflitos, vários benefícios econômicos, energéticos e sociais foram adquiridos, trazendo melhor qualidade de vida.

Figura 4 - Número de desastres ambientais entre 1900-2021



(EM-DAT, 2021)

Figura 5 - Evolução da concentração de CO₂ na atmosfera entre os anos de 1700 e 2021



(UCSD, 2021)

Cada vez mais o homem buscou o progresso, sendo ele sempre alcançado de alguma ou a qualquer forma, entretanto, os impactos ambientais nunca eram considerados durante o progresso. Devastação de recursos minerais e ambientais proporcionaram diversos desastres ambientais, além do aumento de gases de efeito estufa e grande liberação de CO₂ na atmosfera. Um exemplo interessante do efeito do impacto da atividade descontrolado do homem foi o grande nevoeiro (*Great Smog*) que ocorreu durante 5 dias no inverno de 1952, o qual foi causado pela combinação do clima, anticiclone e falta de ventos. O carvão usado para doméstico durante o inverno nesse período apresentava baixo rank (elevada quantidade de compostos inorgânicos e enxofre) o que aumentava a quantidade de dióxido de enxofre na fumaça. A concentração de fumaça era 0,49 mg m³ no dia 4 de dezembro, enquanto nos dias 7 e 8 de dezembro a concentração era 4,46 mg m³, além disso é estimado que a cada dia durante o período de smog foram liberadas 1000 toneladas de partículas de fumaça, 140 toneladas de ácido clorídrico, e 370 toneladas de dióxido de enxofre (podendo ter sido convertido em 800 toneladas de ácido sulfúrico) (FENGER, 2009;

POLIVKA, 2018; GRENNFELT *et al.*, 2020). A visibilidade no aeroporto era inferior a 10 metros, ônibus e barcos pararam de circular, acidentes de carros ocorreram com frequência, pessoas tropeçaram no rio Thames e se afogaram, pedestres tiveram que se agarrar a paredes, crianças deixaram de ir à escola, pássaros batiam em prédios, e enfermarias de hospitais e ambulâncias ficaram sobrecarregadas devido a graves problemas respiratórios. O *Great Smog* causou a morte de 4000 a 12000 londrinos e é considerado o pior evento de poluição do ar na história do Reino Unido (POLIVKA, 2018). Este e outros problemas ambientais que começaram a afetar grandes centros econômicos resultaram no início de criação de discussão sobre as ações do homem sobre o meio ambiente, regulamentação governamental e consciência pública da relação entre a qualidade do ar e a saúde.

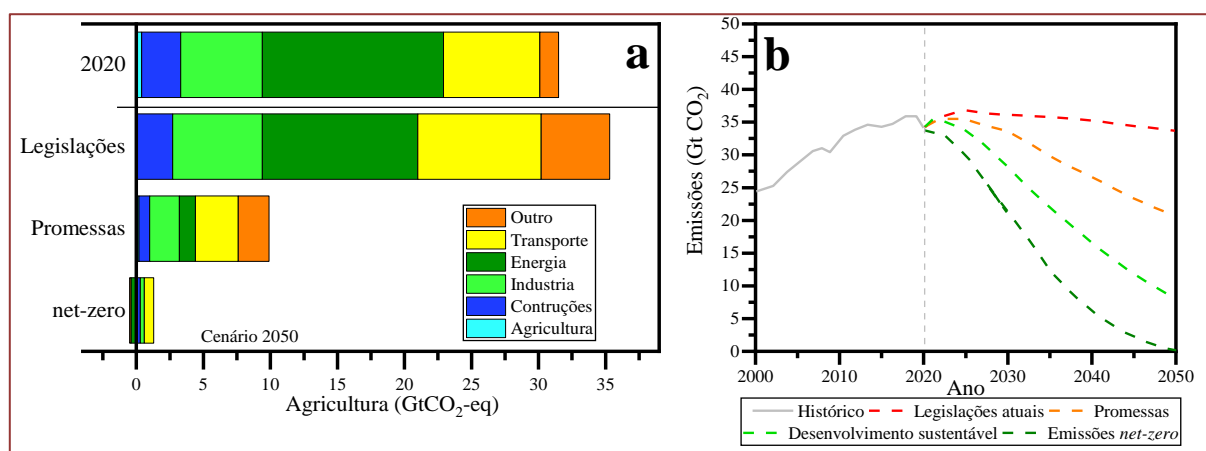
3. MEIO AMBIENTE E ENERGIA

Durante vários anos da pós-revolução industrial, a sociedade intensificou o uso de fontes energéticas não-renováveis como carvão mineral, petróleo e gás natural para obtenção de energia, o qual começou a gerar problemas com o aumento da demanda energética. Esses problemas eram sentidos principalmente em grandes centros urbanos, na forma de chuvas ácidas, *smog*, enchentes etc. (MANISALIDIS *et al.*, 2020) que era resultado do uso das fontes não-renováveis atrelado a baixa eficiência de conversão energética dessas matérias primas e assim resultado na grande liberação de gases poluentes (JERRETT *et al.*, 2005). Diante de vários problemas, órgãos públicos nacionais e seus representantes começaram a se reunir em convenções a nível mundial para a discussão de medidas necessárias para mitigar a crescente deterioração do meio ambiente devido principalmente a atividade econômica que levava a crescente eliminação gases poluentes.

No caráter mundial, a primeira conferência mundial a fazer do meio ambiente uma questão importante ocorreu em Estocolmo (Suécia) entre os dias de 5-16 junho de 1972 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente - *United Nations Conference on the Human Environment*). Esta conferência marcou o início do diálogo entre países industrializados e em desenvolvimento (113 países e 250 organizações internacionais) sobre a ligação e efeitos entre o crescimento e desenvolvimento econômico com o meio ambiente e a sociedade ao redor do mundo. Os países participantes da reunião concordaram em adotar uma série de princípios para uma boa gestão do meio ambiente, incluindo uma declaração que continha 26 princípios relativos ao meio ambiente e desenvolvimento, além de um Plano de Ação com 109 recomendações. O Plano de Ação continha três categorias principais: a) Programa de Avaliação Ambiental Global (plano de observação); b) Atividades de gestão ambiental; (c) Medidas internacionais de apoio às atividades de avaliação e manejo realizadas em nível nacional e internacional. Esta pioneira conferência sobre o meio ambiente foi o primeiro passo para várias subsequentes reuniões, relatórios e protocolos como: relatório Brundtland: *Our Common Future* (WCED, 1987); *Earth Summit* (ECO-92) (UN, 1997); protocolo de *Kyoto* (UNFCCC, 1998); Declaração do milênio (NY 2000) (UN, 2000), *Earth Summit 2002* (Rio+10), *World Summit on Sustainable Development 2002* (UN, 2002); *Earth Summit 2012* (Rio+20) (BRAZIL, 2011); *Sustainable Development Goals* (Agenda 2030) (UN, 2021); *Conference of the Parties 2015* (COP 21); *Conference of the Parties 2021* (COP 26) (UNFCCC, 2021). Todas essas reuniões, relatórios e protocolos tiveram como objetivo a discussão de problemas socioeconômicos e ambientais, bem como o acordo e criação de propostas para a mitigação desses problemas. Dentre as questões, a energia, como fonte energia e eficiência, tem sido bastante discutido e é um dos principais fatores para a cadeia de problemas socioeconômicos. O setor econômico da energia é responsável por aproximadamente $\frac{3}{4}$ das emissões de gases de efeito estufa (Figura 6a), além disso afeta a sociedade causando problemas de saúde (IEA, 2021a). A mais recente reunião de líderes mundiais, COP26, propuseram metas envolvendo obtenção, produção e uso das energias, bem como a transição para novas fontes e maximização da matriz energética com a garantia de acessibilidade energética. Essas metas têm por objetivo a redução de emissões de gases zero (*net-zero*) até metade do século (Figura 6b) e manter o aumento da temperatura global em no máximo 1,5 °C.

As projeções apresentadas no relatório *World Energy Outlook 2021* (WEO-2021) (Figura 6b) mostram que são necessários políticas fortes, confiáveis e duradouras a longo prazo para que os objetivos propostos sejam alcançados (IEA, 2021a). Esta conclusão se dá devido a atuais políticas de desenvolvimento sustentável mostram uma “lacuna de implementação” que ocorre entre a promessa e implementação. O WEO (2021a) mostra que é necessário a cooperação internacional por meio da difusão e inovação de tecnologias, para redução de emissões de gases de efeito estufa e a eliminação do uso do carvão como fonte de energia primária e incentivar o investimento em energias renováveis (UK, 2021), sendo essas medidas tomadas sem comprometer os demais setores econômicos, garantindo o abastecimento energético e crescimento econômico (IEA, 2021a).

Figura 6 - (a) Emissões globais de CO₂ relacionadas à energia por setor em 2020 e 2050 (b) Emissões globais de CO₂ relacionadas à energia nos cenários de legislações atuais, promessas, desenvolvimento sustentável e net-zero entre 2000-2050 (2021a)



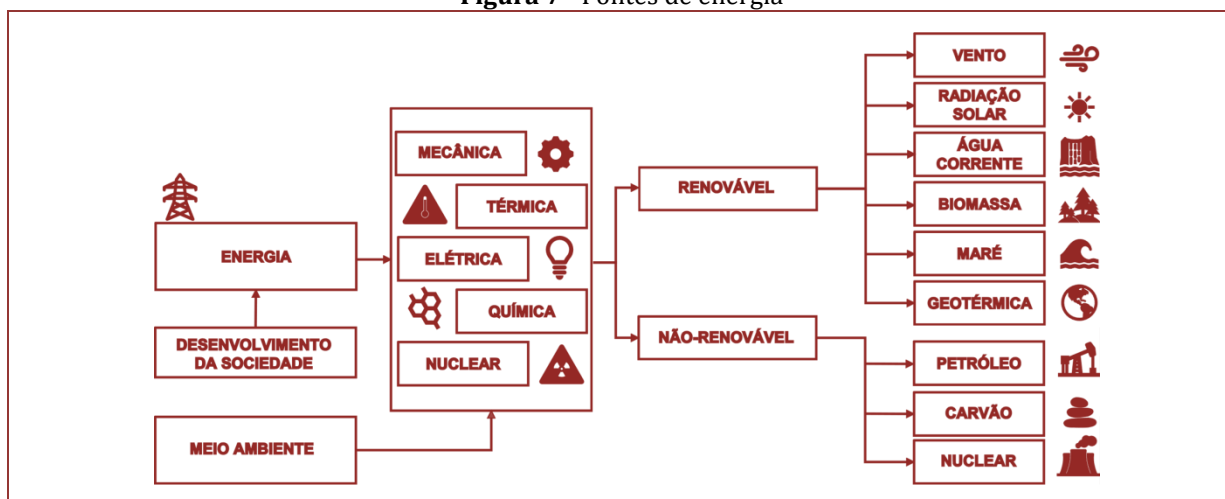
As legislações ambientais têm sido frequentemente alteradas para se adequar as metas propostas, sendo uma das principais medidas, o aumentando o reúso e a reciclagem de resíduos para fins energéticos e gerando incentivos para a implementação de novas tecnologias ambientalmente sustentáveis. Em novembro de 2016, a Comissão Europeia publicou sua iniciativa “Energia limpa para todos os europeus” (“*Clean Energy for all Europeans*”), o qual prevê a adoção de propostas para uma reformulação da Diretiva Energias Renováveis (RED - *Renewable Energy Directive*) como aumentar a eficiência energética em 35 % e uso e consumo de fontes renováveis para 35 % até 2030 (EU, 2018). Os países da Europa têm incluído bioenergia em sua política energética. O Reino Unido em 2019 se tornou a primeira grande economia mundial a aprovar leis que reduzem emissões de gases de efeito estufa para zero 2050. Atualmente, o Reino Unido já reduziu as emissões em 42 % e aumentou sua economia em 72 % após colocar o desenvolvimento sustentável como estratégia industrial (BEIS, 2019). No Brasil, leis federais como a nº 12.305 de 2010 e nº 13.576 de 2017 trazem diretrizes para a gestão gerenciamento de resíduos sólidos e expansão dos biocombustíveis na matriz energética, respectivamente (BRAZIL, 2010, 2017). O RenovaBio, apresentado na lei Federal nº 13.576 de 2017, tem como estratégia a valorização das biomassas e a redução das emissões de gases de efeito estufa, assim promovendo a expansão da produção e do uso de biocombustíveis bem como seu papel estratégico na matriz energética nacional (BRAZIL, 2017; IEA, 2019a). Além disso, para auxiliar no desenvolvimento tecnológico e sustentável no setor agrícola nacional foi criado programa “Inovagro”, onde um dos objetivos é financiar inovações tecnológicas de sistemas de geração e distribuição de energia alternativa, tais como biomassa (CODEMEC, 2014).

4. FONTES DE ENERGIA

Energia é a capacidade de ser realizar trabalho, este pode ser obtido por meio da energia mecânica, térmica, elétrica, química e/ou nuclear. Esses tipos de energia podem ser extraídos de recursos energéticos, que se apresentam das mais diversas formas, cada qual com sua densidade energética e eficiência de extração.

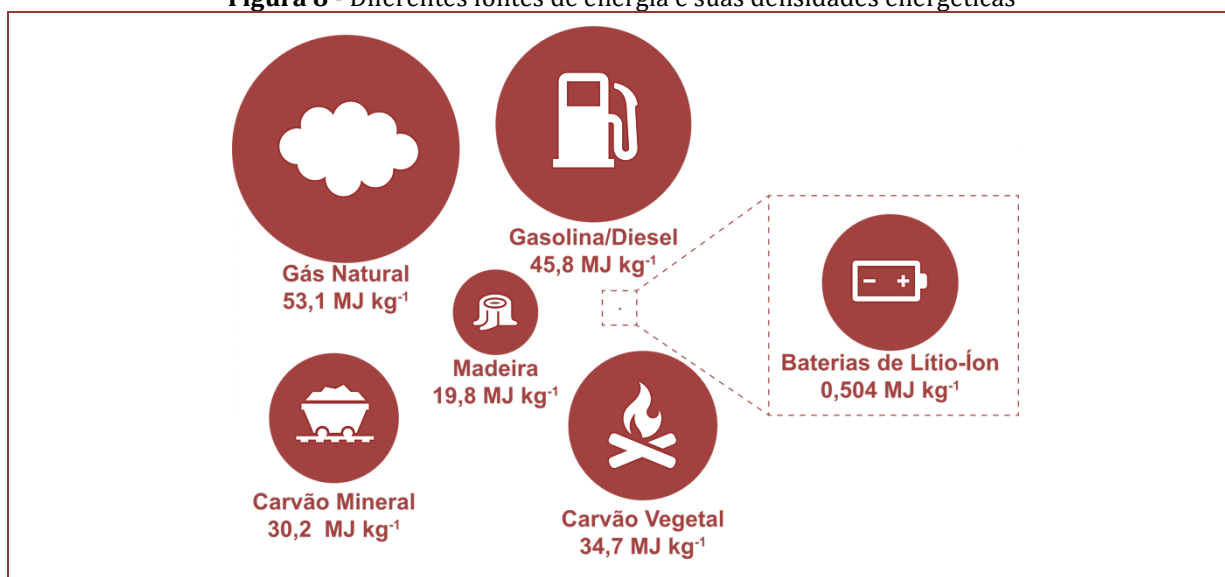
A busca pelo *net-zero GHG emissions* requer a utilização de fontes de energia que tenha a capacidade de não emitir gases poluentes ou aqueles em que os gases podem ser recuperados em uma faixa de tempo curta. Deste modo, as fontes de energia foram subdivididas em dois grandes grupos: os renováveis e os não-renováveis (Figura 7).

Figura 7 - Fontes de energia



As fontes de energia não renováveis são aquelas em que seus suprimentos são limitados pela quantidade que é possível extrair da natureza. Exemplo claro dessa fonte de energia que podemos destacar são o carvão mineral, gás natural e petróleo, pois necessitam de longo tempo (ordem de milhares de anos), além de temperatura e pressão, para sua formação a partir dos restos mortais de antigas plantas marinhas e animais. Essas fontes de energias são visivelmente essenciais no dia a dia da sociedade moderna, assim a sua extração ocorre de forma mais rápida que a recuperação. O urânio, por sua vez, embora não emita gases de efeito estufa, este necessita de condições específicas para sua formação, como a morte e formação de estrelas por meio de supernova, além disso, é difícil ou muito caro para minerar e processar em combustível para usinas nucleares. Diferente das fontes de energias não-renováveis, as energias renováveis apresentam a características de serem recuperadas rapidamente, como exemplo, a energia solar emite constantemente fótons para a terra, sendo uma pequena fração dessa energia utilizada para atividades metabólicas de plantas e animais. Energia potencial da água é considerado renovável, uma vez que este se recupera devido o ciclo da água, enquanto a biomassa recupera absorvendo o CO2 emitido e energia solar pela fotossíntese (EIA, 2021).

Figura 8 - Diferentes fontes de energia e suas densidades energéticas

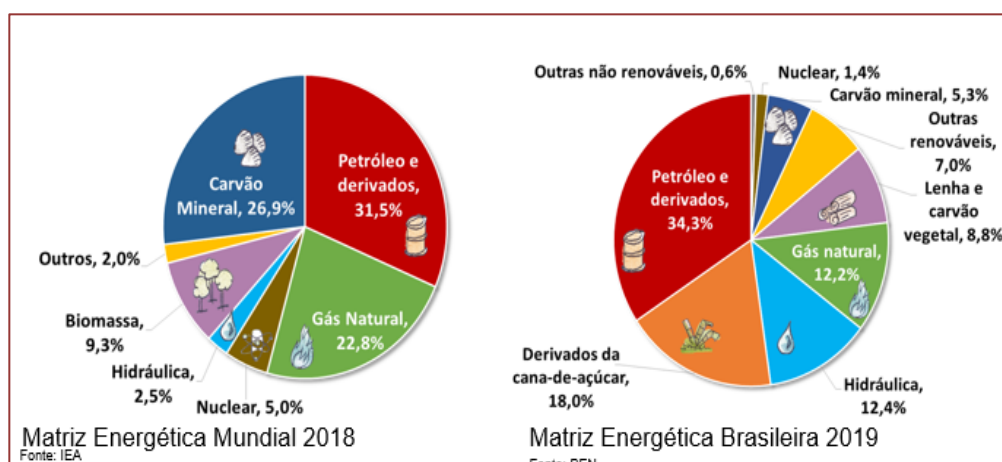


(GROSS, 2020)

A elevada necessidade energética da sociedade moderna, torna os recursos renováveis menos competitivos no mercado, em comparação com os não-renováveis, devido a vários fatores. O principal fator que torna os recursos renováveis menos competitivo é a sua densidade energética extraída, uma vez que a densidade de energia do petróleo é $35\text{-}45 \text{ GJ m}^{-3}$ ($42,35\text{-}54,45 \text{ MJ kg}^{-1}$), enquanto a energia solar tem uma densidade de $1,5 \mu\text{J m}^{-3}$ (LAYTON, 2008) e densidade de armazenamento em bateria de lítio é de $0,504 \text{ MJ kg}^{-1}$ (IEA, 2019b, p. 20).

O fornecimento total de energia primária ainda permanece sendo não-renováveis, sendo a maior fração representada pelas fontes de energia de origem fóssil como o petróleo (32 %), gás natural (22%), xisto betuminoso, turfa e carvão (27%), o qual compreendem a 81% do total com 11.3 Gtep (IEA, 2019b). No Brasil a matriz é representada por mais fontes de energia renováveis (lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis), entretanto as fontes não-renováveis ainda representam em torno de 55% da matriz energética nacional.

Figura 9 - Matriz energética mundial e do Brasil



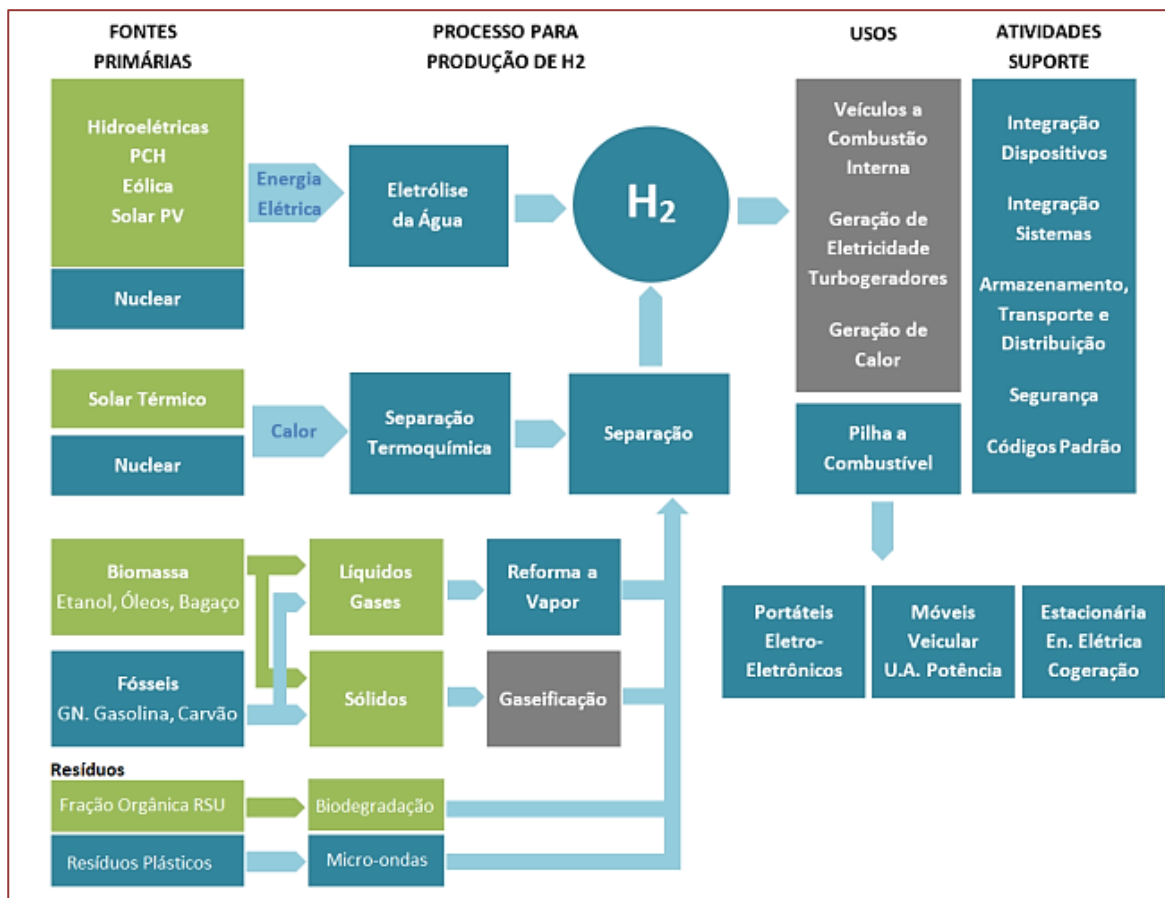
A centralização da matriz sob as fontes não-renováveis tem impacto significativo no mercado financeiro devido principalmente a fatores políticos. Este fato pode ser claramente destacado pelos recentes ataques a petroleiros no Estreito de Ormuz (conhecida como a jugular da economia global) entre junho e agosto de 2019, que resultou no aumento dos preços do petróleo, pois o estreito é responsável por 20% do suprimento mundial dessa matéria-prima (AJAMI, 2019). Assim, a descentralização da matriz energética pode representar uma estratégia econômica, política e social para o suprimento energético. Deste modo, diversos países estão desenvolvendo leis e políticas públicas (como a adoção de créditos energéticos ou de carbono) para incentivar a utilização e produção de combustíveis de fontes renováveis.

5. ECONOMIA DO HIDROGÊNIO (HYDROGEN ECONOMY)

As atuais perspectivas e objetivos para o desenvolvimento sustentável requer uma transição energética, do uso majoritário de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e petróleo) a fontes renováveis (energia, solar e bioenergia) (IEA, 2021a). Esta transição traz consigo a oportunidade para novas tecnologias e novos combustíveis, além de intensificar as tecnologias de baixas emissões já existentes.

Um dos principais combustíveis de interesse nos diversos setores da indústria no atual cenário é o hidrogênio. Esse pode ser obtido por meio de diversas rotas como apresenta a (Figura 10).

Figura 10 - Representação esquemática de rotas tecnológicas para obtenção de hidrogênio (2021)



Em 2020, aproximadamente 90 milhões de tons de hidrogênio foram produzidos mundialmente em 2020 para aplicação na indústria química, tendo principal matéria prima o gás natural e carvão (IEA, 2021b). Diversas rotas podem ser utilizadas para a produção de hidrogênio, porém os processos térmicos (gaseificação) e a eletrólise em conjunto com energia solar e/ou eólica (possibilitando o armazenamento da energia produzida por usinas solares e parques eólicos) são as mais promissoras rotas para a produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis. Essas características tornam hidrogênio capaz de promover o acoplamento entre os mercados de combustíveis, eletricidade, industrial, entre outros para atingir as metas de baixas emissões (EPE, 2021). Um dos grandes desafios da produção e utilização do hidrogênio está associado a baixa quantidade de linhas de distribuição e infraestrutura de armazenamento, assim a maior parte do hidrogênio produzido é utilizado em setores industriais próximos. Uma das alternativas com relação ao transporte e armazenamento do hidrogênio é a sua conversão em outros combustíveis como metano, amônia e líquidos sintéticos (IEA, 2021a).

Amônia, metanol e outros hidrocarbonetos líquidos podem ser sintetizados a partir do hidrogênio (H₂), como bioenergia, apresentam baixas emissões de carbono quando utilizado como fonte de energia, assim apresentando como uma alternativa para o atual uso do petróleo e seus derivados. Como exemplo, A amônia sintetizada pode ser armazenada em tanques e convertida em eletricidade, quando necessário, por combustão ou em nitrogênio e hidrogênio por decomposição termo eletroquímica (catalisador de craqueamento térmico associado a catalisador de eletro oxidação) (CHEDDIE, 2012; LIM *et al.*, 2020), onde o hidrogênio pode então ser usado em células de combustível de hidrogênio em veículos elétricos. A aplicação e estudos desses combustíveis líquidos estão voltados a transporte de cargas terrestre, marítima e aviação (GLOBAL MARITIME FORUM, 2021). Por outro lado, esses combustíveis alternativos ao petróleo ainda necessitam superar diversas barreiras, como altos custos de produção, limitação de matérias-primas sustentáveis e acessíveis etc. Devido a esses problemas, a maior parte das unidades de conversão bioenergética são desenvolvidas em locais que apresentam abundância na fonte renovável de interesse (IEA, 2021a).

Embora os desafios ainda presentes, vários países têm esforçado na busca para a expansão dos usos de combustíveis sintéticos a base de hidrogênio. A Alemanha tem exigido que o combustível da aviação apresente 2 % de derivados de hidrogênio até 2030 (BMU, 2020), enquanto a Comissão Europeia propôs o uso de do hidrogênio e os combustíveis a base de hidrogênio (derivados de energia renovável) como fonte de energia para o setor do transporte de 2,6 % até 2030 (EUR, 2021). O Japão tem demonstrado interesse no uso da amônia para a geração de eletricidade e no transporte marítimo (METI, 2021). O governo estadual do Ceará está trabalhando em um plano, chamado de *Base One*, para construir uma usina de hidrogênio em 500 hectares de terras comerciais no Porto de Pecém para produzir 600 mil tons ano⁻¹ a partir de 3,4 GW de energia solar e eólica, com investimento de US\$5,4 bilhões (WILSON CENTER, 2021). O estudo tem sido desenvolvido com a Federação de Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), Universidade Federal do Ceará (UFC) e o Complexo Pecém (CIPP S/A).

Dentre os diversos produto obtidos por meio da bioenergia, o hidrogênio (*green hydrogen*) tem atualmente se tornando um tema estratégico para governos e empresas mundialmente, isto devido ao elevado conteúdo energético contido em uma pequena molécula. Em 2019, o mercado global de hidrogênio movimentou em torno de US\$ 118-136 bilhões, o qual ainda apresenta projeções de crescimento para os próximos anos que podem atingir entre US\$ 160-200 bilhões (EPE, 2021; GVR, 2021). Empresas como a Tesla, Toyota, SpaceX, Airbus (ZEROe) Siemens e Porsche tem desenvolvido combustíveis sintéticos, automóveis com célula combustível de hidrogênio e apresentado conceitos para a produção de aviões e foguetes que tenha o hidrogênio como propelente para obtenção de energia. Para isso, países, como o EUA, Austrália, França, Alemanha, Portugal, Japão e Coreia (primeiros países a demonstrarem interesse no mercado do hidrogênio), tem apresentados estratégias para incentivo à produção e estimulação do mercado, a fim de atingir as metas propostas em reuniões internacionais sobre o clima (IEA, 2021a).

O Brasil também tem demonstrado interesse no desenvolvimento de tecnologias e aplicação do hidrogênio em âmbito nacional. Este interesse começou em 2002 com o Programa Brasileiro Sistemas Célula a Combustível (PROCaC), seguido em 2005 com o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (PorH2) e Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil (BRASIL, 2005; MOREIRA *et al.*, 2013). Neste último era apresentado as diretrizes: valorização de diferentes rotas tecnológicas nas quais o Brasil poderia ter vantagens competitivas; definição de uma lógica de difusão de mercado e uso do hidrogênio. Entretanto, a descobertas do pré-sal em 2006 resultou na retirada do hidrogênio na rota energética nacional, aonde apenas em 2020, foram retomadas as iniciativas para a estimulação e estratégias na produção e comercialização do hidrogênio com o Plano Nacional de Energia 2050 (2020), seguido do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) em 2021 (EPE, 2021; MME, 2021), com princípios bem definidos e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Princípios do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2)

Princípio	Descrição
Valorizar o potencial nacional de recursos energéticos	Reconhecer as diversas fontes para obtenção do hidrogênio (renováveis ou não), bem como aplicações em múltiplos setores da economia (transportes, energia, siderurgia e mineração);
Ser abrangente	Reconhecer a diversidade de fontes energéticas e alternativas tecnológicas disponíveis ou potenciais, inclusive as possíveis sinergias, para produção, logística, armazenamento e uso do hidrogênio;
Alinhar-se às ambições de descarbonização da economia	Considerar estratégias para neutralidade líquida de carbono até 2050
Valorizar e incentivar o desenvolvimento tecnológico nacional	Considerar investimentos e experiências já existentes no País e a necessidade da continuidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação, com vistas à capacitação e autonomia tecnológica e desenvolvimento do sistema produtivo nacional;
Almejar o desenvolvimento de um mercado competitivo	Considerar o potencial de demanda interna e exportação de hidrogênio,
Buscar sinergias e articulação com outros Países	Reconhecer que esse mercado deve ter abrangência global e seu desenvolvimento pode ser acelerado por meio de cooperação e coordenação internacional;
Reconhecer a contribuição da indústria nacional	O País tem base industrial robusta para a produção de bens de capital, produtos e serviços para contribuir na economia do hidrogênio.

Adaptado de MME (2021)

Além dos programas apresentados, existem iniciativas e parcerias de projetos internacionais para a produção de hidrogênio como: Participação na *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy* (IPHE); Parceria Brasil-Alemanha (*Power-to-X*) com a identificação das principais tecnologias para produção de hidrogênio no Brasil; Parceria Brasil-Chile para estudo técnico-econômico sobre o potencial da cooperação bilateral em hidrogênio; participação da *Hydrogen Initiative* (H2I) na *Clean Energy Ministerial* (CEM) (EPE, 2021).

Diante das informações apresentadas, é possível notar a atual importância da produção e estudo sobre rotas de produção de hidrogênio, além de representar uma importante fonte energética para os mais diversos setores, uma vez que apresenta diversas aplicações e assim sendo denominado como a era da “economia do hidrogênio” (*Hydrogen economy*) (CHAPMAN *et al.*, 2020). Dentre as rotas apresentadas, a rota termoquímica com uso da biomassa, na forma de resíduos, como matéria prima se destaca, devido ao baixo valor desse recurso, redução de acúmulo de resíduos sólidos (Gerenciamento de resíduos sólidos: lei federal nº 12.305 de 2010) e elevada taxa de conversão.

6. CONCLUSÕES

O crescimento populacional tem levado cada vez mais a necessidade de desenvolvimento de energias eficientes. O hidrogênio produzido por fonte renováveis tem se demonstrando uma importante fonte energética e química para o futuro sustentável da sociedade. A detenção de uma molécula que apresenta baixo peso molecular e elevado potencial energético, além de ser aplicado em diversos setores da indústria, representa um tema estratégico para diversos países e empresas. Por outro lado, ainda apresenta diversos desafios técnico, econômicos e políticos que precisam ser superados para a efetiva dessa matéria-prima. Dentre os desafios, dois se destacam:

- a) Necessidade de aumento da eficiência de conversão: Alta quantidade de energia é geralmente demandada para a produção do H₂ pelas rotas convencionais. Algumas soluções são os usos da energia solar e eólica para promover a eletrólise, e o usos da biomassa em processos de gaseificação. Para a eletrólise, a demanda energética é reduzida pela abundância de luz solar e ventos, porém, esta demanda grande área, além de estudos para melhor localização de todos os aparatos. Para a gaseificação, menores áreas são necessárias além de ser adequar ao gerenciamento de resíduos, porém, tal tecnologia ainda precisa de aprimoramentos para a utilização de resíduos como matéria-prima.
- b) Transporte e armazenamento da forma bruta: As atuais tecnologias não permitem realizar transporte e armazenamento de grandes volumes de H₂ de forma segura por longas distancias de forma econômica. Atualmente duas alternativas têm sido pensadas, uma para curto-prazo e outra a longo-prazo. A primeira é a conversão de H₂ em amônia dado que o sistema de armazenamento e transporte desse composto é existe e completamente dominado pela indústria. Por outro lado, ainda se necessita estudos para a realização da rota inversas de maneira simples e econômica, assim, sem elevar os custos e reduzir a competitividade do H₂. A segunda alternativa está atrelada a área de materiais, com o desenvolvimento de materiais, compósitos ou ligas, que apresentem confiabilidade em questão de segurança e consiga armazenar elevados conteúdos de H₂ em pequenos volumes.

Diante das informações expostas, nota-se que para que o H₂ seja efetivamente inserido na sociedade como fonte energética (uso diário) e auxiliar a transição energética almejada, é necessário diversos esforço de todos os setores e que devem ser realizados de forma cooperativa entre pesquisadores de alto nível de engenharia e empresas, bem como o incentivos político por políticas fortes e duradouras.

REFERÊNCIAS

- [1] AJAMI, R. A. Global Oil Supplies and Asia Pacific Economies: Dependencies and Challenges. *Journal of Asia-Pacific Business*, v. 20, n. 3, p. 163-165, 2019. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1080/10599231.2019.1647075>.
- [2] BARCA, S. Energy, property, and the industrial revolution narrative. *Ecological Economics*, v. 70, n. 7, p. 1309-1315, 2011. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.012>.
- [3] BASU, P. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. [s.l.], . 3rd. ed. Academic Press. 2018. 551 p. ISBN 978-0-12-812992-0
- [4] BEIS. UK becomes first major economy to pass net zero emissions law. . Acesso em: 8 out. 2019.

- [5] BMU. Draft bill on the enhancement of the greenhouse gas reduction quota (In German). [s.n.]. . Acesso em: 11 nov. 2021.
- [6] BRASIL. Sistemas célula a combustível: Programa brasileiro (PROCaC). [s.n.]. . Acesso em: 11 nov. 2021.
- [7] BRAZIL. LEI No 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2010. .
- [8] BRAZIL. Sobre a Rio+20. . Acesso em: 10 out. 2021.
- [9] BRAZIL. LEI No 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017 - Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências, 2017. .
- [10] CARVALHO, J. F. Energia e sociedade. *Estudos Avançados*, v. 28, n. 82, p. 25–39, 2014. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300003>.
- [11] CHAPMAN, A.; ITAOKA, K.; FARABI-ASL, H.; FUJII, Y.; NAKAHARA, M. Societal penetration of hydrogen into the future energy system: Impacts of policy, technology and carbon targets. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 7, p. 3883–3898, 2020. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.112>.
- [12] CHEDDIE, D. Ammonia as a Hydrogen Source for Fuel Cells: A Review. In: MINIC, D. (Ed.). *Hydrogen Energy - Challenges and Perspectives*. InTech.
- [13] CODEMEC. Inovagro – Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agrícola, 2014. .
- [14] EIA. What is energy? . Acesso em: 6 set. 2021.
- [15] EM-DAT. The international disasters database. . Acesso em: 1 fev. 2021.
- [16] EPE. Baseline to support the Brazilian Hydrogen Strategy. Empresa de Pesquisa Energética. . Acesso em: 20 out. 2021.
- [17] EU. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (Text with EEA relevance.), 2018. .
- [18] EUR. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources European Commission, , 2021. . . Acesso em: 11 nov. 2021.
- [19] FENGER, J. Air pollution in the last 50 years – From local to global. *Atmospheric Environment*, v. 43, n. 1, p. 13–22, 2009. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.061>.
- [20] GLOBAL MARITIME FORUM. Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects - Second Edition. [s.n.]. . Acesso em: 11 nov. 2021.
- [21] GRENNFELT, P.; ENGLERYD, A.; FORSIUS, M.; HOV, Ø.; RODHE, H.; COWLING, E. Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy. *Ambio*, v. 49, n. 4, p. 849–864, 2020. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-019-01244-4>.
- [22] GROSS, S. Why are fossil fuels so hard to quit? . Acesso em: 6 set. 2021.
- [23] GVR. Hydrogen Generation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Systems Type (Merchant, Captive), By Technology (Steam Methane Reforming, Coal Gasification), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028. [s.n.]. . Acesso em: 9 out. 2021.
- [24] IEA. National Biofuels Policy, 2019a. .
- [25] IEA. World Energy Balances 2019: Overview. France. IEA Publications. 2019b. 1–23 p.
- [26] IEA. World Energy Outlook 2021. [s.l.], . OECD. 2021a. ISBN 978-92-64-65460-0
- [27] IEA. Global Hydrogen Review 2021. [s.l.], . OECD. 2021b. ISBN 978-92-64-51931-2
- [28] JERRETT, M.; ARAIN, A.; KANAROGLOU, P.; BECKERMAN, B.; POTOGLU, D.; SAHSUVAROGU, T.; MORRISON, J.; GIOVIS, C. A Review and Evaluation of Intraurban Air Pollution Exposure Models. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, v. 15, n. 2, p. 185–204, 2005. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1038/sj.jea.7500388>.
- [29] LAYTON, B. E. A Comparison of Energy Densities of Prevalent Energy Sources in Units of Joules Per Cubic Meter. *International Journal of Green Energy*, v. 5, n. 6, p. 438–455, 2008. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1080/15435070802498036>.
- [30] LIM, D.-K.; PLYMILL, A. B.; PAIK, H.; QIAN, X.; ZECEVIC, S.; CHISHOLM, C. R. I.; HAILE, S. M. Solid Acid Electrochemical Cell for the Production of Hydrogen from Ammonia. *Joule*, v. 4, n. 11, p. 2338–2347, 2020. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2020.10.006>.
- [31] MANISALIDIS, I.; STAVROPOULOU, E.; STAVROPOULOS, A.; BEZIRTZOGLU, E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, v. 8, p. 14, 2020. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.
- [32] MAWLE, A. Climate change, human health, and unsustainable development. *Journal of Public Health Policy*, v.

- 31, n. 2, p. 272–277, 2010. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1057/jphp.2010.12>.
- [33] METI. Interim report of PublicPrivate Council on Fuel Ammonia Introduction (In Japanese). [s.n.]. . Acesso em: 11 nov. 2021.
- [34] MME. Plano Nacional de Energia 2050. Empresa de Pesquisa Energética. . Acesso em: 11 out. 2021.
- [35] MME. Programa Nacional do Hidrogênio. [s.n.]. . Acesso em: 11 nov. 2021.
- [36] MOREIRA, R.; CARVALHO, F. M. S. de; BERGAMASCHI, V. S.; POLITANO, R. Patentes Depositadas Em Âmbito Nacional Como Indicador de Desenvolvimento Das Tecnologias de Produção de Hidrogênio. *Química Nova*, v. 36, n. 5, p. 748–751, 2013. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000500023>.
- [37] OUR WORLD IN DATA. World population since 10,000 BCE (OurWorldInData series). . Acesso em: 3 set. 2021a.
- [38] OUR WORLD IN DATA. Absolute increase in global population per year. . Acesso em: 3 set. 2021b.
- [39] POLIVKA, B. J. The Great London Smog of 1952. *AJN, American Journal of Nursing*, v. 118, n. 4, p. 57–61, 2018. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1097/01.NAJ.0000532078.72372.c3>.
- [40] UCSD. The Keeling Curve. . Acesso em: 28 ago. 2021.
- [41] UK. What do we need to achieve at COP26? . Acesso em: 17 nov. 2021.
- [42] UN. A new blueprint for international action on the environment. . Acesso em: 10 out. 2021.
- [43] UN. Development goals for a new millennium. . Acesso em: 10 out. 2021.
- [44] UN. An opportunity to move forward. . Acesso em: 10 out. 2021.
- [45] UN. Sustainable Development Goals. . Acesso em: 10 out. 2021.
- [46] UNFCCC. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention On Climate Change, 1998. . . Acesso em: 5 set. 2021.
- [47] UNFCCC. End of Coal in Sight at COP26. . Acesso em: 17 nov. 2021.
- [48] WCED. Our common future. Oxford. Oxford University Press. 1987.
- [49] WILSON CENTER. Northeastern Brazil to Build World’s Biggest Green Hydrogen Plant. . Acesso em: 11 nov. 2021.

Capítulo 17

Avaliação da potencialidade energética de plantas invasoras visando seu uso em processos termoquímicos

Eduardo Carpes Dib

José Luiz Francisco Alves

Guilherme Davi Mumbach

Jean Constantino Gomes da Silva

Cintia Marangoni

Resumo: Este trabalho tem como objetivo investigar as características energéticas de *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia*, plantas invasoras, para identificar seu potencial como recursos energéticos renováveis. A este respeito, uma caracterização físico-química detalhada foi realizada e comparada com uma biomassa típica para fins energéticos (o bagaço de cana-de-açúcar), incluindo a análise imediata, a análise elementar, os valores caloríficos superior e inferior, e a densidade aparente. A análise imediata para as três plantas invasoras reportou porcentagens de matéria volátil, carbono fixo e cinzas na faixa de 72,3–76,4%, 15,2–19,5% e 8,2–11,2% em massa, respectivamente. A análise elementar e a composição lignocelulósica apresentaram-se razoáveis para fins bioenergéticos, e semelhantes ao bagaço de cana-de-açúcar. O potencial energético recuperável a partir das plantas invasoras variou de 18,0 MJ kg⁻¹ a 18,3 MJ kg⁻¹. A seguinte ordem de densidade aparente pode ser observada: *Eupatorium maximilianii* (378,35 kg m⁻³) > *Andropogon bicornis* (292,70 kg m⁻³) > *Sida rhombifolia* (269,45 kg m⁻³). Adicionalmente, outros parâmetros relacionados à bioenergia foram estimados, incluindo equivalência com combustível fósseis e potencial de retenção de CO₂. Entre as plantas invasoras avaliadas, a espécie *Eupatorium maximilianii* apresentou a maior equivalência em volume de combustível fóssil e, portanto, sua aplicação para produção de bioenergia poderia acarretar a maior redução nas emissões de CO₂ por combustíveis fósseis. Finalmente, os resultados obtidos neste trabalho recomendam o uso das plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* como matérias-primas de baixo custo em processos termoquímicos e fornecem informações úteis para futuras aplicações.

Palavras-chave: Plantas invasoras; Biomassa lignocelulósica; Caracterização físico-química; Conversão termoquímica; Bioenergia.

1. INTRODUÇÃO

O paradigma convencional com a utilização de fontes de energia de natureza não renovável é considerado uma abordagem insustentável devido ao contínuo esgotamento dos combustíveis fósseis e uma geração significativa de emissões de dióxido de carbono que contribuem para o aquecimento global. Assim, a demanda por recursos energéticos renováveis está aumentando dia a dia. Para não comprometer os recursos naturais existentes, a diversificação da matriz energética continua sendo a principal forma de suprir as futuras demandas de energia (MATSUMOTO *et al.*, 2018). As fontes renováveis de energia, como as biomassas lignocelulósicas, têm ganhado destaque devido às suas vantagens ambientais, econômicas e sociais (ARREGI *et al.*, 2018). Em suas diferentes formas, a biomassa é um material rico em carbono que pode ser utilizado como alternativa viável aos combustíveis fósseis, contribuindo para a diversidade da oferta de energia, para a produção de energia sustentável no longo prazo e para a redução da poluição devido à sua neutralidade nas emissões de CO₂ (ALVES *et al.*, 2020; ANTAR *et al.*, 2021).

De acordo com o Balanço Energético Brasileiro (MME, 2021), a biomassa contribui com cerca de 28% da oferta total de energia doméstica do Brasil para aquecimento e necessidades energéticas. Entre as fontes de biomassa de destaque para o setor de bioenergia destacam-se a lenha e o carvão vegetal (ALVES *et al.*, 2020b). Com importantes diretrizes sobre a proteção dos recursos florestais (BRAZIL, 2012), o uso de lenha e carvão vegetal vem sendo gradualmente desencorajado, resultando na busca de novas matérias-primas alternativas para serem convertidas em formas aproveitáveis de energia utilizando tecnologias termoquímicas visando atender às crescentes necessidades energéticas. Se não for manejada de forma econômica e ecologicamente sustentável, a exploração de lenha e carvão vegetal pelo setor de bioenergia pode causar desmatamento e degradação florestal. Atualmente, o foco mudou a atenção para a exploração de plantas invasoras lignocelulósicas como matéria-prima para tecnologias baseadas em conversão termoquímica, que muitas vezes apresentam um teor de carbono razoável e estão disponíveis a baixo custo (SOLDATOS, 2015; ALHUMADE *et al.*, 2019). Como matéria-prima não nativa com altos rendimentos em terras improdutivas (QUINN *et al.*, 2015), as plantas invasoras surgem como uma matéria-prima de baixo custo que podem ser aplicadas em tecnologias baseadas em conversão termoquímica para a produção de bioenergia.

As plantas invasoras são consideradas uma ameaça significativa para ecossistemas naturais, afetando a biodiversidade local (EHRENFELD, 2004; SIMBERLOFF, 2011; SIMBERLOFF *et al.*, 2013; DOWNEY & RICHARDSON, 2016) e contribuindo para mudanças climáticas (HELLMANN *et al.*, 2008). É por meio da competição de espaço e nutrientes que as espécies invasoras e a cultura local interagem. As espécies invasoras exóticas causam impacto considerável na agricultura global, que reflete em perdas agrícolas, gerando um custo econômico de grande relevância (SEEBENS *et al.*, 2017). Geralmente as plantas invasoras têm elevada taxa de crescimento e estão associadas a organismos fixadores de nitrogênio (VITOUSEK & WALKER, 1989). As plantas *Eupatorium maximilianii*, *Sida rhombifolia* e *Andropogon bicornis* são plantas do tipo invasoras de cultivos típicos da monocultura como por exemplo milho, soja e trigo. A *Eupatorium maximilianii*, popularmente conhecida como mata pasto ou mata campo, comumente infesta pastagens e terrenos de pouca cobertura vegetal (SANTOS *et al.*, 2006). A *Sida rhombifolia*, conhecida também como Guanxuma, apresenta caule resistente e raiz profunda o que sustenta sua infestação em pastagens, lavouras, pomares anuais e áreas de pousio (SANTOS *et al.*, 2019). O capim rabo de burro, como é popularmente chamada a *Andropogon bicornis*, é uma planta invasora de monoculturas (ENGEL *et al.*, 2019) que se apresenta como bastante agressiva e resistente, apresenta difícil controle e para isso requer estratégias de manejo combinada com o uso de defensivos agrícolas.

Uma avaliação detalhada das características físico-químicas da biomassa é um passo essencial para a adaptação de equipamentos de conversão termoquímica, como queimadores ou caldeiras, que normalmente foram projetados para a conversão de lenha ou carvão em calor ou energia (ALVES *et al.*, 2020a). No trabalho aqui apresentado, pela primeira vez, as características energéticas das espécies de plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* foram avaliadas.

O objetivo principal do presente estudo foi determinar o potencial de *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* como biocombustíveis alternativos aplicados em processos termoquímicos, em termos de propriedades físico-químicas e energéticas. Para este propósito, as propriedades físico-químicas, incluindo a análise imediata, a análise elementar, os valores caloríficos superior e inferior, e a densidade aparente, foram determinadas usando procedimentos experimentais e correlações estabelecidas na literatura. De acordo com as propriedades físico-químicas, outros parâmetros relacionados à bioenergia foram estimados, incluindo composição lignocelulósica, densidade energética, índice de valor do combustível, equivalência com combustível fósseis e potencial de retenção de CO₂. Adicionalmente, as propriedades físico-químicas das plantas invasoras foram comparadas com

uma biomassa típica para fins energéticos (bagaço de cana-de-açúcar). Espera-se que este estudo forneça subsídios importantes sobre a exploração de plantas invasoras para a produção de bioenergia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.1 COLETA E PREPARAÇÃO

As plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* foram coletadas em áreas rurais do município de Cerro Largo, Rio Grande do Sul, Brasil. O procedimento de preparo foi realizado individualmente para cada amostra. Primeiramente, cada amostra coletada foi seca em uma estufa com circulação de ar forçado modelo MA 035/1 (Marconi, Piracicaba, Brasil) à 105 °C por 24 h para obter uma biomassa seca com teor de umidade inerente abaixo de 5,0% em massa. Em seguida, cada amostra seca foi reduzida a um tamanho médio de partícula abaixo de 150 µm usando um moinho de facas de laboratório (Solab, SL-31, Piracicaba, Brasil). Cada amostra pulverizada foi armazenada em sacos de polietileno selados para posteriores experimentos de caracterização.

2.1.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Análise imediata

Primeiramente, as plantas invasoras foram caracterizadas por análise imediata, que teve como objetivo quantificar as porcentagens em massa de umidade inerente, matéria volátil (MV) e cinzas (CZ), de acordo com os procedimentos experimentais adaptados a partir do protocolo padrão ASTM E1131-08 (MUMBACH *et al.*, 2020), utilizando um analisador termogravimétrico TGA-Q50 (TA Instruments, New Castle, Estados Unidos). A porcentagem em massa de carbono fixo (CF) foi determinada indiretamente por diferença, dada pela soma das porcentagens em massa de matéria volátil e cinzas subtraídas de 100% em massa, em base seca (ALVES *et al.*, 2022).

Análise elementar

A análise elementar é um procedimento técnico que permite fornecer as porcentagens em massa de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e oxigênio (O) de um determinado combustível sólido. As porcentagens em massa de C, H e O foram determinadas usando correlações bem reconhecidas na literatura e desenvolvida por Shen *et al.* (2010). Estas correlações são apresentadas a seguir e baseiam-se na análise imediata.

$$C(\%) = 0,635 \cdot CF(\%) + 0,460 \cdot MV(\%) - 0,095 \cdot CZ(\%) \quad (1)$$

$$H(\%) = 0,059 \cdot CF(\%) + 0,060 \cdot MV(\%) - 0,010 \cdot CZ(\%) \quad (2)$$

$$O(\%) = 0,340 \cdot CF(\%) + 0,469 \cdot MV(\%) - 0,023 \cdot CZ(\%) \quad (3)$$

A porcentagem em massa de N+S foi determinada indiretamente por diferença, dada pela soma das porcentagens em massa de C, H, O e CZ subtraídas de 100% em massa, em base seca.

Poder calorífico

Nhuchhen e Abdul Salam (2012) propuseram uma correlação bem reconhecida para calcular o conteúdo de energia expresso no Poder Calorífico Superior (PCS) com base na análise imediata. Essa correlação, Eq. (4), foi adotada para o cálculo do PCS.

$$PCS(MJ \cdot Kg^{-1}) = 19,2880 - 0,2135 \cdot \left(\frac{MV}{CF}\right) - 1,9584 \cdot \left(\frac{CZ}{MV}\right) + 0,0284 \cdot \left(\frac{CF}{CZ}\right) \quad (4)$$

Aproveitando os resultados de PCS e análise elementar, em base seca, a Eq. (5) foi utilizada para calcular o Poder Calorífico Inferior (PCI) (KAN et al., 2016). Ambos PCS e PCI foram calculados em MJ kg⁻¹.

$$PCI(MJ \cdot Kg^{-1}) = PCS(MJ \cdot Kg^{-1}) - 0,2183 \cdot H(\%) \quad (5)$$

Razão molar atômica

A razão hidrogênio sobre carbono (H/C) e razão oxigênio sobre carbono (O/C) foram calculadas usando a análise elementar e a massa molar de carbono (12 kg kmol⁻¹), hidrogênio (1 kg kmol⁻¹) e oxigênio (16 kg kmol⁻¹), conforme segue (PEDUZZI et al., 2016):

$$H/C = \frac{H(\%)/1}{C(\%)/12} \quad (6)$$

$$O/C = \frac{O(\%)/16}{C(\%)/12} \quad (7)$$

Composição lignocelulósica

A análise de composição lignocelulósica foi conduzida para estimar o teor de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos. As frações mássicas de celulose e lignina foram estimadas de acordo com as correlações de Sheng e Azevedo (2002), que são adequadas para uma grande variedade de amostras de biomassa. Essas correlações empíricas podem ser aplicadas a biomassa com razões molares atômicas O/C de 0,56 a 0,83, H/C de 1,26 a 1,69 e VM de 73 a 86% em massa (em base seca livre de cinzas), usando a Eq. 8 (celulose) e Eq. 9 (lignina) (SHENG & AZEVEDO, 2002; XING et al., 2019).

$$Celulose = -1019,07 + 293,810 \cdot (O/C) - 187,639 \cdot (O/C)^2 + 65,1426 \cdot (H/C) - 19,3025 \cdot (H/C)^2 - 21,7448 \cdot (VM) - 0,132123 \cdot (VM)^2 \quad (8)$$

$$Lignina = 612,099 + 195,366 \cdot (O/C) - 156,535 \cdot (O/C)^2 + 511,357 \cdot (H/C) - 177,025 \cdot (H/C)^2 - 24,3224 \cdot (VM) - 0,145306 \cdot (VM)^2 \quad (9)$$

As frações de hemicelulose e extrativos podem ser calculadas usando a Eq. 10 (XING et al., 2019), e a Eq. 11 (por diferença) (PROTÁSIO et al., 2013), respectivamente.

$$Hemicelulose = VM - Celulose - Lignina \quad (10)$$

$$Extrativos = 100\% - Celulose - Lignina - Hemicelulose \quad (11)$$

Densidade aparente

De acordo com a norma técnica ASTM E873-82 (ASTM, 2019), cada planta invasora foi caracterizada quanto à densidade aparente usando uma proveta graduada e uma balança digital analítica modelo ATY-224 (Shimadzu, Tóquio, Japão) com precisão de 0,0001, com base na massa da amostra correspondente para um volume fixo de 1 cm³.

Densidade energética

A densidade energética foi calculada multiplicando a densidade aparente pelo PCI, conforme definido pela Eq. 12 (SANTANA *et al.*, 2021).

$$\text{Densidade energética} (MJ \cdot m^{-3}) = \text{Densidade aparente} (kg \cdot m^{-3}) \cdot \text{PCI} (MJ \cdot kg^{-1}) \quad (12)$$

Equivalência com combustíveis fósseis

Utilizando como base os valores aproximados de densidade energética para combustíveis fósseis como petróleo (37,03 GJ m⁻³), óleo diesel (36,27 GJ m⁻³), óleo combustível (39,93 GJ m⁻³) e gasolina (32,62 GJ m⁻³) reportados por Protásio *et al.* (2013), é possível estimar o volume equivalente de combustíveis fósseis por metro cúbico de *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* (individualmente), conforme mostrado na Eq. 13. Em outras palavras, é possível obter a quantidade de combustível fóssil líquido necessária para produzir a quantidade equivalente de energia produzida pelas plantas invasoras.

$$\text{Volume equivalente} \left(m^{-3}_{(\text{Combustível Fóssil})} \cdot m^{-3}_{(\text{Biomassa})} \right) = \frac{\text{Densidade energética}_{(\text{Biomassa})} (GJ \cdot m^{-3})}{\text{Densidade energética}_{(\text{Combustível Fóssil})} (GJ \cdot m^{-3})} \quad (13)$$

Potencial de retenção de CO₂

Por fim, para estimar a massa de CO₂ (kg) impedida de ser liberada pelos combustíveis fósseis, foi utilizado o fator de emissão de cada combustível fóssil (kg CO₂ L⁻¹), desconsiderando as emissões de CO₂ da produção, colheita e transporte da biomassa. Os valores de referência para o fator de emissão de combustíveis fósseis típicos, como petróleo (3,43 kg CO₂ L⁻¹), óleo diesel (3,53 kg CO₂ L⁻¹), óleo combustível (2,94 kg CO₂ L⁻¹) e gasolina (3,94 kg CO₂ L⁻¹) foram obtidos a partir da literatura científica (PROTÁSIO *et al.*, 2013). A retenção potencial de CO₂ foi calculada a partir do Fator de Emissão (FE) usando a Eq. 14.

$$\text{Potencial de retenção de CO}_2 (Kg_{CO_2}) = FE (Kg_{CO_2} \cdot L^{-1}) \cdot \text{Volume equivalente} (L) \quad (14)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características energéticas obtidas para *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* estão resumidas na **Tabela 1**. Os resultados da análise imediata reportados no estudo realizado por Da Silva *et al.* (2020) foram utilizados como base para calcular a análise elementar, poder calorífico e composição lignocelulósica do bagaço de cana-de-açúcar, utilizando as correlações apresentadas na seção Materiais e Métodos, afim de permitir uma comparação apropriada com as plantas invasoras. O bagaço da cana-de-açúcar foi escolhido para fins de comparação por ser uma biomassa lignocelulósica amplamente utilizada para produção de energia. De acordo com o Balanço Energético Brasileiro (MME, 2021), a biomassa da cana contribuiu com cerca de 19,1% da oferta total de energia doméstica do Brasil em 2020.

Com base na análise imediata, porcentagens de 72,3–76,4% em massa de matéria volátil, 15,2–19,5% em massa de carbono fixo e 8,2–11,2% em massa de cinzas foram determinadas para as três plantas invasoras. Esses valores estão próximos da composição do bagaço de cana-de-açúcar apresentada na **Tabela 1**. O teor de cinzas é crítico para a conversão termoquímica da biomassa, pois um alto teor de cinzas pode causar problemas operacionais indesejáveis, como incrustações e escórias, que limitam a transferência de massa e calor (DA SILVA FILHO *et al.*, 2019). Assim, combustíveis sólidos com baixo teor de cinzas são geralmente preferidos, pois as substâncias presentes nas cinzas podem causar problemas operacionais durante o processo de conversão termoquímica da biomassa. Para as três plantas invasoras,

o teor de cinzas ficou dentro da faixa relatada para combustíveis comerciais de biomassa lignocelulósicos (0,6–9,8% em peso) (GARCÍA *et al.*, 2014).

A análise elementar das três plantas invasoras forneceu a seguinte composição (em base seca): 42,5–44,9% em massa em carbono, 37,1–40,8% em massa em oxigênio, 5,4–5,6% em massa em hidrogênio, 1,0–3,8% em massa em nitrogênio mais enxofre. Esta composição parece bastante razoável para fins bioenergéticos, considerando que García *et al.* (2014) relataram várias matérias-primas lignocelulósicas estabelecidas com valores dentro da faixa de 38,9–48,2% em massa para carbono, 45,2–54,1% em massa para oxigênio, 4,8–6,4% em massa para hidrogênio, 0,1–1,8% em massa para nitrogênio, e 0,1–2,0% em massa para enxofre (exceto carvão vegetal). Cabe destacar que as plantas invasoras *Andropogon bicornis* e *Sida rhombifolia* podem ser sugeridas como potenciais matérias-primas para a produção de bioenergia limpa, pois ambas contêm baixas quantidades de nitrogênio e enxofre, reduzindo as possíveis emissões relacionadas à sua conversão termoquímica.

Tabela 1. Caracterização físico-química para as plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* em comparação com o bagaço de cana-de-açúcar

Biomassa	<i>Andropogon Bicornis</i>	<i>Eupatorium maximilianii</i>	<i>Sida rhombifolia</i>	Bagaço de cana-de- açúcar
<i>Análise imediata</i> (m/m.%, base seca)				
Matéria volátil	72,34	73,33	76,44	76,92
Carbono fixo	19,50	15,50	15,24	15,18
Cinzas	8,16	11,17	8,32	7,90
<i>Análise elementar</i> (m/m.%, base seca)				
Carbono	44,88	42,52	44,05	44,27
Hidrogênio	5,57	5,43	5,57	5,59
Nitrogênio + Enxofre	1,01	3,79	1,22	2,82
Oxigênio	40,37	37,10	40,84	39,42
<i>Razão molar atômica</i>				
H/C	1,48	1,52	1,51	1,50
O/C	0,68	0,66	0,70	0,67
<i>Composição lignocelulósica</i> (m/m.%, base seca livre de cinzas)				
Celulose	41,50	43,44	43,19	43,13
Hemicelulose	9,85	15,62	17,16	16,82
Lignina	27,42	23,49	23,03	23,57
Extrativos	21,23	17,45	16,62	16,48
<i>Poder calorífico</i> (MJ kg ⁻¹ , base seca)				
PCS	18,33	18,01	18,05	18,05
PCI	17,11	16,83	16,83	16,83
<i>Densidade aparente</i> (kg m ⁻³ , base seca)				
	292,70	378,35	269,45	–

O PCS para três plantas invasoras variou a partir de 18,05 até 18,33 MJ kg⁻¹ (conforme listado na **Tabela 1**), o que está na mesma ordem de grandeza relatada para culturas estabelecidas para fins de bioenergia, como, por exemplo, *Panicum virgatum* (16,85 MJ kg⁻¹) (ROY & CORSCADDEN, 2012), *Phalaris arundinacea* (14,40 MJ kg⁻¹) (ALHUMADE *et al.*, 2019), *Miscanthus sinensis* (16,77 MJ kg⁻¹) (BOK *et al.*, 2013) e capim elefante (15,61 MJ kg⁻¹) (BRAGA *et al.*, 2014), e foi superior a alguns combustíveis fósseis sólidos, como, por exemplo, carvão sub-betuminoso (15,23 MJ kg⁻¹) (DOMENICO *et al.*, 2019) e linhita (15,90 MJ kg⁻¹) (HAYKIRI-ACMA *et al.*, 2010). Por outro lado, o PCI reflete na prática a quantidade máxima de energia que pode ser produzida a partir da combustão de biomassa, e o potencial energético recuperável

das três plantas invasoras que variou de 16,83 a 17,11 MJ kg⁻¹. Semelhanças podem ser identificadas comparando-se o PCI obtido para as três plantas invasoras com o poder calorífico do bagaço de cana (16,83 MJ kg⁻¹). Combinando os resultados atrativos de poder calorífico com seu baixo preço e alta disponibilidade, tornam essas plantas invasoras potenciais biomassas sólidas para combustão e geração de bioenergia.

A densidade aparente é uma característica importante no desenvolvimento de uma estratégia logística adequada para manuseio e transporte de biomassa. Conforme observado na **Tabela 1**, a ordem de densidade aparente para as plantas invasoras estudadas foi *Eupatorium maximilianii* (378,35 kg m⁻³) > *Andropogon bicornis* (292,70 kg m⁻³) > *Sida rhombifolia* (269,45 kg m⁻³). Esses valores são relativamente semelhantes à densidade aparente de biomassas lignocelulósicas conhecidas, como casca de coco (293,90 kg m⁻³) (MYTHILI *et al.*, 2013), bagaço da cana-de-açúcar (293,00 kg m⁻³) (MYTHILI *et al.*, 2013), talo de algodão (310,00 kg m⁻³) (MUNIR *et al.*, 2009), e capim-elefante (230,00 kg m⁻³) (BRAGA *et al.*, 2017). Normalmente, um valor de densidade aparente mais alto implica em baixos custos de armazenamento, transporte e manuseio.

Informações sobre a composição lignocelulósica, em termos de teores em massa de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, são necessárias para suportar potenciais aplicações em processos de conversão termoquímica. A composição lignocelulósica das três plantas invasoras, em base seca livre de cinzas, foi: 41,5–43,4% em massa de celulose, 23,0–27,4% em massa de lignina, 17,4–21,2% em massa extrativos e 9,8–17,2% em massa de hemicelulose. Conforme apresentado na **Tabela 1**, os resultados da composição lignocelulósica para as três plantas invasoras estão em concordância com os valores calculados para bagaço de cana-de-açúcar: 43,2% em massa de celulose, 23,6% em massa de lignina, 16,5% em massa de extrativos, e 16,8% em massa de hemicelulose.

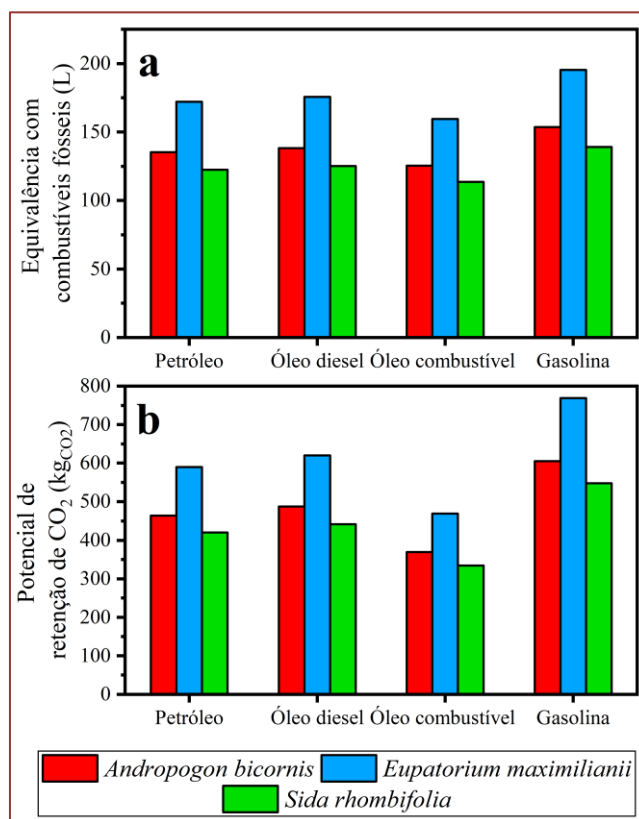
Em um esforço para obter informações sobre a equivalência com combustível fósseis e o potencial de retenção de CO₂, tanto a densidade energética quanto o fator de emissão para combustíveis fósseis líquidos convencionais (por exemplo, petróleo, óleo diesel, óleo combustível e gasolina) foram utilizados seguindo o procedimento encontrado na literatura (PROTÁSIO *et al.*, 2013). A equivalência com combustíveis fósseis e o potencial de retenção de CO₂ que seria alcançado com a substituição de combustíveis fósseis líquidos pelas plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* estão ilustrados na **Figura 1**.

Comparado as plantas invasoras *Andropogon bicornis* e *Sida rhombifolia*, a planta invasora *Eupatorium maximilianii* tem o maior equivalente em volume de combustível fóssil, conforme apresentado na **Figura 1a**. Nesse sentido, 1 m³ da planta invasora *Eupatorium maximilianii* é capaz de substituir aproximadamente 172 L de petróleo, 176 L de óleo diesel, 159 L de óleo combustível ou 195 L de gasolina para produzir uma quantidade similar de energia.

O uso de biomassa lignocelulósica para produção de bioenergia apresenta um balanço de carbono neutro. Ou seja, o carbono consumido no processo energético é devolvido à formação de biomassa em pouco tempo, se comparado aos combustíveis fósseis (ALVES *et al.*, 2019). Entre as plantas invasoras, o maior potencial de redução de emissões de CO₂ seria alcançado com a substituição de combustíveis fósseis líquidos por *Eupatorium maximilianii*, conforme apresentado na **Figura 1b**. Essa estimativa deve ser válida quando os combustíveis fósseis (principalmente óleo combustível e diesel) forem substituídos por biomassa para produção de eletricidade e calor.

Em resumo, características físico-químicas promissoras das biomassas *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* tornam essas plantas invasoras particularmente atraentes para uso como matérias-primas em potenciais aplicações em processos termoquímicos.

Figura 1. (a) Equivalência com combustíveis fósseis (L) (referente à 1 m³ de biomassa) e **(b)** potencial de retenção de CO₂ alcançado com a substituição de combustíveis fósseis líquidos pelas plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia*.



4. CONCLUSÃO

Pela primeira vez, as plantas invasoras *Andropogon bicornis*, *Eupatorium maximilianii* e *Sida rhombifolia* foram caracterizadas com ênfase em várias propriedades físico-químicas para avaliar seu potencial como matéria-prima em processos de conversão termoquímica. Combinando os resultados atrativos de análise imediata, análise elementar e composição lignocelulósica com alta disponibilidade a um baixo custo, as plantas invasoras tornam-se potenciais biomassas sólidas para processos de conversão termoquímica e produção de bioenergia.

As três plantas invasoras avaliadas apresentaram valores de poder calorífico e densidade aparente que estão próximos aos relatados na literatura para biomassas estabelecidas para fins de bioenergia. A espécie *Eupatorium maximilianii* possui o maior equivalente em volume de combustível fóssil em relação as espécies *Andropogon bicornis* e *Sida rhombifolia*, conseqüentemente contribuindo positivamente para o meio ambiente, pois seu uso como biocombustível pode levar à diminuição das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis líquidos convencionais. Em suma, os resultados deste trabalho demonstram que as plantas invasoras estudadas podem ser utilizadas como matérias-primas para a produção de bioenergia usando processos de conversão termoquímica. Assim, produzir bioenergia a partir de plantas invasoras pode ser uma rota promissora para complementar a oferta energética nacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) por meio do Programa de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-11.1/2021-ANP/MCT) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] ALHUMADE, H.; DA SILVA, J. C. G.; AHMAD, M. S.; ÇAKMAN, G.; YILDIZ, A.; CEYLAN, S.; ELKAMEL, A. Investigation of pyrolysis kinetics and thermal behavior of Invasive Reed Canary (*Phalaris arundinacea*) for bioenergy potential. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 140, n. November 2018, p. 385–392, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2019.04.018>.
- [2] ALVES, J.; DA TRINDADE, E.; DA SILVA, J.; MUMBACH, G.; ALVES, R.; BARBOSA FILHO, J.; DE ATHAYDE-FILHO, P.; DE SENA, R. Lignocellulosic Residues from the Brazilian Juice Processing Industry as Novel Sustainable Sources for Bioenergy Production: Preliminary Assessment Using Physicochemical Characteristics. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 31, n. 9, p. 1939–1948, 2020a. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20200094>.
- [3] ALVES, J. L. F.; DA SILVA, J. C. G.; DA SILVA FILHO, V. F.; ALVES, R. F.; DE ARAUJO GALDINO, W. V.; ANDERSEN, S. L. F.; DE SENA, R. F. Determination of the Bioenergy Potential of Brazilian Pine-Fruit Shell via Pyrolysis Kinetics, Thermodynamic Study, and Evolved Gas Analysis. *BioEnergy Research*, v. 12, n. 1, p. 168–183, 2019. *BioEnergy Research*. <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-019-9964-1>.
- [4] ALVES, J. L. F.; DA SILVA, J. C. G.; MUMBACH, G. D.; ALVES, R. F.; DE SENA, R. F.; MACHADO, R. A. F.; MARANGONI, C. Potential of macauba endocarp (*Acrocomia aculeate*) for bioenergy production: Multi-component kinetic study and estimation of thermodynamic parameters of activation. *Thermochimica Acta*, v. 708, p. 179134, 2022. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2021.179134>.
- [5] ALVES, J. L. F.; DA SILVA, J. C. G.; MUMBACH, G. D.; DOMENICO, M. Di; DA SILVA FILHO, V. F.; DE SENA, R. F.; MACHADO, R. A. F.; MARANGONI, C. Insights into the bioenergy potential of jackfruit wastes considering their physicochemical properties, bioenergy indicators, combustion behaviors, and emission characteristics. *Renewable Energy*, v. 155, p. 1328–1338, 2020b. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.025>.
- [6] ANTAR, M.; LYU, D.; NAZARI, M.; SHAH, A.; ZHOU, X.; SMITH, D. L. Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 139, n. April 2020, p. 110691, 2021. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110691>.
- [7] ARREGI, A.; AMUTIO, M.; LOPEZ, G.; BILBAO, J.; OLAZAR, M. Evaluation of thermochemical routes for hydrogen production from biomass: A review. *Energy Conversion and Management*, v. 165, n. January, p. 696–719, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.089>.
- [8] ASTM. E873-82: Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels. In: *Annual Book of ASTM Standards*. [s.n.]
- [9] BOK, J. P.; CHOI, H. S.; CHOI, J. W.; CHOI, Y. S. Fast pyrolysis of *Miscanthus sinensis* in fluidized bed reactors: Characteristics of product yields and biocrude oil quality. *Energy*, v. 60, p. 44–52, 2013. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.024>.
- [10] BRAGA, R. M.; MELO, D. M. A.; AQUINO, F. M.; FREITAS, J. C. O.; MELO, M. A. F.; BARROS, J. M. F.; FONTES, M. S. B. Characterization and comparative study of pyrolysis kinetics of the rice husk and the elephant grass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 115, n. 2, p. 1915–1920, 2014. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-013-3503-7>.
- [11] BRAGA, R. M.; MELO, D. M. A.; SOBRINHO, E. V.; BARROS, J. M. F.; MELO, M. A. F.; CARVALHO, A. F. M.; DO SOCORRO B FONTES, M.; FREITAS, J. C. O. Catalytic upgrading of Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) pyrolysis vapor using WO₃ supported on RHA and RHA-MCM-41. *Catalysis Today*, v. 279, p. 224–232, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2016.06.003>.
- [12] BRAZIL. Casa Civil, Presidência da República, LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Accessed 14 March 22. 2012. [s.n.].
- [13] DA SILVA FILHO, V. F.; BATISTELLA, L.; ALVES, J. L. F.; DA SILVA, J. C. G.; ALTHOFF, C. A.; MOREIRA, R. de F. P. M.; JOSÉ, H. J. Evaluation of gaseous emissions from thermal conversion of a mixture of solid municipal waste and wood chips in a pilot-scale heat generator. *Renewable Energy*, v. 141, p. 402–410, 2019. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.032>.
- [14] DA SILVA, J. C. G.; DE ALBUQUERQUE, J. G.; GALDINO, W. V. de A.; DE SENA, R. F.; ANDERSEN, S. L. F. Single-step and multi-step thermokinetic study – Deconvolution method as a simple pathway for describe properly the biomass pyrolysis for energy conversion. *Energy Conversion and Management*, v. 209, n. March, p. 112653, 2020. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112653>.
- [15] DOMENICO, M. D.; AMORIM, S. M.; COLLAZZO, G. C.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M. Coal gasification in the presence of lithium orthosilicate. Part 1: Reaction kinetics. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 141, p. 529–539, 2019. Institution of Chemical Engineers. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2018.11.011>.
- [16] DOWNEY, P. O.; RICHARDSON, D. M. Alien plant invasions and native plant extinctions: a six-threshold framework. *AoB Plants*, v. 8, p. plw047, 2016. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1093/aobpla/plw047>.
- [17] EHRENFELD, J. G. Implications of Invasive Species for Belowground Community and Nutrient Processes.

Weed Technology, v. 18, n. sp1, p. 1232–1235, 2004. [s.n.]. [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2004\)018\[1232:IOISFB\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2004)018[1232:IOISFB]2.0.CO;2).

- [18] ENGEL, E.; PASINI, M. P. B.; HÖRZ, D. C.; HESEL, A.; BARASSUOL, D. R.; CHASSOT, C. A. Natural enemies in alternative plants during the soybean and corn offseason in Cruz Alta, Rio Grande do Sul. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 42, p. e42479, 2019. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42479>.
- [19] GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Spanish biofuels heating value estimation. Part I: Ultimate analysis data. *Fuel*, v. 117, n. PARTB, p. 1130–1138, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.048>.
- [20] HAYKIRI-ACMA, H.; TURAN, A. Z.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. Controlling the excess heat from oxy-combustion of coal by blending with biomass. *Fuel Processing Technology*, v. 91, n. 11, p. 1569–1575, 2010. Elsevier B.V. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.06.004>.
- [21] HELLMANN, J. J.; BYERS, J. E.; BIERWAGEN, B. G.; DUKES, J. S. Five Potential Consequences of Climate Change for Invasive Species. *Conservation Biology*, v. 22, n. 3, p. 534–543, 2008. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>.
- [22] KAN, T.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 57, p. 1126–1140, 2016. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.185>.
- [23] MATSUMOTO, K.; DOUMPOS, M.; ANDRIOSPOULOS, K. Historical energy security performance in EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, n. December 2016, p. 1737–1748, 2018. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.058>.
- [24] MME. MME, Synthesis Report - Base Year 2020, Brazilian Energy Balance, 2021, pp. 1-73. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Accessed 14 March 22, 2021. [s.n.].
- [25] MUMBACH, G. D.; ALVES, J. L. F.; DA SILVA, J. C. G.; DI DOMENICO, M.; DE SENA, R. F.; MARANGONI, C.; MACHADO, R. A. F.; BOLZAN, A. Pyrolysis of cocoa shell and its bioenergy potential: evaluating the kinetic triplet, thermodynamic parameters, and evolved gas analysis using TGA-FTIR. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020. Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-020-01058-5>.
- [26] MUNIR, S.; DAOOD, S. S.; NIMMO, W.; CUNLIFFE, A. M.; GIBBS, B. M. Thermal analysis and devolatilization kinetics of cotton stalk, sugar cane bagasse and shea meal under nitrogen and air atmospheres. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 3, p. 1413–1418, 2009. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.065>.
- [27] MYTHILI, R.; VENKATACHALAM, P.; SUBRAMANIAN, P.; UMA, D. Characterization of bioresidues for biooil production through pyrolysis. *Bioresource Technology*, v. 138, p. 71–78, 2013. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.161>.
- [28] NHUCHHEN, D. R.; ABDUL SALAM, P. Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, v. 99, p. 55–63, 2012. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.015>.
- [29] PEDUZZI, E.; BOISSONNET, G.; MARÉCHAL, F. Biomass modelling: Estimating thermodynamic properties from the elemental composition. *Fuel*, v. 181, p. 207–217, 2016. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.111>.
- [30] PROTÁSIO, T. de P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; GUIMARÃES JUNIOR, M.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Brazilian Lignocellulosic Wastes for Bioenergy Production: Characterization and Comparison with Fossil Fuels. *BioResources*, v. 8, n. 1, p. 1166–1185, 2013. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.8.1.1166-1185>.
- [31] QUINN, L. D.; GORDON, D. R.; GLASER, A.; LIEURANCE, D.; FLORY, S. L. Bioenergy Feedstocks at Low Risk for Invasion in the USA: a “White List” Approach. *BioEnergy Research*, v. 8, n. 2, p. 471–481, 2015. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-014-9503-z>.
- [32] ROY, M. M.; CORSCADDEN, K. W. An experimental study of combustion and emissions of biomass briquettes in a domestic wood stove. *Applied Energy*, v. 99, p. 206–212, 2012. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.003>.
- [33] SANTANA, D. A. R.; SCATOLINO, M. V.; LIMA, M. D. R.; BARROS JUNIOR, U. de O.; GARCIA, D. P.; ANDRADE, C. R.; CARNEIRO, A. de C. O.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. de P. Pelletizing of lignocellulosic wastes as an environmentally friendly solution for the energy supply: insights on the properties of pellets from Brazilian biomasses. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 9, p. 11598–11617, 2021. *Environmental Science and Pollution Research*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-11401-y>.
- [34] SANTOS, M. V.; FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; TUFFI SANTOS, L. D.; FONSECA, D. M. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. *Planta Daninha*, v. 24, n. 2, p. 391–398, 2006. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000200024>.
- [35] SANTOS, R. T. S.; FERREIRA, M. C.; VIANA, R. G. Does the Use of Adjuvants Alter Surface Tension and Contact Angle of Herbicide Spray Droplets on Leaves of *Sida* spp.? *Planta Daninha*, v. 37, 2019. [s.n.].

<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582019370100082>.

[36] SEEBENS, H.; BLACKBURN, T. M.; DYER, E. E.; GENOVESI, P.; HULME, P. E.; JESCHKE, J. M.; PAGAD, S.; PYŠEK, P.; WINTER, M.; ARIANOUTSOU, M.; BACHER, S.; BLASIUS, B.; BRUNDU, G.; CAPINHA, C.; CELESTI-GRAPOW, L.; DAWSON, W.; DULLINGER, S.; FUENTES, N.; JÄGER, H.; KARTESZ, J.; KENIS, M.; KREFT, H.; KÜHN, I.; LENZNER, B.; LIEBHOLD, A.; MOSENA, A.; MOSER, D.; NISHINO, M.; PEARMAN, D.; PERGL, J.; RABITSCH, W.; ROJAS-SANDOVAL, J.; ROQUES, A.; RORKE, S.; ROSSINELLI, S.; ROY, H. E.; SCALERA, R.; SCHINDLER, S.; ŠTAJEROVÁ, K.; TOKARSKA-GUZIŁ, B.; VAN KLEUNEN, M.; WALKER, K.; WEIGELT, P.; YAMANAKA, T.; ESSL, F. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, v. 8, n. 1, p. 14435, 2017. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms14435>.

[37] SHEN, J.; ZHU, S.; LIU, X.; ZHANG, H.; TAN, J. The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n. 5, p. 983–987, 2010. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.039>.

[38] SHENG, C.; AZEVEDO, J. L. T. Modeling biomass devolatilization using the chemical percolation devolatilization model for the main components. *Proceedings of the Combustion Institute*, v. 29, n. 1, p. 407–414, 2002. [s.n.]. [http://dx.doi.org/10.1016/S1540-7489\(02\)80054-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1540-7489(02)80054-2).

[39] SIMBERLOFF, D. How common are invasion-induced ecosystem impacts? *Biological Invasions*, v. 13, n. 5, p. 1255–1268, 2011. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-011-9956-3>.

[40] SIMBERLOFF, D.; MARTIN, J.-L.; GENOVESI, P.; MARIS, V.; WARDLE, D. A.; ARONSON, J.; COURCHAMP, F.; GALIL, B.; GARCÍA-BERTHOU, E.; PASCAL, M.; PYŠEK, P.; SOUSA, R.; TABACCHI, E.; VILÀ, M. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 28, n. 1, p. 58–66, 2013. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>.

[41] SOLDATOS, P. Economic Aspects of Bioenergy Production from Perennial Grasses in Marginal Lands of South Europe. *BioEnergy Research*, v. 8, n. 4, p. 1562–1573, 2015. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-015-9678-y>.

[42] VITOUSEK, P. M.; WALKER, L. R. Biological Invasion by *Myrica Faya* in Hawai'i: Plant Demography, Nitrogen Fixation, Ecosystem Effects. *Ecological Monographs*, v. 59, n. 3, p. 247–265, 1989. [s.n.]. <http://dx.doi.org/10.2307/1942601>.

[43] XING, J.; LUO, K.; WANG, H.; FAN, J. Estimating biomass major chemical constituents from ultimate analysis using a random forest model. *Bioresource Technology*, v. 288, n. May, p. 121541, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121541>.

Capítulo 18

Estudo de energia fotovoltaica para uma cidade inteligente

Isabel Jacobs

Jorge Luis Palacios Felix

Resumo: Atualmente, estamos convivendo com algumas consequências do efeito estufa no dia-a-dia e presenciando o esgotamento dos recursos naturais. Acredita-se que ainda é possível contribuímos com o meio ambiente, por meio da energia solar, uma fonte de energia limpa e sustentável ao contrário da maioria das fontes de energia que utilizamos nos dias de hoje, retiradas da natureza de formas degradadoras. A energia solar tem demanda predominantemente residencial, mas também no setor comercial, como edifícios públicos, hospitais, restaurantes, hotéis, e outras empresas, sejam de grande ou pequeno porte, porém ainda não atingiu o seu auge, e ainda tem muito por conquistar no mercado de eletricidade. No entanto, ela ganha valor todos os dias, fazendo frente a outras modalidades de geração de energia, como as termelétricas e hidrelétricas. Este capítulo tem objetivo de estudar a energia fotovoltaica para cidade inteligente, para assim prever o crescimento de energia solar nas cidades com base em levantamento de variáveis através de questionários aplicados. O trabalho procurou demonstrar conceitos de cidades inteligentes e o estudo de energias renováveis, como nesse caso, a energia solar fotovoltaica direcionada às cidades inteligentes e sustentáveis. O método utilizado partiu da elaboração de um questionário, aplicado sob a forma online a uma amostra de entrevistados em um raio de uma distância de 150 quilômetros de Cerro Largo-RS. Por fim, foi realizado um estudo de caso, o qual obteve que 45,7% dos entrevistados têm interesse em adquirir a energia fotovoltaica, em longo prazo, desenvolvendo assim um meio urbano em transição para a sustentabilidade. A pesquisa mostrou capaz de mensurar a potencialidade da energia solar fotovoltaica nas cidades; todavia, ainda é uma proposta inicial, que pode ainda ser aprimorada.

Palavras-chave: Cidade inteligente, Energia fotovoltaica, Cidade sustentável, Sustentabilidade urbana.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se ser bastante comentado um assunto nas mídias referente as cidades inteligentes e sobre a energia solar, ao qual vem conquistando aos poucos o seu espaço, afim de tornar-se difundido no planejamento urbano sustentável. A consciência ambiental vem despertando interesse em cidades de todo o mundo, inclusive brasileiras, para a utilização dessas fontes de energia renováveis, como forma de reduzir o impacto ambiental local e universal, por meio de ações responsáveis com o planeta pela coletividade (BRASIL, 2015).

Smart Cities (Cidades Inteligentes) é um conceito dado para as cidades, onde se busca melhorias no contexto delas utilizando tecnologias emergentes. As Smart Cities são um novo tipo de planejamento urbano que tem como objetivo tornar as cidades mais agradáveis, inclusivas, mais verdes e limpas, sendo um ponto crucial para a melhoria da qualidade de vida de bilhões de pessoas que vivem em cidades em todo o mundo (COCCHIA, 2014).

O planeta se encaminha para populações cada vez mais numerosas, necessitando de um planejamento e de uma sustentabilidade urbana. Para um planejamento urbano adequado precisa-se de ações estratégicas com eficácia do governo, encaminhando as cidades para modelos mais inteligentes e sustentáveis.

De acordo com o Relatório *World Urbanization Prospects 2018*, da Organização das Nações Unidas, prevê que até 2050, cerca de 6,6 bilhões de pessoas estarão vivendo em complexos aglomerados urbanos. Por isso, o planejamento das cidades têm se tornado alvo de debates.

Atualmente, as cidades são cenário de grande parte dos problemas ambientais globais. Perante essa instigação, soluções para as cidades vêm sendo debatidas e comentadas na academia, essas muitas vezes conhecidas como: *smart city*, *sustainable city*, *cognitive city*, *knowledge-based city*, entre outros (ABDALA et al., 2014).

Pesquisas indicam que o termo cidade inteligente apresenta novas tecnologias e suas aplicações nas cidades (KUIKKANIEMI et al., 2011) tal e qual, aplicabilidade na administração pública também (ODENDAAL, 2003; NAPHADE et al., 2011; LEE; BAIK; LEE, 2011).

Diante disto, a proposta deste capítulo é estudar a energia fotovoltaica para cidade inteligente, para assim prever o crescimento de energia solar nas cidades com base em levantamento de variáveis através de questionários aplicados e posteriormente, elaborar um modelo de residência/ cidade inteligente integrada à energia solar fotovoltaica.

Neste capítulo serão mostrados os conceitos das cidades inteligentes, apontando as definições mais aceitas na literatura e discutindo as tecnologias necessárias para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo buscou apresentar uma revisão bibliográfica com o intuito de conhecer o que está sendo produzido em relação ao tema cidades inteligente com enfoque na energia solar. Este levantamento teve como base artigos completos publicados no portal de Periódico da CAPES, utilizando critérios para a seleção dos trabalhos, encontrando artigos entre os anos de 2008 a 2020, nos tópicos nas áreas de energias renováveis, cidades inteligentes, energia solar fotovoltaica, Smart city, conforme apresentado no quadro um.

Além da seleção desses trabalhos, a pesquisa teve embasamento em dissertações de mestrado, teses de doutorado, Google Scholar, E-book, revistas, Webnários, livros, manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, monografia, normas brasileiras, portfólio científico e relatório de iniciação científica.

2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Entre as fontes de energia renovável, pode-se citar a energia solar, utilizada em aquecimento de caixa de água; placas fotovoltaicas são usadas em coberturas, como na cobertura da arquibancada de um estádio de futebol; placas solares são usualmente empregadas na fachada e na cobertura dos prédios, tornando-se um edifício sustentável.

Muitos benefícios podem justificar a utilização da energia solar em direção a uma cidade inteligente e sustentável. A energia solar pode fornecer uma fonte de energia limpa e de baixo custo de manutenção

para as residências, não gerando poluentes ao meio ambiente; fornece maior eletricidade nos momentos de maior demanda, possível de levar eletricidade e sustentabilidade em locais isolados; agilidade e facilidade de instalação, a vida útil do sistema pode variar em torno de 25 anos, podendo gerar uma economia de até 95% na conta de energia elétrica. Essa energia apresenta um enorme potencial ainda a ser alcançado, pois, no país, o sol brilha em torno de 280 dias por ano e contempla uma das maiores reservas de silício do mundo, componente esse que é a principal matéria prima para a fabricação de painéis solares.

A energia solar é uma tecnologia que está entrando no mercado e tem tudo para se tornar promissora, sendo encontrados estudos a seu respeito em diversas partes do mundo.

Os chamados geradores fotovoltaicos são fontes de energia elétrica bem estabelecidas, com cerca de 21 GW de capacidade mundial instalada em 2010, e com taxas de crescimento anuais projetadas de 25%-30% para as próximas duas décadas (DENG et al., 2013).

O líder global em utilização de energia elétrica fotovoltaica é a Alemanha, pois teve um programa alemão de 1999, destinado a cobrir 100.000 telhados com células solares, onde, foi considerado o primeiro do mundo a promover a tecnologia fotovoltaica em grande escala, e previa empréstimos a juro zero, que iniciavam apenas a partir do terceiro ano de implementação do sistema. Em relação à energia fotovoltaica, a Alemanha tem aproximadamente metade da insolação solar disponível em outros lugares mais iluminados, como no Norte da África, o que afasta as desculpas, que pregam a inviabilidade desta matriz em locais com pouca insolação (GONÇALVES et al., 2016).

Para alcançar o conhecimento, faz-se necessário explicitar o conceito de energias renováveis e cidades inteligentes e sustentáveis, tornando esta pesquisa mais compreensível e conclusiva.

Energia solar é aquela proveniente do sol. Esta energia é captada por painéis solares, formados por células fotovoltaicas, e transformada em energia elétrica ou mecânica.

A utilização de energia fotovoltaica, e a sua aplicação em escolas públicas, prédios, residências, hospitais é importante para a redução de gastos econômicos e para os impactos no meio ambiente; e ainda aproveitando a oportunidade de oferecer nas escolas desde cedo um conhecimento sobre tecnologias sustentáveis e a sua importância, criando assim um ambiente e educando crianças e jovens para uma construção de uma consciência coletiva, construindo adultos mais engajados na conservação do meio ambiente.

Discutir a sustentabilidade se tornou importante, pois isso vem afetando a qualidade de vida das cidades e da humanidade. No dia-a-dia, nota-se em jornais, televisão e sites na internet, várias cidades sofrendo e realizando o racionamento de água e também de energia em várias regiões do Brasil.

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes primárias menos poluente, sendo uma fonte silenciosa, modular, necessitando de pouca manutenção, possui prazos de instalação, provoca impacto ambiental quase nulo, sendo facilmente integrada nas edificações, gera eletricidade para o local, sem depender de linhas de transmissão, em que essas ocasionam perdas e alto impacto ambiental.

A Resolução Normativa nº. 482/2012 do setor de energia elétrica e recursos federais para o financiamento de investimentos em energias renováveis são formas de incentivos disponibilizados à implantação de energias renováveis. Trata-se de uma oportunidade recente no Brasil, sem muita discussão na literatura científica. O incentivo para implantação desse tipo de tecnologia pode vir a gerar resultados benéficos para o país. Apresenta-se como uma possível alternativa para promover a sustentabilidade econômica, social e ambiental, alcançando um impacto ambiental e social positivo, apresentando-se como uma tecnologia economicamente viável.

Embora haja vantagens na utilização de energia solar, há inconvenientes: preço, impactos ambientais, falta de domínio da tecnologia para produzir equipamentos no Brasil, medidas políticas embrionárias e falta de esclarecimento à população acerca dos benefícios da energia solar. Porém, com tantos empecilhos para a implantação desses sistemas no Brasil, a energia solar é uma alternativa concreta, tanto no aspecto econômico (longo prazo) quanto no ambiental. Acredita-se que havendo mais informações a respeito das vantagens econômicas e ambientais da energia solar, haverá uma predisposição imediata da sociedade, em adotar individualmente seus próprios sistemas de energia solar.

A necessidade de utilizar fontes geradoras de energia renovável já foi defendida por vários autores, como Monzoni et al. (2010), Lucon e Goldemberg (2009), no qual apontaram que as energias renováveis não devem ser consideradas como alternativas e sim como prioritárias.

No caso brasileiro, a maior parte do território está próximo da linha do Equador, porém, a maior parte da população brasileira e as atividades socioeconômicas estão em regiões distantes da linha Equatorial, como o exemplo de Porto Alegre (capital brasileira mais ao sul), não inviabiliza o aproveitamento da radiação solar pela energia fotovoltaica, pois os painéis podem ser ajustados conforme a latitude local e o período de maior demanda de energia solar, como o verão.

Portanto, percebe-se, que os obstáculos para a implantação de painéis fotovoltaicos não estão relacionados ao espaço disponível a instalação desses painéis, porque podem ser instalados nos telhados das casas, por exemplo.

A tabela um retrata a potência total instalada de energia fotovoltaica em cada classe, ou seja, na classe residencial, comercial, industrial, rural, usada pelo poder público e na iluminação do serviço público do ano de 2019, segundo dados da ANEEL.

Tabela 1: Potência fotovoltaica instalada no Brasil

Classe	Potência Instalada (kW)	%
Residencial	241.846.08	41,9%
Comercial	208.796.47	36,2%
Industrial	60.085.05	10,4%
Rural	47.452.22	8,2%
Poder Público	16.814.88	2,9%
Iluminação/ Serviço Público	1.935.81	0,3%

Fonte: Adaptado de ANEEL,2019

Na tabela acima, observou-se que somando a classe residencial e a classe comercial, chegam a 80% da capacidade de energia fotovoltaica instalada no ano de 2019, segundo dados da ANEEL, ficando em primeiro lugar a classe residencial.

Alguns países já fazem o uso de sistemas solares de grande porte, com ideias propostas por empresas e pesquisadores da utilização de sistemas fotovoltaicos em larga escala, como é o caso da empresa japonesa Sanyo, onde, o projeto GENESIS (Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids), prevê a instalação, ao redor da terra, de um cinturão de centrais solares interconectados com hipercondutores, para suprir a energia de toda a humanidade.

Já, na Austrália, há o projeto da Torre Solar, apto para projetar 200 MW de energia fototérmica, por meio de uma estrutura de 1000 metros de altura por 150 metros de diâmetro, com estimativa de aplicação de 800 milhões de dólares (SOLAR MISSION, 2006).

2.2. NOVOS CONCEITOS DE CIDADES INTELIGENTES

A origem do conceito de cidade inteligente se origina desde o movimento crescimento inteligente, no final dos anos 90, que resguardava que os governos das cidades ampliassem novas políticas de desenvolvimento de área urbana que incentivassem o aumento da eficiência urbana em relação à energia, transporte, uso da terra, em reação a altos impactos do congestionamento do tráfego e a poluição do ar.

O conceito de cidade inteligente nasceu em 1994 (GONÇALVES et al., 2016). Porém, é usado no mundo todo com diferentes nomenclaturas e significados.

Diversos autores já realizaram estudos com diferentes conceitos sobre cidade inteligente, considerando diferentes formas de pensamento e suas características. O quadro um apresenta alguns estudos encontrados na literatura realizados por diferentes autores e os objetivos de trabalhos realizados sobre cidades inteligentes.

Buscou-se através desse levantamento teórico, embasar o projeto de pesquisa com diferentes ideias sobre o tema correspondente, ou seja, o conceito cidades inteligentes.

Quadro 1: Resumo dos principais estudos sobre cidades inteligentes

Autor e ano	Título do artigo	Palavras-chave	Objetivo	Revista
GONÇALVES et al., (2016)	A contribuição das fontes de energia renováveis para a construção de cidades digitais inteligentes: Uma breve análise do contexto brasileiro.	Fontes de energia renováveis; Energia fotovoltaica; Cidade digital inteligente; Edificações.	Contribuir para a reflexão sobre a integração de energias renováveis na construção de cidades digitais inteligentes.	Revista Espacios
ABREU; MARCHIORI (2020)	Aprimoramentos sugeridos à ISO 37.120 “Cidades e comunidades sustentáveis” advindos do conceito de cidades inteligentes.	Cidades inteligentes; ISO 37120; Cidades inteligentes sustentáveis; Indicadores; Medição de desempenho.	Pesquisas por estudos anteriores que pudessem ser referência em indicadores sobre cidades inteligentes, complementares à ISO 37.120:2018 “Sustainable cities and communities- Indicators for city services and quality of life”.	Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
LAZZARETTI et al., (2019)	Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras.	Cidades inteligentes; Redes; UCINET.	Identificar a rede de pesquisadores brasileiros que estudam cidades inteligentes e descrever as principais contribuições para o debate sobre o tema.	Revista Brasileira de Gestão Urbana
ABDALA et al., (2014)	Como as cidades inteligentes contribuem para o desenvolvimento de cidades sustentáveis? Uma revisão sistemática de literatura.	Cidade inteligente; Cidade sustentável; Revisão sistemática; Desenvolvimento sustentável; Visão integrada.	Identificar como as cidades inteligentes estão contribuindo para a construção de uma cidade sustentável.	International Journal of Knowledge Engineering and Management
HOLLANDS, (2008)	Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?	—	Fornecer uma polêmica crítica preliminar contra alguns dos aspectos mais retóricos das cidades inteligentes; Problematizar uma série de elementos que caracterizam esta nova forma urbana, bem como questionar algumas das suposições/ contradições subjacentes escondidas dentro do conceito.	Taylor & Francis. City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action
SILVA et al, (2020)	CISSA: Intelligent and Safe City Conceptual Model Based on a Self-Adaptive System.	Smart city; Public security; Self-adaptive system; Computational solutions.	Desenvolver um modelo conceitual denominado cidade inteligente e segura baseado em Sistema Autoadaptativo.	Research, Society and Development
AZEVEDO; OLIVEIRA, (2020)	Smart city e mobilidade: análise do estudo do plano de mobilidade da smart city Cidade de Votuporanga – um estudo de caso.	Smart Cities; Mobilidade; Indicadores; Votuporanga.	Analisar um estudo realizado pela prefeitura da cidade de Votuporanga para implantar o Plano de Mobilidade Urbana; Entender se a cidade se encontra no caminho de se tornar uma Cidade Inteligente; Entender se a cidade possui bons resultados.	Brazilian Journal of Development

Quadro 2: Resumo dos principais estudos sobre cidades inteligentes (continuação)

Autor e ano	Título do artigo	Palavras-chave	Objetivo	Revista
GOMES; LONGO, (2020)	Cidades inteligentes sob a perspectiva da sustentabilidade: Um desafio além da tecnologia.	Cidades inteligentes; Sustentabilidade Inovação; Transformação	Fornecer o resultado de vasta pesquisa pautada na tecnologia e o fator humano em como impactam o desenvolvimento de cidades inteligentes.	Brazilian Journal of Development
GOMES et al, (2020)	Smart cities: construção sustentável e edifícios inteligentes são tendências para o futuro.	Smart Cities; Smart Buildings; Internet das Coisas; Sustentabilidade Qualidade de vida.	Apresentar os conceitos vinculados aos chamados smart buildings, bem como, a aplicação de soluções sustentáveis, vinculadas a tecnologia nestas edificações; Buscar uma minimização do processo acelerado de urbanização no país.	Brazilian Journal of Development
GUIMARÃES et al, (2020)	A implantação de cidades inteligentes no Nordeste brasileiro: um breve diagnóstico.	Cidades inteligentes; Cidades sustentáveis; Cidades Digitais; Nordeste Brasileiro; Projetos inteligentes.	Analisar o resultado do 'Ranking Connected Smart Cities', do ano de 2018, e as informações referentes à região do Nordeste brasileiro.	Revista de Direito da Cidade
CARNEVALI; ALCANTARA, (2020)	Cidades inteligentes e a sustentabilidade urbana.	Cidade Inteligente; Sustentabilidade, Big Data; Internet das Coisas.	Investigar a recente experiência mundial de sistemas digitais inteligentes, com a finalidade de garantir a sustentabilidade das cidades; examinar as concepções públicas, motivações, implementações, características e nível de maturidade.	Caderno Intersaberes
CARVALHO et al, (2020)	Smart Cities: avaliação das características dos Ecossistemas de inovação de duas cidades Inteligentes brasileiras.	Cidade Inteligente; Ambiente de Inovação.	Investigar quais são as características dos ecossistemas de inovação das cidades mais inteligentes do mundo para análise e aperfeiçoamento das cidades brasileiras.	Cadernos de Prospecção – Salvador

Fonte: Elaborado pela Autora, 2022

Para Gonçalves et al. (2016) é necessário o entendimento dos conceitos sobre as cidades inteligentes em relação ao uso das energias renováveis, para assim concluir o estudo.

Lazzaretti et al., (2019) afirmam que usaram em suas pesquisas conceitos de cidades inteligentes de autores internacionais, onde poucos autores brasileiros arriscaram em criar o seu próprio conceito.

Os estudos desenvolvidos por Hollands (2008) demonstraram críticas sobre as cidades que têm sido chamadas como *Smart/inteligente*, por apresentarem dificuldade em lidar com o aumento da desigualdade social.

Abdala et al., (2014) consideram que cidade inteligente é sinônimo de cidade resiliente e sustentável, com capacidade de adaptação e construções inteligentes, como criação de ambientes de convivência sustentáveis.

Segundo Azevedo et al., (2020) para se construir uma cidade inteligente é preciso pensar nos fatores que contribuem para que a população possa ter um ambiente eficaz na questão do desenvolvimento e qualidade. Para tanto as *Smart Cities* são uma tentativa de responder a esses desafios.

Quando o assunto é desenvolvimento sustentável, podemos ter as cidades inteligentes. Elas são projeção do ambiente urbano futuro e são cidades que evoluíram ao longo do tempo (ABREU; MARCHIORI, 2020).

Para considerar uma cidade inteligente é necessário estar de acordo com os parâmetros do Acordo de Paris, principalmente com a urbanização das cidades e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, onde esse acordo foi assinado por 195 países, inclusive o Brasil, e é um tratado mundial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GOMES; LONGO, 2020).

Especialistas não conseguem fazer uma única classificação de cidade inteligente, devido à variedade de tecnologias envolvidas e aos problemas de sustentabilidade urbana diferentes que cada cidade pode ter (CARNEVALI; ALCANTARA, 2020).

Já as pesquisas desenvolvidas por Carvalho et al. (2020) sobre a definição de cidade inteligente leva em consideração o desempenho de nove dimensões fundamentais: capital humano, coesão social, economia, governança, meio ambiente, mobilidade e transporte, planejamento urbano, alcance internacional e tecnologia.

Quando se busca a questão da sustentabilidade permeia a definição de cidade sustentável, porém, também compreende o conceito das Smart Cities (GUIMARÃES et al., 2020).

Segundo o *British Standards Institution* (BSI, 2014), cidades inteligentes trazem alguns benefícios como um sustentável, próspero e inclusivo futuro aos cidadãos e justifica o sinônimo cidades inteligentes sustentáveis (HARA et al., 2016; AHVENNIEMI et al., 2017).

As edificações nas *Smart Cities* devem possuir projetos que reduzem os impactos ambientais, como, aproveitamento de águas pluviais, produção de energia solar, através da energia fotovoltaica, e entre outras soluções que não prejudicam o meio ambiente (GOMES et al., 2020).

Embora existam cidades em todo o mundo tentando se tornar modelos de cidades inteligentes, nenhuma até hoje conseguiu colocar em prática todas as qualidades de cidades inteligentes (HAYAT, 2016).

Cidade inteligente tornou-se um exemplo a ser seguido pelas cidades, atraindo olhares dos governos, da política, universidades e institutos de pesquisas. A China é um verdadeiro exemplo, aonde cada dia vem se urbanizando rapidamente com 120 iniciativas, abrangendo ecos-cidade, cidades de baixo carbono e cidades inteligentes.

Entre todos os autores e pesquisas realizadas, cada um emprega o conceito internacional de cidade inteligente diferente, onde, percebeu-se uma gama grande de vários conceitos e definições diferentes, cabendo cada pesquisador a optar pelo conceito que foi de melhor entendimento para a sua visão de pensamento ou criar o seu, onde não foi encontrado algum conceito criado recentemente. Também verificou-se que as cidades inteligentes possuem bastante características pelo seu nome, onde foi difícil encontrar alguma cidade que já possuía todas as características que se enquadram no termo de cidade inteligente.

O termo cidades inteligentes teve sua evolução ao longo dos anos, principalmente entre os anos 2010 a 2014.

Os autores, veem as cidades inteligentes como aquelas capazes de adicionar qualidades, como a infraestrutura digital e utilização das tecnologias da informação e comunicação (TIC), no meio urbano, liderança em ambiente de negócios, inclusão social, governo eletrônico, eficiência em governança, preocupação com indústrias criativas e de alta tecnologia, aprimoramento constante do capital humano, desenvolvimento urbano e sustentabilidade ambiental e social (KANTER; LITOW, 2009; GIFFINGER; HAINDLMAIER, 2010; TOPPETA, 2010; CANTON, 2011; DUTTA et al., 2011; NAM & PARDO, 2011; THITE, 2011; BARRIONUEVO et al., 2012; KOURTIT; NIJKAMP; ARRIBAS, 2012; LAZAROIU; ROSCIA, 2012; ZYGIARIS, 2013).

As cidades brasileiras vêm se aperfeiçoando para se tornarem “mais inteligentes”, mas para isso elas têm investido em outros projetos. Esses projetos “piloto” costumam ser sustentados por estabelecimentos de telecomunicações. Um exemplo de um projeto piloto custeado pela Telefônica/Vivo é o da cidade de Águas de São Pedro, município de turismo do interior de São Paulo.

Uma grande iniciativa de cidade inteligente é apresentada na imagem abaixo, uma usina fotovoltaica pela Unimed Missões/RS localizada na Rua Universidade das Missões, trevo de acesso à Perimetral Norte, em Santo Ângelo/RS. Esta instalação tem uma potência total de 1.366MWp e gerará 45MWh em 25 anos, além da redução de CO² equivalente a cerca de 150 mil árvores plantadas.

Figura 1. Usina fotovoltaica

(Adaptado de Unimed Missões/RS)

Como apresentado na figura acima, é possível sim, ter exemplos de iniciativas de cidade inteligente, e ainda aqui perto da cidade de Cerro Largo-RS.

2.2.1. CRITÉRIOS CIDADE INTELIGENTE

Definido pela IESE Business School (Espanha), os nove critérios que definem uma cidade inteligente, conforme o quadro dois.

Quadro 2: Critérios das cidades inteligentes

Critério	Desafios	Indicadores
Capital humano	Atrair e reter talentos em diferentes áreas deve ser um dos objetivos de uma cidade inteligente	Número de Universidades, Escolas, Museus, Galerias de Arte, Gastos com lazer.
Coesão social	Grau de coexistência entre grupos de pessoas com diferentes rendas, culturas, idades e profissões.	Criminalidade; saúde; taxa de desemprego e distribuição de renda.
Economia	Avaliação da promoção do desenvolvimento econômico do território, como planos locais para indústria, inovação e iniciativas empreendedoras.	PIB da cidade; produtividade e o tempo necessário para iniciar um negócio.
Governança	Verificação da eficiência, qualidade e estabilidade das intervenções estatais.	Reservas econômicas das cidades; certificações de qualidade de serviços; percepção da corrupção.
Meio Ambiente	Crescimento de forma sustentável (tripé da sustentabilidade).	Índice de poluição e de emissão de CO ² e Metano; acesso da população à água potável.
Mobilidade e Transporte	Dois desafios principais: facilitar a movimentação nas cidades e ampliar o acesso aos serviços públicos.	Cobertura dos sistemas de metrô, sistemas de compartilhamento de bicicletas; tempo médio de deslocamento.
Planejamento Urbano	Sustentabilidade é palavra chave.	Porcentagem da população com acesso a saneamento básico; número de pessoas por moradia; número de edifícios construídos na cidade.
Conexões Internacionais	Medição do impacto global da cidade (marca e reconhecimento); capacidade de atração de investimentos estrangeiros.	Número de aeroportos, hotéis, conferências e congressos sediados na cidade
Tecnologia	Avaliação do acesso à tecnologia (Cities Motion Index)	Porcentagem de casas com acesso à internet, à banda larga e à telefonia móvel; nível de inovação da cidade via <i>Innovation Cities Program</i> .

Fonte: Elaborado pela Autora, 2022

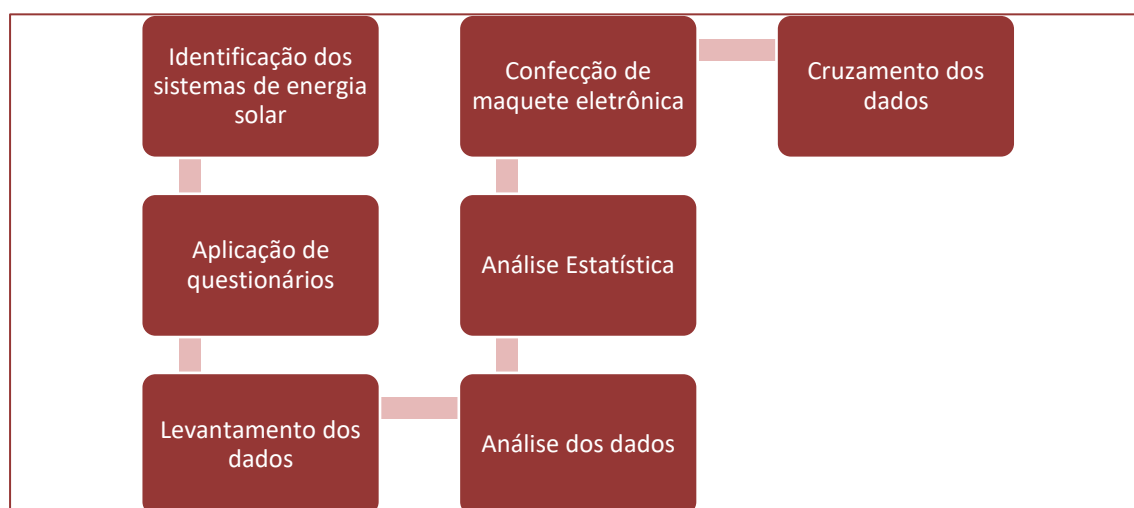
As cidades inteligentes são enquadradas em diversos critérios, embasadas com desafios e com exemplos de indicadores a seguir. Porém, de nada adianta as cidades inteligentes sem que o cerne da mudança contemple as questões de sustentabilidade.

3. MÉTODOS

A metodologia usada é uma revisão teórica da literatura, com um questionário semiestruturado aplicado a um estudo de caso para atingir um raio de até 150 quilômetros da cidade de Cerro Largo, Rio Grande do Sul.

Para esta pesquisa, optou-se por atingir um raio de até 150 quilômetros da cidade de Cerro Largo – Rio Grande do Sul, que é a cidade que resido e é a cidade do campus da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), que também curso o Mestrado do programa de pós graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis.

Figura 2: Fluxograma da etapa metodológica



(Elaborado pela autora, 2022)

O objetivo de aplicar este questionário atingindo um raio de 150 km (quilômetros) de Cerro Largo-RS, é para avaliar se a energia fotovoltaica se dissipará nas cidades, observando ainda, se elas possam ser vistas como cidades inteligentes, através do levantamento de dados, análise e cruzamento para então chegar a uma conclusão, conforme a sequência é mostrada na figura acima.

3.1 FORMULÁRIO ON-LINE PARA PESQUISA DE OPINIÃO

Nesta etapa foi elaborado e aplicado um formulário on-line para coletar as percepções de diferentes cidadãos com formações variadas, sobre o que eles sabem sobre energia solar fotovoltaica, se já utilizam ou se possuem o interesse em utilizar. O questionário englobou quais os conhecimentos que o público que o respondeu detém a respeito da utilização dessa tecnologia.

Os questionários são comumente utilizados em pesquisas nas ciências sociais, buscando fazer a caracterização de uma amostra da população a ser estudada. Segundo Günther (2003), o questionário é usado para identificar a opinião, e o interesse da população e não tentar medir a sua habilidade, no qual este é o objetivo desta pesquisa, identificar o interesse e opiniões da população sobre a tecnologia fotovoltaica. A própria elaboração do questionário considerou alguns fatores para aumentar as taxas de respostas, convencendo mais participantes a responder a esta pesquisa. Entre os fatores estão: buscar impessoalidade nas respostas; divulgar a afiliação e a identificação da pesquisadora e o contexto e os objetivos da pesquisa.

A amostra foi composta por discentes e docentes do programa de pós graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Cerro Largo/RS, abrangendo este grupo os pertencentes aos anos de 2020 e 2021; outro grupo foram técnicos e servidores desta mesma universidade e por fim a população em geral, em um raio de até 150km (quilômetros) da cidade de Cerro Largo-RS. Para contato dos grupos aplicados nesta pesquisa, discentes e docentes, foram utilizados os e-mails disponibilizados pela secretaria do curso de mestrado.

Neste trabalho, foram enviados cerca de 255 de formulários, onde pretendeu-se atingir e obter cerca de 45% à 50% de respostas. Esses formulários foram enviados para diversos grupos, entre eles: discentes deste programa de pós-graduação no ano de 2021, abrangendo 41 envios de formulários e do ano de 2020, foram 44 formulários enviados; para 96 professores da universidade, para 74 técnicos administrativos da mesma universidade, inseridos todos no mesmo Campus da cidade de Cerro Largo - RS. Cartana (2006) trabalhou com pesquisa semelhante, alcançando de 15% a 48% de respostas.

O questionário buscou levantar e identificar quais as questões que leva a pouca ou não utilização da energia fotovoltaica pela população e como incentivar a mudança para este cenário, a fim de trazer as cidades para mais sustentáveis e inteligentes, como exemplo, a falta de informação sobre a tecnologia fotovoltaica é uma barreira à disseminação da mesma.

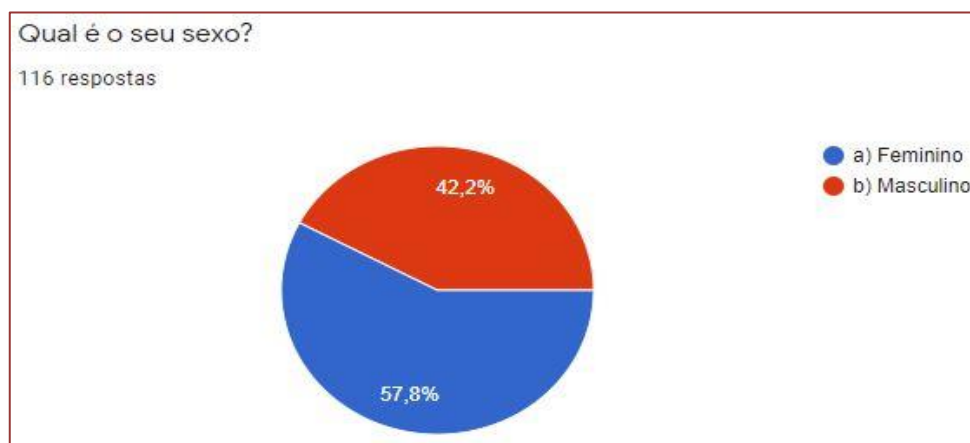
4 RESULTADOS OBTIDOS

Ao longo deste capítulo serão ilustrados e discutidos os resultados obtidos através da metodologia utilizada para o caso de estudo aplicado a um raio de 150 km (quilômetros) da cidade de Cerro Largo - RS. Estes resultados abrangem o levantamento da pesquisa com uma amostra da população brasileira e a sua percepção sobre o uso da energia solar.

Este trabalho limitou-se a conhecer as opiniões públicas de uma população amostral de vários municípios em um raio de até 150 km (quilômetros) de Cerro Largo - RS. Os números aqui apresentados representam os dados coletados na investigação por meio de entrevista, através da aplicação de questionário estruturado com questões fechadas e com múltiplas escolhas.

Os dados da amostra que mais caracterizaram a pesquisa, foi o sexo feminino com 57,8% dos entrevistados.

Gráfico 1: Amostra pesquisada

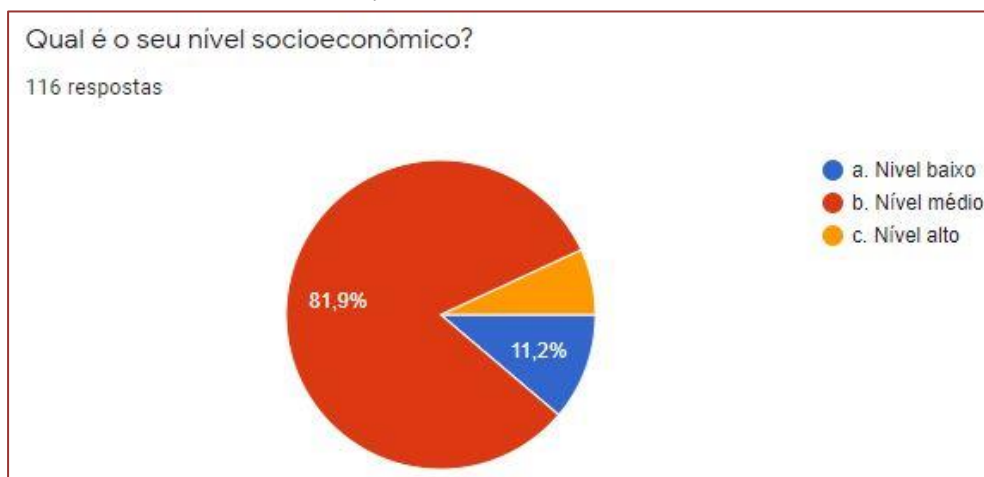


(Elaborado pela autora, 2022)

Para responder este questionário, foi solicitado também para o entrevistado classificar o seu nível socioeconômico, para se ter uma ideia de qual nível essa pesquisa está trabalhando.

O gráfico dois classifica o nível socioeconômico desta pesquisa, onde notou-se a maior porcentagem em 81,9% responderam ser do nível de classe média, aproximadamente 95 pessoas.

Gráfico 2: Classificação do nível socioeconômico da amostra

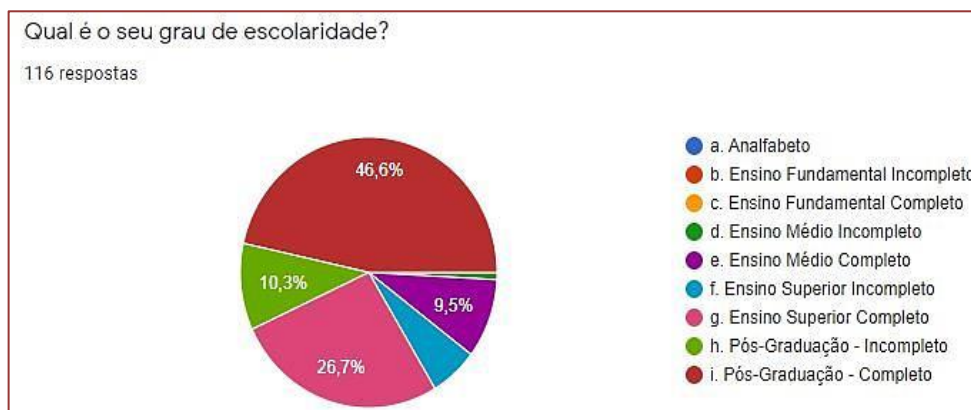


(Elaborado pela autora, 2022)

O nível socioeconômico é importante saber para essa pesquisa, para levantar se a classe predominante terá condições financeiras ou interesse na energia solar, e sendo neste caso, a resposta, a classe média.

Essa pesquisa caracterizou a amostra também de acordo com o grau de escolaridade.

Gráfico 3: Classificação do grau de escolaridade



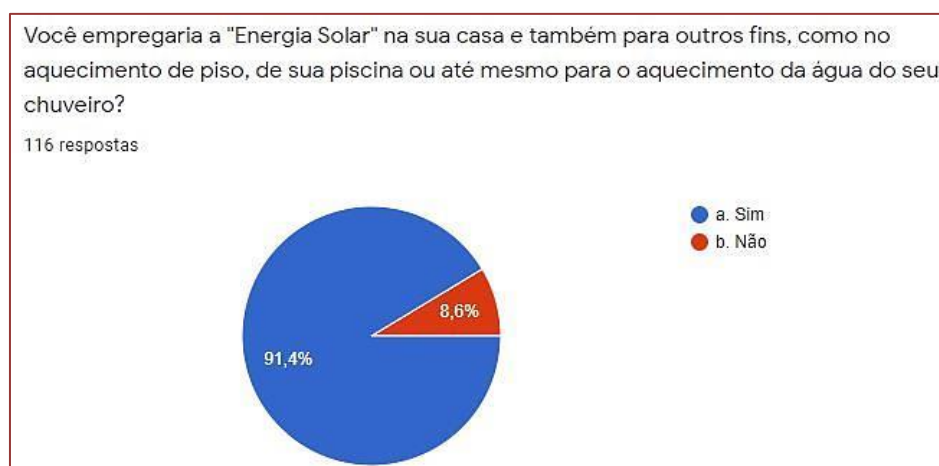
(Elaborado pela autora, 2022)

A maior parte dos entrevistados possuem pós-graduação completa, incluindo desde pós-graduações, especialização, mestrado, doutorado e pós-doutorado, colorindo da cor mais escura, quase a metade do gráfico acima, 46,6%.

O segundo grupo maior, com 26,7% possuem ensino superior completo, resultando em 31 pessoas das 116 respostas.

Em seguida, ficando em terceiro lugar com 10,3% são entrevistados que possuem pós-graduação incompleta, ou seja, que está ainda em andamento ou na fase final, desde pós-graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado.

A pesquisa obteve entrevistados de diferentes cidades como: Cerro Largo, Caibaté, Campina das Missões, Coronel Barros, Cândido Godói, Entre-Ijuís, Guarani das Missões, Horizontina, Roque Gonzales, Santa Rosa, Santo Ângelo, São Luiz Gonzaga, São Pedro do Butiá, Senador Salgado Filho, Sete de Setembro, São Borja, São Paulo das Missões, Ubiretama e Júlio de Castilhos.

Gráfico 6: Questionamento referente a energia solar

(Elaborado pela autora, 2022)

Portanto, dez pessoas, a minoria que optaram por não utilizar a energia solar. Em nível de comparação, a maior parte das pessoas respondeu que utilizariam essa energia.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou-se elucidar a identificação conceitual existente de cidade inteligente. As pesquisas demonstram que o uso de fontes de energia renováveis é indispensável à definição de cidade inteligente e essencial para a sustentabilidade de longo prazo e o bem-estar das cidades.

Viu-se no referencial teórico, que o desenvolvimento de sistemas, redes e plataformas de conhecimento e inovação urbana são fundamentais às cidades, uma vez que permitem informar e integrar os cidadãos, fazendo-os a participar das decisões e projetos para a cidade. Porém, há desafios para a implementação de cidades inteligentes no Brasil, pois também tem as questões sociais que carecem de melhor enfrentamento. Portanto, cidades inteligentes devem ser vistas e avaliadas com cautela.

A pesquisa mostrou que há um amplo leque de critérios nas pesquisas sobre *Smart Cities* que abordam temas como internet das coisas, computação em nuvem, mobilidade urbana, sustentabilidade ambiental, economia criativa, governança, energias e principalmente qualidade de vida. Porém, o enfoque e a metodologia deste trabalho objetivaram-se em estudar a energia fotovoltaica para cidade inteligente, pois, com os resultados, já está sendo realidade nas cidades dessa pesquisa.

Esta pesquisa se propôs como objeto principal, prever o crescimento de energia solar nas cidades com base em levantamento de variáveis através de questionários aplicados num raio de até 150 quilômetros da cidade de Cerro Largo – Rio Grande do Sul. Por meio da abordagem qualitativa, foi utilizado no levantamento (*Google Forms*), questionário estruturado como instrumento de coleta de dados, formado por questões divididas em questões demográficas relativas ao perfil do entrevistado e com questões gerais, adequadas a fatores, que identificam e qualificam o estudo da energia fotovoltaica para uma cidade inteligente.

Com as tecnologias emergentes usando energia solar fotovoltaica, sensores, redes sem fio e aplicativos conectados na internet e em dispositivos móveis, as cidades inteligentes estão se tornando uma realidade. Elas são capazes de fornecer atualizações de status ao vivo sobre energia, pois é possível até monitorar quanto está se produzindo de energia fotovoltaica, por exemplo. Esse tipo de informação ajuda a melhorar a saúde econômica e ambiental da cidade para residentes e até, atrai turistas. Portanto, as cidades inteligentes se concentram nas necessidades mais urgentes e nas maiores oportunidades de melhorar a qualidade de vida dos residentes hoje e no futuro. Mas, para isso, as cidades precisam se planejar com sistemas integrados de energia urbana, usando conhecimentos de vários setores interligados, como do planejamento urbano.

O emprego de tecnologia da informação, como o formulário on-line, mostrou-se muito útil, prático e bem distribuído, e pode ser acessado por computadores (*desktop* e *laptop*), *smartphones*, *tablets* e celulares. O público participante da pesquisa denotou um elevado entendimento dos conceitos relacionados às

perguntas apresentadas, porém observa-se que é um conjunto de pessoas que também possuem elevado grau de formação acadêmica.

Conclui-se que, no Brasil, a utilização da energia fotovoltaica ainda é iniciante, se comparado com a Alemanha, país que possui níveis de insolação mais baixos que os do Brasil, mas que faz o seu uso já a partir do ano de 1999. A energia fotovoltaica é uma tecnologia promissora, que pode ser utilizada em fachadas e coberturas de edificações, no entanto ainda precisa de mais investimentos e incentivos para que essa energia cumpra o papel previsto.

Enfim, o estudo de energia fotovoltaica apontou que ela está nos interesses dos entrevistados, e, portanto, o que os resultados indicam que ela irá sim, se disseminar mais pelas cidades apontadas desta pesquisa. Mas, é claro, que um incentivo do governo, ampliaria ainda mais essa perspectiva, a fim de tornar as cidades para um rumo sustentável e inteligente.

Essa pesquisa contribuiu para a compreensão tanto do setor acadêmico, como do público. As recomendações feitas nesse estudo podem ser utilizadas pelos executivos municipais como um guia para aumentar a sua compreensão e disseminação da energia fotovoltaica, como no ramo público.

Por muitos anos, a maior parte da indústria depende de combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural. Porém, os combustíveis fósseis são recursos não renováveis que precisam de milhares de anos para criar, e nem sempre podem atender a todas as necessidades humanas e mais cedo ou mais tarde poderão acabar.

Para isso, deve-se encontrar uma alternativa ao combustível fóssil. A energia solar pode ser uma ótima alternativa, pois é uma fonte gratuita e ilimitada, e isso ajudará a ter energia limpa e sustentável para alimentar o mundo, eliminando qualquer dano ao meio ambiente, e também auxiliará a ter dependência zero de combustível fóssil caro e prejudicial. Não há dúvida de que, à medida que os custos futuros da tecnologia de energia solar continuam a diminuir, os custos dos combustíveis fósseis poderão aumentar dramaticamente.

REFERÊNCIAS

- [1] ABDALA, L. et al. Como as Cidades Inteligentes Contribuem para o Desenvolvimento de Cidades Sustentáveis? Uma Revisão Sistemática de Literatura. *International Journal of Knowledge Engineering and Management*, v. 3, n.5, p. 98-120, 2014.
- [2] ABREU, J. P. M. de; MARCHIORI, F. F. Aprimoramentos sugeridos à ISO 37.120 “Cidades e comunidades sustentáveis” advindos do conceito de cidades inteligentes. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 527-539, jul./set. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300443>>.
- [3] Agência Nacional de Energia Elétrica. (2019, junho). Relatório: Perdas de Energia Elétrica na Distribuição (Edição 1/2019). Brasília, Brasil: ANEEL.
- [4] ANEEL. 482: Resolução Normativa nº 482. Brasil, 2012.
- [5] AHVENNIEMI, H. et al. What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, v. 60, p. 234-245, 2017.
- [6] AZEVEDO, A. L. B.; OLIVEIRA, J. P. L. de. Smart city e mobilidade: análise do estudo do plano de mobilidade da Smart city cidade de Votuporanga – um estudo de caso. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 80393-80409 Oct. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-456>>.
- [7] BARRIONUEVO, J. M.; BERRONE, P.; RICART, J. E. Smart Cities, Sustainable Progress. *IESE Insight Review*, v. 14, p. 50-57, 2012.
- [8] BRASIL. Câmara dos Deputados. Sustentabilidade e as Principais Fontes de Energia. Consultoria Legislativa, 2015. p. 133-175.
- [9] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Department for Business Innovation and Skills. Smart cities: guide to the role of the planning and development process. 2014. Disponível em: <<https://www.ipwea.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=99c212d8-7138-5b92-674a-3a5f6178fe3b>>. Acesso em: 15 setembro 2021.
- [10] CANTON, J. The extreme future of megacities. *Significance*, v. 8, n. 2, p. 53–56, 2011.
- [11] CARNEVALI, M.; ALCANTARA, A. C. Cidades inteligentes e a sustentabilidade urbana. *Caderno Intersaberes*, v. 9, n. 19, p. 1-16, 2020.

- [12] CARTANA, R. P. Oportunidades e limitações para bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico. (2006). (Dissertação de Mestrado) - Pós Graduação em Arquitetura, UFSC, Florianópolis, 2006.
- [13] CARVALHO, S. M. S. et al. Smart Cities: avaliação das características dos ecossistemas de inovação de duas cidades inteligentes brasileiras. *Cadernos de Prospecção*, Salvador, v. 13, n. 3, p. 693-706, junho, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.9771/cp.v13i2.32928>>.
- [14] COCCHIA, A. Smart and digital city: A systematic literature review. In: *Smart city*. Springer International Publishing Switzerland, p. 13-43, 2014.
- [15] DENG, Yvonne Y. et al. Transition to a Fully Sustainable Global Energy System. In: Stolten, Detlef; Scherer, Viktor (Ed.). *Transitions to Renewable Energy Systems*. Jülich (Germany), 2013.
- [16] DUTTA, S. et al. The global innovation index 2011: accelerating growth and development. Fontainebleau: INSEAD, 2011.
- [17] GIFFINGER, R.; HAINDLMAIER, G. Smarter cities ranking: an effective instrument for the positioning of cities? *ACE: Architecture, City and Environment*, n. 12, p. 7-25, 2010.
- [18] GOMES, J. A. P. et al. Smart cities: construção sustentável e edifícios inteligentes são tendências para o futuro. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 76465-76484, Oct. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-172>>.
- [19] GOMES, J. A. P.; LONGO, O. C. Cidades inteligentes sob a perspectiva da sustentabilidade: Um desafio além da tecnologia. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 58805-58824, Agosto de 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-333>>.
- [20] GONÇALVES, J. dos S. et al. A contribuição das fontes de energia renováveis para a construção de cidades digitais inteligentes: Uma breve análise do contexto brasileiro. *Revista Espacios*, Vol. 37, nº 11, p. 01-12, fevereiro, 2016.
- [21] GUIMARÃES, P. B. V. et al. A implantação de cidades inteligentes no Nordeste brasileiro: um breve diagnóstico. *Revista de Direito da Cidade*, v. 12, n. 2, p. 153-173, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.12957/rdc.2020.39957>>.
- [22] GUNTHER, H. Como elaborar um questionário. Brasília: UNB, 2003. (Série: Planejamento de pesquisa nas ciências sociais).
- [23] HARA, M. et al. New key performance indicators for a smart sustainable city. *Sustainability*, v. 8, p. 1-19, 2016.
- [24] HAYAT, P. Smart Cities: a global perspective. *Índia Quarterly*, v. 72, n. 2, p. 177-191, 2016.
- [25] HOLLANDS, R. G. Will the real smart city please stand up? Taylor & Francis. *City: Analysis of Urban Trend, Culture, Theory, Policy, Action*. Vol. 12, Nº 3, p. 303-320, December 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13604810802479126>>.
- [26] KANTER, R. M.; LITOW, S. Informed and interconnected: a manifesto for smarter cities. Harvard Business School General Management Unit Working Paper 09-141, 2009.
- [27] KOURTIT, K.; NIJKAMP, P.; ARRIBAS, D. Smart Cities in Perspective – A Comparative European Study by Means of Self-organizing Maps. *Innovation: European Journal of Social Science Research*, v. 25, n. 2. P. 229-246, 2012.
- [28] KUIKKANIEMI, K.; JACUCCI, G.; TURPEINEN, M.; HOGGAN, E.; MÜLLER, J. From space to stage: how interactive screens will change urban life. *IEEE. Computer Society*, 2011.
- [29] LAZAROUI, G. C.; ROSCIA, M. Definition Methodology for the Smart Cities Model. *Energy*, v. 47, n. 1, p. 326-332, 2012.
- [30] LAZZARETTI, K.; SEHNEM, S. & BENCKE, F. F.; MACHADO, H. P. V. Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, e20190118, p. 1-16, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190118>>.
- [31] LEE, J.; BAIK, S.; LEE, C. Building an integrated service management platform for ubiquitous cities. *IEEE. Computer Society*, 2011.
- [32] LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.
- [33] MONZONI, M. et al. Tendências e Oportunidades na Economia Verde: Energias Renováveis. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2010. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/15423/Tend%C3%AAsncias%20e%20oportunidades%20na%20economia%20verde%20energias%20renov%C3%A1veis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 dezembro 2021.

- [34] NAM, T.; PARDO, T. A. Smart city as urban innovation: focusing on management, policy and context. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THEORY AND PRACTICE OF ELECTRONIC GOVERNANCE (ICEGOV2011), 5th, 2011, Tallin. Anais eletrônicos. New York: ACM, 2011b. Disponível em: <http://www.ctg.albany.edu/publications/journals/icegov_2011_smartcity>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- [35] NAPHADE, M.; BANAVAR, G.; HARRISON, M.; PARASZCZAK, J.; MORRIS, R. Smarter cities and their innovation challenges. IEEE. Computer Society, IBM, 2011.
- [36] ODENDAAL, N. Information and communication technology and local governance: Understanding the difference between cities in developed and emerging economies. *Comput. Environ. and Urban Systems* 27 585–607, 2003.
- [37] SILVA, P. I. M. et al. CISSA: Intelligent and Safe City Conceptual Model Based on a Self-Adaptive System. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e422997184, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7184>>.
- [38] Solar Mission Technologies – Solar tower project. Disponível em: <<http://www.solarmissiontechnologies.com>>. Acesso em: 2 de Abril de 2021
- [39] THITE, M. Smart Cities: Implications of Urban Planning for Human Resource Development. *Human Resource Development International*, v. 14, n. 5, p. 623–631, 2011.
- [40] TOPPETA, D. The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, “Livable”, Sustainable Cities. 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/wXJlK9>>. Acesso em: 12 fev. 2022.
- [41] ZYGIARIS, S. Smart City Reference Model: Assisting Planners to Conceptualize the Building of Smart City Innovation Ecosystems. *Journal of the Knowledge Economy*, v. 4, n. 2, p.217–231, 2013.

Autores

JOSÉ HENRIQUE PORTO SILVEIRA (ORGANIZADOR)

Bacharel e licenciado em Psicologia pela UFMG, Especialização em Percepção e Planejamento Urbano. Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental, especialização em educação ambiental. Consultor em percepção e educação ambiental. Sócio diretor da Alternativa Educação e Manejo Ambiental.

ADIVAL DE SOUSA MONTEIRO

Graduado em Administração, Pós-graduado em Gestão Empresarial e Negócios e Mestre em Ensino em Ciência da Saúde e do Meio Ambiente.

ADRIANA CASTELO BRANCO DE SIQUEIRA

Doutora em Direitos Humanos e Desenvolvimento pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professora associada da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Professora permanente do mestrado em Gestão Pública da UFPI. Coordenadora do Grupo de Pesquisa Criminologia, Direitos Humanos e Arte, da UFPI. Professora do Curso de Direito da UFPI. Linhas de pesquisa: direitos humanos, desenvolvimento, meio-ambiente, idosos, cidadania, vulnerabilidade.

AMANDA DALALIBERA

Engenheira Ambiental e Sanitarista (UDESC), Mestranda em Engenharia Ambiental (UFSC), na linha de pesquisa de tratamento de líquidos iônicos por processos oxidativos avançados, no Laboratório de Reúso de Águas (LARA- UFSC) e LABTRAT (UDESC).

ANNA CAROLINA SIMÕES

Professora efetiva da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus João Monlevade/MG. Doutoranda em Ciências da Educação (UPAP), Mestre em Ciências da Educação (UPAP), pós-graduada em Matemática e Estatística pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), graduada em Matemática e Ciências pela Universidade Vale do Rio Doce.

ANTÔNIA AMANDA ALVES PEREIRA MOREIRA

Mestranda em Gestão Pública pela Universidade Federal do Piauí; Fui Coordenadora de Suporte na empresa Rota Combo; Administradora; Consultora; Fui professora do curso de Administração no Instituto de Formação, Educação e Pesquisa do Nordeste (Educando) /Polos: Camocim-CE e Granja-CE; Possui MBA em Comércio Exterior pela Faculdade Anhanguera. Pesquisadora com estudo publicado em Congresso Internacional em 2019 e E-Book no ano de 2020 ; Bacharel em Administração pela Universidade Federal do Piauí - Campus Parnaíba (UFPI-2018); Técnica em Comércio pela EEEP Monsenhor Expedito da Silveira de Sousa)(EEEPMESS - 2013). Áreas de interesse e pesquisa: Administração, Comércio Exterior, Comércio Internacional ,Gestão Ambiental, Turismo, Responsabilidade Socioambiental e Sustentabilidade.

BEATRIZ LIMA SANTOS KLIENCHEN DALARI

Engenheira Ambiental (UDESC), Técnica em Saneamento (IFSC), Mestre em Engenharia Ambiental (UFSC), ênfase em Tratamento de efluentes industriais por Processos Oxidativos Avançados. Doutoranda em Engenharia Ambiental (UFSC), na linha de pesquisa de tratamento de efluentes industriais, com ênfase em Processos de Extração líquido-líquido com Líquidos Iônicos, no Laboratório de Reúso de Águas (LARA- UFSC) e LABTRAT (UDESC).

CINTIA MARANGONI

Possui graduação em Engenharia Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (1998), mestrado (2000), doutorado (2005) e pós-doutorado (2007) em Engenharia Química pela

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atuou como professor adjunto na Universidade da Região de Joinville de fevereiro de 2010 a fevereiro de 2014, sendo na época membro permanente do Mestrado em Engenharia de Processos. De março de 2014 a fevereiro de 2020 foi professora do Departamento de Engenharia Têxtil da UFSC, Campus Blumenau. Atualmente é professora do departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da mesma universidade. Foi subcoordenadora e é membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da UFSC - Campus Blumenau. Também é membro permanente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da referida universidade. É Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 - CA EQ e atua nas área de processos industriais da engenharia química com ênfase em processos de separação.

CLAUDIRAN DE OLIVEIRA BRAZ

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), na linha de pesquisa "Bioprospecção e Manejo de Recursos Naturais da Amazônia". Bacharel em Gestão Ambiental e Bacharel Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas, ambos pelo Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Atualmente trabalha com o isolamento e a purificação de peptídeos antimicrobianos da peçonha de escorpiões da Amazônia.

CYNTHIA BEATRIZ FURSTENBERGER

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1991), mestrado em Botânica pela Universidade Federal do Paraná (1995) e doutorado em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2001). Atualmente é professora Associada C da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Tem experiência nas áreas de Botânica (Taxonomia de Criptógamos), Bioeletroquímica, Biocombustíveis e Microbiologia, atuando principalmente nos seguintes temas: diagnóstico ambiental, corrosão microbiológica e aproveitamento de co-produtos para produção de biocombustíveis. É professora efetiva do Curso de Mestrado em Bioenergia da UNICENTRO.

DAYANE GONZAGA DOMINGOS

Possui graduação em Licenciatura em Química pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2016), graduação em Química Industrial pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2015) e mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2019), atuou principalmente em sistema de tratamento de esgoto sanitário com lodo granular aeróbio. Doutorado em andamento em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, atuando na dessalinização por deionização capacitiva com eletrodos de carvão ativado de cortiça. Com realização de estágio em laboratório de análises físico-químicas, possui experiência em análises para efluentes. Participou de projetos de iniciação científica durante a graduação do curso de Química Industrial e do programa PIBID - Programa de Iniciação à Docência durante a graduação de Licenciatura em Química. Participou de cursos EAD em Licenciamento Ambiental e realizou o curso de extensão Planejamento e Desenvolvimento de Cursos na Modalidade a Distância pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC.

DENISE DE CAMPOS TELLES MENCHISE

Possui graduação em Pedagogia pela Fundação Educacional Rosemar Pimentel. Atualmente é Diretora Acadêmica da Faculdade Sul Fluminense - FASF e Diretora Acadêmica do Instituto de Cultura Técnica - ICT. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Educação Infantil.

DEYANIRA FUENTES-SILVA

Possui graduação em Química - Universidad Industrial de Santander (1998), mestrado em Ciências - Universidad Nacional Autónoma de México (2003) e doutorado em Ciências pela Universidad Nacional Autónoma de México (2009). Estágio de pós-doutoramento na UNAM (2009), na Auburn University (2010) e na Universidade Federal do Oeste do Pará (2011). Atualmente é docente adjunta

da Universidade Federal do Oeste do Pará. Tem experiência na área de Bioquímica, com ênfase em Química Estrutural de macromoléculas biológicas, através de técnicas de difração de raios x.

EDUARDO CARPES DIB

Graduando em engenharia química na Universidade Federal de Santa Catarina (2018). Tem experiência na área de desenvolvimento de membranas, com ênfase no desenvolvimento de membranas cerâmicas por centrifugal casting um método que utiliza da força centrífuga como força motriz (2019).

EDVÂNIA TÔRRES AGUIAR GOMES

Graduada em Ciências Geográficas pela Universidade Católica de Pernambuco (1981), mestre em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (1989) e doutora em Geografia (Geografia Humana) pela Universidade de São Paulo (1997). Pós-doutorado na Universitat Leipzig (2009).

EVERSON DO PRADO BANCZEK

Graduação em Química Bacharelado e Licenciatura pela Universidade Estadual do Centro Oeste (2004), doutorado em Ciências (Tecnologia Nuclear - Materiais) pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (2008). Experiência profissional na área de Química, atuando principalmente nas seguintes linhas: inovação tecnológica, eletroquímica, bioenergia, biocombustíveis, biodiesel, catalisadores heterogêneos para produção de biocombustíveis, corrosão, inibidores de corrosão, fosfatização e tratamento de superfície. Orientador do mestrado em Rede em Bioenergia (UNICENTRO-UEL-UEPG-UEM-UNOESTE-UFPR). Bolsista de Produtividade de Desenvolvimento Tecnológico e extensão inovadora do CNPq - desde 2013.

FABÍOLA TOMASSONI

Engenheira Ambiental pela Faculdade União das Américas - UNIAMÉRICA. Mestre em Engenharia em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Pós-doutoranda pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CTC - UFSC.

FABRÍCIA NUNES GUEDES

Possui graduação em Química pela Universidade Federal de Viçosa (2002) e mestrado em Agroquímica pela Universidade Federal de Viçosa (2004). Doutorado em Educação Matemática. Atualmente é professora dos Cursos de Engenharia da Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade João Monlevade. Consultoria e responsabilidade técnica e servidora da prefeitura municipal de João Monlevade. Doutoranda em Química pelo Programa Mineiro Multicêntrico em Química. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Análise de Traços e Química Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos, construção civil, hidrometalurgia, corrosão, análises ambientais.

FELIPE JEFERSON DE MEDEIROS

Possui graduação em Meteorologia (2017) e mestrado em Ciências Climáticas (2019) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atuou como pesquisador na sala de situação da Secretária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do estado do Rio Grande do Norte (2019-2021). Atualmente é aluno de doutorado.

FERNANDO FERREIRA DE CASTRO

Mestre em Psicossociologia pelo Programa EICOS da UFRJ (2017) com especialização em Geoprocessamento pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas do IBGE (2019). Trabalha como pesquisador no Centro de Tecnologia Mineral do MCTI no Núcleo de Estudos sobre Território,

Mineração, Sustentabilidade e Desenvolvimento (NETMIN/CETEM). Tem experiência na construção e avaliação de bases de dados e de aspectos socioeconômicos sobre o setor mineral brasileiro.

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL

Possui graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (1975), pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1976), mestrado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo (1995) e doutorado em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo (1999), com intercâmbio na Universidade de Cagliari - Sardenha - Italia (1997). Atualmente é Tecnologista Sênior III do Centro de Tecnologia Mineral-CETEM e coordenador nacional da Rede APL Mineral. Tem experiência na área de Engenharia de Minas, com ênfase em pesquisa tecnológica para indústrias de extração e processamento de minérios, atuando principalmente nos seguintes temas: lavra e beneficiamento de rochas ornamentais e de minerais industriais, caracterização tecnológica de minérios, rochas ornamentais e tratamento de minérios.

GABRIELA DE CÁSSIA JAVORSKI

Graduada em Ciências Biológicas- Licenciatura pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) (2019). Especialista em Docência do Ensino Superior (2020). Atualmente é mestranda do Programa de Pós Graduação em Bioenergia (UNICENTRO) e docente da Faculdade do Centro do Paraná (UCP).

GEILMA LIMA VIEIRA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (2001), mestrado (2003) e doutorado (2008) em engenharia civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-doutorado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2010), com pesquisa na área de desenvolvimento de novos materiais e aproveitamento de resíduos. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em reciclagem e reaproveitamento de resíduos industriais, desenvolvimento de novos materiais de construção, componentes e sistemas construtivos, patologia das edificações. Atualmente é professora associada do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, ministrando as disciplinas de Materiais de Construção, Concretos Especiais e Patologia das Construções para graduação e pós-graduação.

GERALDO SANDOVAL GÓES

Engenheiro Eletrônico. Doutor em Economia. Pesquisador no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental (EPPGG). Professor na Escola Nacional de Administração Pública (ENAP). Pesquisador do NETMIN/CETEM,

GUILHERME DAVI MUMBACH

Formado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal da Fronteira Sul (2015), possui mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (2017) e Doutor em Engenharia Química (2022) na mesma área. Possui os seguintes scores: Scopus - Fator H: 9, Publons - Fator H: 8. Desenvolve, atualmente, pesquisas com foco em tecnologias limpas para reciclagem de resíduos plásticos e conversão termoquímica de rejeitos agroindustriais.

GUILHERME JOSÉ FERREIRA ARAUJO

Licenciatura em Geografia. Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Doutorado em Geografia. Pós-doutorado em andamento na área de Ciências Cognitivas e Tecnologias da Educação.

GUSTAVO AVEIRO LINS

Biólogo, Engenheiro ambiental e de Segurança do Trabalho. Mestre em engenharia ambiental pela UFRJ. Doutor em Meio Ambiente pela UERJ. Tutor do Centro de Educação a Distância do Estado do Rio de Janeiro (CEDERJ), Professor da Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC), e ex-funcionário da Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). Atuando principalmente nos seguintes temas de pesquisa: zoologia, ecologia, meio ambiente, saneamento, resíduos sólidos, gestão ambiental e perícia ambiental.

ISABEL JACOBS

Mestranda em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)-Campus de Cerro Largo. Atuação nos ramos de engenharia civil e em engenharia de segurança do trabalho. Especialista em engenharia de segurança do trabalho.

JEAN APARECIDO VIEGAS

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Campus de João Monlevade-MG. Atualmente pós-graduando em Engenharia Geotécnica na PUC-Minas, possui experiência na área geotécnica, atuando em projetos voltados a mineração.

JEAN CONSTANTINO GOMES DA SILVA

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na área de reatores químicos e conversão termoquímica. Atualmente atua como professor voluntário no departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba. Auxílica em projetos de pesquisa na UFPB, junto ao tema Aproveitamento de Resíduos Sólidos como Fonte Alternativa e Renovável de Energia em Processos de Conversão Térmica. Apresenta os seguintes scores: Scopus - Fator H:13; Publons - Fator H:13; ResearchGate - Fator H: 11 (sem auto citação). Atua como revisor de revistas de alto fator de impacto como Renewable Energy, Applied Energy, Waste Management, Bioresource Technology e Energy Conversion And Management. Mestre em Energias Renováveis pela UFPB (2015 - 2017), na área de concentração de Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético e Graduado em Engenharia Química pela UFPB (2009 - 2014).

JECIVAN VIEIRA BRAGA

Analista em Planejamento e Gestão e Infraestrutura e Informações Geográficas e Estatísticas da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - Unidade Estadual do Amazonas. Com experiência no setor público, na área de Administração Pública, com ênfase em Recursos Materiais, e na iniciativa privada, na área da indústria eletroeletrônica, na área técnica e na área de Engenharia Industrial. Atualmente exerce a função de Supervisor de Recursos Materiais. Membro do Grupo Executivo de Sustentabilidade da Unidade Estadual do IBGE no Amazonas. Possui especialização em Gestão estratégica em recursos humanos pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Brasil.

JOACIR STOLARZ-OLIVEIRA

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Paraná (1994), mestrado em Ciências (Fisiologia Geral) pela Universidade de São Paulo (1998), doutorado em Ciências (Fisiologia Geral) pela Universidade de São Paulo (2003) e realizou estágio de pós-doutoramento no Instituto Butantan (2004-2005), na Universidade Federal de Minas Gerais (2008-2009) e na University of Queensland, Austrália (2019-2020). Tem experiência na área de Bioquímica, Biologia Molecular, Fisiologia e Farmacologia, com ênfase em produtos naturais de organismos aquáticos e terrestres. É o atual Secretário Geral da Sociedade Brasileira de Toxinologia (SBTx) para o biênio 2021-2023 e Coordenador do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. Atua principalmente nos seguintes temas: extração, purificação e caracterização fisio-farmacológica de toxinas de aracnídeos (escorpiões e aranhas) e outros invertebrados terrestres, bem como de produtos naturais de organismos marinhos e de água doce (proteicos e não-proteicos).

JOCILENE FERREIRA DA COSTA

Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte MG. Possui Graduação em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT. Especialização em Gestão Ambiental - Universidade Federal do Mato Grosso - Cuiabá-MT e Mestrado em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Engenheira de Segurança do Trabalho. Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais. Consultora na área de Meio Ambiente, Sustentabilidade, Resíduos Sólidos, Construções e Materiais Sustentáveis, Tratamento de Efluentes Sanitários e Industriais, Recursos Hídricos, Saneamento Ambiental, Segurança do Trabalho.

JORGE LUIS PALACIOS FELIX

Concluiu o Mestrado em Matemática Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, o Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP e o Pós-doutorado em Matemática Aplicada pela Universidade Estadual Paulista - UNESP. Atual Professor Associado na Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, campus Cerro Largo. Professor credenciado no Programa de Pós-graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis (PPGATS) da UFFS campus Cerro Largo. Experiência Docente no Ensino Superior de Matemática para Ciências e Engenharias. É Revisor dos principais periódicos internacionais: Nonlinear Dynamics, Journal of Vibration and Control (JVC), Journal of Sound and Vibration (JSV) e Shock and Vibration. Atual Membro do Comitê de Fenômenos Não-lineares da ABCM (Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas). Desenvolvimento de projetos de pesquisa nos seguintes temas: Métodos de Conversão Elétrica a partir de um Sistema Vibrante de Piezoelétricos usando Energia do Vento e Vibrações Mecânicas - uma Aproximação Sustentável. Métodos Analíticos e Perturbativos para Equações Diferenciais Ordinárias Não Lineares. Absorvedores Dinâmicos Sintonizáveis Ativos e Passivos Não-Lineares. Vibrating Systems with Limited Power Supply. Métodos Numéricos de Sistemas de Equações Diferenciais e Caos. Absorvedores Dinâmicos de Vibrações Sintonizáveis usando Materiais Inteligentes. Modelos Físicos em Ressonância Interna e Externa. Energia Renovável em Sistemas Micro e Macro Escala de Coleta/Geração de Energia Vibracional, Energia Eólica e Energia Fotovoltaica Solar.

JOSÉ ANTONIO SENA DO NASCIMENTO

Pesquisador e Tecnologista Sênior do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTIC). Geógrafo, Doutor em Planejamento Energético e Ambiental pela COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (2011), Mestre em Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1993). Tem experiência na área de meio ambiente, organização e gestão do território e valoração dos recursos naturais. Desde 2011 é professor colaborador da Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE/IBGE).

JOSÉ LUIZ FRANCISCO ALVES

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (2014), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (2016) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (2021). Tem experiência na área de aproveitamento energético de biomassas residuais por meio de processos termoquímicos como pirólise, gaseificação e combustão. Possui os seguintes scores: Scopus - Fator H: 12; Publons - Fator H: 11 (em 18/12/2021). Atualmente é bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq.

JOSIMAR RIBEIRO DE ALMEIDA

Pós-Doutorado Tecnologia Ambiental (USP .2002) Pós-Doutorado Engenharia Ambiental (UFRJ .1998) Pós-Doutorado Saúde Ambiental (FIOCRUZ .1985) Doutorado Ciências Biológicas (UFPr .1983) Mestrado Ciências Biológicas (UFRJ .1979) Aperfeiçoamento Química Bioorgânica (NPPN .1977) Licenciatura Ciências Biológicas (UFRJ-FE .1976) Bacharelado Genética (UFRJ-IB .1975) Licenciatura Ciências Físicas e Químicas (UFRJ-FE .1974) [B] ATUAÇÃO PROFISSIONAL: Professor-Orientador Programa de Pós-Graduação Engenharia Sanitária e Ambiental (UERJ/2019 até o

presente) Professor-Orientador Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental (UFRJ/2010 - 2020) Professor Associado do Programa de Pós-Graduação Tecnologia Nuclear(USP-IPEN /2010-2015) Membro(Perito) do Comitê Científico do Observatório Urbano(ONU-UERJ / 2012-2015) Membro (Consultor)Cátedra de Desenvolvimento Durável(UNESCO-UFRJ / 1998-2008) [C] PRÊMIOS e TÍTULOS: ABIFARMA, BVQi, CRQ-RJ, FAPERJ, IBAPE-RO, IBAPE-MG, PNUMA, [D]PRODUÇÃO CIENTÍFICA & TECNOLÓGICA: 200 Artigos Científicos publicados em Revistas Indexadas[registros WEB SCIENCE 87 /SCOPUS 134 / SCIELO 328] 26 Livros e 8 Capítulos (UFRJ,BLUCHER,Thex,Bertrand,Moderna,Milennium,E-Papers,MCT,UNIKASSEL), 12 Artigos Científicos (completos) em Anais de Congressos, 32 Técnicas Analíticas, Instrumentais ou Processuais (MCT/UFRJ); 291 Publicações Técnicas de Assessorias ou Consultorias, 3 Softwares com registro (Petrobras/UFRJ); 2 Produtos Tecnológicos patenteados (INPI), 405 Participações em Bancas Acadêmicas (D.Sc.,M.Sc.,B.Sc.,PG) 285 Orientações Acadêmicas(D.Sc.,M.Sc.,PG,B.Sc.,IC) 251 Trabalhos Técnicos.

JULIANA BARDEN SCHALLEMBERGER

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (UFSM), Mestre em Engenharia Ambiental (UFSC)

LAÉRCIO RAMON DA SILVA NASCIMENTO

Bacharel em Administração (Chrisfapi), Bacharel em Ciências Contábeis (Cesvale), Especialista em Gestão Pública (UESPI), Especialista em Docência do Ensino Superior (IESM), Mestrando em Gestão Pública (UFPI) Professor Substituto da SEDUC-PI, Professor Tutor (UESPI).

LEONARDO LÚCIO DE ARAÚJO GOUVEIA

Bacharel e licenciado em geografia pela PUC Minas, Mestrado em Geografia pela UFMG. Professor de Geografia pelo Colégio Tiradentes, Professor de Ensino Superior nos cursos de Engenharia da UEMG na unidade de João Monlevade, pesquisador e extensionista na área de materiais e meio ambiente.

LUCIANA MARELLI MOFATI

Possui graduação em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998), mestrado em Engenharia de Produção pelo Centro de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (2006), pós-graduação em Gestão Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto Brasil PNUMA (2013). Possui experiência em ensino superior, planejamento, gestão pública, gestão laboratorial, qualidade, normalização, metrologia, relações regulatórias, inovação e sustentabilidade. Atualmente é doutoranda em Meio Ambiente pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro e cohort brasileira no hub (ODS 12) da One Planet Network da Organização das Nações Unidas.

MARCELLY IOHHANY MIGUEL BASTOS

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná. Atua como analista de projetos de remediação de áreas contaminadas por derivados de petróleo.

MARCIA MENDES COSTA GUARESKI

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (2004), pós graduação em Educação e Gestão Ambiental (2007), mestre em Bioenergia com linha de Pesquisa em Bicombustíveis (2018) pela Universidade Estadual do Centro Oeste, atuação na área de saneamento básico com tratamento de água e efluentes, gestão e licenciamento ambiental além de atendimento em biossoluções.

MARIA CRISTINA SOUZA

Graduada em Ciências Biológicas- Licenciatura (2018) e em Ciências Biológicas- Bacharelado (2021) pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Atualmente é mestranda do Programa de Pós Graduação em Bioenergia pela UNICENTRO e está cursando bacharelado em química pela Universidade Cruzeiro do Sul.

MARIA ELIZA NAGEL HASSEMER

Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFSC. Possui graduação em Engenharia Sanitária pela UFSC (1983), mestrado em Engenharia Ambiental pela UFSC (2000), doutorado em Engenharia Ambiental pela UFSC (2006), com parte realizada na Universidade do Minho, Portugal e pós-doutorados pela UFSC (2008 e 2012). Tem experiência na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, com ênfase em Técnicas Convencionais e Avançadas de Tratamento de Água, Efluentes Domésticos e Industriais, e na Gestão Ambiental com ênfase na Produção Mais Limpa. Faz parte da liderança do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado - GESAD; do grupo de pesquisadores do LaRA - Laboratório de Reuso de Águas; do grupo de pesquisadores do LABEFLU - Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos. Foi Supervisora do LIMA - Laboratório Integrado de Meio Ambiente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, ENS/UFSC (ABRIL 2015 - ABRIL 2019). Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA/UFSC (DEZ 2016 - MAIO 2021). Coordenadora do NEAmb - Núcleo de Educação Ambiental do Centro Tecnológico da UFSC. Tutora da Empresa Júnior de Consultoria Sanitária e Ambiental - EJESAM, do curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

MARINA LOUREIRO MEDEIROS

Bacharel em Geografia pela UFPE. Mestranda em Geografia pela UFPE.

MÔNICA MONNERAT TARDIN

Doutorado em Regulação Econômica pelo Instituto de Economia / UFRJ (2018), Mestrado em Inovação Tecnológica pela Engenharia de Produção / UFRJ (2008) e Bacharel em Processamento de Dados / PUC-RJ (1998). Durante 25 anos atuou na área de TI, nas funções de gestor e desenvolvedor de sistemas em instituições públicas e privadas. Atualmente é pesquisadora do Núcleo de Estudos Socioeconômicos do Setor Mineral - NETMIN/CETEM com diversas publicações científicas relacionadas à economia mineral e à sustentabilidade. Atua também como responsável pelo Escritório de Inovação Tecnológica do CETEM-Centro de Tecnologia Mineral, instituto de pesquisa do MCTI.

MONICA REGINA COSTA MARQUES

Professora Titular do Departamento de Química Orgânica do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, desde 1995. Graduada em Licenciatura em Química e em Química com atribuições tecnológicas (UFRJ), Mestre em Ciências (UFRJ), Doutor em Ciências (UFRJ) e realizou estudos em nível de Pós-Doutorado no Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano (UFRJ). Aluna de graduação do curso de Nutrição na UERJ (desde 2017). Foi coordenadora do Plano integrado de Gerenciamento de resíduos sólidos (PEGIRS) junto à Secretaria do Meio Ambiente (2008-2009), pesquisadora do INCT - Instituto Nacional de Óleo e Gás e da Red Temática Glicociencia en Salud. Orienta alunos de mestrado e doutorado dos Cursos de Pós-graduação em Química e Pós-graduação em Meio Ambiente, ambos da UERJ, Sua área de atuação em pesquisa científica é multidisciplinar (Ciências Ambientais) envolvendo avaliação dos impactos ambientais das indústrias e desenvolvimento de técnicas de tratamento visando a minimização desses impactos, bem como o desenvolvimento de técnicas de análises de poluentes em diversas matrizes ambientais. Bolsista de Produtividade do CNPq nível 1D. Cientista do Nosso Estado da FAPERJ. Orcid.: 0000-0001-6906-8327

NATHAN COSTA MACHADO

Graduado em Administração pela FaSF - Faculdade Sul Fluminense

OSCAR ROCHA BARBOSA

Graduação em Ciências Biológicas pela Fundação Educacional Rosemar Pimentel (1979), mestrado em Histologia e Embriologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1989) e doutorado em Science de La Vie - Muséum National D'histoire Naturelle (1997) e Pós-Doutorado em Zoologia pela Universitat de Barcelona (2008/2009). Atualmente é professor Titular do Departamento de Zoologia da UERJ. Coordenador de disciplina de Diversidade Biológica dos Deuterostomados - CEDERJ/CECIERJ, desde 2004, Coordenador de fauna no projeto institucional da Universidade do Estado do Rio de Janeiro junto a Seobras/RJ de 2011 a 2018, assessor especial da Diretoria de Cooperação Internacional da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Tem experiência na área de Zoologia.

TIAGO NUNES BILLERBECK

Graduado em Biologia Bacharelado pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela Universidade Federal do Paraná. Gerente Técnico do Laboratório Interpartner em Ponta Grossa.

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

@editorapoisson



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

