



JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA SANTOS

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE



**ESTUDOS EM
ENGENHARIA AMBIENTAL
E SANITÁRIA**

ORGANIZADOR
JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA SANTOS

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE
estudos em engenharia ambiental e sanitária



Capivari de Baixo

2024

Editora: Univinte – 2024.

Título: Inovação e Sustentabilidade: estudos em engenharia ambiental e sanitária.

Organização: José Antônio da Silva Santos.

Capa: Andreza dos Santos.

Editoração: Andreza dos Santos.

Revisão: Dos Autores.

CONSELHO EDITORAL	
Exedito Michels - Presidente	
Cleusa Machado Claudino – Vice Presidente	
Andreza dos Santos – Editora Chefe	
Dr. Diego Passoni	Dra. Michelle Medeiros
Dr. José Antônio da S. Santos	M.e. Oscar Pedro Neves Junior
Dr. Nelson G. Casagrande	Dra. Solange Maria da Silva
Dra. Joana D'arc S. da Silva	Dr. Cleber de O. dos Santos
Dr. Franco Wronsk Comeli	Dra. Larissa da S. Joaquim
Dra. Emillie Michels	M.a. Gabriela Fidelix de Souza

Sa51i

Santos, José Antônio da Silva.

Inovação e Sustentabilidade: estudos em engenharia ambiental e sanitária [recurso eletrônico] / Organização José Antônio da Silva Santos. Capivari de Baixo : Editora UNIVINTE, 2024.

29,8 KB ; PDF.

ISBN 978-85-66962-46-8.

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. 2. Sustentabilidade. 3. Inovação. I. Título.

CDD 620.85

(Catalogação na fonte por Andreza dos Santos – CRB/14 866).

Editora Univinte – Avenida Nilton Augusto Sachetti, nº 500 – Santo André, Capivari de Baixo/SC. CEP 88790-000.

Todos os direitos reservados.

Proibidos a produção total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio.

A violação dos direitos de autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo art. 184 do Código Penal.



Editora
univinte

-- Publicado no Brasil – 2024.

ORGANIZADOR

JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA SANTOS

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de Blumenau (1989).

Graduado em Ciências pela Faculdade Porto-Alegrense de Educação (1985).

Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002).

Doutorado em Ciencias de la Educación - Universidad Politécnica y Artística del Paraguay (2006).

Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Educação, atuando principalmente nos seguintes temas: educação ambiental, comunidades tradicionais, ecologia humana, desenvolvimento sustentável e monografias-apresentação.

COLABORADORES

Arnaldo Granja Russo

Bruno de Souza Sodré

Evandro dos Passos Farias

Felipe Mendes

Gustavo Eugênio Correa

Igor Romualdo Sá Rufino

João Vitor Claudino da Silva

Jhonatan da Cunha Antunes

José Antônio da Silva Santos

Laís Maria da Silva

Letícia da Silva Pereira

Luís Henrique Perez

Morgana Machado Medeiros

Renata Porto Leander Silva Souza

Samira Becker Volpato

Taize Vieira da Silva

Thainá Machado

PREFÁCIO

É com grande satisfação que introduzo este compêndio de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) elaborados pelos acadêmicos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do UNIVINTE. Este livro representa não apenas a culminação de anos dedicados ao aprendizado acadêmico, mas também um testemunho do comprometimento e da paixão dos nossos futuros engenheiros ambientais e sanitários.

A Engenharia Ambiental e Sanitária desafia seus profissionais a integrar conhecimentos técnicos avançados com uma compreensão abrangente das interações complexas entre o homem e o meio ambiente. Ao folhear as páginas deste livro, você encontrará uma rica variedade de estudos, pesquisas e projetos que refletem o profundo comprometimento dos autores em abordar questões cruciais e emergentes em nossa sociedade.

Cada trabalho aqui apresentado é mais do que uma simples dissertação; é o resultado de esforços incansáveis, curiosidade incessante e a aplicação prática de habilidades adquiridas ao longo dos anos de estudo. Os temas abordados são diversos, refletindo a amplitude da disciplina, desde a gestão sustentável de recursos naturais até a resolução de desafios sanitários complexos.

A complexidade dos problemas ambientais contemporâneos exige uma abordagem holística, e é isso que os graduandos aqui celebrados procuram oferecer. Ao enfrentarem essas questões de frente, esses jovens engenheiros não apenas demonstram domínio técnico, mas também uma profunda compreensão da responsabilidade ética inerente à sua futura atuação profissional.

Neste livro, convido você a explorar as ideias inovadoras, soluções engenhosas e descobertas inspiradoras que os estudantes compartilham conosco. Cada página é um testemunho da dedicação da nossa comunidade acadêmica em contribuir para um futuro mais sustentável e saudável.

Ao fechar este livro, espero que você compartilhe da minha admiração por esses estudantes excepcionais, cujos esforços agora são perpetuados nestas páginas. Que este trabalho sirva como uma fonte de inspiração e conhecimento para

todos aqueles comprometidos em moldar um mundo mais equilibrado e harmonioso através da engenharia ambiental e sanitária.

José Antônio da Silva Santos

Dezembro de 2024

SUMÁRIO

Análise qualitativa e quantitativa dos resíduos de construção civil e demolição em uma usina de reciclagem no município de Imbituba, Santa Catarina	9
<i>Igor Romualdo Sá Rufino; Luís Henrique Perez; Dra. Samira Becker Volpato.</i>	
Análise do perfil das ligações de esgoto no Bairro Portinho do Município de Laguna/SC e a percepção dos munícipes em relação ao programa “Trato Por Laguna”	51
<i>Felipe Mendes; Taize Vieira da Silva; José Antônio da Silva Santos.</i>	
Reciclagem das garrafas de vidro como agregado na produção do concreto na construção civil: um estudo de caso	80
<i>Jhonatan da Cunha Antunes; Morgana Machado Medeiros; Samira Volpato Becker.</i>	
Avaliação de uma área contaminada por rejeito de carvão: estudo de caso em Capivari de Baixo/SC.	105
<i>Letícia da Silva Pereira; João Vitor Claudino da Silva; Bruno de Souza Sodré.</i>	
Estudo de logística reversa em módulos fotovoltaicos.....	136
<i>Gustavo Eugênio Correa; Thainá Machado; Evandro dos Passos Farias.</i>	
Geoprocessamento como ferramenta na elaboração de uma análise preliminar de risco: um estudo de caso na Ferrovia Tereza Cristina S/A, entre os Municípios de Sangão a Imbituba	158
<i>Laís Maria da Silva; Renata Porto.</i>	
Determinação de metais pesados no Rio Tubarão por espectrometria de fluorescência de Raios-X	208
<i>Leander Silva Souza; Arnaldo Granja Russo.</i>	

**ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO EM UMA USINA DE RECICLAGEM NO
MUNICÍPIO DE IMBITUBA, SANTA CATARINA**

Igor Romualdo Sá Rufino¹

Luís Henrique Perez²

Dra. Samira Becker Volpato³

Resumo: O aumento da geração de resíduos sólidos, devido à evolução humana, ao crescimento populacional e a revolução industrial, resultaram em impactos ambientais negativos. É fundamental o planejamento e gerenciamento de resíduos, como os de construção e demolição, os RCD. No município de Imbituba, a demanda por novas construções elevam o volume de RCD gerado, mas apenas parte deles é corretamente destinada à única usina de reciclagem desse tipo de resíduo. O objetivo deste trabalho consistiu em obter dados quali- quantitativos sobre o gerenciamento dos RCD na usina. A metodologia aplicada neste estudo é uma análise quali-quantitativa. Realizaram-se pesquisas de campo na usina e aplicação de questionários semiestruturados aos atores envolvidos. Os resultados quali-quantitativos obtidos na segregação dos resíduos por Classes, após amostragem em duas caçambas, apontaram a predominância de resíduos Classes A e B, com ocorrência dos Classes C e D e de resíduos sólidos urbanos, sobretudo, restos de podas. Em conclusão, destacou-se que a usina de reciclagem de resíduos de construção civil em Imbituba traz benefícios socioeconômicos e ambientais, como geração de empregos, redução de custos e pressão sobre os recursos naturais. O planejamento e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos são essenciais para reduzir os impactos ambientais negativos e promover práticas sustentáveis. Há necessidade de melhorias na estrutura física do empreendimento, como a aquisição de uma balança rodoviária própria. Coube sugerir a atualização da resolução CONAMA 307/2002, a contratação de técnico habilitado pela Prefeitura de Imbituba e estudos complementares voltados a análise dos RCD.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos. Amostragem. Quali-quantitativa.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Jerônimo, Carvalho e Araújo (2012) a geração de resíduos sólidos no planeta ocorre desde os tempos mais remotos, ascendendo-se consideravelmente

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: igor.sruf@gmail.com.

² Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: luishenriqueperez@gmail.com.

³ Orientadora. Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: samiravolpato@gmail.com.

em quantidade a partir no surgimento do homem. A evolução antrópica e o desenvolvimento de técnicas propiciaram ao homem cultivar seus alimentos, sejam de origem vegetal ou animal, mantendo-se a tendência do aumento gradativo de resíduos sólidos produzidos, motivados pelo adensamento populacional, com o passar dos tempos. A produção de bens e artigos pela humanidade para o seu conforto e bem-estar, o consumo cada vez mais exacerbado e a mudança do seu hábito de vida, até então nômade, foram cruciais para a ocorrência das problemáticas referentes à geração em excesso e descarte irregular ou inadequado dos resíduos sólidos (Hempe e Noguera, 2012).

O aumento populacional significativo, ao longo dos séculos, somado ao advento da chamada revolução industrial, foram fatores decisivos para a migração de pessoas, em massa, aos grandes centros na busca por oportunidades de emprego e melhor qualidade de vida, acentuando o descarte inadequado de resíduos sólidos principalmente nessas grandes localidades (Ferreira; Lula; Soares, 2011).

A revolução industrial promoveu mudanças na forma de se produzir os produtos (Cavalcante; Silva, 2011). Segundo Silva, Nascimento e Moreira (2013) nesse período foram desenvolvidas novas tecnologias que possibilitaram o uso de materiais descartáveis, aumentando significativamente o volume de resíduos sólidos. Deste modo, os problemas relacionados com descarte inadequado e/ou irregular de resíduos sólidos, das mais distintas origens, têm causado riscos que podem se tornar efetivos impactos ambientais negativos ao meio ambiente, sejam no solo, nas águas, no ar, bem como prejuízos à saúde pública, com a disseminação de doenças, por exemplo, (Mota *et. al.*, 2009). Isso se deve a padrões de produção e consumo não sustentáveis que geram aumento sem precedentes de resíduos no ambiente sem o devido planejamento e gerenciamento dos resíduos sólidos gerados pela população.

Vale destacar que, em 2021, mais de 48 milhões de toneladas de resíduos de construção (civil) e demolição - RCD foram coletados no Brasil, uma quantidade 2,9% maior se comparada ao ano de 2020 (ABRELPE, 2022), tendo-se a média do ano de 2021 de, aproximadamente, 227 kg de RCD gerados, por pessoa. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE desse total, mais de 6,5 milhões de toneladas foram geradas na região sul do país, o que representa cerca de 216 kg gerados por habitante, anualmente

(ABRELPE, 2022).

Considerando que Imbituba é um município litorâneo, com belas paisagens naturais, atrai turistas e investidores interessados em adquirir imóveis no município, fato este que aquece o mercado imobiliário e, como consequência, gera especulação neste ramo. Estes fatores promovem o aumento da demanda por novas construções, que são grandes geradoras de resíduos de construção civil em Imbituba. No entanto somente partes destes resíduos são corretamente destinados à usina de reciclagem de RCD, cuja atividade é desenvolvida no município por uma empresa particular desde o ano de 2014. Essa atividade é fundamental para a reciclagem de RCD em Imbituba, onde o reaproveitamento desses resíduos evita a ocorrência de descarte inadequado/irregular de RCD e, ao mesmo tempo, essa reciclagem tende a viabilizar a redução da demanda pela extração de novos recursos junto ao meio natural. Desta forma, o objetivo deste trabalho consistiu em obter dados qualitativos e quantitativos referentes ao gerenciamento dos RCD por uma usina de triagem e reciclagem situada em Imbituba – SC. Justifica-se a relevância deste tema, abordado no presente trabalho, tendo em vista a grande problemática no município de Imbituba relacionada ao gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição e o descarte clandestino destes resíduos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LEGISLAÇÃO FEDERAL

Foram revisados, na pesquisa bibliográfica realizada pelos autores deste estudo, os seguintes instrumentos legais: A Lei Federal 12.305/2010, a qual instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, entre outras medidas, e; a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) N°307 de 05 de julho de 2002 que, conforme disposto em seu caput, “*Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*”.

2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

No Brasil a Lei nº12305, de 2 de agosto de 2010, estabelece a Política

Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS que trata da gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive os perigosos, e se aplica a todas as pessoas jurídicas ou físicas de direito público ou privado que geram esses resíduos, conforme as normas dos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA. A Lei define resíduos sólidos como materiais descartados pela sociedade em estado sólido, semissólido, líquido ou gasoso que exigem tratamento adequado conforme suas características. Por vezes, não é possível lançá-los na rede pública de esgoto ou em corpos d'água devido às particularidades e a inviabilidade econômica ou técnica da tecnologia mais avançada disponível.

A gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos do art. 3º, inciso XI, deve abranger medidas políticas, econômicas, ambientais, culturais e sociais, com participação da sociedade e seguindo o princípio do desenvolvimento sustentável. O gerenciamento desses resíduos, nos termos do inciso X do art. 3º, compreende atividades desde o recolhimento até a destinação final, incluindo os materiais descartados sem possibilidade de reaproveitamento, seguindo as orientações do plano municipal de gerenciamento integrado de resíduos sólidos ou do plano de gestão de resíduos sólidos.

Na PNRS a expressão geradores de resíduos sólidos se refere aos indivíduos ou organizações, públicas ou privadas, que produzem resíduos sólidos em suas atividades ou consumo. Outro conceito da Lei que cabe ser destacado é o da reutilização que consiste no procedimento realizado para o aproveitamento de resíduos sólidos, sem modificação biológica, física ou físico-química, sujeito as condições e requisitos definidos pelos órgãos competentes. A PNRS define reciclagem como o processo de transformação de materiais descartados em matérias-primas ou produtos novos, desde que seguidas as normas definidas pelos órgãos do SISNAMA. Criado pela Lei Federal nº6.938/1981 o SISNAMA consiste numa estrutura de informações voltada ao gerenciamento ambiental, composta por diversas entidades da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, encarregados de proteger, melhorar e recuperar a qualidade ambiental no país.

A PNRS define que a destinação final ambientalmente adequada inclui várias formas de destinação, como reutilização, reciclagem, compostagem e aproveitamento energético, entre outras permitidas pelos órgãos do SISNAMA. A disposição final também é permitida, desde que siga as normas operacionais para

prevenir riscos à saúde e ao meio ambiente. Rejeitos são resíduos sólidos que não têm outra opção, senão a disposição final de forma ambientalmente adequada como os aterros sanitários que devem seguir normas para evitar impactos negativos. A disposição final ambientalmente adequada, de acordo com a PNRS, pode ser compreendida como a disposição adequada de rejeitos em aterros sanitários, seguindo normas operacionais específicas, prevenindo ameaças à saúde pública e segurança, reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente.

A ordem de prioridade para o gerenciamento e gestão de resíduos sólidos, conforme o art. 9º da Lei federal 12.305/2010, consiste em: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e rejeitos. Essa gestão deve priorizar medidas que evitem o acúmulo de resíduos e promovam a recuperação do material para novas aplicações. Classificam-se os resíduos sólidos em: urbanos (resíduos domiciliares e de limpeza urbana) e da construção civil, por sua origem; resíduos perigosos (trazem riscos à saúde humana e a sanidade do ambiente) ou não perigosos, por sua periculosidade, nos termos do art. 13, incisos I e II, e suas alíneas.

Os planos de resíduos sólidos têm prazo de implantação de 20 anos a partir da promulgação da PNRS e de 4 anos para atualização, com revisão periódica. São classificados em Nacional, Estaduais, microrregionais, intermunicipais e municipais, além dos planos de gerenciamento de resíduos. O plano municipal deve incluir um diagnóstico da situação dos resíduos na área, apontar áreas apropriadas para a disposição final de rejeitos, especificar os métodos operacionais, programas de capacitação técnica e educação ambiental, pode ser incluído no plano municipal de saneamento básico e deve incluir ações para reduzir o desperdício e compartilhar informações com o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR.

De acordo com o art. 20 da PNRS as empresas do ramo da construção civil devem desenvolver um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS, conforme regulamentações e normas definidas pelos órgãos do SISNAMA. O PGRS, por vezes, é obrigatório em processos de licenciamento ambiental e deve estar em conformidade com as normas municipais e ambientais, sendo necessário ter um responsável técnico para elaborar, implementar, operar e monitorar todas as etapas do plano, incluindo a disposição final dos resíduos. As informações

atualizadas da implementação e execução do PGRS devem ser enviadas aos órgãos competentes.

2.1.2 Resolução CONAMA nº307/2002

No que se refere às diretivas relacionadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos de construção civil no país, tem-se a Resolução CONAMA nº307, de 05 de julho de 2002 (e suas alterações), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos de gestão dos resíduos de construção civil, cuja finalidade é instruir a execução de ações fundamentais para reduzir a ocorrência de danos ambientais decorrentes deste ramo de atividade.

Conforme a CONAMA nº307, resíduos de construção civil são:

“[...]os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”. (Brasil, 2002).

Entre os demais conceitos definidos pela CONAMA nº307 tem-se o de agregado reciclado que se trata de um material granular que resulta do processamento de resíduos de construção que possuem propriedades técnicas propícias ao uso em projetos de construção civil, como edifícios, obras de infraestrutura, aterros sanitários entre outras. Quanto ao processo de beneficiamento este consiste em submeter um material descartado às operações e/ou processos que visam torná-lo adequado para ser reutilizado como matéria-prima ou produto final. Os aterros de resíduos da construção civil são áreas projetadas para receber resíduos da construção civil Classe "A" de forma segura e eficiente, utilizando técnicas de disposição no solo e princípios de engenharia para reduzir seu volume e evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente, permitindo sua utilização futura. Por fim, as áreas designadas para o processamento ou a eliminação definitiva de resíduos são conhecidas como áreas de destino de resíduos.

O Artigo 3º da CONAMA nº307 classifica os resíduos de construção civil em:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação

e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015); III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11); IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04). § 1º No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida. (Redação dada pela Resolução nº 469/2015) § 2º As embalagens de tintas usadas na construção civil serão submetidas a sistema de logística reversa, conforme requisitos da Lei nº 12.305/2010, que contemple a destinação ambientalmente adequados dos resíduos de tintas presentes nas embalagens. (Redação dada pela Resolução nº 469/2015). (Brasil, 2002).

Nos termos dos Artigos 4º e 10 da CONAMA nº307, os resíduos da construção civil devem ser descartados de forma adequada e não podem ser colocados em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de despejo, em encostas, corpos d'água, lotes vagos ou em áreas protegidas por lei. Dependendo da Classe do resíduo, eles devem ser reutilizados, reciclados, armazenados temporariamente ou destinados de acordo com as normas técnicas específicas. Os resíduos de: Classe A - deve ser reutilizado ou reciclado; Classe B pode ser reutilizado, reciclado ou armazenado temporariamente; Classe C - deve ser armazenado, transportado e destinado de acordo com as normas técnicas específicas; Classe D - deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. O Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, nos termos do art. 5º, é a ferramenta de gestão municipal ou Distrital desse tipo de resíduo, sendo composta pelo Programa Municipal (ou Distrital) de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (por órgãos públicos) e os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (pela iniciativa privada).

Nos termos do art. 6º e seus incisos, da Resolução CONAMA nº307, deve-se incluir nos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil:

“I - as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores; (nova redação dada pela Resolução 448/12). [...]II - O cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento; III - o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos; [...]IV - A proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas; V - O incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo; VI - A definição de critérios para o cadastramento de transportadores; - As ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos; - As ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação” (Brasil, 2002).

As pessoas de direito privado, físicas ou jurídicas, responsáveis pela geração de resíduos de construção civil devem criar e implementar o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil - PGRCC no intuito de garantir o manuseio e a destinação adequada desses resíduos, conforme o art. 8º. De acordo com art. 8º, §1º e art. 9º, o PGRCC deve ser apresentado junto ao projeto do empreendimento para análise pelo órgão público municipal, conforme o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, e deve conter as seguintes etapas: identificação e quantificação dos resíduos, triagem preferencialmente realizada pelo gerador ou em áreas de destinação licenciadas, respeitando as classes de resíduos estabelecidas, acondicionamento adequado para garantir a reutilização, reciclagem, o transporte e a destinação destes, em conformidade com a CONAMA nº307/2002.

2.2 LEGISLAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – SC

Entre as Legislações de âmbito estadual que foram revisadas neste estudo, tem-se: A Lei 14.675/2009, a qual instituiu o Código Estadual do Meio Ambiente de SC, entre outras medidas; a Lei 15.251/2010 que, conforme seu caput, “*Veda o ingresso, no Estado de Santa Catarina, de resíduos sólidos com características radioativas e de resíduos orgânicos oriundos de frigoríficos e abatedouros, que apresentem riscos sanitários, tais como a disseminação de febre aftosa ou outras zoonoses*”, bem como a Portaria IMA/SC nº21 de 25 de janeiro de 2019 que, de

acordo com seu caput, “*Estabelece as condições de utilização do Sistema de Controle de Movimentação de Resíduos e Rejeitos no Estado de Santa Catarina, complementa a Portaria FATMA nº 242/2014 e revoga integralmente e substitui a Portaria FATMA nº 324 de 11.12.2015*”.

2.2.1 Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina

O Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina foi instituído através da Lei nº14675/2009 e, entre suas definições, revogou a Lei Estadual nº13557/2005 que tratava da Política Estadual dos Resíduos Sólidos. A Lei Estadual nº14.675/2009, em seu Artigo 13, inciso I, definiu que a Secretaria Estadual de Meio Ambiente, de maneira articulada e descentralizada, deve realizar a coordenação, fiscalização e regulamentação das políticas de resíduos sólidos em âmbito estadual. Entre as definições trazidas pela Lei 14.675/2009, destaca-se o exposto no art. 28-A, alínea d), inciso LXIV, que define tratamento de resíduos sólidos como “processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos e conduzem à minimização dos riscos à saúde pública e à qualidade do meio ambiente” (Santa Catarina, 2009).

De acordo com o art. 31 e Parágrafo 1º, da Lei 14.675/2009, cabe ao responsável por empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, durante a avaliação prévia de impactos ambientais, reduzir a produção de resíduos sólidos oriundos do desenvolvimento de suas atividades, através de intervenções as quais se fizerem necessárias para garantir a melhor eficiência no uso dos recursos naturais.

No art. 257, incisos I ao IV, da Lei nº14.675/2009, são descritos os objetivos Política Estadual de Resíduos Sólidos. Em síntese, os objetivos buscam implementar um sistema de gerenciamento de resíduos em todos os municípios de Santa Catarina, cujo enfoque é disciplinar e gerenciar o processo de descarte dos resíduos sólidos. Para alcançar esse objetivo, a ideia é fornecer crédito em apoio aos municípios para que possam desenvolver e implantar projetos para o tratamento e disposição adequados dos resíduos sólidos sujeitos ao licenciamento ambiental pelo órgão ambiental estadual. O plano tem, ainda, como objetivo a proposição de ações conjuntas entre a sociedade civil, pessoas físicas e jurídicas, e a iniciativa pública busca incentivar a colaboração entre as empresas, visando solucionar a

gestão dos resíduos sólidos.

Entre os instrumentos da Política de Gestão de Resíduos Sólidos, conforme o art. 258, incisos I ao V, tem-se:

“I – os planos e programas regionais integrados de gerenciamento dos resíduos sólidos; II – o apoio técnico e financeiro aos municípios; III – o inventário estadual de resíduos sólidos industriais; IV – o índice de qualidade das unidades de tratamento e disposição final de resíduos sólidos; e V – o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS)” (Santa Catarina, 2009).

Segundo a Lei nº14.675/2009, nos termos do art. 259, é de responsabilidade dos municípios gerenciar os resíduos sólidos urbanos de maneira integrada, podendo fazer isso de forma direta ou por meio de consórcios ou empresas privadas e, ainda que terceirizem o serviço, os governos locais serão responsáveis pela gestão dos resíduos. Outro assunto abordado na referida Lei é o transporte e a importação interestadual dos resíduos considerados perigosos que, de acordo com o art. 263, caberá ao órgão ambiental do Estado autorizar tais atividades. Cabe, também, ao órgão ambiental estadual a responsabilidade de garantir a gestão ambiental adequada dos resíduos sólidos em todos os processos, na coleta, transporte, tratamento e na disposição final adequada destes, nos termos do Artigo 271.

Conforme os Artigos 265 e 270 da Lei nº14.675/2009, aqueles que geram resíduos sólidos são obrigados a criar um plano de gerenciamento desses resíduos, sendo que as atividades, as quais possam causar impactos ambientais negativos ao meio ambiente, devem seguir os princípios básicos da Política Estadual de Resíduos Sólidos em seus projetos, para que estejam aptas ao licenciamento pelos órgãos ambientais. De acordo com o art. 273 da Lei Estadual nº14.675/2009 caso determinado resíduo sólido puder ser utilizado como matéria- prima, sem causar danos ao ambiente ou à saúde pública, poderá então ser usado, desde que obtenha, previamente, a licença ambiental antes do início de suas atividades.

2.2.2 Lei de Veto à Entrada de Resíduos Sólidos no Estado de SC

A Lei Estadual 15.251 de 03 de agosto de 2010, e suas alterações promovidas pela Lei Estadual 15.442 de 17 de janeiro de 2011, traz em seu art. 2º,

§1º, as informações mínimas as quais devem constar no documento denominado Manifesto de Transporte de Resíduos e Rejeitos - MTR, sendo:

“I - numeração sequencial; II - discriminação dos diferentes tipos de resíduos sólidos, incluindo denominação, classe, estado físico, tipo de acondicionamento e código segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, e as respectivas quantidades embarcadas; III - identificação: a) destinador; e (Redação dada a alínea pela Lei nº 15.442, de 17.01.2011, DOE SC de 18.01.2011) b) do transportador; c) do veículo; e d) do destinatário”. (Santa Catarina, 2010).

O gerador, o transportador e o destinatário de resíduos, conforme o art. 2º, §2º ao §5º, precisam atestar a efetivação do embarque, transporte e recebimento no documento MTR, através de assinatura, carimbo ou selo, mantendo em arquivo uma via para fiscalização, sendo considerado responsável e corresponsável para tal, respectivamente, o gerador e o transportador. O transportador deve apresentar o MTR aos agentes de fiscalização e, caso houver irregularidades, veículo e carga serão retidos até a regularização.

Conforme exposto no Artigo 3º, Parágrafo 1º, da Lei Estadual nº15.251/2010, as informações mínimas que devem constar no Certificado de Destinação Final – CDF, são:

“I - numeração sequencial; II - identificação do gerador; III - discriminação dos diferentes tipos de resíduos, incluindo denominação, classe e estado físico, as respectivas quantidades destinadas e tecnologias de tratamento aplicadas”. Quanto ao conteúdo mínimo que deve constar no relatório mensal das atividades desenvolvidas pelos destinadores, o qual deve ser apresentado ao órgão ambiental responsável, de acordo com o art. 3º, Parágrafo 4º, tem-se: “I - identificação dos geradores; II - discriminação dos diferentes tipos de resíduos recebidos e destinados, incluindo denominação, classe e estado físico e as respectivas quantidades; e III - relação dos documentos CDF emitidos”.

Nos Parágrafos 2º e 3º, do art. 3º, é imposta a responsabilidade ao destinatário quanto a precisão e a veracidade dos dados apresentados no documento CDF que deve, obrigatoriamente, ser assinado por um profissional habilitado, sendo proibida a emissão deste documento para atividades não licenciadas e intermediários, como gerenciadores e transportadores, que não realizam de forma direta a destinação final desses resíduos.

2.2.3 Portaria do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA/SC – Portaria IMA/SC nº21/2019

A Portaria IMA nº21 de 25 de janeiro de 2019, do Instituto do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – IMA/SC define os termos para o uso do Sistema de Controle de Movimentação de Resíduos e Rejeitos em Santa Catarina, a qual revogou e substituiu a Portaria FATMA nº324/2015, determinando os requisitos para o uso do Sistema de Controle de Movimentação de Resíduos e Rejeitos - Sistema MTR.

O art. 3º da Portaria IMA nº21/2019 aponta as definições de alguns dos documentos relacionados ao assunto em comento, entre os quais destacam-se: Certificado de Destinação Final de Resíduos e Rejeitos (CDF) - trata-se do registro emitido pela empresa responsável pela destinação dos resíduos e rejeitos, atestando que a disposição final foi devidamente realizada; Declaração de Movimentação de Resíduos e Rejeitos (DMR) - registro que documenta as quantidades de resíduos e rejeitos produzidos, transportados e dispostos por empresas geradoras, transportadoras e destinadoras; Manifesto de Transporte de Resíduos e Rejeitos (MTR) - documento que monitora a expedição e o transporte de resíduos e rejeitos, e cabe à empresa que os gera emitir esse documento para garantir a sua responsabilidade no processo.

Entre outras definições do art. 3º da Portaria nº21/2019, tem-se: Transportador - quem transporta os resíduos sólidos; Transporte externo - aquele feito fora do local onde os resíduos foram gerados; Destinador - empresa responsável pela destinação final ambientalmente correta. O art. 3º, alínea b, dispõe que os Resíduos de Construção Civil – RCC, à exceção os de Classe D, não são sujeitos à expedição de MTR. Os RCC Classe D, classificados como perigosos, deverão ser enviados à aterros licenciados à esse fim, junto ao MTR emitido no Sistema MTR, nos termos do § 3º do art. 4º.

Os recicladores, como sucateiros, aparistas e blendeiros, ao enviar à um novo destinador os seus resíduos produzidos, deverão emitir um MTR no sistema MTR, nos termos do art. 5º. Conforme o Art. 6º e seus Parágrafos 1º, 2º, 3º e 4º, os geradores, transportadores e destinadores devem enviar uma DMR através do Sistema MTR a

cada semestre, dentro do primeiro trimestre seguinte ao período reportado. A DMR semestral inclui apenas os Manifestos recebidos pelo destinador no semestre reportado e deve conter informações sobre a geração ou destinação de resíduos. Devem ser incluídas informações sobre a geração ou destinação de resíduos nas declarações de DMR pelos geradores ou destinadores, respectivamente. A DMR emitida pelo Sistema MTR substitui a entrega física do inventário de resíduos ao órgão ambiental. O Sistema MTR permite que os usuários se cadastrem e utilizem o sistema para emitir e controlar MTR, CDF e DMR e não há taxas para usar este sistema, conforme o art. 7º da Portaria IMA nº21/2019.

Os destinadores, nos termos do art. 8º, Parágrafos 1º, 2º, 3º e 4º, devem fornecer aos geradores um CDF atestando que os resíduos e rejeitos recebidos foram adequadamente destinados, conforme prevê a Lei Estadual 15.251/2010. Cabe apenas ao destinador responsável pela destinação final emitir o CDF, sendo vedada sua emissão pelos intermediários, tais como as transportadoras e os armazenadores temporários. Cabe destacar que o MTR e o Relatório de Recebimento não substituem o CDF e, caso não seja a atividade licenciável, o destinador deverá solicitar ao órgão ambiental competente a Certidão: de Conformidade Ambiental, ou; de Atividade não Constante, ou documento similar caso seja de outro Estado.

2.3 LEGISLAÇÃO DE ABRANGÊNCIA LOCAL

Foi pesquisado pelos autores deste estudo a respeito do arcabouço legal sobre RCD, em âmbito municipal. Contudo, as legislações encontradas direcionavam-se para outros tipos de resíduos como, por exemplo, a LEI Municipal N.º 5.389 DE 17 DE MARÇO DE 2023 que “dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de Imbituba” ou, ainda, a LEI COMPLEMENTAR Nº 3893 DE 03 DE MAIO DE 2011 que dispõe sobre a reformulação da Política Municipal de Saneamento Básico, conforme as diretrizes nacionais, bem como aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB e estabelece outras providências. Sobre os resíduos sólidos, o último regulamento mencionado limita-se, apenas, em abordar o manejo de resíduos sólidos urbanos não fazendo quaisquer menções, tampouco critérios para gerenciamento de RCD no

município de Imbituba.

É oportuno mencionar que o Plano Municipal de Saneamento Básico, aprovado pela Lei Complementar Nº 3893/2011, encontra-se atualmente em processo de revisão onde após pesquisa foi identificado que as informações mais atualizadas sobre esse processo constam no 7º Relatório preliminar, datado de março de 2022, sob responsabilidade de elaboração da empresa Saneville Engenharia e Consultoria Ltda. De acordo com o referido documento, considerando o disposto na Resolução CONAMA Nº 307/2002 e Lei Federal Nº 12.305/2010, foi apontado pela empresa que, legalmente, o manejo adequado dos RCD, seja na coleta, transporte e destinação, compete ao responsável por gerar este tipo de resíduo. Nesse sentido, conforme exposto no documento de revisão do PMSB, o gerador deve adotar as medidas cabíveis para a destinação final ambientalmente adequada dos RCD, não cabendo responsabilidade ao poder executivo do município de Imbituba quanto a execução das medidas anteriormente mencionadas.

Cabe informar que em meados da década de 2010 o município de Imbituba foi inserido em um levantamento em esfera regional, a fim de apontar as questões relacionadas a gestão dos RCD dentro do município através de um plano proposto pela Associação dos Municípios da Região de Laguna – AMUREL. O Plano de Gestão Regionalizada de Resíduos da Construção Civil - PGRRCC, elaborado no ano de 2015, foi desenvolvido pela empresa SC Engenharia e Geotecnologia Ltda., com apoio do Governo do Estado de Santa Catarina através da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável – SDS, trazendo o diagnóstico do gerenciamento, bem como a proposta de gestão integrada dos RCD aos municípios da AMUREL.

Segundo AMUREL (2015) a intenção em implementar o PGRRCC na região foi buscar promover uma gestão eficiente dos resíduos, provenientes da construção civil, em 16 dos 18 municípios que compõem à Associação, desenvolvendo um plano de gestão regional integrada e soluções compartilhadas, visando a implementação de práticas sustentáveis e responsáveis em relação aos RCD gerados. Embora Imbituba tenha sido um dos 16 municípios contemplados com o projeto da AMUREL, nenhum destes era responsável pela coleta e transporte de RCD. Conforme consta no PGRRCC no município de Imbituba não havia lei municipal, tampouco plano de gerenciamento de RCD, fato este que perdura até os

dias atuais. As informações relevantes deveriam ser encaminhadas à um banco de dados, o qual seria criado e, constantemente, atualizado e analisado por Comissão própria e, posteriormente, inserir essas informações ao SINIR.

O PGRRCC continha, além da caracterização regional, aspectos legais em nível federal, estadual e municipal, bem como instrumentos de planejamento. Entre os apêndices trazidos pelo PGRRCC destacam-se: projeções populacionais e de geração de RCD; especificidades municipais; plano simplificado de gerenciamento de RCD; relatório anual aos grandes geradores, transportadores e receptores de RCD, e; um modelo de projeto de Lei. Informa-se que, embora no estudo tenha sido mencionado que a área da usina de reciclagem de RCD em Imbituba necessitava à época de adequações, esta usina foi a primeira do tipo a ser implementada na região (AMUREL, 2015).

Segundo Reis (2021) o PGRRCC desenvolvido pela AMUREL apontou que no município de Imbituba não há serviços de remoção de resíduos de construção para obras privadas, onde a prefeitura orienta os moradores a contratar empresas especializadas e que a falta de remoção de resíduos pela prefeitura pode resultar em danos, pois o depósito é feito em caçambas e o transporte é geralmente informal. Imbituba.

3 METODOLOGIA

Segundo Gil (2022, p.17), uma pesquisa é um processo sistemático de investigação que busca obter novos conhecimentos, esclarecer dúvidas ou validar as teorias existentes. É uma atividade que envolve a coleta, análise e interpretação de informações com o objetivo de responder a uma pergunta ou resolver um problema específico.

A metodologia aplicada neste estudo utilizou como estratégias de pesquisa o Estudo de Caso em análises organizacionais/gerenciais, conforme descrito por Yin (2001), associando-se este a estratégia de Levantamento de dados em quali-quantitativa ou método misto. O método misto possibilita correlacionar as abordagens qualitativa e quantitativa sobre o fato, processo ou evento sob análise por parte do(s) responsável(is) pela pesquisa que se almeja desenvolver, através de experiências, coleta de dados, para a fundamentação teórica de suas observações. Uma pesquisa

quali-quantitativa consiste em um estudo no qual é realizada uma descrição do contexto em que ocorrem os fenômenos ou fatos através da junção das perspectivas qualitativas e quantitativas (Rodrigues; Oliveira; Santos, 2021). Essas perspectivas são obtidas através da mescla dos dados quali-quantitativos obtidos durante a pesquisa, sejam na forma de palavras, imagens, variáveis etc. (Cesario; Flauzino; Mejia, 2020).

Este estudo, relacionado a geração, coleta, triagem e reciclagem dos RCD no município de Imbituba, foi desenvolvida na forma de pesquisa exploratória a qual, por suas características, abrange todo o tipo de estudo que tem por objetivo verificar uma determinada constatação em um fenômeno ou organismo (BAFFI, 2002). Para a realização do presente estudo foram aplicados instrumentos de pesquisa, por meio de questionários semiestruturados de questões mistas, bem como a realização de levantamentos de dados em campo.

A fim de entender a situação atual dos RCD destinados à empresa, adaptou-se a metodologia proposta por Oliveira (2020), onde foram definidas 3 fases, sendo:

- 1) Pesquisas de campo na usina de reciclagem da empresa Eco Recycle;
- 2) Análise quantitativa e qualitativa, por amostragem, de resíduos recebidos pela usina de RCD, observada a classificação estabelecida pela resolução CONAMA 307/2002, bem como amostragem em monte/pilha nos termos da Normativa NBR 10007/2004 elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT;
- 3) Elaboração e aplicação de instrumentos de pesquisa por meio de questionários semiestruturados os quais foram aplicados ao: proprietário/responsável pela usina de RCD; responsável pela empresa de coleta e transporte dos resíduos; responsável pelo setor de resíduos sólidos da Prefeitura Municipal de Imbituba; e junto a uma empresa geradora desse tipo de resíduo.

Foram realizadas pesquisas *in loco* no intuito de que fossem obtidas instruções quanto as etapas de movimentação dos resíduos dentro do estabelecimento, desde o seu recebimento até a destinação final adequada, não somente através da reciclagem dos RCD como também dos demais resíduos recicláveis, bem como a disposição final adequada dos rejeitos.

Os instrumentos de pesquisa semiestruturados, elaborados através de

adaptações dos questionários propostos por Oliveira (2020), tiveram como objetivo instruir sobre o processo de geração, transporte e reciclagem de RCD destinados a usina em questão, assim como também sobre a regulação pelo poder público municipal das atividades que compõem este ciclo.

Sobre as análises quantitativas e qualitativas de resíduos foram amostrados os materiais recebidos pela usina, na análise dos resíduos contidos em duas caçambas de 4,5 m³ de volume cada, nos dias 24 de maio e dia 09 de junho de 2023, onde foi realizada a segregação destes, considerando a classificação definida na Resolução CONAMA 307/2002.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Imbituba, situado na região Sul catarinense nas coordenadas 28°14'24" S e 48°40'13" W, dista a 90 km de Florianópolis, aproximadamente, com altitude média acima do mar em 30 metros e possui em torno de 182 Km² de área. No que se refere aos seus limites territoriais tem-se: a sul com o município de Laguna; ao Norte com os municípios de Paulo Lopes e Garopaba; a oeste com o município de Imaruí, e; a Leste com o Oceano Atlântico (Município de Imbituba, 2014), sendo estimados cerca de 52.581 habitantes para o município (IBGE, 2022).

4.1 PESQUISAS DE CAMPO NA USINA DE RCD

Em visitas ao estabelecimento Eco Recycle, coordenadas UTM WGS-84 724636,50m E 6879907,13m S situado na Rua João Silvério de Araújo no bairro Nova Brasília, município de Imbituba – SC conforme Figura 1, estabeleceu-se contato com o proprietário e responsável pelo empreendimento Sr. Geremias Ribeiro. Na oportunidade foram obtidas informações sobre o funcionamento do estabelecimento, assim como também sobre as características dos resíduos que são destinados ao estabelecimento, sazonalidade, bem como seus procedimentos operacionais.

Figura 1 - Imagem de satélite do empreendimento



Fonte: Google Earth (2023).

A empresa Eco Recycle iniciou as atividades de sua usina de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição no ano de 2014, possuindo a sua devida licença ambiental de operação obtida junto ao órgão ambiental municipal. A usina de RCD na data da visita possuía cerca de 16 colaboradores trabalhando em período diurno, sendo distribuídos entre os setores de produção, encontrando-se estes em maior número no setor de triagem de resíduos, segundo informações fornecidas pelo proprietário da empresa.

Foi observado durante as visitas à usina que todos os colaboradores utilizavam EPI adequado para suas funções. Em conversa com alguns colaboradores foi relatado que o estabelecimento possui local para refeições, embora possua tamanho limitado. Destaca-se que a força de trabalho na usina, segundo informações obtidas, é em parte composta por trabalhadores os quais não puderam concluir a educação formal. Apesar do serviço ser árduo, parte dos colaboradores compreende a relevância do trabalho por eles prestado.

Na oportunidade o Sr. Geremias informou que somente uma das empresas coletoras de resíduos (tele entulho), que atuam no município de Imbituba, destinam os resíduos que recolhem para a usina (Figura 2). A razão para tal ocorrência seria, de acordo com o proprietário da usina, a comercialização clandestina desses resíduos para terceiros, por parte das demais empresas de tele entulho.

Figura 2 - À esquerda da imagem: a usina de RCD da empresa Eco Recycle. À direita da imagem: o basculamento de caçamba por uma empresa de coleta e transporte de resíduos



Fonte: Autores (2023).

Vale mencionar que, segundo relato do responsável pela usina, ocasionalmente ocorre a destinação de resíduos por particulares em pequenas quantidades, muitas vezes, trazidas até a usina por estes através do uso de pequenos reboques (carretinhas) e/ou camionetes.

De acordo com o proprietário da Eco Recycle não há possibilidade de prever as quantidades de resíduos recebidos diariamente ou semanalmente, tampouco se há homogeneidade, ou não, dos resíduos que chegam ao estabelecimento. Contudo, o responsável pela usina de reciclagem informou que, entre os meses de junho e dezembro, o material recebido geralmente apresenta melhor qualidade se comparado aos recebidos entre os meses de janeiro e maio. Tal fator, segundo o Sr. Geremias, é motivado pela destinação de resíduos oriundos da realização de limpezas em terrenos, podas de árvores e similares nas residências do município sobretudo nas casas de veraneio.

Após o recebimento dos resíduos ocorre a triagem dos materiais, sendo esta realizada de forma manual por parte dos colaboradores da usina, conforme é possível observar na Figura 3 à esquerda. Entre os resíduos segregados manualmente tem-se: os metais (ferro, alumínio, cobre etc.), plásticos, papel/papelão, madeiras, equipamentos eletrônicos e poliestireno expandido EPS (popularmente denominado como isopor). Esses resíduos, após serem removidos da pilha de recebimento, são acondicionados em Big Bags ou fardos (exceto as madeiras, e os materiais não recicláveis) e posteriormente prensados em uma prensa hidráulica. Após a prensagem, os materiais são levados até as dependências

de uma empresa parceira da usina para realização da pesagem dos resíduos, por tipo, tendo em vista que o estabelecimento não possuía sua própria balança de pesagem, na data da visita. Destaca-se que os demais resíduos sólidos, oriundos de construção civil e de demolição, são mensurados pela usina em metros cúbicos (m³) tendo-se como forma de quantificação a metragem cúbica que as caçambas metálicas comportam, sendo 4,5 m³ cada caçamba, conforme Figura 3 à direita.

Figura 3 - À esquerda da imagem: a realização de triagem de resíduos de forma manual. À direita da imagem: Caçamba de resíduos posicionada em uma via no município de Imbituba.



Fonte: Autores (2023).

Os resíduos da Classe A (componentes cerâmicos como tijolos, revestimentos, telhas, argamassa, concreto, areia) segundo a Resolução CONAMA 307/2002, são vendidos para as mais diversas obras da construção civil servindo, por exemplo, como base para pavimentação. Quanto a destinação dos resíduos da Classe B (plásticos, papéis, metais, equipamentos eletrônicos), cabe informar que estes são vendidos, por quilo, para as indústrias de transformação, exceto madeiras. As madeiras, com exceção daquelas submetidas a tratamento e os materiais que assemelham a estas como MDP (*Medium Density Particleboard*) e MDF (*Medium Density Fiberboard*), após sua cominuição Figura 4 são comercializadas em m³ junto as empresas do município que utilizam caldeiras e secadores movidos a lenha.

Figura 4 - À esquerda da imagem: operador realizando a cominuição da madeira não tratada. À direita da imagem: Armazenamento dos “cavacos” de madeira.



Fonte: Autores (2023).

O Poliestireno Expandido - EPS (Classe C) também é vendido para uma indústria de transformação situada no próprio município de Imbituba. Por fim, os demais resíduos considerados Classe C e Classe D (verniz, tinta, solvente), são segregados dos demais e, por não serem comercializáveis devido as suas características, são considerados rejeitos e acondicionados em outras caçambas (Figura 5) e, posteriormente, encaminhados ao destino final adequado. As madeiras tratadas, os MDF's e MDP's, assim como os resíduos das Classes C e D são considerados rejeitos e, por este motivo, deverão ser encaminhados para sua destinação final ambientalmente adequada, ou seja, são enviados para aterros industriais. Esta destinação (composta por transporte e descarte) é custeada pela usina de reciclagem. Cabe mencionar que, embora os materiais de borracha sejam classificados como de Classe B pela resolução CONAMA 307/2002, esse tipo de material é destinado pela usina como rejeito junto aos de Classe C e D.

Figura 5 – À esquerda da imagem: Os resíduos classificados como rejeitos pela usina dentro da caçamba aguardando destinação final ao aterro industrial. À direita da imagem: Na área coberta da usina são armazenados os materiais das Classes B, C e D após a triagem.



Fonte: Autores (2023).

4.2 QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DA GERAÇÃO DO RCD

Nos dias 24 de maio e 09 de junho de 2023 foram realizadas, nas dependências da usina de reciclagem, amostragens em caçambas basculadas pela empresa de tele entulho que exerce suas atividades no município de Imituba onde foram qualificadas na forma de triagem por classe, conforme Resolução CONAMA 307/2002. Foi estimada a quantidade volumétrica de RCD recebida pela usina através do uso de uma trena métrica, com a qual aferiram-se os resíduos, já segregados por tipo. Após a realização das medições foram estimados os volumes e, em seguida, buscou-se na literatura os valores de densidade e, posteriormente, calculadas as médias para cada tipo de material que foram observados nas caçambas.

Com o material recém basculado da caçamba pela empresa de tele entulho foi realizada manualmente a triagem dos resíduos Classes B, C e D (Figura 6), sendo estes segregados, por tipo, sendo identificados: Classe B – borrachas, plásticos, papeis/papelões, vidros, metais, madeiras não tratadas e EPI (Equipamento de Proteção Individual); Classe C - EPS; Classe D – madeiras tratadas. Foram ainda observados resíduos sólidos urbanos dispostos em meio aos RCD, tais como: recipientes com restos de resíduos orgânicos (marmita); podas e cortes de vegetações; garrafas de vidro; embalagens plásticas.

Figura 6 - À esquerda da imagem: Realização da triagem manual na primeira caçamba amostrada. À direita da imagem: Material oriundo da segunda caçamba amostrada.



Fonte: Autores (2023).

Após triagem foram registradas as dimensões aproximadas (Figura 7), desses resíduos, sendo identificados os volumes os quais foram correlacionados com as respectivas densidades médias de cada tipo de material e assim definiram-se as massas, em quilogramas, de cada tipo de resíduo, bem como o somatório por classes.

Figura 7 - À esquerda da imagem: Resíduos de papel/papelão após triagem da primeira caçamba. À direita da imagem: Registro das dimensões aproximadas dos resíduos para definição dos volumes.



Fonte: Autores (2023).

Por fim, devido à quantidade e a variedade dos resíduos considerados Classe A, encontrados nas caçambas amostradas, não foi possível realizar a segregação total por tipo de material (cerâmicas, areia etc.), sendo que a diversidade e quantidade destes possibilitou, apenas, a realização de cálculo do total da massa das amostras. Após mensurar a altura da pilha, contemplou-se a execução do procedimento de coleta de amostras dos resíduos Classe A nas duas caçambas em

quantidade (Figura 8) conforme a metodologia para amostragem em montes ou pilhas, definida na normativa ABNT NBR 10007/2004, que possibilitou a realização da pesagem dessas amostras com o auxílio de uma balança doméstica, bem como observar o tipo de material predominante na amostra coletada em cada caçamba, que por sua vez representou o total dos resíduos Classe A de cada caçamba.

Figura 8 - À esquerda da imagem: Coleta de amostra de resíduos Classe A da primeira caçamba. À direita da imagem: Coleta de amostra de resíduos Classe A da segunda caçamba.



Fonte: Autores (2023).

O Quadro 1 traz os materiais encontrados nas caçambas amostradas e suas respectivas densidades médias, obtidas através dos cálculos demonstrados a seguir, a partir da bibliografia consultada, sendo estas: Rio de Janeiro (2021) e Gomes, Oliveira e Gomes (2021).

A fim de estabelecer um índice de densidade mediana para que fossem quantificados os materiais por tipo, independente da sua densidade específica, utilizou-se a fórmula matemática (Equação 1) da média aritmética simples para definir as densidades médias desses materiais, a qual segue abaixo:

Equação 1

$$dm = \frac{d1 + d2 + \dots + dn}{n}$$

onde: dm = densidade média;

$d(x)$ = densidades diversas de cada tipo de material;

n = quantidade total de densidades de cada tipo de material.

A seguir o quadro com os tipos de materiais encontrados nas amostragens realizadas em 2 caçambas que foram basculadas na usina, as classificações desses

materiais, conforme estabelecido na Resolução CONAMA 307/2002 e os valores referentes as densidades médias dos materiais triados pelos autores no processo de quantificação dos RCD encontrados.

Quadro 1 - Densidade média dos tipos de materiais e sua classificação.

Tipos de Materiais	Classe (CONAMA 307/2022)	Densidade Média Kg/m³
Terra Arenosa	Classe A	1.700
Tijolo	Classe A	1.250
Ferro	Classe B	7.400
Borracha	Classe B	1.700
Papel/Papelão	Classe B	1.500
Plástico	Classe B	2.100
Vidro	Classe B	2.500
Madeira	Classe B	600
Alumínio	Classe B	2.600
EPS (isopor)	Classe C	18,6
Madeira tratada	Classe D	600

Fonte: Rio de Janeiro (2021) e Gomes, Oliveira e Gomes (2021).

A usina de reciclagem de RCD, única no município de Imbituba em funcionamento, não possui balança de pesagem própria no estabelecimento. Sendo assim, o proprietário da usina utiliza balança de um estabelecimento parceiro em outro bairro. Por este motivo, para que fosse possível verificar a pesagem dos materiais, após a triagem realizada neste estudo, aferiu-se a metragem cúbica aproximada dos materiais Classes B, C e D, a fim de estabelecer os volumes, bem como estimar esta informação sobre as pilhas de material Classe A. Estimou-se o volume dos RCD Classe A partindo da altura da pilha, após a triagem desse resíduo das demais classes, e da largura e do comprimento da abertura da caçamba.

Coletaram-se amostras dos resíduos Classe A, a fim de observar os materiais predominantes em cada pilha amostrada. Esses materiais representaram o total dos resíduos Classe A de cada caçamba e utilizou-se a densidade média desse material para estimar a massa (em Kg) dos RCD Classe A de cada caçamba e do total.

Para realizar os cálculos dos volumes, dos diferentes materiais encontrados, foi utilizada uma trena métrica com a qual encontraram-se as dimensões de largura,

comprimento e altura. Esses dados coletados foram inseridos nas fórmulas, de acordo com a forma geométrica que os materiais foram melhor dispostos. Observou-se em Almeida (2020) algumas das fórmulas matemáticas utilizadas para obtenção de volumes, dentre as quais foram aplicadas: do cilindro (Equação 2), e; do paralelepípedo (Equação 3). Demonstram-se a seguir as referidas fórmulas utilizadas para obtenção dos volumes (em m³):

Equação 2

Cilindro

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

onde: v = volume

r = raio da circunferência

h = altura

Equação 3

Paralelepípedo

$$v = l \cdot c \cdot h$$

v = volume

l = largura

c = comprimento

h = altura

Após definidos os volumes estimados para os materiais já segregados por tipo, foram calculadas as massas (em kg) destes, através da seguinte formula:

Equação 4 $m = dm \cdot v$

onde: m = massa

dm = densidade média

v = volume

Na primeira amostragem realizada houve a segregação manual dos resíduos, com o auxílio de pá. Após triados, os resíduos foram agrupados de acordo com as suas Classes (A, B, C e D), bem como coube segregar também os resíduos sólidos urbanos - RSU (podas e resíduos orgânicos) encontrados em meio ao material. A segregação de materiais na segunda caçamba analisada ocorreu da mesma forma que na primeira.

5 RESULTADOS

5.1 QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE RCD

Através da triagem dos RCD foram desenvolvidos processos de quantificação, bem como de qualificação dos resíduos destinados à usina de RCD. Uma vez que houve a segregação dos materiais, por tipo, evidenciou-se as características quanto a composição dos materiais nas caçambas amostradas. Após a triagem na primeira caçamba foram encontrados os seguintes materiais nas quantidades dispostas na tabela a seguir:

Tabela 1 – Resultado da amostragem da primeira caçamba de RCD

PRIMEIRA AMOSTRAGEM		
CLASSES (CONAMA 307/2002)	TIPOS DE MATERIAIS	MASSAS (kg)
A	Terra arenosa, concreto, cimento, telhas e tijolos inteiros e quebrados, pisos/azulejos quebrados.	11,560 4.320,000*
	Madeira não tratada	96,957
B	Vidro	0,195
	Plástico	68,006
	Papel	234,531
	Ferro	1,021
C	Borracha	17,493
	EPS (isopor)	7,663
D	Madeira tratada	7,247

*Valor estimado da massa conforme o volume pressuposto de RCD Classe A, à partir da altura da pilha após a triagem desse resíduo das demais classes, e da largura e do comprimento da abertura da caçamba.

Fonte: Os autores (2023).

Ao concluir a triagem dos materiais que estavam dispostos na segunda caçamba foram encontrados os seguintes materiais nas quantidades dispostas na tabela abaixo:

Tabela 2 – Resultado da amostragem da segunda caçamba de RCD

SEGUNDA AMOSTRAGEM		
CLASSES (CONAMA 307/2002)	TIPOS DE MATERIAIS	MASSAS (kg)
A	Areia/terra, concreto, cimento, tijolos inteiros e quebrados.	14,17 5.049,000*
	Madeira não tratada	14,63
B	Plástico	39,51
	Papel	17,60
	Ferro	0,94
	Alumínio	0,00028
D	Madeira tratada	10,88

*Valor estimado da massa conforme o volume pressuposto de RCD Classe A, à partir da altura da pilha após a triagem desse resíduo das demais classes, e da largura e do comprimento da abertura da caçamba.

Fonte: Os autores (2023).

Na fase de segregação dos resíduos que se encontravam nas caçambas analisadas foram identificadas, em ambas, deposições de RSU. Desta classe de material foram observados, em significativa quantidade, galhos podados e plantas suprimidas. Após aferidos os volumes deste tipo de material, nas caçambas amostradas, utilizando-se o valor de densidade proposto por Silva (2011) foram calculadas as respectivas massas. Na primeira caçamba a massa (em kg) desse tipo de resíduo foi maior, cerca de 275 kg, se comparada a segunda caçamba, com 4 kg, aproximadamente. Vale mencionar que, de acordo com o responsável pela usina, não há destino para este tipo de material após sua identificação durante o processo de triagem, uma vez que esses resíduos são destinados ao estabelecimento à sua revelia.

Coube também calcular a média das massas dos tipos de RCD encontrados nas caçambas amostradas, as quais foram obtidas através da soma das massas das amostras da 1ª e 2ª caçamba e, em seguida, divididos por 2. A fim de estimar a média das massas (em kg), por ano, dos RCD gerados em Imituba, utilizou-se a informação de movimentação anual de caçambas, obtida junto ao responsável legal pela única empresa que realiza coleta e transporte deste tipo de resíduo no município, a qual o destina à usina de reciclagem. Segundo o indivíduo, anteriormente citado, são basculadas na usina de RCD, anualmente, cerca de 3.600 m³ de resíduos que, divididos por 4,5 m³ (capacidade total suportada por uma caçamba) equivalem a, aproximadamente, 800 caçambas de RCD por ano.

Deste modo, após obtidas as médias das massas dos tipos de resíduos, foram multiplicados esses valores por 800, uma vez que esta é a quantidade aproximada de caçambas basculadas na usina de RCD, anualmente.

Abaixo a tabela com as informações das massas dos RCD, por tipo, em estimativa anual:

Tabela 3 – Resultado das estimativas anuais de RCD recebidos pela usina

ESTIMATIVA ANUAL DOS RCD (EM KG)			
CLASSES (CONAMA 307/2002)	TIPOS DE MATERIAIS	MASSAS MÉDIA (kg)	MASSA ANUAL (kg)
A	Areia/terra, concreto, cimento, tijolos inteiros e quebrados.	12,865 4684,50*	10.292,00 3.747.600,00*
B	Madeira não tratada	55,794	44.635,20
	Vidro	0,195	156,00
	Plástico	53,758	43.006,40
	Papel	126,066	100.852,80
	Ferro	0,981	784,80
C	Borracha	17,493	13.994,40
	Alumínio	0,00028	0,22
	EPS (isopor)	7,663	6.130,40
D	Madeira tratada	9,064	7.251,20

*Valor estimado da massa conforme o volume pressuposto de RCD Classe A, à partir da altura da pilha após a triagem desse resíduo das demais classes, e da largura e do comprimento da abertura da caçamba.

Fonte: Os autores (2023).

5.2 INFORMAÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DOS QUESTIONÁRIOS SEMIESTRUTURADOS

A fim de subsidiar mais dados que corroborassem para uma qualificação mais detalhada, quanto a geração dos RCD, foram aplicados questionários junto aos atores que compõem, de forma direta ou indireta, o ciclo desses resíduos no Município de Imbituba, desde a geração até a sua destinação à usina de reciclagem de RCD, bem como o controle e fiscalização desse tipo de resíduo. Para tal, foram formulados questionários, com perguntas específicas para cada segmento, sendo aplicados: ao setor responsável pela gestão pública dos resíduos sólidos no Município de Imbituba; ao profissional técnico responsável por uma obra, representando o gerador de RCD; ao proprietário da única empresa de coleta e transporte de RCD em Imbituba que destina, exclusivamente, os resíduos na usina,

e; ao responsável pela usina de RCD. Com relação aos questionários semiestruturados que foram aplicados no presente estudo, houve anuência dos entrevistados, sendo importante ressaltar que todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE.

No questionário, aplicado ao responsável pelo setor de gestão dos resíduos sólidos no Município de Imbituba foi informado que, atualmente, a Prefeitura de Imbituba não possui controle sobre as empresas de coleta e transporte de RCD que atuam no município, e que também não é exigida qualquer documentação específica para análise pelo setor responsável pela gestão de resíduos sólidos. Informou também que não há um PGRCC Municipal implantado e que não existem informações disponíveis sobre o descarte irregular de RCD pela população, nem sobre locais onde supostamente ocorreriam descarte frequente.

Afirmou, ainda, que não possuía informações a respeito de suposto descaminho de RCD pelas empresas de coleta e transporte e que as medidas adotadas pela municipalidade para coibir e evitar esses descartes irregulares envolvem fiscalização e recolhimento dos resíduos espalhados pelo município. Ao final, o servidor informou que Imbituba não possui controle dos RCD através do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e que, quando o plano de resíduos (que estaria em estudo pela municipalidade) for implantado no município esses dados poderão ser acompanhados.

Em aplicação de questionário, junto ao proprietário da empresa responsável pela coleta e transporte de RCD no município, foi informado que a empresa atua em todos os bairros do município, atendendo exclusivamente Imbituba com cerca 60 caçambas, cada uma comportando em torno de 4,5 m³. Nos casos em que há carregamento na forma de cone é possível comportar na caçamba um volume superior aos 4,5m³ habituais. Informou também que, em média, a empresa recolhe cerca de 3.600m³ de resíduos anualmente.

Sobre o uso, ou não, do Controle de Transporte de Resíduos (CTR) o responsável pela empresa informou que é utilizado o certificado de destinação final emitido pela usina de reciclagem como comprovante, sendo fornecido ao gerador de RCD, quando solicitado pelo cliente. Cabe informar que a solicitação deste documento ocorre geralmente por pessoas jurídicas, principalmente de médio e grande porte. Afirmou que, antes de encaminhar a caçamba para a usina de

reciclagem, é realizada uma inspeção visual prévia, embora relatou ser rotineiro o lançamento de RSU nas caçambas pelos vizinhos dos geradores de RCD, sendo retirados os RSU e colocados em lixeiras da própria rua. Por fim, confirmou que as caçambas são devidamente cobertas com tela durante o transporte de RCD, possuindo outra tela, sobressalente, caso necessite substituição.

Ao questionário, aplicado ao gerador de RCD (construtora), coube resposta pelo engenheiro civil responsável por uma obra em Imbituba. Em resposta, o profissional técnico informou que a obra possui um PGRCC onde há estimativa de volume de RCD gerado pelo empreendimento, porém afirmou desconhecer a quantidade exata, bem como se há, ou não, contrato firmado entre a construtora e a empresa de coleta e transporte de RCD. Informou também que a troca de caçambas é solicitada conforme a demanda de forma direta ao responsável pela empresa de coleta e transporte de RCD. A caçamba de descarte fica localizada na área externa do imóvel, motivo pelo qual a população faz a deposição indiscriminada e de forma recorrente de RSU nesta, ainda que adotadas medidas de controle pelo responsável técnico, à exemplo, a segregação de RCD por classes. Resíduos orgânicos e de outras obras são retirados da caçamba pelos colaboradores da obra. O entrevistado informou também que, durante o transporte da caçamba, é utilizada tela de proteção para evitar queda do RCD e que o certificado de destinação final dos resíduos não é exigido no ato da coleta, porém o CTR é requerido de 1 a 2 meses após o recolhimento dos RCD.

O entrevistado informou ainda que é encaminhada à construtora o documento que atesta a destinação final adequada de RCD e os dados das quantidades de caçambas trocadas e volumes (em m³) movimentados, ambos obtidos pela empresa de coleta e transporte junto à usina de reciclagem de RCD. Por fim, expôs que não estariam previstas ações voltadas ao reaproveitamento de RCD e afirmou não se recordar exatamente sobre tal questão. Contudo, caso houvesse, esta informação deveria estar inserida no PGRCC da obra.

Por fim, aplicou-se questionário ao proprietário da usina de reciclagem de RCD, o qual informou que o empreendimento possui Licença Ambiental para o recebimento de RCD e que adota medidas de proteção e manutenção dos acessos internos e externos na usina, permitindo seu funcionamento em todas as condições climáticas, exceto a britagem de entulho que é realizada ao ar livre.

Contudo, as áreas de triagem de materiais, prensas, maquinário de picar madeira, a área de armazenamento temporário dos RCD e dos rejeitos, Classe C e D, são cobertas e possuem piso impermeabilizado. O imóvel é cercado para impedir o acesso de pessoas estranhas e animais e tem cerca de 2 hectares, mas apenas 1 hectare é utilizado nas atividades. Antes do recebimento das caçambas são realizadas a análise prévia quanto a procedência e a composição dos resíduos e os controles de origem e quantidade dos resíduos recebidos. Não há sistema de monitoramento das águas subterrâneas. Em análise de solo após um derramamento de óleo em 2023, não se identificaram anomalias. Os resíduos das Classes B, C e D após triagem são encaminhados para destinação adequada, conforme a Resolução CONAMA nº307/2002, sendo que somente parte dos resíduos recebidos e destinados são acompanhados de CTR e MTR. É elaborado um relatório que registra a quantidade de resíduos triados e destinados, com comprovação através de pesagens mensais dos resíduos vendidos por tipo. As pesagens desses resíduos são realizadas em uma balança de uma empresa parceira, fora da área do empreendimento. Os rejeitos, resíduos Classes C (exceto o isopor) e D, são destinados ao aterro industrial, sendo utilizado o MTR e CTR de registro da disposição final adequada dos resíduos. Esse transporte tem anuência do órgão ambiental licenciador da atividade, através da Licença Ambiental para o transporte de cargas perigosas. Não é realizado controle mensal pela usina através do CTR, exceto se a carga for originária da área portuária de Imbituba ou de serviços em outros locais específicos. Segundo o responsável pela usina, a empresa de coleta e transporte de RCD não possui licenciamento junto ao IMA/SC, contudo, deposita os RCD na usina e traz, posteriormente, as anotações para a contagem das caixas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Imbituba apresenta desenvolvimento econômico cada vez mais evidente, onde a atividade portuária, a prestação de serviços e o mercado imobiliário (e as especulações deste) impulsionam o mercado da construção civil no município, criando demanda por novas edificações e, conseqüentemente, promovem cada vez mais a geração de RCD no município. Considerando o todo acima exposto

foi possível observar que o empreendimento, local onde foi desenvolvido o presente estudo, trata-se da única usina de reciclagem RCD em funcionamento no município de Imbituba, até o momento.

Outra particularidade evidenciada na usina foi a forma que são mensuradas as quantidades dos materiais reciclados e/ou comercializados no estabelecimento. Utiliza-se a metragem cúbica para determinar o total dos resíduos Classe A e dos cavacos de madeira (Classe B), devido à falta de uma balança rodoviária instalada no empreendimento. Vale lembrar que, para pesagem dos demais resíduos, o proprietário da usina utiliza uma balança situada nas dependências de um empreendimento parceiro, situado em outro bairro, evidenciando-se esta limitação na estrutura física da usina. Sendo assim, cabe sugerir a aquisição de uma balança rodoviária própria, por parte da usina de reciclagem, a qual possibilitará a pesagem de todos os tipos de materiais, independente da sua classificação, assim como também reduzirá custos de combustível e desgaste mecânico dos veículos, os quais deslocam-se a outro bairro, apenas, para realização da pesagem.

Entre os resíduos destinados à usina de RCD são reciclados e/ou comercializados pela empresa aqueles classificados como de Classe A, Classe B, além do EPS (isopor) Classe C, exceto quando contaminados. Os resíduos Classe A são utilizados como matéria-prima na construção civil, sendo aplicados como agregado em bases para pavimentações, pré-moldados, entre outros. Quanto aos resíduos Classe B, a maioria dos tipos desses resíduos são destinados a empresas especializadas em reciclagem, observado sua característica, exceto a madeira não tratada que é transformada em cavacos, após processo de trituração. No caso do EPS também ocorrerá a reciclagem do material a separação, limpeza, trituração, cristalização, moagem e peletização, retornando ao ciclo produtivo. Sendo assim, através da reciclagem desses resíduos, a usina de RCD impede que esse material reciclado seja descartado de forma clandestina no meio natural, ou ainda, comercializada e disposta de forma irregular, seja por parte dos geradores, das empresas de coleta e transporte de RCD ou pela população em geral.

Os resíduos que não são reciclados ou comercializados pela usina são destinados ao aterro industrial, mesmo que não sejam considerados Classe D (perigosos ou contaminados). Vale mencionar que a usina tem licença para transportar resíduos Classe D. Contudo, não há segregação dos resíduos Classes B

e C que não são vendidos, em relação aos de Classe D. Portanto, cabe sugerir a segregação dos resíduos Classe B não comercializados, como os materiais de borracha não contaminados, por exemplo, destinando somente os rejeitos das Classes C e D ao aterro industrial. Os pneus, ao invés de serem destinados ao aterro industrial, devem ser submetidos ao processo de logística reversa, conforme previsto no Art. 33, inciso III da Lei Federal nº 12.305/2010. Neste sentido, cabe sugerir ao estabelecimento que destine os pneus ao ponto de coleta mais próximo da usina, cujo local, situado no município de Palhoça/SC, encontra-se cadastrado no sítio eletrônico da Reciclanip, entidade criada por fabricantes de pneus voltada a logística reversa destes.

Destaca-se a problemática quanto deposição de RSU dentro das caçambas de RCD, destinadas a usina, especialmente com restos de podas e cortes de exemplares de plantas, conforme observado nas duas amostragens realizadas no presente trabalho. Esses materiais orgânicos são depositados em um espaço adjacente ao galpão da usina, contudo dentro da área do empreendimento, uma vez que não são comercializados.

Não foram levantados registros da movimentação dos resíduos recebidos, comercializados e destinados ao aterro industrial, embora esses dados tenham sido solicitados pelos autores ao proprietário da empresa, sendo que, até a data de conclusão do presente trabalho, não foram fornecidas pela empresa essas informações.

Foi evidenciada pelo responsável da usina a problemática relacionada à disposição final, de forma clandestina, dos RCD no município por outras empresas de coleta e transporte as quais, segundo informações, comercializam os resíduos que recolhem ou descartam em locais impróprios, ambos de maneira irregular. Nos dias atuais somente uma empresa de coleta e transporte de RCD, dentre as que atuam em Imbituba, destina exclusivamente à usina de reciclagem os resíduos de construção/demolição recolhidos.

Ressalta-se a falta de uma efetiva fiscalização por parte do poder público, no sentido de coibir tanto a comercialização clandestina dos RCD, quanto o descarte em locais impróprios para tal disposição, promovidos pelas demais empresas de coleta e transporte de RCD que atuam no município.

Cabe também ao poder público municipal realizar uma gestão mais efetiva

quanto aos resíduos de construção e demolição, iniciando pela implementação de um plano municipal de gestão dos RCD, a fim de solucionar problemas como os que foram evidenciados neste estudo, realizando o levantamento de informações para a criação de um banco de dados com o controle, tanto dos volumes de RCD gerados, triados e reciclados no município, como também dos rejeitos destinados aos aterros industriais, obtendo esses dados através da usina de RCD. Sugere-se contemplar também um controle, através de cadastro das empresas de coleta e transporte de RCD e fornecimento obrigatório de guias de transporte comprovando a destinação à usina de reciclagem de RCD por parte dessas empresas. Tal regramento poderia ser instituído por lei municipal específica, no qual constariam os nomes e dados de todas as empresas de coleta e transporte de RCD que atuam no município de Imbituba. Cumpre mencionar que não há publicidade desses dados, os quais deveriam ser divulgados à população, dispondo-os em sistema de informação de geração de resíduos como o SINIR, por exemplo.

É oportuno mencionar ainda que, apesar do relato obtido no questionário, de que o município está estudando a implementação do plano municipal de resíduos sólidos e que neste também serão acompanhados os dados referentes aos RCD, é pertinente enfatizar que se faz necessária a implementação de um plano municipal, pela própria prefeitura de Imbituba ou através de consorcio público de gestão regionalizada, voltado ao gerenciamento e fiscalização dos RCD advindos de obras no município, desde a sua geração até sua reciclagem ou encaminhamento para a destinação final ambientalmente adequada. Isto porque, atualmente, não há instrumento legal vigente que estabeleça um regramento para gestão e fiscalização dos RCD no município, observando-se assim a omissão do ente público nesse aspecto. Cabe lembrar que, no último relatório preliminar do processo de revisão da lei que instituiu a política municipal de saneamento básico em Imbituba, é notório o posicionamento de isenção de responsabilidade, por parte do município, em relação aos RCD, uma vez que se limita apenas em atribuir a responsabilidade pela coleta, transporte e destinação final adequada deste tipo de resíduo ao gerador de RCD.

No que diz respeito a análise qualitativa dos RCD, contidos nas caçambas amostradas, obteve-se êxito na triagem dos resíduos Classes B, C e D, uma vez que foi realizada a segregação dos tipos de materiais encontrados, por classes, considerando-se a classificação definida na Resolução CONAMA nº 307/2002. No

entanto, quanto aos materiais que compunham os resíduos Classe A, não foi possível segregá-los entre si, na forma de ensaio para a determinação da sua composição gravimétrica. Cabe mencionar que a qualidade do material destinado à usina também dependerá do local em que a caçamba estiver disposta, pois conforme relatos obtidos nos questionários é comum ocorrer a deposição inadequada de RSU pela população. Nesse sentido, cabe sugerir que os geradores de RCD optem, sempre que possível, pela instalação da caçamba na parte interna do imóvel, visando impedir que a população tenha acesso ao receptáculo em questão. Referente ao acúmulo de restos de poda em parte da área da usina de RCD, observando-se o proposto por Lira (2018), sugere-se a adoção de ações voltadas à formulação e aplicação de diretrizes e planos para o reaproveitamento dos resíduos de poda como substrato na compostagem. Aos geradores de RCD cabe, ainda, a sugestão de que verifique a viabilidade técnica e econômica para o reaproveitamento dos RCD de Classe A nas próprias construções, haja vista a possibilidade de reaplicação desses resíduos como base para pavimentação, por exemplo.

Em relação a análise quantitativa dos RCD das caçambas amostradas, entende-se que foi obtida maior exatidão nos cálculos para a determinação das quantidades dos resíduos das Classes C e D, bem como aos de Classe B, exceto papeis e plásticos. Os materiais plásticos e, principalmente, os papeis apresentaram grande volume, principalmente na primeira caçamba amostrada. Porém, não foi possível utilizar o maquinário de compactação da usina para redução de volume desses resíduos. Por este motivo os resultados dos volumes desses materiais resultaram em quantidades significativamente maiores do que deveriam apresentar, caso compactados.

Referente aos resíduos Classe A vale mencionar que foi possível, apenas, coletar uma amostra de cada caçamba analisada, seguindo-se as orientações descritas na norma ABNT NBR 10.007/2004 (amostragem para montes ou pilhas), considerando que a usina não possui balança rodoviária própria. É oportuno ressaltar que não havia nas proximidades balança rodoviária para a realização da pesagem, dos resíduos Classe A, para subsidiar esses dados ao presente estudo. Essa limitação de estrutura física da usina impossibilitou a pesagem real do material Classe A, oriundo das caçambas amostradas após segregação, em sua totalidade.

Contudo, foram realizadas estimativas das massas dos RCD Classe A, a partir dos volumes estimados das pilhas e das densidades médias do material predominantes em cada caçamba amostrada.

Cabe destacar que, de acordo com o Art. 30 da PNRS, tem-se a chamada responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida dos produtos que deve ser instituída de forma associada, buscando contemplar a participação desde os fabricantes até os consumidores. Tal responsabilidade compete, ainda, aos titulares de serviços públicos relacionados ao manejo dos resíduos sólidos e limpeza urbana. Vale mencionar que no Art. 31, inciso III, é atribuída aos fabricantes, importadores, bem como aos distribuidores e comerciantes a responsabilidade referente a coleta de produtos e resíduos, depois de utilizados, para que façam a destinação final destes de forma ambientalmente correta, observando-se àqueles que devem ser submetidos à logística reversa, conforme a PNRS.

É imprescindível destacar a relevância socioeconômica e ambiental da usina de reciclagem de RCD para o município de Imbituba. No viés socioeconômico essa atividade gera postos de trabalho com vínculo empregatício e, por consequência, renda aos colaboradores da usina, além de parcerias com outras empresas, para as quais são demandados pela usina alguns serviços. Vale mencionar que a existência de uma usina de RCD no município de Imbituba reduz os custos de transporte, despendidos pela empresa de coleta e transporte de RCD, com o traslado das caçambas. Com isto o valor a ser cobrado dos geradores desses resíduos tende a ser menor.

Importante destacar a relevância da usina, no que diz respeito aos aspectos ambientais, uma vez que a reciclagem de RCD reduz a demanda por novos materiais que seriam extraídos no meio natural, diminuindo a pressão exploratória sobre as matérias primas. Outro fator positivo referente a usina, sob o prisma ambiental, está relacionado a reaplicação desses materiais na construção civil, o que tende a reduzir a disposição final irregular desses resíduos em locais impróprios para esta finalidade como, por exemplo, em áreas ambientalmente sensíveis e/ou protegidas por lei.

Cabe sugerir a revisão e atualização da resolução CONAMA nº 307/2002, tendo em vista que as últimas atualizações desta ocorreram na primeira metade da década de 2010 onde, por exemplo, foi alterada a classificação dos resíduos de gesso. Desta forma, cabe atualização sobre a possibilidade de reciclagem para os

resíduos de EPS (isopor), tendo em vista que a usina de RCD, atualmente, vende este material para uma empresa que o recicla. Propõe-se ao setor da Prefeitura Municipal de Imbituba, responsável pela gestão dos resíduos sólidos, a contratação de profissional técnico habilitado para atuar nesta área de conhecimento como, por exemplo, Engenheiro Ambiental e Sanitarista, a fim de que este possa prestar apoio técnico ao órgão, orientando e planejando ações para o manejo e controle adequado dos resíduos sólidos no município, sobretudo para os RCD.

Cabe, ainda, propor a realização de outros estudos direcionados a realização de análises quali-quantitativas dos RCD no município, bem como sobre os demais fatores correlacionados aos problemas abordados no presente estudo, tais como a falta de mecanismos de controle e gestão dos RCD. Sugere-se, também, a realização de pesquisas que identifiquem quais municípios da região de Imbituba ou no Estado de SC que possuem Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos, e quais destes efetivamente o implementaram, apontando ainda os municípios que dispõem de usinas de reciclagem de RCD, bem como descrevam os processos de gestão dos resíduos, realizados por estes municípios e pelos responsáveis das usinas de RCD. Por fim, sugere-se a realização de estudos voltados ao reaproveitamento dos resíduos Classe C não recicláveis, bem como para os rejeitos (Classe D).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. O. **O Princípio de Arquimedes e o cálculo do volume de sólidos quaisquer**. 2020. TCC (Graduação) - Curso de Matemática, Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2020. Disponível em: https://profmat.furg.br/images/TCC/O_Principio_de_Arquimedes_e_o_Calculo_do_Volume_de_Solidos_Quaisquer_-_Bruno_Oliveira_de_Almeida.pdf13. Acesso em: 13 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO DE LAGUNA - AMUREL. **Plano de gestão regionalizada de resíduos da construção civil - PGRCC**. Imbituba; 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE (São Paulo). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022>. Acesso em: 04 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro. 2004. 21 p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>

Acesso em: 01 maio 2023.

BAFFI, Maria Adélia Teixeira. **Modalidades de pesquisa**: um estudo introdutório. Petrópolis: [s.n.], 2002. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~clovia/pesq_ens/textos/texto02.pdf. Acesso em: 25 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 29 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12305, 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. Brasília, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 25 mar. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 307, de 05/07/2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 15 abr. 2023.

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. da. **A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia**. 4º Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, Maringá, p. 7, out. 2011. Disponível em: http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

CESÁRIO, J. M. S.; FLAUZINO, V. H. P.; MEJIA, J. V. C. Metodologia científica: principais tipos de pesquisas e suas características. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 11, Vol. 05, p. 23-33. nov. 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/tipos-depesquisas>. Acesso em: 13 mai. 2023.

FERREIRA, T. B.; SOARES, G. H.; LULA, D. Resíduos sólidos urbanos: de problema social à fonte de renda. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Uberaba, v. 07, n. 04, p. 1-7, jul. 2011. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/233. Acesso em: 28 abr. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, J. B. M.; OLIVEIRA, L. G. P.; GOMES, O. D. B. **sistema construtivo em painel monolítico de EPS**: Estudo do Processo Executivo. Pouso Alegre, p. 1-25, dez. 2021. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19366/1/Constru%C3%A7%C3%A3o_em_EPS.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

HEMPE, C.; NOGUERA, J. O. C. A educação ambiental e os resíduos sólidos urbanos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 682-695, 23 jan. 2012. Trimestral. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/4117/2798>. Acesso em: 29 abr. 2023.

IMBITUBA. **Lei nº 3.893, de 03 de maio de 2011**. Reformula a Política Municipal de Saneamento Básico de Imituba de acordo com as Diretrizes Nacionais do Saneamento Básico e aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico e dá outras providências. [2011]. Disponível em: https://www.legislador.com.br/imgLei/581319707_pdf18_2_3893_2011.pdf. Acesso em: 29 abr. 2023.

IMBITUBA. **Lei nº 5.389, de 17 de março de 2023**. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de Imituba. Imituba: Câmara Municipal [2023]. Disponível em: https://www.legislador.com.br/imgLei/581319707_pdf13_1_5389_2023.pdf. Acesso em: 29 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Imbituba**: panorama. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/imituba/panorama>. Acesso em: 28 abr. 2023.

JERÔNIMO, C. E. de M.; CARVALHO, A. M. de; ARAUJO, J. A. de. Gerenciamento dos resíduos sólidos do município de Natal/RN: caracterização das cooperativas de catadores. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 10, n. 10, p. 2220-2234, out. 2012. Trimestral. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/6967/pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

LIRA, B. J. de M. **Plano de reaproveitamento dos resíduos verdes por compostagem**. 2018. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/37044>. Acesso em: 25 jun. 2023.

MOTA, J. C. *et al.* **Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos**: uma visão conceitual. 1º Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, Campina Grande, p. 15, set. 2009. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942/14313>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MUNICÍPIO DE IMBITUBA. **Aspectos geográficos**. 2014. Disponível em: <https://www.imituba.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaltem/49631>. Acesso em: 28 abr. 2023.

NASCIMENTO, R. da C.; MOREIRA, F. D. **Um olhar sobre os resíduos sólidos no Povoado Praia do Saco - Estância/SE**. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Estância, p. 7, nov. 2013. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/III-039.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2023.

OLIVEIRA, F. C. de. **Usina de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição**: análise de viabilidade de implantação no município de Ouro Preto - MG. 2020. 131 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental, Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/13189>. Acesso em: 13 maio

2023.

REIS, S. G. M. dos. **Resíduos da construção civil (RCC):** proposta de gerenciamento na cidade de Imbituba. 2021. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, Tubarão, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/19448>. Acesso em: 20 maio 2023

RIO DE JANEIRO. PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **PCRJ SCO-sistema de custos de obras e serviços de engenharia FGV:** tabelas. Tabelas. 2021. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8142480/4217656/TABELASOFGV02.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2023.

RODRIGUES, T. D. de F. F.; OLIVEIRA, G. S. de; SANTOS, J. A. dos. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. **Revista Prisma**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 154-174, dez. 2021. Trimestral. Disponível em: <https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/download/49/41>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SANTA CATARINA. **Lei nº 15.251, de 03 de agosto de 2010.** Veda o ingresso, no Estado de Santa Catarina, de resíduos sólidos com características radioativas e de resíduos orgânicos oriundos de frigoríficos e abatedouros, que apresentem riscos sanitários, tais como a disseminação de febre aftosa ou outras zoonoses. Florianópolis: Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina, 2010. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2010/15251_2010_lei.html. Acesso em: 29 abr. 2023.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009.** Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis: Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina, 2009. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14675_2009_Lei.html. Acesso em: 29 abr. 2023.

SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina – FATMA. Dispõe sobre a obrigatoriedade de utilização do Sistema de Controle de Movimentação de Resíduos e Rejeitos no Estado de Santa Catarina e dá outras providências. **Portaria nº 242, de 01 de dezembro de 2014.** Florianópolis, p. 39, publicada no DOE/SC Nº 19968 em 18/12/2014. Disponível em: <https://consultas.ima.sc.gov.br/portarias/visualizar/2289>. Acesso em: 30 abr. 2023.

SANTA CATARINA. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA. Estabelece as condições de utilização do Sistema de Controle de Movimentação de Resíduos e Rejeitos no Estado de Santa Catarina. **Portaria nº 021, de 25 de janeiro de 2019.** Florianópolis, p. 7-8, publicada no DOE Nº 20943 em 28/01/2019. Disponível em: <https://consultas.ima.sc.gov.br/portarias/visualizar/2289>. Acesso em: 30 abr. 2023.

SILVA, F. G. da. **Substrato com composto de lixo e poda de árvore para produção de mudas de Pterogyne nitens.** 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88260/silva_fg_me_jabo.pdf?sequence=1. Acesso em: 26 maio 2023.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 209 p.

ANÁLISE DO PERFIL DAS LIGAÇÕES DE ESGOTO NO BAIRRO PORTINHO DO MUNICÍPIO DE LAGUNA/SC E A PERCEPÇÃO DOS MUNICÍPIES EM RELAÇÃO AO PROGRAMA “TRATO POR LAGUNA”.

Felipe Mendes¹

Taize Vieira da Silva²

Prof. Dr. José Antônio da Silva Santos³

Resumo: A implantação da rede coletora de esgoto sanitário administrada pela concessionária CASAN iniciou no ano de 2016 no município de Laguna. O Programa Trato por Laguna iniciou em 2021 em parceria com a concessionária. Desde então buscou-se identificar as não conformidades nas ligações hidrossanitárias das edificações direcionadas a rede coletora de esgoto e a rede de água pluvial tendo o bairro Portinho, como área de estudo deste trabalho. Com finalidade em avaliar a eficácia do programa Trato por Laguna, identificando as não conformidades de maior recorrência de esgoto e os tipos de edificações irregulares. Utilizando a coleta de dados, foram aplicados 100 instrumentos de pesquisa estruturados para os proprietários dos imóveis que são abastecidos com água tratada e coleta de esgoto na área de estudo, a fim de levantar dados com relação as ligações de esgotamento sanitário. Das não conformidades encontradas foi possível constatar que 81% das edificações estão irregulares, onde cerca de 51% das irregularidades em ligações de esgoto estão relacionadas a problemas na caixa de gordura. Por fim, pôde-se concluir que o Programa Trato por Laguna beneficia o município com diferentes projetos, diminuindo o índice de irregularidade das ligações de esgoto.

Palavras-chave: Trato por Laguna. Inspeção hidrossanitária. Não conformidade.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento desordenado da população, alguns fatores contribuem para piorar a qualidade de vida, tais como: aumento de indivíduos por metro quadrado, necessidade de aumento da oferta de saneamento básico, de abastecimento de água e afastamento ou tratamento de esgotos. O afastamento do esgoto, a princípio, pode não ser bem aceito, no entanto é uma medida de controle de proliferação de doenças, tão necessária quanto a coleta de lixo, cujo principal objetivo é evitar a contaminação da população, além de diminuir a probabilidade de

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: igor.sruf@gmail.com.

² Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: taizevieira@gmail.com.

³ Professor do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari.

enchentes, entre outros. (Bitencourt, 2014, página 16).

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022) Laguna possui uma população de 42.785 habitantes, sendo a vigésima sétima cidade mais populosa do estado de Santa Catarina. Para este estudo de caso, os dados foram extraídos do Bairro Portinho. O bairro está localizado na entrada da cidade, é o mais populoso com 4.384 habitantes, e conforme dados extraídos da concessionária, atualmente 1878 residências são abastecidas com água tratada.

O bairro fica próximo ao centro o que facilitou o deslocamento dos trabalhadores. Tem proximidade com a região do Bairro Cabeçuda com acesso facilitado a rodovia federal BR101, que possui grande concentração de empresas de pesca. Os números servem para o Governo Municipal ter mais subsídio para as implantações das políticas públicas nos bairros.

Estima-se que 68,3% da população urbana de Laguna é contemplada pelo sistema de esgotamento sanitário. No Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS - 2021) a região sul tem 48,8% e a média nacional está em 55,9%, de esgoto tratado, porém, devido a cidade ser a segunda mais antiga do Estado, com suas construções muito antigas e alguns imóveis tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, a rede coletora ofertada pela atual concessionária – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - CASAN, operadora do sistema de saneamento não atinge todas as propriedades e imóveis sendo constantes as irregularidades encontradas.

O programa Trato por Laguna executado pela empresa J.P.R. Ambiental conta com o apoio da Vigilância Sanitária da Prefeitura de Laguna. Onde é avaliado o sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário da concessionária com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população e contribuir com a preservação do meio ambiente. Orientando os moradores quanto a correta ligação do imóvel a rede coletora e sensibilizar os proprietários sobre a importância do tratamento do esgoto sanitário.

O presente trabalho avaliou algumas ligações de esgoto das edificações a rede coletora de esgoto no bairro Portinho, em Laguna/SC, através da atuação do programa Trato por Laguna que iniciou em Janeiro/2021. Foi analisado as características dos perfis das ligações de esgoto na área de estudo. Os tipos de empreendimentos identificados como não conformes, as dificuldades de

adequações e o entendimento e engajamento dos munícipes em relação ao programa Trato por Laguna. Para tanto este trabalho buscou respostas a seguinte questão: Como estão caracterizadas as ligações de esgoto doméstico do bairro Portinho do município de Laguna e qual o engajamento dos munícipes no programa “Trato por Laguna”?

Com o objetivo de descrever as características das ligações de esgoto no bairro Portinho no município de Laguna/SC e de que forma ocorre a participação dos munícipes no programa “Trato por Laguna”.

2 PERFIL DAS LIGAÇÕES DE ESGOTO E LEGISLAÇÃO VIGENTE

Compreender os elementos que compõem os sistemas prediais de esgoto sanitário e o de águas pluviais é fundamental para identificar problemas na rede das edificações. Isso porque os sistemas estão diretamente conectados à rede de esgoto e, se houver alguma não conformidade nesses elementos, pode comprometer o funcionamento da rede como um todo, acarretando em problemas de saúde pública e ambiental.

Por exemplo, se um vaso sanitário estiver com problemas de vedação ou entupimento, ele pode causar refluxo de esgoto na rede, afetando outros sistemas causando outros problemas. Da mesma forma, se uma pia estiver com vazamento ou se o sifão estiver mal instalado, isso pode levar a infiltrações e vazamentos de esgoto na rede.

Segundo Ministério da Saúde (FUNASA – 2017), "Cada real investido em saneamento economiza quatro reais (R\$4,00) em saúde, agora a Organização Mundial da Saúde refez as contas e disse que não é mais quatro (R\$4,00), é nove (R\$9,00). Cada real investido em saneamento economiza nove reais (R\$9,00) em saúde."

2.1 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Para avaliar as não conformidades das edificações à rede coletora de esgoto, é necessário compreender os elementos que integram o sistema. Os tópicos a seguir tratam dos sistemas e ilustram os componentes obrigatórios nas instalações

hidrosanitárias das edificações.

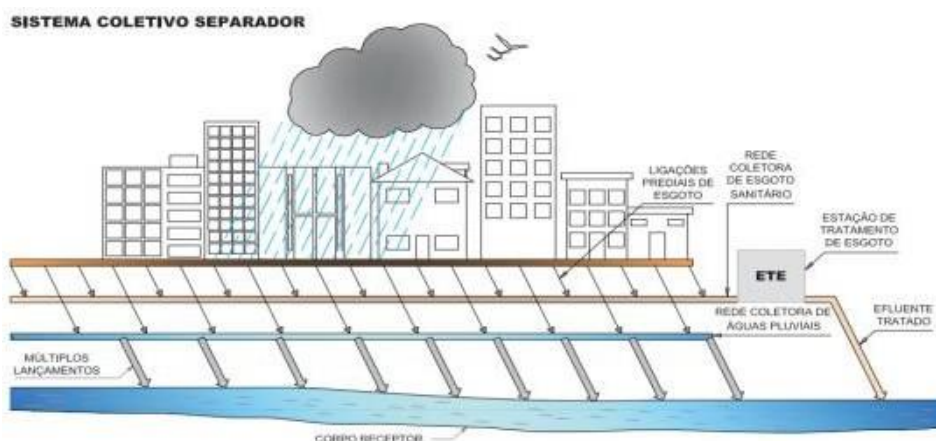
2.1.1 Tipos de Sistemas de esgotamento sanitário

Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), os sistemas de tratamento de esgoto urbano podem ser classificados em três tipos: unitário ou combinados: onde as águas pluviais e os esgotos das edificações se unem em uma única rede de tubulação; Separador parcial: apenas o esgoto é coletado e tratado, em quanto as águas pluviais são desviados para corpo hídrico mais próximo; E/ou separador absoluto com descrição detalhada abaixo. No município de Laguna, a concessionária utiliza o separador absoluto da rede coletora.

2.1.1.1 Separadores absolutos

Os separadores absolutos, apresentado de forma simplificada na Figura 01, funcionam de forma independente, onde as águas pluviais e as de águas residuais são transportadas em um sistema de canalização diferente, de forma que não há ligação entre si.

Figura 01 - Sistema de Esgoto Coletivo Separador Absoluto



Fonte: FUNASA (2015)

Conforme Bueno e Tsutiya (2003), no Brasil a predominância do sistema de esgotamento sanitário é o separador absoluto, sendo que separa as águas pluviais

das águas residuais, impedindo que o esgoto seja despejado em rios, lagos ou outros corpos de água, o que pode contaminar a água e colocar em risco a saúde pública. Contudo possui um baixo custo na sua implantação, mais flexibilidade nas etapas do projeto, reduzindo o custo do afastamento das águas pluviais, sendo possível lançar no curso de água mais próximo, não sendo necessário o tratamento das águas pluviais e encaminhar só as águas residuais para o tratamento.

Por fim Bueno e Tsutiya (2003), ressaltam que mesmo que o sistema separador absoluto estejam em conformidades, não evitará que as águas pluviais percorram até os coletores de esgoto. Havendo alguma ligação irregular ou defeito na sua instalação, as conexões ilegais que são feitas por pessoas ou empresas que desejam despejar seus resíduos no sistema de esgoto, sem pagar pelo serviço de tratamento de esgoto, essas ligações podem ter consequências negativas para o meio ambiente, pois o esgoto contaminam a água e o solo.

2.1.1.2 Componentes do sistema de esgotamento sanitário

Os componentes de um sistema de esgotamento sanitário, conforme descrição no Quadro 01, podem variar de acordo com a infraestrutura e tecnologia disponível em cada localidade, mas em geral, os principais componentes são (Alem Sobrinho; Tsutiya, 2000):

Quadro 01 – Componentes do Sistema de Esgotamento Sanitário

COMPONENTES	DESCRIÇÃO
Rede coletora	Tubulação que conduz o esgoto dos imóveis até a estação de tratamento
Caixas de inspeção	Utilizadas para verificar/inspecionar a rede coletora de esgoto
Estação elevatória	Responsável pela transferência do esgoto quando não é possível instalação de tubulações em declive, bombeando o esgoto para locais elevados
Estação de tratamento de esgoto	Local onde ocorre o tratamento físico, químico e biológico do esgoto, para que possa ser descartado no meio ambiente com segurança
Dispositivos para tratamento secundário e terciário	Sistema de filtragem, aeração e passagem para eliminar quaisquer resíduos e patógenos que possam ter sobrevivido no tratamento primário
Lagoa de decantação	Utilizadas para permitir a sedimentação de sólidos e eliminação de substâncias em suspensão
Rede de emissários	Tubulação que conduzem o esgoto tratado até o ponto de descarga no meio ambiente (geralmente rios ou oceano)

Corpo hidrico receptor	Corpo de água onde são lançados o esgoto
------------------------	--

Fonte: ABNT. NBR 8160/1999 e NBR 10840/1989

Além disso, é importante ressaltar a necessidade de manutenção periódica em todos os componentes do sistema, a fim de garantir a sua eficiência e durabilidade. Na figura 02, apresenta-se a vista aérea do sistema de esgotamento sanitário do município de Laguna.

Figura 02 – Vista aérea do Sistema de Esgotamento Sanitário/ Laguna



Fonte: CASAN (2023).

2.2 INSTALAÇÕES HIDROSANITÁRIAS

As instalações hidrosanitárias são o conjunto de tubulações e conexões que permitem a distribuição de água, a coleta e o afastamento das águas residuais e pluviais em edificações. (Alem Sobrinho; Tsutiya, 2000).

Seguindo o disposto na NBR 8160/1999 e NBR 10840/1989 buscou-se caracterizar o perfil das ligações de esgoto e as instalações prediais de águas pluviais, considerando os tipos de irregularidades mais recorrentes nessas ligações de esgoto na área de estudo.

2.2.1 Sistemas prediais de esgoto sanitário e seus componentes

Conforme as NBR8160/1999 e NBR10840/1989 que estabelecem os requisitos para projeto, execução e manutenção de sistemas de distribuição de água

e coleta de esgoto em áreas urbanas. Entre outras coisas, a norma trata de aspectos como dimensionamento de tubulações, controle de pressão, qualidade da água e operação e manutenção dos sistemas. De modo que, os critérios técnicos que devem ser seguidos para que um sistema de distribuição de água possa funcionar de forma adequada e segura.

Dentre os aspectos que devem ser considerados no projeto de um sistema de distribuição de água e coleta de esgoto seguindo a NBR 8160, podemos destacar: Dimensionamento adequado das tubulações, levando em conta fatores como vazão, pressão, velocidade da água e demanda dos usuários; Escolha de materiais e componentes de qualidade, que resistam às condições de operação e ao desgaste causado pela água; Definição de pontos de controle de pressão, que garantem ajustar a pressão da água e esgoto de acordo com as necessidades dos usuários e evitar problemas como vazamentos e quebras de tubulações; Adoção de medidas de proteção contra contaminação da água, como uso de válvulas de retenção e ventosas, e monitoramento da qualidade da água; Definição de procedimentos e planos de manutenção para garantir o bom funcionamento do sistema ao longo do tempo.

2.2.2 Responsabilidade do proprietário do imóvel

No que diz respeito a ABNT NBR 8160 – Sistemas Prediais de Esgotamento Sanitário e NBR10840/1989 Instalações Prediais de Águas Pluviais, fica sob a responsabilidade do proprietário da edificação construir as instalações sanitárias, os componentes e as instalações prediais de águas pluviais (Quadro 02).

Quadro 02 – Componentes do Sistema de Esgotamento Sanitário, sob responsabilidade do proprietário da edificação

COMPONENTES	DESCRIÇÃO
Aparelhos sanitários	Aparelho ligado à instalação predial e destinado ao uso de água para fins higiênicos ou a receber dejetos ou águas servidas.
Tubulação de ventilação do esgoto	Dispositivo para condução dos gases para o exterior, Evitar a autosifonagem e sifonagem, ou seja, a perda do fecho hídrico.
Caixa de areia	Caixa utilizada dos condutores horizontais destinados a recolher detritos por deposição.
Caixa de gordura	Destinada a reter, na sua parte superior, as gorduras, graxas e óleos contidos no esgoto
Calhas	Canal que recolhe a água de coberturas, terraços,

	similares conduzindo ao destino.
Condutores verticais e horizontais	Tubulação vertical destinada a recolher águas de calhas, coberturas, terraços e similares e conduzi-las até a parte inferior do edifício. E tubulação horizontal destinado a recolher e conduzir águas pluviais ao destino
Caixa de inspeção	Caixa destinada a permitir a inspeção, limpeza, desobstrução, junção, mudanças de declividade e/ou direção das tubulações.
Válvula de retenção	Projetada para permitir que o fluido flua em apenas uma direção, evitando que o líquido ou gás retorne a montante da válvula.
Ralo sifonado	Recipiente dotado de desconector, com grelha na parte superior, destinado a receber águas de lavagem de pisos ou de chuveiro.
Descarte de água da calha e piscina	Canalização que se liga na rede de drenagem.

Fonte: ABNT. NBR 8160/1999 e NBR 10840/1989.

No processo de instalação ou regularização do sistema de esgoto e instalações prediais de águas pluviais do imóvel, as conexões devem ser levadas em consideração, para o correto funcionamento do sistema.

2.2.3 Responsabilidade da concessionária

Vistoriar, fiscalizar e dialogar com a população, mostrando os benefícios de se adequar as ligações das residências, prédios e comércio e evitar conexões de esgoto em canais de drenagem. As ligações corretas melhoram a saúde dos moradores e visitantes, a balneabilidade das praias e a qualidade de vida da região. É responsabilidade da concessionária a instalação dos componentes conforme descrição no Quadro 03:

Quadro 03 – Componentes do Sistema de Esgotamento Sanitário, sob responsabilidade da concessionária

COMPONENTES	DESCRIÇÃO
Caixa de inspeção	Caixa destinada a permitir a inspeção, limpeza, desobstrução, junção, mudanças de declividade e/ou direção das tubulações.
Tubulação de ligação a rede coletora	Tubulação da rede coletora que recebe contribuição de esgoto dos coletores prediais em qualquer ponto ao longo do seu comprimento.
Rede coletora	Conjunto de tubulações pertencentes ao sistema urbano de esgoto sanitário, diretamente controlado pela autoridade pública.
Poço de visitas	Instalação por onde se tem acesso a redes de serviços subterrâneos.

Fonte: ABNT. NBR 8160/1999 e NBR 10840/1989.

Modelos representativos e informativos emitidos pela concessionária destinado a população para a correta ligação residencial e correta instalação para o sistema pluvial com a rede coletora, seguem ilustrados no Anexo “A” e “B”.

2.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE

Para o Saneamento Básico a nível Federal a Lei nº11445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, em seu art. 45, determina que:

Art. 45. As edificações permanentes urbanas serão conectadas às redes públicas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário disponíveis e sujeitas ao pagamento de taxas, tarifas e outros preços públicos decorrentes da disponibilização e da manutenção da infraestrutura e do uso desses serviços. **(Redação pela Lei nº 14.026, de 2020)**
§ 1º - Na ausência de redes públicas de saneamento básico, serão admitidas soluções individuais de abastecimento de água e de afastamento e destinação final dos esgotos sanitários, observadas as normas editadas pela entidade reguladora e pelos órgãos responsáveis pelas políticas ambiental, sanitária e de recursos hídricos. (Brasil, 2020).

Quanto ao Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, sob a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, em relação às conexões residenciais em sistemas de esgotamento sanitário, rege a determinação:

[...] § 6º - A entidade reguladora ou o titular dos serviços públicos de saneamento básico deverão estabelecer prazo não superior a 1 (um) ano para que os usuários conectem suas edificações à rede de esgotos, onde disponível, sob pena de o prestador do serviço realizar a conexão mediante cobrança do usuário.
§ 7º - A entidade reguladora ou o titular dos serviços públicos de saneamento básico deverá, sob pena de responsabilidade administrativa, contratual e ambiental, até 31 de dezembro de 2025, verificar e aplicar o procedimento previsto no § 6º deste artigo a todas as edificações implantadas na área coberta com serviço de esgotamento sanitário (Brasil, 2020).

Nos atos que ocasionam poluição, dano ou prejuízo ambiental o Decreto nº 6.514 de 22 de julho de 2008, o artigo 61, determina as infrações e sanções administrativas:

[...] Art. 61. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana ou que provoquem

a mortandade de animais ou a destruição significativa da biodiversidade: Multa de R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais) (Brasil, 2008).

O município de Laguna, por estar em área de zoneamento costeiro, por ser protegido pelo Patrimônio Histórico Nacional e ter uma fundação direcionada ao Meio Ambiente, também contempla outras legislações direcionadas ao saneamento básico.

O Código Sanitário de Laguna, referente a Lei complementar nº 187/2008 em seu artigo 70, implicando multas a não interligação do imóvel a rede de esgoto ou a existência de irregularidades das instalações também diz que:

Art. 70. A pessoa proprietária de habitações construídas em locais servidos por coletores públicos de esgotos, é obrigada a usá-lo, não sendo permitido nesses casos, o uso de fossas sépticas e absorventes.

§ 1º No caso da habitação estar ligada em coletor público de esgoto, cujo destino final seja emissário submarino, o uso de fossa e filtro torna-se obrigatório, não sendo permitido neste caso, sumidouro na habitação. (Redação acrescida pela Lei Complementar nº 376/2018) (Parágrafo Único transformado em § 1º pela Lei Complementar nº 451/2022).

§ 2º Caso seja possível ligação do imóvel a CI instalada no passeio, por questões de gravidade (soleira baixa), o proprietário e/ou responsável pelo imóvel, deverá apresentar a Vigilância Sanitária Municipal, documento expedido pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, relatando tal situação. (Redação acrescida pela Lei Complementar nº 451/2022)

Segundo para o Plano Municipal de Saneamento Básico que envolvem aspectos Legais, Técnicos, e Institucionais. Como abrangência os Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotos Sanitários em conformidade com o que dispõe a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2011, em seu Art. 3º, inciso I, alíneas a, b, c e d, conceitua:

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, considera-se: I – saneamento básico: conjunto de ações, infraestruturas e instalações operacionais de a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição; b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

d) drenagem urbana e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana

de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

Todos os imóveis do município estão sujeitos ao Art. 41 que proíbe o lançamento de águas servidas ou residuárias, sem tratamento, em mananciais superficiais ou subterrâneos. Também é vedado o lançamento de águas pluviais na rede coletora de esgoto sanitário evitando que a rede seja sobrecarregada e com a funcionalidade comprometida.

A Lei n 2.293, de 28 de julho de 2022, institui a Política Municipal do Meio Ambiente do município de Laguna, refere-se no art. 4 § XV, descreve:

XV - Poluição: a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudique a saúde, a segurança e o bem-estar das populações ou que possam vir a comprometer seus valores culturais; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) comprometam as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

Para garantir a aplicação das Leis e Decretos das esferas Federal, Estadual e Municipal, foi criado um comitê de apoio e fiscalização. Este comitê acompanha esporadicamente as vistorias, vide Anexo C, realizadas pelo Programa Trato por Laguna e realiza atividades relacionadas a educação ambiental. Este comitê composto por integrantes das Secretarias municipais de Saúde, Fundação do Meio Ambiente, Vigilância Sanitária, representantes da concessionária (CASAN) e membros líderes das comunidades.

3 O PROGRAMA TRATO POR LAGUNA

3.1 HISTÓRICO

O Programa Trato por Laguna é um programa de fiscalização e regularização do sistema de esgotamento sanitário das edificações conectados a rede coletora de esgotamento sanitário municipal. No município de Laguna tem sido feito um trabalho para preservar a balneabilidade e as belezas naturais, melhorando a qualidade de vida e o saneamento básico dos lagunenses.

Em 2016 a concessionária CASAN – iniciou as obras de instalação da estação de tratamento de esgoto sanitário de Laguna no bairro Vila Vitória, com

investimento de R\$ 43 milhões de reais que amplia a segurança da operação de coleta e tratamento. O sistema de esgotamento sanitário de Laguna possui 101.777 metros de rede coletora, que beneficia 69,95% da população urbana do município incluindo o bairro Portinho. Tratando em média 7.700 m³/dia de esgoto. Em 2021 a concessionária contrata a Empresa J.P.R. Ambiental para conduzir o Programa Trato por Laguna iniciando os trabalhos com educação ambiental, objetivando orientar a população sobre a correta ligação de esgoto a rede coletora. Além de sensibilizar os lagunenses sobre a importância do tratamento de esgoto. O programa prevê vistoriar em torno de 5400 imóveis que possuem rede coletora de esgoto. Onde a correta ligação a rede de esgoto promove uma maior eficiência no sistema de coleta e tratamento de esgoto. Assim a população ganha em melhorias e qualidade ambiental, uma vez que o solo, a água e o ar estão sendo preservados.

As equipes coordenadas por um Engenheiro vistoriam todos os pontos que geram esgoto em um imóvel, como banheiros, cozinhas e áreas de serviço. Também são avaliados pontos de coletas das águas pluviais que não podem estar conectadas a rede pública de esgoto. Todos os testes são anotados e registrados por fotografias, além de ser acompanhado pelo proprietário ou responsável pelo imóvel. Quando algum problema é encontrado, o responsável pelo imóvel é orientado em como realizar a adequação, e uma nova vistoria num prazo de 60 dias será realizada para constatar as melhorias.

A Empresa JPR. Ambiental tem ciência da responsabilidade e relevância em desenvolver esse trabalho garantindo todas as medidas necessárias para a segurança dos Técnicos e Auxiliares. A Empresa J.P.R ambiental em parceria com as concessionárias de água e saneamento atuam em outras cidades do Estado de Santa Catarina. Dentre estas cidades assistidas pelos programas de esgotamento sanitário, apresentamos na Tabela 01 somente as cidades da AMUREL, apontando os índices de região por saneamento.

O Projeto de Trabalho Sócio Ambiental consiste em desenvolver ações de apoio e fortalecimento à participação efetiva das famílias beneficiárias na implementação do Projeto, através de atividade que promovem a inclusão social e produtiva, tendo em vista garantir a habitabilidade familiar e comunitária, a geração de renda e, conseqüentemente, a sustentabilidade do projeto. Dentro deste projeto existe a contemplação para curso de Formação de Agentes Socioambientais, Curso

de Preparação para Encanadores, Reunião Comunitária com Grupo Gestor, Reunião comunitária com a População, Oficinas de Saneamento ambiental, Sensibilização Ambiental, Orientação Técnica Ambiental, Vistoria Técnica Ambiental com Corante Líquido e Vistoria Técnica Ambiental com teste de Fumaça.

Tabela 01 - Cidades da AMUREL assistidas pelos programas de esgotamento sanitário, com índice de região por saneamento.

MUNICÍPIO	INSTITUIÇÃO RESPONSÁVEL	ANO INÍCIO	% TRATAMENTO
Armazém	CASAN	NA	0%
Braço do Norte	CASAN	2017	20,70%
Capivari de Baixo	CONSSÓRCIO CAPIVARI	NA	0%
Grão-Pará	SAMAE	NA	0%
Gravatal	GRAVATAL SANEAMENTO	2018	52,30%
Imaruí	SAMAE	NA	0%
Imbituba	SAMAE	2011	6,90%
Jaguaruna	JAGUARUNA SANEAMENTO	NA	0%
Laguna	CASAN	2021	67%
Lauro Muller	CASAN	2020	39,70%
Orleans	SAMAE	1978	80,20%
Pedras Grandes	SAMAE	NA	0%
Rio Fortuna	CASAN	NA	0%
Sangão	SAMAE	NA	0%
Santa Rosa de Lima	SAMAE	NA	0%
São Ludgero	SAMAE	1990	100%
São Martinho	CASAN	NA	0%
Treze de Maio	CASAN	NA	0%
Tubarão	TUBARÃO SANEAMENTO	2005	45,60%
Pescaria Brava	CASAN	NA	0%

Fonte: Marco Legal do Saneamento - Instituto Água e Saneamento (2023)

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS – 2021) informa que a região sul tem 48,8% contemplada pelo sistema de esgotamento sanitário. A média nacional está em 55,9% de esgoto tratado. O Governo do Estado de Santa Catarina, através do portal de saneamento básico aponta que somente 28,2% do Estado tem cobertura de rede coletora para o tratamento de esgoto.

3.2 PROCEDIMENTOS DE ATUAÇÃO

3.2.1 Comunicados e Vistoria Técnica Ambiental

Os comunicados entregues em cada edificação orienta a população sobre as obras de esgotamento sanitário que estão acontecendo no município, as quais permitirão direcionar e tratar o esgoto das edificações do perímetro urbano, possibilitando uma melhor qualidade de vida à população. As visitas são realizadas

por dois profissionais sendo um Técnico de Campo e um Auxiliar Sanitarista para realizar o agendamento da inspeção, ou se for possível, fazer a inspeção no mesmo instante. Se o responsável pelo imóvel não estiver disponível, um primeiro comunicado é deixado na residência, indicando a ausência ou indisponibilidade e solicitado o agendamento da inspeção pelos meios de comunicação onde o número de telefone e endereço estão descritos no comunicado.

Com o prazo determinado pela concessionária, período de 30 dias, uma vez que o proprietário do imóvel não entrou em contato para realizar o agendamento, as equipes retornam ao local para tentar novamente a inspeção. Se o proprietário estiver indisponível novamente é deixado um segundo comunicado informando e solicitando apoio das equipes do órgão público como Prefeitura e secretária de Vigilância Sanitária. Estas inspeções são realizadas em residências, cuja as ruas possuam instalações da rede coletora de esgotamento sanitário.

3.2.2 Atividade do Auxiliar Sanitarista

O Auxiliar Sanitarista realiza atividades de promoção a educação sanitária e ambiental, além de participar de campanhas preventivas e atividades comunitárias, vistoria as instalações hidrosanitárias das edificações e redes coletoras de esgotamento sanitário adotando procedimentos de registros fotográficos, conferência dos hidrômetros, sinalização, preenchimentos de planilhas e documentos destinados ao proprietário da edificação, a Empresa JPR Ambiental e a concessionária CASAN com observações de não conformidades encontradas.

3.2.3 Atividade do Técnico de Campo

O Técnico de Campo realiza atividades de promoção a educação sanitária e ambiental, além de participar de campanhas preventivas, incentivando atividades comunitárias, vistoriando as instalações hidrosanitárias das edificações como as áreas de lazer onde possuam churrasqueira com pia, lavanderia, cozinha, banheiros, e áreas externas com descidas de calhas, explicando o objetivo e a importância do Programa Trato por Laguna, destacando a importância para a contaminação de solos e mananciais. Utilizando corante alimentício para aplicação dos testes e verificando as saídas corretas das ligações. Observa caixas de gordura, caixas de inspeção e

passagem, ocorrência de infiltração, ausência de sifão, volumes inadequados. Preenche planilhas e documentos destinados ao proprietário do imóvel, a Empresa JPR Ambiental e a concessionária CASAN com observações de não conformidades encontradas.

3.2.4 Aplicação do Teste com Corante em Pó

O teste com utilização de corante em pó tem por finalidade a verificação de todas as instalações sanitárias para confirmar se tudo está interligado corretamente, se a canalização dos dejetos do esgoto foi direcionada de forma certa para a rede coletora. Se foi instalada a caixa de gordura na saída das pias de cozinha ou de churrasqueiras e se a tubulação da água da chuva está conectada com a galeria de água pluvial.

Durante a vistoria, o Técnico verifica a situação da caixa de gordura. Após, adicionam corantes, conforme Figura 03, em vasos sanitários, pias, tanques e ralos para identificar o destino do esgoto e da água de chuva. O Auxiliar permanece vigilante na CI. Qualquer irregularidade encontrada será avisado ao morador e entregue uma notificação para que sejam efetuadas as correções necessárias.

Figura 03 - Aplicação do teste com corante em pó



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

3.2.5 Aplicação do teste de fumaça

O Trato por Laguna utiliza em suas vistorias o equipamento insuflador de fumaça para identificar ligações cruzadas entre as redes de drenagem pluvial e de esgoto (Figura 04). Também é possível identificar calhas e ralos que escoam água da chuva na rede de esgoto, uma ação que compromete o bom funcionamento das

redes coletoras e também da Estação de Tratamento de Esgotos. A fumaça usada nestas avaliações não é tóxica e não apresenta riscos.

Figura 04: Aplicação do teste com fumaça



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3.2.6 Não Conformidades Encontradas

Apontando quali-quantitativamente, os tipos de empreendimentos que foram identificados como irregulares com maior recorrência e as dificuldades de adequação às normas técnicas. Apresenta-se no Quadro 04, a descrição das não conformidades encontradas pelos Técnicos com as prováveis constatações.

Após concluir a inspeção no imóvel, as não conformidades encontradas são descritas em formulário padrão (folha de regularização), onde as solicitações de adequações são informadas ao responsável pelo imóvel. No Quadro 04 segue descrita as não conformidades encontradas e suas constatações.

Quadro 04 - Não conformidades encontradas e constatações

Esgoto interligado inadequadamente	Conexão com a rede pluvial; Banheiros, áreas de serviços, CG e imóveis da mesma matrícula não conectados a RCES.
Caixa de gordura	Ausência de sifão e CG; Área de serviço, calhas, ralos conectados a CG, encanamento da lavanderia na CG, ou CG dentro da residência.
Esgoto conectado à rede pluvial	Despejo de esgoto da área de serviço, pia de banheiro e cozinha todos na rede pluvial.
Não conectado ou conectado parcialmente à rede de esgoto	Utilização de fossa, residência abaixo do greide, sem conexão aos pontos da rede de esgoto.
Água pluvial no esgoto	Ralos, calhas, piscina conectados a rede de esgoto.
Caixa de inspeção	Lacrada, obstruída, sem localização.
Fossa	Fossa ativa conectada a rede.
Abaixo da cota / greide	Residência abaixo do greide, solicitar a concessionária teste de viabilidade.

Fonte: Fonte: Programa Trato por Laguna (2023).

3.3 COMUNICAÇÃO SOCIAL

A concessionária realizou a divulgação sobre o início do Programa Trato por Laguna emitindo notas através dos meios de comunicação local (jornal e emissora de rádio), e redes sociais. Paralelamente, os agentes de fiscalização, os auxiliares e técnicos promoveram palestras, passavam de casa em casa com o comunicado oficial, apresentando o programa, informando e orientando sobre como agendar a vistoria, e tirando dúvidas sobre as ligações hidrossanitários. Reuniões com os líderes comunitários, escolas, centros sociais, foram realizadas para disseminar a importância e os benefícios da correta ligação do esgoto e como o mesmo é tratado na cidade. Outros materiais de comunicação foram utilizados como distribuição de panfletos e bonés, cartazes, carros de publicidade automotiva (veículo com som).

O programa contempla também educação e sensibilização ambiental, com equipes para promover ações junto a moradores e veranistas, em ruas, praias, creches, escolas, imprensa, entidades de classe e associações.

3.4 GEOPROCESSAMENTO

O programa Trato Por Laguna utiliza um software chamado ALINE fornecido pela concessionária. Neste software encontram-se informações do setor de saneamento da concessionária georreferenciadas do município.

Todas as indicações de bairros, ruas, vistorias e retornos aos imóveis são repassados pela concessionária através deste aplicativo disposto em celulares do Trato por Laguna. Os Técnicos de campo atualizam e alimentam a plataforma seguindo as rotas e agendamentos preestabelecidos, cadastrando as informações sobre cada imóvel individualmente no aplicativo ALINE.

Esta plataforma é acompanhada diariamente e simultaneamente pela concessionária e pelo administrativo do Trato por Laguna. Sendo possível visualizar a localização das equipes, além de monitorar e fiscalizar as atividades realizadas. No software é possível identificar e registrar fotograficamente as não conformidades de cada imóvel, de cada rua e bairro, gerando relatórios e gráficos para análise.

4 METODOLOGIA

Segundo Gil (2022, p.17), uma pesquisa é um processo sistemático de investigação que busca obter novos conhecimentos, esclarecer dúvidas ou validar as teorias existentes. É uma atividade que envolve a coleta, análise e interpretação de informações com o objetivo de responder a uma pergunta ou resolver um problema específico.

Para compor este estudo foi utilizada a pesquisa bibliográfica que serviram de base, um estudo de caso do perfil das ligações de esgoto das edificações e a percepção dos munícipes em relação ao programa Trato por Laguna. Paralelamente foi coletado informações com o Engenheiro responsável e equipe do programa.

Com o objetivo descritivo e abordagem quali-quantitativo, utilizando a coleta de dados, foram aplicados 100 instrumentos de pesquisa para os proprietários das edificações do bairro que são abastecidos com água tratada e coleta de esgoto. As edificações se encontram entre a Avenida Calistrato Muller Saller até a beira da Lagoa Santo Antônio dos Anjos totalizando 6 ruas paralelas a rodovia, e entre as ruas Sadi Luis Abraão e Onofre Stup totalizando 14 ruas a fim de levantar dados com relação as ligações de esgotamento sanitário.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e caracterização

Segundo dados registrados pelo Padre João Alfredo Rohr (ROHR, João Alfredo. Pesquisas Paleo-etnográficas na Ilha de Santa Catarina, e sambaquis do litoral sul-catarinense – IV (1961)), os primeiros habitantes da região de Laguna foram os homens de sambaqui, seguindo posteriormente dos povos indígenas.

Em registros histórico da Prefeitura, foi no ano de 1676, em 29 de julho, data de fundação de Laguna, que o bandeirante vicentista Domingos de Brito Peixoto chegou em Laguna. Por ser devoto ao Santo Antônio, o bandeirante batizou o lugar como Santo Antônio dos Anjos de Laguna. Poucos moradores fixaram residências na localidade neste período.

Laguna faz fronteira com as cidades vizinhas sendo: ao norte com os municípios de Imbituba e Imaruí. Ao sul com Jaguaruna. Ao oeste com os

municípios de Capivari de Baixo, Tubarão e Pescaria Brava. E ao leste com o Oceano Atlântico.

As coordenadas geográficas em latitude 28°28'57" sul e longitude de 48°46'51" oeste, o município está localizado na região sul do Estado, com área territorial de 336,396km², divididos em 35 bairros, dentre eles o bairro Portinho, objeto de estudo. Representando na Figura 05 a delimitação do bairro Portinho. Contornado pela Lagoa Santo Antônio dos Anjos, o nome do bairro, originou-se devido a pequenos portos onde os pescadores chegavam com suas canoas e descarregavam o que haviam pescado. O bairro está localizado na entrada da cidade, sendo a principal via de acesso da BR101 ao centro e aos pontos turísticos como as praias. Atualmente é o bairro mais populoso com 4.384 habitantes. A área de estudo ficou compreendida entre a Avenida Calistrato Muller Saller até a beira da Lagoa Santo Antônio dos Anjos totalizando 6 ruas paralelas a rodovia, e entre as ruas Sadi Luis Abraão e Onofre Stup totalizando 14 ruas transversais. A aplicação do instrumento de pesquisa foi possível somente nesta seção de ruas por dispor da rede coletora de esgoto. A figura foi extraída a partir do sistema de geoprocessamento (SIRGAS 2000).

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), com o objetivo de orientar a utilização racional dos recursos da zona costeira (Brasil, 1988), onde o município de Laguna está localizado. Inserida na bacia hidrográfica do Sul de Santa Catarina – RH09 composta pelo Rio Tubarão e Rio D'una, sendo o Rio Tubarão o principal contribuinte do aporte fluvial ao Complexo Lagunar do Sul Catarinense. Nasce na encosta da serra geral no município de Lauro Muller, após percorrer uma distância de 120 Km e drenar uma área de 5.640 Km² com vazão média estimada em 50 metros cúbicos até chegar na foz que fica no município de Laguna.

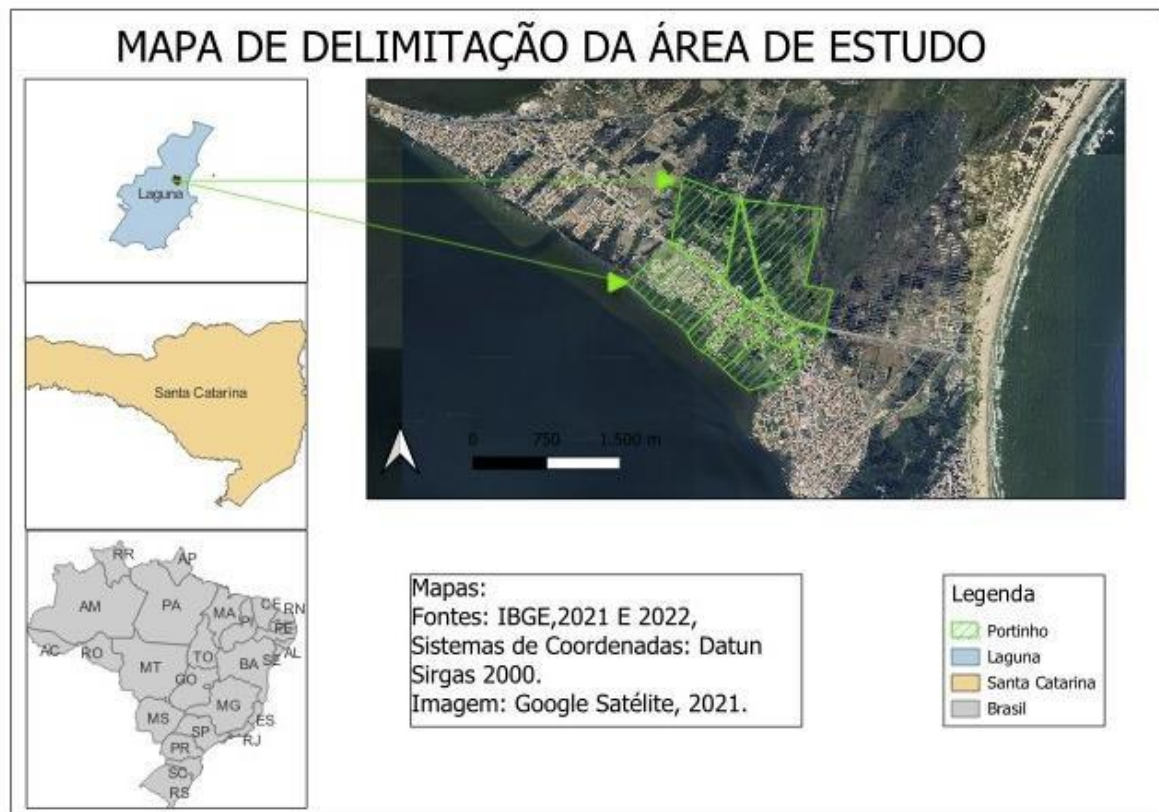
Destaca-se um conjunto de lagoas, sendo as principais, a Lagoa de Santo Antônio com uma área de 33,85 Km², a Lagoa de Imaruí com área de 86,32 Km², a Lagoa do Mirim com área de 63,77 Km², a Lagoa Santa Marta e a Lagoa do Camacho com área de 22,94 Km². Estas lagoas são interligadas e têm nas barras de Laguna e Camacho suas únicas ligações com o oceano Atlântico

Referente a economia, a cidade é voltada principalmente para a pesca, com forte produção de camarão e siri nas lagoas e de pescados na costa do Atlântico Sul. A cidade atrai turistas em todas as estações do ano principalmente no verão e

na pesca da tainha, que conta com um fenômeno raro: a ajuda dos botos há pesca, uma cooperação que, além de Laguna, acontece em poucas partes do mundo.

É considerada a Capital Nacional do Boto Pescador, sob a Lei nº13.318/2016 em função da cooperação dos botos pescadores da espécie *Tursiops truncatus*, fenômeno que atrai muitos turistas, cientistas e contribui com a renda de muitos pescadores.

Figura 05 - Mapa de delimitação da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

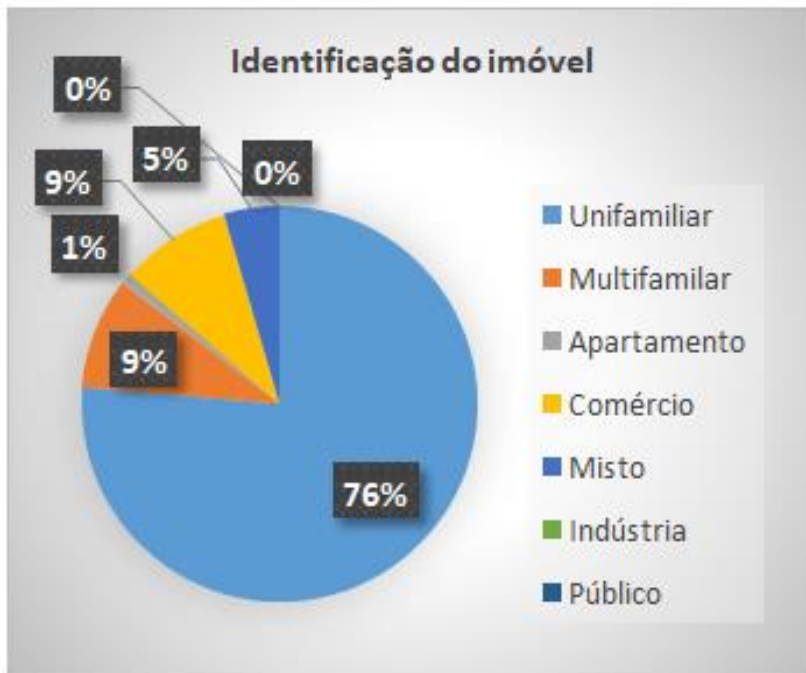
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para identificar o entendimento e engajamento dos munícipes em relação ao Programa Trato por Laguna, durante o período de análise, acompanhando os colaboradores do programa, ou realizando as pesquisas individualmente em imóveis no bairro Portinho, foram realizadas 100 inspeções com aplicação de questionário estruturado.

Das informações extraídas do instrumento de pesquisa, constatamos que na classificação dos imóveis 76% são de residências unifamiliares; outros 9% são

multifamiliares; apenas 1% se referente a apartamento; destes imóveis 9% são de comércio; e 5% são misto. No bairro existem poucas indústrias e repartições públicas como posto de saúde e escola, porém, onde elas estão localizadas não há existência da rede coletora de esgoto. (Figura 06).

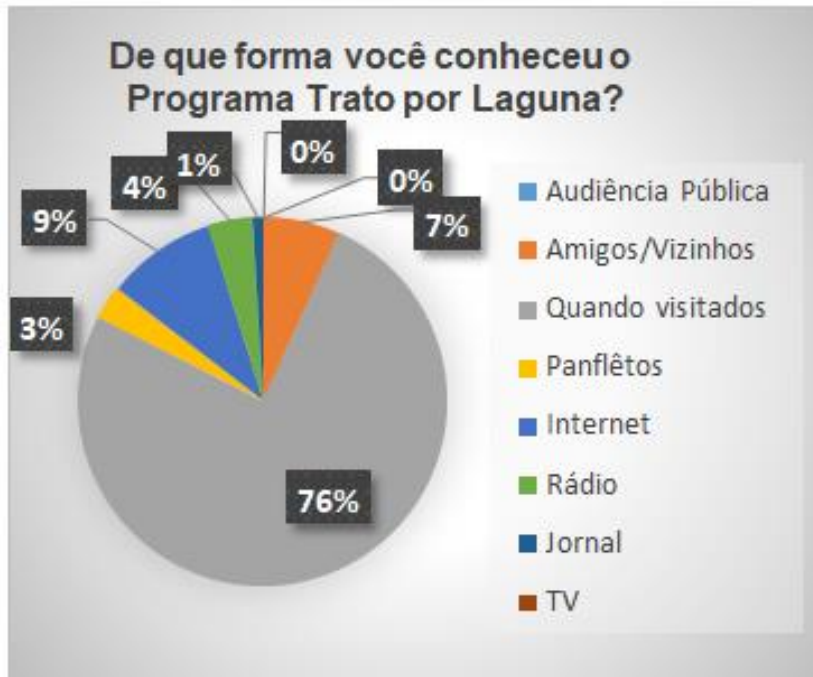
Figura 06: Identificação do imóvel



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Foram identificados como proprietários dos imóveis, 58% dos entrevistados, enquanto 42% são inquilinos. Estes quando questionados se conheciam o programa Trato Por Laguna 44% afirmaram conhecer o Programa, 24% não conheciam o programa e 32% informaram ter uma vaga ideia do que ele se propõe. Quando questionados sobre de que forma conheceram o Programa Trato por Laguna, (Figura 07), 76% dos proprietários responderam que conheceram o programa quando receberam a visita dos Técnicos, neste item os investimentos em publicidade foram pouco eficazes; Por outro lado 7% conheceram o programa através de amigos e vizinhos; 3% dos entrevistados informaram identificar o programa através de panfletos; Do mesmo modo 9% viu o programa através de internet; Além disso 4% ouviram via rádio; E por fim 1% dos entrevistados relataram conhecer o programa por jornal. Não tivemos informações referenciadas por audiência pública e Televisão.

Figura 07 - Como conheceu o programa

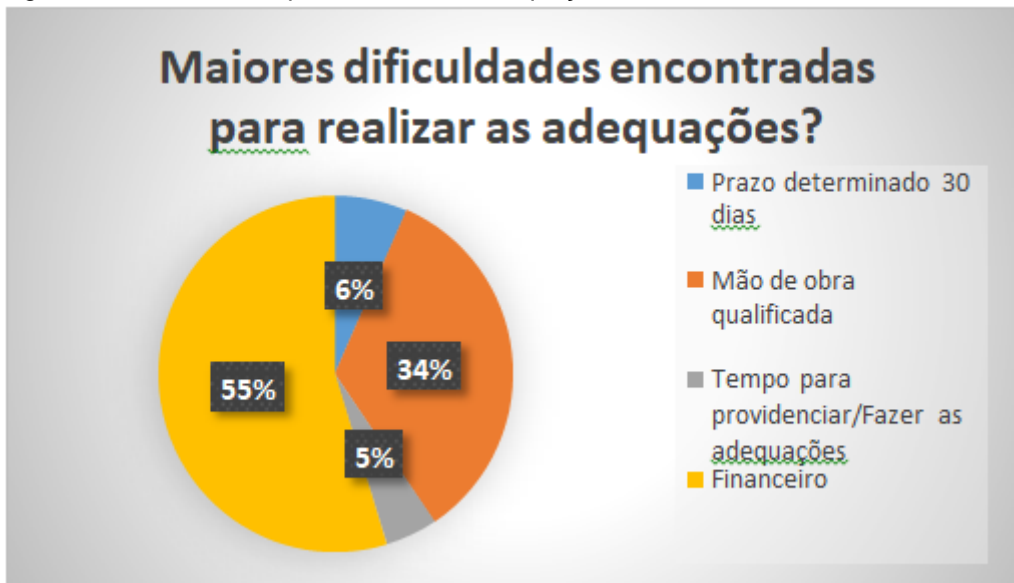


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Uma informação positiva diz que 19% dos imóveis foram certificados durante a primeira vistoria, porém, 81% dos imóveis não foram certificados por apresentar alguma(s) irregularidade(s). Após as intervenções realizadas pelos moradores em suas residências com a orientação dos Técnicos do Programa, atualmente 72% dos imóveis que participaram da pesquisa estão adequados para a ligação ao sistema de esgoto, destes 28% ainda não estão adequados.

Na figura 08 são demonstradas as dificuldades para realizar as adequações onde 6% se referiram ao prazo determinado; Devido a falta de mão de obra qualificada o prazo dado para a realização das adequações é pequeno resultando em 34% das respostas; Por outro lado 5% informaram ter pouco tempo disponível para providenciar as adequações e na grande maioria o fator principal diz respeito ao financeiro atingindo 55% com problemas financeiros para realizarem as alterações. Após as vistorias e adequações realizadas, os imóveis com tratamento individual totalmente desativados somaram 71%; Além disso 2% estão parcialmente desativados e 27% ainda não estão desativas.

Figura 08 - Dificuldades para realizar as adequações



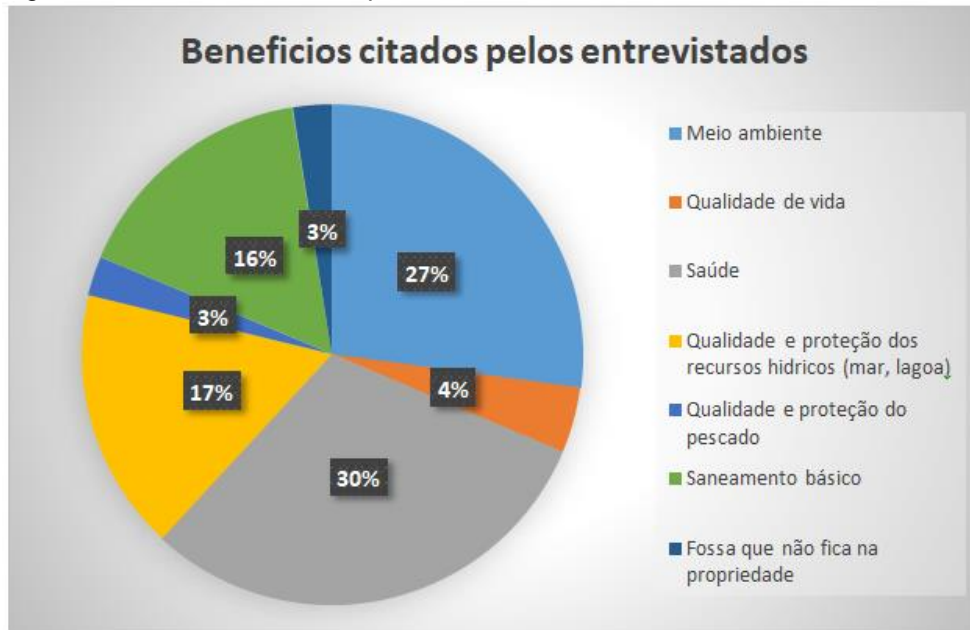
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A população desta amostragem estão bem informados quando o assunto é saneamento básico e esgotamento sanitário, pois 75% aceitam e entendem as não conformidades encontradas em seus imóveis; Outros 25% tem pouco conhecimento dos problemas encontrados; Nenhum entrevistado informou não aceitar ou não entender da não conformidade verificada em seu imóvel.

Quando questionados sobre os benefícios 98% das pessoas entrevistadas entendem e identificam os benefícios do programa após a regularização do seu imóvel; Destes entrevistados 2% não entendem e não identificam o benefício. Em relação à importância da coleta e tratamento de esgoto 98% dos entrevistados consideram importante a coleta e tratamento de esgoto na cidade; Deste 1% acha pouco importante e por fim 1% não considera importante.

Logo, em pergunta livre aos entrevistados sobre quais os benefícios a coleta e tratamento de esgoto teria ao longo do tempo (figura 09), imediatamente 27% se referiram ao meio ambiente; logo após 4% dos entrevistados responderam sobre a qualidade de vida; outros 30% mencionaram a questão saúde; Destes entrevistados 17% relataram importância para a qualidade e proteção dos recursos hídricos (mar, lagoa); Outros 3% se referiram a qualidade e proteção do pescado; Em relação ao saneamento básico 16% dos entrevistados relataram melhorias e por fim 3% mencionaram os benefícios de não ter mais a fossa na propriedade.

Figura 09 - Benefícios citados pelos entrevistados



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

5.1 INVENTÁRIO DE NÃO CONFORMIDADES ENCONTRADAS

No período de análise no bairro Portinho em Laguna, dentre as não conformidades, os números de ocorrências e porcentagem encontradas (Tabela 02) ressaltam-se itens sobre a caixa de gordura e caixa de passagem irregular ou ausente, apresentando 51% dos casos. Na sequência de não conformidades temos 14% das fossas ligadas a rede coletora; Ainda ressaltam 10% dos imóveis não conectados a rede esgoto; Outros 5% de água pluvial está conectada a rede de esgoto da concessionária; De esgoto conectado a rede pluvial foram encontrados 2; E apenas 1% abaixo do greide (perfil longitudinal de uma estrada de rodagem). Não vimos não conformidades relacionadas a tanques conectados a caixa de gordura e inspeções não autorizadas pelo proprietário. Alguns imóveis apresentaram mais de uma não conformidade.

Dentre todas as inspeções tivemos a surpresa de termos 14% dos imóveis adequados.

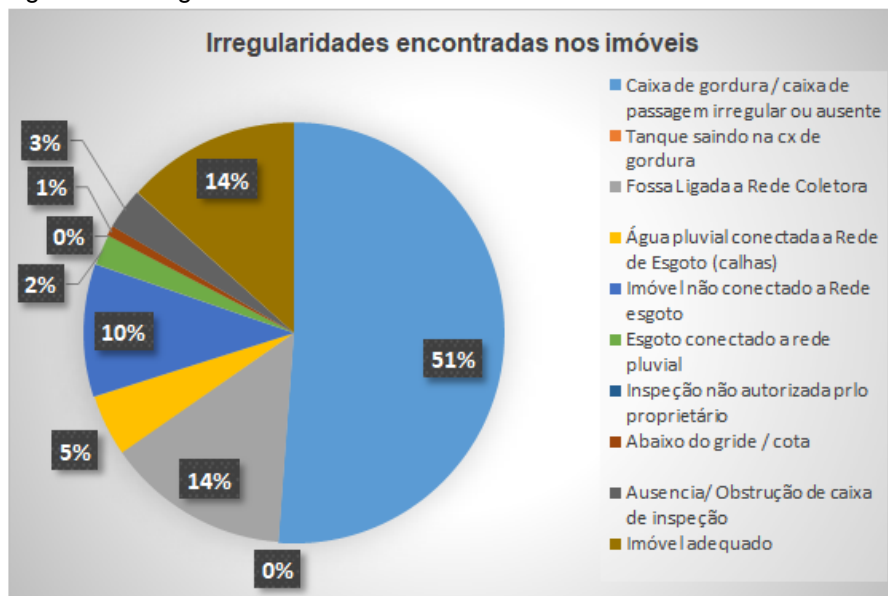
Tabela 02 - Não conformidades encontradas nos Componentes do Sistema de Esgotamento Sanitário

NÃO CONFORMIDADES	Nº OCORRÊNCIA	PORCENTAGEM
CG / CI irregular ou ausente	65	51%
Tanque saindo na cx de gordura	0	0%
Fossa Ligada a Rede Coletora	18	14%
Água pluvial conectada a Rede de Esgoto	6	5%
Imóvel não conectada a Rede esgoto	13	10%
Esgoto conectado a rede pluvial	3	2%
Inspeção não autorizada pelo proprietário	0	0%
Abaixo do greide / cota	1	1%
Ausência/ Obstrução de caixa de inspeção	4	3%
Imóvel adequado	17	14%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A maior ocorrência de não conformidade encontrada se refere a caixa de gordura (figura 10). A inexistência ou construção inadequada da caixa que retém os efluentes gordurosos, que são resultantes de locais onde há manejo de alimentos, pode causar obstrução e incrustação da tubulação coletora de esgoto e mau cheiro ocasionado pelo entupimento dos coletores (IENKE, 2016). A ausência desta favorece a proliferação de pragas e outros vetores, como também dificulta o tratamento de esgoto na estação principal gerenciada pela concessionária.

Figura 10 - Irregularidades encontradas nos imóveis



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Como segunda não conformidade verificada temos as fossas ligadas a rede

coletora, que conforme orientação da concessionária, após a correta ligação com a rede é necessário que se faça a desativação da fossa. Sendo orientados ao esgotamento, desinfecção e aterro.

Não estar conectado na rede esgoto foi a terceira não conformidade mais encontrada. Também foi verificado a existência de rede coletora disponível para a correta ligação, porém por motivos particulares de cada proprietário não foi realizado a correta ligação. Conforme instruções da concessionária, a não interligações do imóvel a rede de esgoto ou a existência de irregularidades nas instalações de esgoto do imóvel consiste em infração e poderá resultar em multa ao responsável, sendo o valor desta multa variado de acordo com o tamanho e o consumo do imóvel.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante a adoção de condutas ambientais sustentáveis, envolvendo os cuidados com os recursos hídricos e o meio ambiente, pois fortalecem os valores para realização de uma cidadania responsável. Em relação ao esgotamento sanitário os cuidados que os proprietários precisam ter ao efetuarem as instalações intradomiciliares, e o entendimento de como se dará a ligação na rede coletora é um fator importante para garantir a qualidade do sistema e dos recursos hídricos.

Entre as dificuldades vivenciadas durante a aplicação dos instrumentos de pesquisa junto aos moradores do bairro Portinho, destacamos a recusa de alguns moradores; informações contrárias as inspeções por falta de conhecimento dos componentes do sistema hidrosanitários; condições meteorológicas adversas em campo (chuva e frio).

Apesar do entendimento da maioria dos moradores sobre a importância de estar ligado a rede de esgoto e os benefícios sócio - ambientais decorrentes desta ação, entendemos que os investimentos financeiros aplicado em algumas divulgações como por exemplo a distribuição de panfletos foi pouco eficiente. Atividades realizadas diretamente com os proprietários das edificações através de visitas porta a porta resultaram em maior visibilidade ao programa, sendo possível sanar dúvidas no mesmo instante e conseqüentemente agilidade na realização e regularização das não conformidades. As campanhas de conscientizações e principalmente parcerias constantes entre órgãos públicos, concessionária e população devem permanecer constantes para maior abrangência do programa

Trato por Laguna. Entendemos que após a certificação da edificação, transcorrido um determinado período, deve ser realizada uma nova vistoria para garantir avaliação da eficácia do programa.

Pode-se dizer que a transformação da realidade do saneamento para a população de Laguna, em especial ao bairro Portinho está próxima da conclusão contemplando todas as edificações, promovendo a qualidade de vida e saúde para os munícipes e seus recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário: projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 547 p.

BITTENCOURT, Cláudia; PAULA, Maria Aparecida Silva de. **Tratamento de água e efluentes**: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. São Paulo: Saraiva, 2014.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Marco do saneamento. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. **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 (...). Brasília, 15 de julho de 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7. Acesso em: 30 abr. 2023.

BRASIL. **Decreto Nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Brasília, 22 de julho de 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm. Acesso em: 30 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 13.318, de 20 de julho de 2016**. Confere o título de Capital Nacional dos Botos (Golfinhos) Pescadores à cidade de Laguna, no Estado de Santa Catarina. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13318.htm. Acesso em: 27 maio 2023.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO - CASAN. **Como fazer a ligação de seu imóvel à rede de esgoto.** Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://www.casan.com.br/noticia/index/url/como-fazer-a-ligacao-de-seu-imovel-a-rededeesgoto#0>. Acesso em: 30 abr. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Cada real gasto em saneamento economiza em saúde.** MINISTÉRIO DA SAÚDE. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cadarealgasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministrodasaude?inheritRedirect=false#main-content. Acesso em: 30 abr. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de saneamento.** 5. ed. Brasília, 2019. 546 p.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Marco Legal do Saneamento.** Disponível em: <https://marcolegal.aguaesaneamento.org.br/a-regionalizacao-nos-estados>. Acesso em: 22 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico:** características da população e dos domicílios: resultados do universo. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/30/84366>. Acesso em: 22 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **SIRGAS Centro de Análise.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html>. Acesso em: 22 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico:** características da população e dos domicílios: resultados do universo. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censodemografico/demografico2010/universo-caracteristicas-da-populacao-e-dos-domicilios>. Acesso em: 22 abr. 2023.

IENKE, E. F. **Análise comparativa entre protótipo de caixa de gordura e caixa de gordura pré fabricada comercial.** 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LAGUNA. **Lei complementar nº187, de 29 de dezembro 2008.** Institui o Código Sanitário do Município de Laguna, e dá outras providências". Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/l/laguna/lei-complementar/2008/19/187/lei-complementar-n-187-2008-institui-o-codigo-sanitario-Do-municipio-de-laguna-e-da-outras-providencias>. Acesso em: maio 2023.

LAGUNA. **História Prefeitura de Laguna.** Disponível: <https://laguna.sc.gov.br/pagina-22177/>. Acesso em: 29 abr. 2023.

LAGUNA. **Lei nº7.661, de 16 de maio de 1988.** Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm. Acesso em: 22 abr. 2023.

LAGUNA. **Lei nº 2.293 de 28 de julho de 2022**. Institua Política Municipal do Meio Ambiente (PMMA) do Município de Laguna e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/l/laguna/lei-ordinaria/2022/230/2293/lei-ordinaria-n-2293-2022-institui-a-politica-municipal-do-meio-ambiente-pmma-do-municipio-de-laguna-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 20 maio 2023.

NIZZOLA, Janine Liliana *et al.* **A trajetória arqueológica de Pe. João Alfredo Rohr em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: IPHAN, 2021.

SNIS - ESGOTAMENTO SANITÁRIO - 2021. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**. Disponível: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 30 abr. 2023.

SANTA CATARINA. **Decreto N° 099, de 1° de março de 2007**. Obriga todas as obras públicas, e as privadas, financiadas ou incentivadas pelo Governo do Estado de Santa Catarina, implantar sistema de captação e retenção de águas pluviais e estabelece outras providências. Santa Catarina, 2007.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. **Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários**: estudo de caso da cidade de Franca, Estado de São Paulo (2003). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001387962>. Acesso em: 30 abr. 2023.

RECICLAGEM DAS GARRAFAS DE VIDRO COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO

Jhonatan da Cunha Antunes¹

Morgana Machado Medeiros²

Samira Volpato Becker³

Resumo: O vidro é um elemento que está presente na sociedade há milhares de anos, descoberto por acaso, hoje ele tem um papel importante em muitos seguimentos, como na construção civil, indústria automobilística e nas embalagens. Apesar de possuir alta resistência e durabilidade, o descarte incorreto desse material, torna-se um problema para o meio ambiente pois seu processo de decomposição leva muito tempo, com isso se faz necessário estudos para utilizar os resíduos de vidro como uma tecnologia sustentável. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade de usar resíduos de vidro moído como agregado do concreto, substituindo a areia para fins estruturais. O estudo se fez presente pela abundância do resíduo de vidro no meio ambiente e pelo fato de o concreto aceitar diferentes agregados em sua composição. Os testes foram realizados em laboratórios com o uso de garrafas de cerveja provenientes de bares e restaurantes, essas garrafas foram trituradas e peneiradas em granulometrias de 355 μ m, 710 μ m e 850 μ m, as substituições foram feitas em porções de 10%, 20%, 50% e 100% e curados em tanque com água em 7 e 28 dias. Após a cura, as amostras foram submetidas a testes de compressão que mostram que os corpos de prova de 20% e 100% de ambas as idades apresentam bons resultados, se comparados à amostra convencional sem resíduos de vidro moído.

Palavras-chave: Vidro. Cimento. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Técnica Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO, 2019), o vidro se destaca por não perde suas propriedades, independentemente da quantidade de reciclagens. Outro ponto importante para que o vidro seja usado como de tecnologia sustentável é sua abundância. Apesar de ser 100% reciclável, o vidro apresenta uma baixa taxa de reciclagem para que possa ser introduzido novamente no processo e o principal motivo disso é a ineficiência da coleta, no qual

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: jhonatan.c.antunes@hotmail.com.

² Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: morgana_mm@hotmail.com.

³ Orientadora. Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: samiravolpato@gmail.com.

a logística de transporte é economicamente inviável.

Em virtude da escassez de recursos naturais, de um destino adequado aos resíduos da construção e demolição, da necessidade de preservar o meio ambiente e visando a sustentabilidade, se faz necessário o desenvolvimento de materiais alternativos e o aproveitamento dos resíduos produzidos pelo setor da construção civil. (Rosário; Torrescasana, 2011, p. 2)

Segundo CEMPRE (2020), “O Brasil produz em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos”. A utilização de resíduos em concretos é um tema que ganha destaque devido à necessidade de descarte correto do material e pelo qual o concreto apresenta capacidade de adicionar diferentes resíduos em sua composição. O concreto é um importante material utilizado na construção civil, composto feito através da mistura do cimento, água, agregados graúdos (brita) e agregados miúdos (areia) em conjunto com outros materiais eventuais. Para redução da quantidade de vidros descartados, a alternativa de aproveitá-lo na construção civil, utilizando-o na elaboração de concreto torna-se um importante objeto de estudo. De acordo com Peres *et al.* (2013) “Buscando alternativas para a minimização desse problema, diversos estudos estão sendo desenvolvidos para testar a viabilidade da adição de resíduos de vidro como material alternativo”. O uso do vidro como substituto torna-se uma alternativa para aplicação desse resíduo e conseqüentemente favorece as famílias que dependem da reciclagem como forma de renda, logo fica evidente a importância da reciclagem na conservação dos recursos naturais.

Procurando novos recursos e técnicas que possam ser utilizadas como alternativa para minimizar o impacto no meio ambiente e promover atividades sustentáveis, observou-se uma possível substituição do agregado (areia) pelo vidro na produção do concreto, como forma de reutilização. Sendo assim, com estudos e formas já implantadas em outros países visa-se o desenvolvimento sustentável com a preservação ambiental por meio da diminuição dos resíduos sólidos em aterros sanitários no Brasil.

Para tornar a manufatura do vidro mais sustentável e diminuir o seu resíduo em aterros e lixões, esse estudo originou-se através de uma pesquisa que compõem bares e restaurantes, analisando que as garrafas de vidro não têm uma destinação e uma reciclagem adequada. Desde então esse estudo tenta se aperfeiçoar para tentar diminuir e reutilizar essas embalagens.

Portanto, a presente pesquisa busca demonstrar a viabilidade da substituição da areia pelo vidro moído provenientes de garrafas de cerveja do tipo comum. Os resultados terão como objetivo demonstrar o uso desse material na produção de concreto como alternativa apropriada de destinação para este resíduo, sendo seu resultado comparado ao concreto tradicional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PANORAMA DA SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

O tema resíduos sólidos se torna muito evidente em todo o mundo e no território nacional brasileiro, principalmente com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada para o desenvolvimento e crescimento do país, com possibilidades ainda maiores de evoluir nas questões sociais, ambientais e econômicas. (Ministério do Meio Ambiente (Brasil 2020b).

Conforme Pichtel (2005), o resíduo sólido pode ser definido como um material sólido com valores econômicos negativos, tornando o descarte mais barato do que seu uso, sendo assim, entra em contradição com os parâmetros atuais que ressaltam o valor econômico dos resíduos. A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, regulamentada pelo decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) define resíduos sólidos como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Brasil, 2010)

Os resíduos sólidos podem ser classificados como: residenciais, comerciais, institucionais, construção e demolição, serviços municipais, centrais de tratamento, industriais e agrícolas, conforme NBR 10.004. (ABNT, 2004)

Segundo dados publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), a geração per capita foi, em média, de 1 quilo de resíduo por dia no ano de 2018. Foram geradas 79 milhões de toneladas de resíduos no Brasil nesse mesmo ano no total, 72,7 milhões foram coletados, ou seja, do montante de resíduos produzidos, 6,3 milhões de toneladas não foram coletadas da forma correta, tendo alta capacidade de poluição ambiental e consequências negativas à saúde.

Entre os recursos utilizados para o crescimento econômico e evolução social está a logística reversa, que busca possibilitar a reutilização dos resíduos sólidos no

processo produtivo, reduzindo o descarte de materiais para a disposição no solo. A reciclagem mostra-se nesse processo como uma das prioridades, visto que tem como objetivo a transformação de resíduos em novas matérias-primas ou produtos. Muitos setores vêm implantando ações para organizar sistemas de logística reversa a fim de introduzi-los no processo produtivo como insumo. (ABRELPE, 2019)

Em seu panorama dos resíduos sólidos no Brasil, a ABRELPE (2019) estima com base na série histórica do país, serão produzidas pelo brasileiro em 2030 o total de 100 milhões de toneladas. O setor de reciclagem apresenta algumas complicações, principalmente na área de coleta seletiva, recuperação de materiais e disposição final dos resíduos coletados, devido à coleta seletiva ainda não estar presente em todos os bairros. Os indicadores de reciclagem evoluem de forma insuficiente e os lixões ainda se fazem presentes em todo o país. Entretanto os demais países seguem evoluindo em direção a um modelo mais inovador e sustentável sobre a gestão de resíduos, enquanto os índices apresentados pelo Brasil ficam abaixo da média de nações com o mesmo grau de desenvolvimento. Compreende-se que o assunto reciclagem não é considerado prioridade na agenda política e social do país.

2.2 VIDRO

O vidro comum é um material que não se degrada e não se desfaz, porém, por ser inerte, não é nocivo para o meio ambiente e normalmente é utilizado para embalagens (em sua maior parte possui um destino 100% sustentável por ser um material totalmente reciclável). Porém, existe um percentual grande de descarte incorreto que são armazenados em locais inapropriados e acabam se tornando agentes transmissores e proliferadores de doenças. Sendo assim é preciso encontrar meios viáveis, econômicos, sociais e sustentáveis, para mudar o cenário atual (Landim *et al.*, 2015)

O vidro, em geral é uma substância amorfa, inorgânica e fisicamente homogênea, obtida pelo resfriamento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento contínuo de viscosidade até atingir a condição de rigidez (Romano, 1998).

A matéria prima mais importante para a produção do vidro é o carbonato de sódio, conhecido popularmente como barrilha. “A barrilha é um produto higroscópico, ou seja, absorve umidade lentamente quando exposta a atmosfera úmida, sendo

responsável pela aglomeração do produto” (Coelho, 2009).

O vidro possui um dos recursos naturais mais preciosos, a areia, e é obtido a partir de uma reação de fusão entre o carbonato de sódio (Na_2CO_3), mais conhecido como barrilha ou soda, com o calcário (CaCO_3) e a sílica presente na areia (SiO_2), que são aquecidos a 1500 °C, essa é a mistura que se dá ao vidro que conhecemos. O vidro pode passar por esse processo infinitas vezes sem perda de qualidade ou pureza do produto.

Se mantiverem as atuais tendências de crescimento da população mundial, ocorrerá cada vez mais, industrialização, contaminação ambiental, produção de alimentos e esgotamento dos recursos naturais, o planeta alcançará os limites de seu crescimento no curso dos próximos cem anos. O resultado mais provável será um súbito e incontável declínio tanto da população como da capacidade industrial. (Meadows *et al.*, 1973, p.40 apud Roman, 1996, p. 7).

O vidro é um produto que se destaca por suas propriedades físicas, contém alta conservação e transparência, possui resistência à água, solventes e alguns tipos de ácidos. Como aponta a ABIVIDRO (2020), o vidro decompõe-se após 5 mil anos, entretanto pode ser reutilizado muitas vezes. No Brasil, a reciclagem desse material mobiliza R\$ 120 milhões por ano.

Conforme o anuário estatístico publicado pelo Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2019), os cacos de vidros reciclados e triturados podem substituir uma parcela da matéria-prima mineral virgem, essa substituição traz benefícios para o racionamento de energia, de matéria prima e de uso de água.

Segundo dados publicados pelo CEMPRE (2020) “Cerca de 47% das embalagens de vidro foram recicladas em 2011 no Brasil, somando 470 mil ton/ano. Desse total, 40% são oriundos da indústria de envase, 40% do mercado difuso, 10% do “canal frio” (bares, restaurantes, hotéis etc.) e 10% do refugo da indústria”.

2.1.1 Referências em reciclagem

Reciclagem é um termo utilizado para indicar o reaproveitamento e reutilização de um material no mesmo processo que por alguma razão foi descartado. O vidro pode ser reaproveitado para criar outros materiais, o processo se dá pelo seu derretimento ou sua moagem, dependendo da finalidade do seu uso, sendo necessário, muitas vezes, separá-los por cores.

Um exemplo de reutilização deste resíduo está na Austrália: o país já utiliza o vidro moído proveniente do lixo em concretos para construção (Crentsil; Brown; Taylor, 2001). A Austrália é o país que mais utiliza vidro moído proveniente de reciclagem como agregado para produzir concreto. O material chega a ser usado em taxas de 10% a 20%, como substituto da areia, para a construção de vigas, pilares e lajes, além de elementos não- estruturantes – neste caso, em taxas que podem substituir a areia em até 50%. (Cimento Itambé, 2015). Também foram apresentadas recomendações para o uso deste material em concretos no estado de Nova York (Meyer; Xi; Mater, 1999).

Países como Alemanha e Suíça destacam-se no assunto reciclagem, pois seus cidadãos são responsáveis pelo descarte correto dos materiais reutilizáveis e não reutilizáveis. O vidro, por exemplo, deve ser descartado em caçambas de lixo utilizadas especialmente para o seu descarte sendo separados de acordo com sua cor. Segundo o CEMPRE (2020), o índice de reciclagem das embalagens de vidro no ano de 2010 na Alemanha foi de 87% e na Suíça de 95%.

A Europa tem as taxas de reciclagem de vidro mais significativas do mundo devido aos esforços de seus continentes. Segundo a Federação Europeia de Vidro para Contêineres (FEVE, 2015), a taxa média de reciclagem da União Europeia atingiu a marca de 73% para embalagens de vidro em 2015: são mais de 25 bilhões de contêineres de vidro. Os países da União Europeia que se destacam no setor são: Suécia, Bélgica, Luxemburgo, Áustria e a Alemanha.

No Brasil, a reciclagem desse resíduo ainda é pouco utilizada, uma vez que o aterro é uma opção muito mais barata e a disponibilidade de matéria-prima para materiais de construção é abundante. Vale ressaltar que para a reutilização do vidro, fatores como impurezas, gastos com transportes proibitivos, cores diferentes que precisam ser separadas, entre outros precisam ser considerados.

2.1.2 Materiais alternativos na construção civil e incorporação do vidro na produção de concreto/argamassa cimenteira

Os materiais como pedra, galhos e terra eram muito utilizados na execução de obras de engenharia pelos homens em sua origem. Após a revolução industrial no século XVIII surgiram os materiais que hoje são vistos como produtos de construção convencionais. Devido ao amplo uso dos materiais convencionais, houve

o esquecimento de novas buscas por materiais não convencionais (Barbosa, 2005).

Menezes *et al* (2009) apresentam em seu estudo o uso do resíduo da serragem do granito e de resíduos da construção civil como materiais alternativos para a produção de argamassas. Os autores elaboraram composições de argamassas utilizando de forma parcial os resíduos em substituição à cal. Esses corpos de prova foram curados por 7, 14, 28 e 60 dias, posteriormente sendo determinada sua resistência à compressão simples. Os resultados mostraram que a troca do aglomerante por resíduos na elaboração de argamassas pode ser realizada em teores de até 50%. Os resíduos com atividade pozolânica geram melhorias na resistência à compressão simples das argamassas.

Galvão, Farias e Souza (2013) estudaram a produção de blocos cerâmicos com o resíduo de vidro moído como material alternativo. O pó de vidro foi analisado por granulometria a laser, fluorescência e difração de Raios X. Os resultados mostraram que o uso do vidro como parte da composição dos blocos cerâmicos produz blocos mais leves e com melhor resistência térmica. Os autores concluíram que o pó de vidro tem capacidade de ser reutilizado na construção de blocos cerâmicos por obter quantidade significativa de óxido de silício.

Sgobero e Alves (2015) qualificaram em sua pesquisa a adição de agregados finos de vidro reciclável ao asfalto como alternativa sustentável, utilizando o vidro como substituto da areia. Utilizaram como metodologia o ensaio Marshall (DNER-ME 043) bem como a norma para pavimentação de concreto asfáltico com asfalto polímero (DNER, 1999). A conclusão desse estudo mostrou que o uso de vidro no asfalto é de enorme utilidade por ser um composto inorgânico que é incapaz de ser decomposto ou queimado. As conclusões obtidas nesta pesquisa foram aprovadas por norma e comprovam a utilidade dessas partículas em substituição a areia.

2.1.3 A importância da reciclagem na renda dos trabalhadores que vivem dessa atividade

As atividades de reciclagem são feitas por associações, cooperativas e pessoas autônomas, formadas exclusivamente por pessoas físicas de baixa renda reconhecidas pelo poder público como catadores de materiais recicláveis. A importância da reciclagem e dos trabalhadores que atuam nessa área é de extrema relevância, pois são à base da cadeia hierárquica da economia e do meio ambiente.

Conforme o Ministério do Meio Ambiente do Brasil os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis desempenham papel fundamental na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com destaque para a gestão integrada dos resíduos sólidos. De modo geral, atuam nas atividades da coleta seletiva, triagem, classificação, processamento e comercialização dos resíduos reutilizáveis e recicláveis, contribuindo de forma significativa para a cadeia produtiva da reciclagem. (Brasil, 2020a).

Há muitas pessoas que dependem desse ramo como forma de ganho e sustento, muitas famílias brasileiras se mantêm através da reciclagem. Com base em dados do movimento nacional dos catadores de materiais recicláveis, estima-se que existam cerca de 800 mil catadores e catadoras em atividade no país. A maior parte dos catadores são do gênero feminino, cerca de 70% da categoria. Os catadores são responsáveis pela coleta de 90% de tudo que é reciclado hoje no Brasil. Há diversas estimativas de que catadores variam entre 300 mil a 1 milhão de pessoas sobrevivendo da coleta de materiais recicláveis, segundo levantamento do Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis e Departamento de Economia da Universidade Federal da Bahia (MNCR, 2019).

Em 2019 catadores deram relatos ao Jornal Nacional sobre como é coletar, classificar o vidro e, principalmente, o custo e benefício deste resíduo. O Papelão é um material de rotatividade no mercado de reciclagem e os catadores vendem. O metal e o plástico são recicláveis, mas o vidro acaba sendo um problema. “É ruim porque pode quebrar, tem que ter um cuidado para não se cortar. Fora que é muito difícil até para repassar. É muito volume para pouco dinheiro”, diz a catadora Erismaura Pereira dos Santos.

Na cidade de São Paulo, por exemplo, os catadores recebem, em média, R\$ 0,18 pelo quilo do vidro. Já um quilo de papelão rende R\$ 0,58, de garrafas pet, R\$ 2,80. E um quilo de latinhas de alumínio vale, em média, R\$ 5,30. O professor de economia ambiental Sabetai Calderoni, presidente do Instituto Brasil Ambiente, diz que transportar o vidro até as poucas indústrias que fazem a reciclagem, normalmente, não compensa. (G1, 2019).

Em Santa Catarina o cenário é ainda pior para os catadores, segundo dados da CEMPRE, (2020) o vidro é vendido a R\$ 0,08 quilograma. O papelão rende R\$ 0,41 as garrafas pet R\$ 2,10 e um quilo de latinhas de alumínio R\$ 4,20.

Apesar de ainda ser um material difícil para coletar, devido à compreensão e

conscientização da própria população com esse tipo de resíduo, o vidro tem suas vantagens. Completando a matéria do Jornal conforme relatos de Calderoni, “A reciclagem do vidro, o aproveitamento do caco de vidro faz com que nós tenhamos economia de energia, tenhamos economia de água, tenhamos redução das emissões poluentes” (G1, 2019).

Todo processo de reciclagem, além de preservar o meio-ambiente, fornece um acréscimo econômico, pois gera muita mão de obra além de serviços de terceirizados. Para ajudar a classificar e dar uma destinação final ao resíduo gerado, a PNRS auxilia na redução de resíduos, disposição final para acompanhar o ciclo de vida dos produtos. A fim de evitar ainda mais o agravante de descarte e consumo incorreto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/2010 determina, em seu art. 1º, §1º: Estão sujeitas a observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou gerenciamento de resíduos sólidos. (Brasil, 2010)

3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para compor este estudo foi utilizada a pesquisa bibliográfica e de campo. Sendo a primeira através de livros e artigos já existentes que serviram como base para a elaboração desse trabalho. A finalidade da pesquisa bibliográfica para Marconi e Lakatos (2015, v. 7, p.57) “é colocar o pesquisador em contato com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto”.

A pesquisa de campo no presente estudo se fez presente por meio da realização de conversas informais com proprietários de bares e restaurantes do município de Tubarão, a fim de levantar dados com relação à utilização e destinação final das garrafas de vidro de cervejas utilizadas nos estabelecimentos comerciais visitados. Marconi e Lakatos (2015, v.7, p.69) afirmam que a pesquisa de campo tem por objetivo “conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de um problema para o qual se procura uma resposta, ou de uma hipótese que se queira comprovar, ou, ainda, descobrir novos fenômenos ou as relações entre eles”.

Após as conversas informais com os proprietários dos estabelecimentos, pode-se verificar a destinação de forma inadequada das garrafas de cerveja, porque não há no município, na região e no entorno, empresas que colem as garrafas e

façam a reciclagem. Apesar de ser retornável, muitas empresas distribuidoras de bebidas não fazem a logística reversa, gerando um acúmulo de garrafas nos estabelecimentos, sendo, portanto, um problema, como relataram a maioria dos estabelecimentos. Com essas informações coletadas, prosseguiram-se os estudos experimentais com as garrafas cedidas pelos próprios estabelecimentos visitados. Com base nas pesquisas bibliográficas realizadas, foi possível afirmar que o resíduo de vidro vem sendo estudado e utilizado em vários experimentos como agregado do concreto, substituindo a areia quartzosa.

A parte experimental do estudo foi feita nas dependências da Faculdade de Capivari de Baixo (FUCAP), localizada na cidade de Capivari de Baixo, e os testes experimentais foram realizados nos laboratórios de Engenharia Civil e Mecânica. Para a realização dos ensaios experimentais, como já mencionado, foram coletados resíduos de garrafa de vidro (RGV) em bares e restaurantes no Município de Tubarão – SC, que foram cedidas pelos proprietários de diversos estabelecimentos. No Quadro 01 a seguir, são demonstrados os materiais utilizados para o teste de experimento:

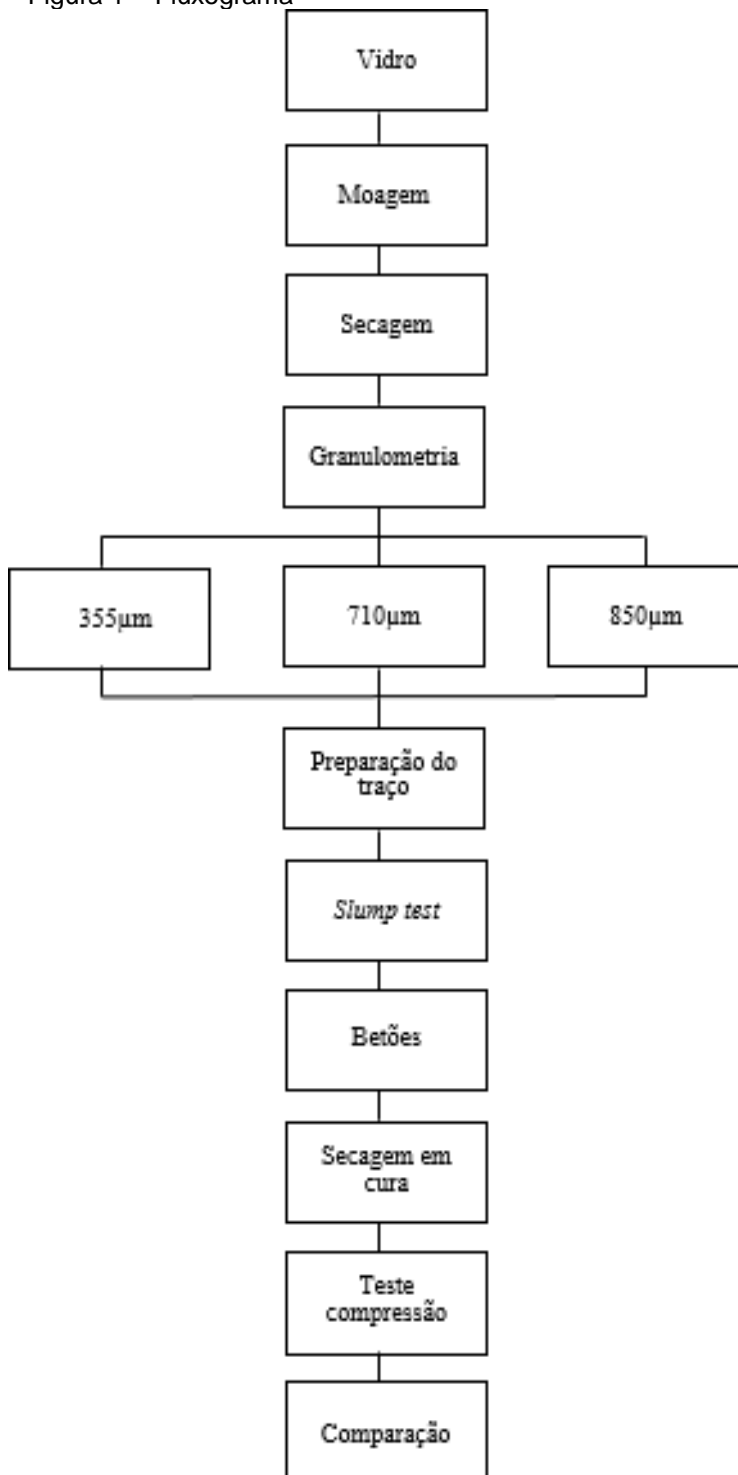
Quadro 1 – Materiais e equipamentos utilizados

Equipamentos:	Materiais:
Triturador, Balança eletrônica, Estufa, Bacias de alumínio, Peneiras Granulométricas, Paquímetro, Trena métrica, Prensa Hidráulica, Caixa d'água 1000 L, Moldes Cilíndricos PVC – 100mm de Diâmetro e 200mm de Altura Barra de Ferro, Carrinho de mão, Tronco de cone.	Garrafas de vidro, Cimento Portland, CII-F- 32, Areia Brita nº 2, Água e Óleo de Máquina.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

O fluxograma foi desenvolvido com o objetivo de representar esquematicamente o procedimento utilizado, compreendendo desde a classificação das garrafas de vidro até a comparação de resistência entre os materiais.

Figura 1 – Fluxograma



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

As garrafas coletadas são originadas de cerveja de 600ml com coloração marrom (âmbar). Inicialmente elas foram lavadas para retirar todo o tipo de resíduo da parte interior e exterior, além da remoção dos rótulos. Após a limpeza, as garrafas passaram pelo processo de moagem que foi realizado de forma mecanizada por uma máquina trituradora, conforme a **Figura 2**.

Figura 2 - Triturador mecânico



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 3 – Vidro Moído e Classificado



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Após triturar todo o resíduo de vidro, a areia que também foi utilizada posteriormente no procedimento foi levada com o vidro à estufa e aquecidos a uma temperatura de 130 °C por 48h para retirar a umidade que ainda restava. Em seguida, foi realizada a classificação conforme **Figura 3**, em peneira granulométrica com aberturas de 355µm, 710µm e 850µm, em que a granulometria do resíduo foi feita de acordo com a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003), que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos. Vale ressaltar que ao passar por classificação granulométrica do vidro, a areia passou pelo mesmo procedimento granulométrico nas peneiras já utilizadas anteriormente. A etapa seguinte foi separar todos os materiais, cimento, vidro, areia, brita e água e agregar na preparação do material em forma de betões, com substituição da areia parcial e integral pelo vidro nas porcentagens de 0%, 10%, 20%, 50% e 100%.

Ao realizar a preparação dos materiais, foi escolhido o traço do concreto que foi ajustado de acordo com as necessidades para garantir a qualidade e durabilidade da obra, o traço utilizado para essas amostras foram 1:2:3, ou seja: 1 de cimento, 2 de areia/vidro e 3 de brita. Após escolher o traço, foram realizados testes de abatimento para determinar a consistência do concreto pelo método de *slump test*, conforme a norma ABNT NBR NM 67 (ABNT, 1998). De acordo com Ripper (1995), os valores de abatimento para a consistência/trabalhabilidade do concreto para fundações e muros não armados devem ser considerados firmes, e seu valor de

abatimento no mínimo 20mm e máximo 60mm, portanto é necessário ter cautela quanto ao tipo de construção que o material será utilizado. A **Figura 4** demonstra o *Slump Test* das amostras.

Figura 4 - *Slump Test*



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 5 – Corpos de prova (PVC)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Após realizar o *slump test*, as amostras de concreto foram colocadas em moldes de policloreto de vinila (PVC) de formato cilíndrico com dimensões de 100 x 200mm, conforme demonstrado na **Figura 5**, os moldes receberam uma leve camada de óleo mineral no seu interior para lubrificação, facilitando assim a remoção do material, e os corpos de prova foram preenchidos com concreto onde foram realizados em 2 camadas, necessitando de 12 golpes cada camada com haste de ferro para adensamento do material. Cada amostra foi feita em duplicata e, ao finalizar o preenchimento com concreto, os corpos de prova ficaram secando em temperatura ambiente por 24 horas. Após a secagem os corpos de prova foram desmontados, identificados e levados para a cura em uma solução saturada de hidróxido de cálcio representados nas **Figuras 6 e 7**, na qual ficaram submersos em uma caixa d'água com aproximadamente 500 litros por 7 e 28 dias, onde ficaram bem protegidos de qualquer ação sobre o experimento. Todo procedimento foi realizado conforme a norma ABNT NBR 5738 (ABNT 2015).

Figura 6 - Identificação dos corpos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 7 - Cura em solução de hidróxido



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Passados o tempo de cura de 7 e 28 dias, os corpos de prova foram para o teste de compressão, sendo que nesta etapa foi utilizada uma prensa hidráulica conforme padrão ABNT NBR 6156 — máquina de ensaio de tração e compressão — verificação (ABNT, 1983). Antes da realização do teste foram coletadas as medidas com um paquímetro de cada corpo. Os primeiros corpos analisados foram os de 7 dias, em que, após medição foi colocado sobre prato da prensa e posicionados na vertical, então foi aplicada uma carga de rompimento sobre o corpo de prova até sua resistência. Cada corpo de prova apresentou algum tipo de ruptura (**Figura 8**) de acordo com ABNT NBR 5739 — Ensaio de compressão e corpos de prova cilíndrico (ABNT, 1994). O mesmo procedimento foi realizado com as amostras após 28 dias.

Figura 8 – Tipos de ruptura do corpo de prova



Fonte: ABNT (1994).

4 RESULTADOS

A partir da bibliografia estudada e ao analisar a região de estudo é possível afirmar que ele traz efeitos negativos, poluindo o meio ambiente devido à falta de local adequado para seu descarte na região. Após se basear em pesquisas sobre a viabilidade técnica do mesmo ser incluso na produção de concreto convencional como meio alternativo para uma destinação apropriada do resíduo, foi relacionado um projeto experimental de resistência de compressão do concreto e *Slump Test*.

Os resultados obtidos para o *Slump Test* são observados na **Tabela 1** a seguir, corroborando com os estudos de Ripper (1995):

Tabela 1 – Resultados da substituição de peso % de areia por vidro moído sobre o abatimento do concreto

Corpos de Prova (% de substituição)	Abatimento (<i>Slump</i>) cm
0%	4,50
10%	3,50
20%	2,00
50%	2,80
100%	3,20

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A análise de resistência à compressão é fundamental para argamassas e concretos. Segundo Koller *et al.* (2007) “a resistência está diretamente relacionada com a durabilidade e a segurança, pois mede a capacidade de carga dos materiais”. Os testes caracterizam a resistência do concreto à compressão, ou seja, a tensão que o concreto tem capacidade de resistir a determinada ruptura.

A resistência à compressão deve ser obtida dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, devendo o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 MPa (ABNT, NBR NM 5739, 1994).

No **Quadro 2** a seguir, são apresentados resistência à compressão (em MPa)

de cada corpo de prova:

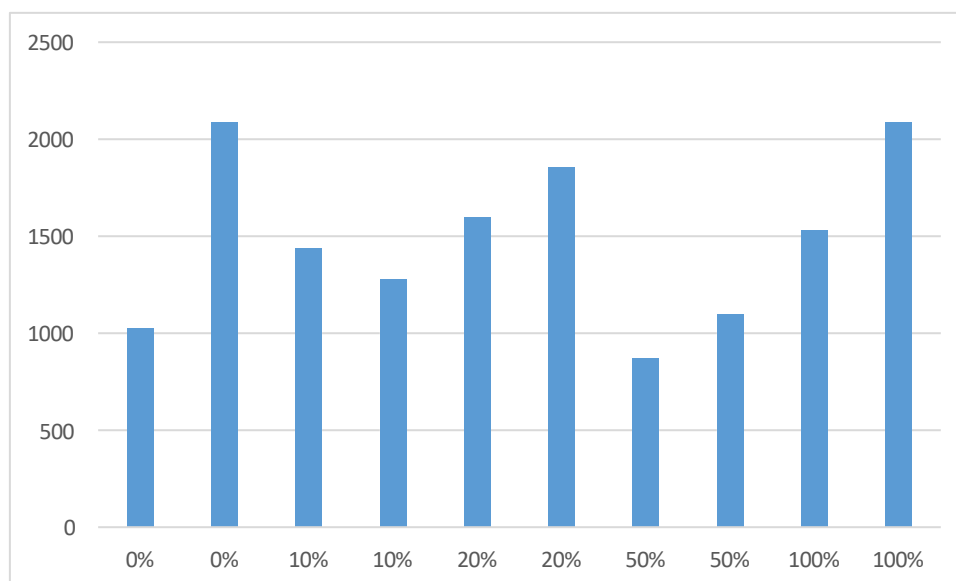
Quadro 2 – Caracterização dos corpos-de-prova nas diferentes proporções de resíduo

Tempo de cura	% de Substituição	Corpos de prova	(D) Diâmetro	(H) Altura	(A) Área	(Fr) Carga de Rompimento (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
7 Dias	0%	1	10	20	78,5	1023	13,03
	0%	2	10	20	78,5	2089	26,60
	10%	3	10	20	78,5	1436	18,28
	10%	4	10	20	78,5	1279	16,28
	20%	5	10	20	78,5	1596	20,32
	20%	6	10	20	78,5	1856	23,63
	50%	7	10	20	78,5	873	11,12
	50%	8	10	20	78,5	1096	13,96
	100%	9	10	20	78,5	1531	19,49
	100%	10	10	20	78,5	2089	26,60

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Os testes realizados apresentam um comparativo ao longo do tempo de cura de 7 e 28 dias para as amostras duplicadas em relação a cada substituição e adição do agregado vidro moído. A primeira etapa do teste de resistência à compressão foi realizado com os corpos de prova após 7 dias de cura. Iniciou-se analisando a resistência com a amostra de referência, ou seja, 0% de substituição por vidro moído, em que a amostra rompeu com uma carga máxima de 2.089 kgf. No teste seguinte, com o acréscimo de 10% de resíduo de vidro moído, a amostra rompeu a 1.436 kgf, reduzindo aproximadamente 31% do valor de referência. Já o corpo de prova com 20% de resíduo de vidro moído mostrou-se mais resistente rompendo a 1.596 kgf, reduzindo 24% a resistência. A amostra com 50% de substituição, rompeu com uma carga máxima de 1096 kgf, ou seja, 48% menor que o valor de referência, e a amostra com 100% de substituição de resíduo de vidro moído rompeu com a mesma carga de 0% de substituição, ou seja, 2089 kgf, como mostra o **Gráfico 1**.

Gráfico 1 – Carga de Rompimento (kgf)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Na segunda etapa do experimento realizou-se o teste após 28 dias de cura. A resistência de característica do concreto à compressão é apresentada na **Quadro 3** a seguir:

Quadro 3 – Caracterização dos corpos-de-prova nas diferentes proporções de resíduo

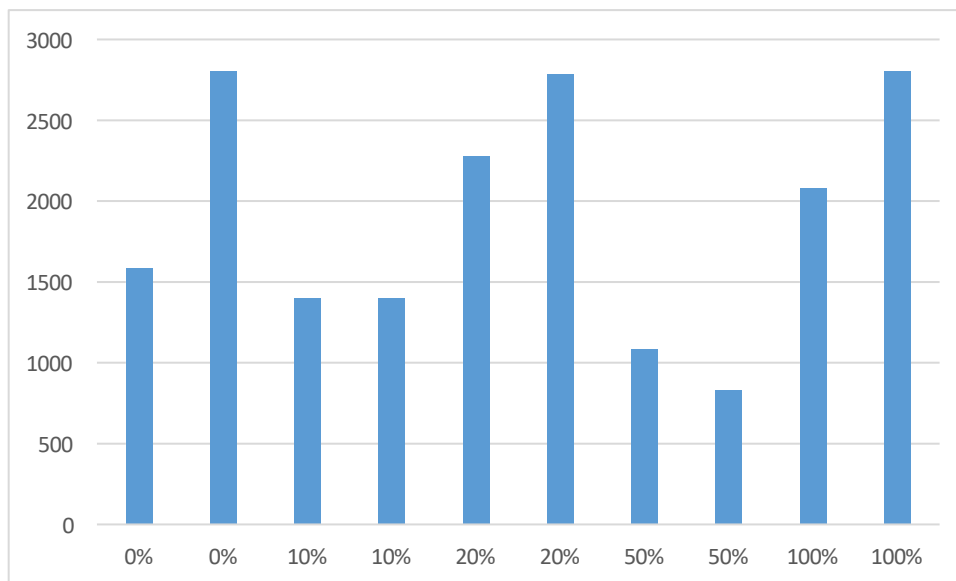
Tempo de Cura	% de Substituição	Corpos de prova	(D) Diâmetro	(H) Altura	(A) Área	(Fr) Carga de Rompimento (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
28 Dias	0%	1	10	20	78,5	1586	20,19
	0%	2	10	20	78,5	2803	35,69
	10%	3	10	20	78,5	1400	17,83
	10%	4	10	20	78,5	1400	17,83
	20%	5	10	20	78,5	2280	29,03
	20%	6	10	20	78,5	2787	35,46
	50%	7	10	20	78,5	1085	13,81
	50%	8	10	20	78,5	833	10,61
	100%	9	10	20	78,5	2083	26,52
	100%	10	10	20	78,5	2803	35,69

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Após 28 dias, o corpo de prova de referência (0% de substituição) rompeu com uma carga máxima de 2.803 kgf, ou seja, 34% maior em relação ao teste de 7 dias. O corpo de prova com 10% de resíduo de vidro moído rompeu com 1.400 kgf, reduzindo em 50% a sua resistência em relação ao valor de referência. As amostras

com 20%, romperam com carga máxima de 2787 kgf, com praticamente a mesma carga do valor de referência. Já a amostra com 50% de substituição, rompeu com carga máxima de 1085 kgf, ou seja 62% menor que a amostra de referência. Destaca-se como maior resistência à compressão, a amostra com 100% de resíduo de vidro moído, rompendo com a mesma carga da amostra de referência, como mostra o **Gráfico 2**.

Gráfico 2 – Resistência à compressão



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Após o teste de compressão é possível analisar a sua resistência de acordo com a sua ruptura em cada corpo de prova, analisando apenas a sua forma, de acordo com a ABNT NBR 5739. As **Figuras 9, 10, 11 e 12** apresenta algumas formas de ruptura dos corpos de provas analisados.

Figura 9 – Ruptura do corpo de prova: Ruptura Cônica (10%)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 10 – Ruptura do corpo de prova: Ruptura Cônica Cisalhada (20%)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 11 – Ruptura do corpo de prova: Ruptura Cisalhada (50%)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Figura 12 – Ruptura do corpo de prova: Ruptura Colunar em forma de Cones (0%)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Segundo Polley *et al.* (1998), a diminuição da resistência à compressão do concreto com o aumento da massa de vidro adicionada pode ser associada à diferença na força de ligação entre a pasta (cimento mais água) e o agregado. As forças de ligação entre as partículas de vidro e a pasta são mais fracas se

comparadas com a ligação da pasta com as partículas de agregados naturais. Logo, um aumento da massa de vidro no concreto aumenta a massa de agregado ligada mais fracamente à pasta.

Os resultados demonstram que a adição de 20% de vidro moído sobre o peso da areia manteve a resistência média sobre a resistência do material de referência, e aumentou em 50% o valor da sua resistência após 28 dias de cura em relação ao seu valor após 7 dias. A partir daí, o aumento da porcentagem de vidro (de 50%) acarretou uma redução na tensão média de ruptura. A manutenção do valor da tensão média de ruptura registrada com a adição de 20% de vidro sobre a areia, pode ser relacionado diretamente com o efeito do preenchimento de vazios pelo aumento da quantidade de partículas no agregado já descrito anteriormente. Acima desta porcentagem, o aumento progressivo da massa adicionada poderia ter como efeito uma hidratação insuficiente dos sólidos acarretando o aumento dos vazios da massa, com a conseqüente redução da tensão média de ruptura dos corpos de prova, o que estaria corroborado pelos resultados mostrados no **Quadro 2 e 3**, e com os estudos realizados por López *et al.* (2005).

Com relação à substituição de 10% da areia por vidro moído, este resultado precisa ser melhor analisado e aprofundado em trabalhos futuros, realizando outros estudos e ensaios comparando os resultados com a amostra de referência e a literatura, já que os valores obtidos para a resistência à compressão foram menores quando comparados aos valores para 20% de substituição. Apesar disso, os resultados corroboram com o trabalho realizado por Cordeiro e Montel (2015).

A substituição total ou parcial dos agregados miúdos por vidro moído, quando se analisa apenas as resistências finais, apresentou-se satisfatória, sendo que, na maioria dos trabalhos, a substituição em torno de 20% mostrou-se mais eficaz. No trabalho de Oliveira, Gomes e Santos (2008), a substituição total dos agregados miúdos por vidro processado apresentou resistências finais substancialmente iguais ou superiores ao traço referência, justificando-se, assim, os ensaios com substituição total dos agregados por este material alternativo. No traço com 100% de substituição, a resistência obtida foi potencialmente igual a do concreto referência. Vale salientar que durante a concretagem manteve-se constante a relação água/cimento/brita para todos os traços, independentemente da porcentagem de substituição.

5 CONCLUSÃO

A partir dos trabalhos apresentados e das demais pesquisas existentes referentes à utilização do vidro, fica evidente que sua reciclagem traz benefícios para a sociedade, contribuindo para menor degradação de materiais sólidos no meio ambiente e gerando economia na produção de outros produtos.

Portanto, é possível perceber que a reciclagem do vidro traz como benefício a produção de renda dessa atividade, desde a coleta até o transporte necessário para encaminhar os resíduos. Além desse grande benefício para as famílias que utilizam dessa renda, a reciclagem do vidro traz para a sociedade a diminuição da poluição ao meio ambiente, por meio da redução de utilização de recursos naturais, amenizando o descarte de resíduos.

Os resultados obtidos nessa pesquisa com relação ao teste de compressão referente ao ensaio com 7 dias de cura mostram-se satisfatórios quando comparados à amostra de referência (0%), exceto o corpo de prova que continha em sua composição 50% de resíduo de vidro moído, que apresentou baixa resistência: cerca de 48% menor que a amostra de referência. A amostra com 100% do material mostrou-se mais resistente com relação às demais peças com menor porcentagem de resíduo de vidro.

Os testes realizados com 28 dias de cura também se apresentaram satisfatórios. Os valores obtidos para 0% e 100% de substituição, mostraram os mesmos resultados, e a substituição por 100% apresentou o maior valor. As peças que possuem 20% do resíduo mostraram-se com melhor resistência comparando-as às peças de 10% e 50%.

Após analisar os testes de resistência à compressão e respeitar seu tempo de cura, os corpos de prova com 28 dias apresentam maior estabilidade e aumento nos resultados obtidos com relação à resistência à compressão. Pode-se observar um aumento de 34% de resistência na amostra de referência (0%), uma estabilidade nos resultados para 10% e 50% de substituição, e aumento de 50% na resistência para a amostra com 20% de substituição de vidro moído.

Os traços com substituição parcial ou integral do agregado miúdo, atendem ou superam a resistência do traço referência (0% de substituição), ou seja, na idade de 28 dias a resistência dos corpos de prova estudados são maiores ou potencialmente iguais aos traços que utilizam agregados naturais. Não há diferenças

estatisticamente relevantes em comparação ao traço referência no quesito de durabilidade do material analisado, para os traços de 20 e 100% de substituição. Espera-se que o agregado, por se tratar de material vítreo, seja quimicamente inerte ou pouco reativo, e que os elementos cimentícios apresentem baixos fatores de índice de vazios. A utilização do resíduo de vidro como agregado na produção do concreto deve ser vista como uma grande aliada na implantação de novas tecnologias mais sustentáveis devido às vantagens significativas que ele traz. Além de gerar mais empregos, a sua reciclagem traz benefícios ao meio ambiente, evitando o descarte em aterros e diminuindo o consumo de matéria prima e energia.

Pode-se afirmar, a partir dos resultados obtidos, que o reaproveitamento desse resíduo na indústria da construção civil é viável, considerando que sendo utilizado na produção de concretos convencionais produziu resultados muito satisfatórios, quando comparados aos dos corpos de prova de referência. A inserção do resíduo em substituição da areia na produção de concretos tende a reduzir o custo do concreto, visto que, promove a redução da quantidade de areia a ser usada, bem como a diminuição dos impactos ambientais na extração desse material.

A incorporação dos resíduos vítreos em materiais à base de cimento contribui ainda para a mitigação dos impactos sociais e ambientais causados pelo descarte deste material em aterros sanitários e “lixões” a céu aberto, já que, com essa aplicação, o descarte seria reduzido. Ainda, este resíduo oferece riscos às pessoas, pois tais materiais possuem grande dureza e lâminas afiadas, o que pode gerar acidentes e, também, apresentam tempo elevado para se decompor naturalmente.

Logo, essa pesquisa demonstra a viabilidade técnica da substituição do agregado fino (areia) por vidro moído. Entende-se aqui também, que serão necessárias novas pesquisas para a avaliação de todo o potencial da utilização do vidro moído como material agregado ao concreto, dentre eles alguns testes sugeridos como: tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, tração na flexão, índices de vazios, absorção de água, massa específica aparente e demais estudos necessários.

Para uma produção em larga escala deste tipo de concreto, sugere-se a continuação e aprofundamento dos estudos, para avaliar as reações químicas e comportamento físico deste agregado com os outros componentes do elemento estrutural, além de uma análise da viabilidade econômica para adquirir, potencializar o resíduo e inserir o produto no mercado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017/2018**. São Paulo: ABRELPE, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos - de - prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 6156**. Máquina de ensaio de tração e compressão – verificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DO VIDRO. **Vidro: O Resíduo Infinitamente Reciclável**. Disponível em: <https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/>. Acesso em: 21 mar. 2020.

BARBOSA, Normando Perazzo. **Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais**. João Pessoa: Publicação do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do Centro de Tecnologia da UFPB, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 30 ago. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico**: setor de transformação de não metálicos. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: SGM, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Catadores de Materiais Recicláveis**. 2020a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis>. Acesso em: 25 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2020b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em: 10 maio 2020.

CEMPRE. **Compromisso Empresarial para Reciclagem**. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em: 21 mar. 2020.

CEMPRE. **Serviços - Preço do material reciclado**. Disponível em: <http://cempre.org.br/servico/mercado>. Acesso em: 18 ago. 2020.

CIMENTO ITAMBÉ. **Uso de vidro moído como agregado limita o concreto**. 2015. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/>B>. Acesso em 04 de abr. 2020.

COELHO, Ricardo Motta Pinto. **Reciclagem e Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Belo Horizonte: Recóleo, 2009.

CORDEIRO, R.S., MONTEL, A. L. B. Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas- TO. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. esp., p. 104-123, 2015.

CRENTSIL, K. S., BROWN, T., TAYLOR, A. **Recycled glass as sand replacement in premix concrete**. [S.l.]: EcoRecycled Australia and CSIRO, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Pavimentação – concreto asfáltico com asfalto polímero**. DNER-ES, 1999.

EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION (FEVE). **Glass Recycling Hits 73% in the EU**. 2015. Disponível em: <http://feve.org/glass-recycling-hits-73-eu/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

G1. Jornal Nacional. **Projeto facilita coleta e reciclagem de vidro e gera empregos em São Paulo**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/07/12/projeto-facilita-coleta-e-reciclagem-de-vidro-e-gera-empregos-em-sao-paulo.ghtml>. Acesso em: 25 abr. 2020.

GALVÃO, Álvaro César Pontes; FARIAS, Aline Cristina Mendes; SOUZA, Luiz Guilherme Meira. Viabilização de rejeitos de vidro para produção de tijolos cerâmicos. **Holos**, v.4, p. 59-69, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481548606006.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2020.

KOLLER, D.R.P. *et al.* Avaliação da resistência à compressão de argamassas produzidas com vidro moído. **Disc. Scientia: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 8, n. 1, 2007.

LANDIM, Ana Paula Miguel *et al.* Sustentabilidade quanto as embalagens de alimento no Brasil. **Polímeros São Carlos**, v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/po/2016nahead/0104-1428-po-0104-14281897.pdf>.

Acesso em: 11 maio 2020.

LÓPEZ, D. A. R., AZEVEDO, C. A. P., BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 320, p. 318-324, out./dez. 2005.

MENEZES, R.R. *et al.* Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas **Cerâmica**, São Paulo, v.55, n.335, p.263-270, set. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132009000300005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 abr. 2020.

MEYER, C.; XI, Y.; MATER, J. Civil Eng. **ASCE**, v. 11, n. 1, 1999. MOVIMENTO NACIONAL DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLAVEIS. **Quantos Catadores existem em atividade no Brasil?** 2019. Disponível em: <http://www.mncr.org.br/sobre-o-mncr/duvidas-frequentes/quantos-catadores-existem-em-atividade-no-brasil>. Acesso em: 25 abr. 2020.

OLIVEIRA, L; GOMES, J; SANTOS, P. **Avaliação de Desempenho da Substituição da Areia Natural por Areia de Resíduos de Vidro em Betões Estruturais**. Encontro Nacional Betão Estrutural, Guimarães, 2008.

PERES, João Geraldo Molinari *et al.* Estudo da viabilidade da adição de resíduos de vidro moído na produção de argamassa cimentícia. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 10, n. 4, 2013.

PICHTEL, John. **Waste management practices**: municipal, hazardous, and industrial. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.

POLLEY, C. *et al.* Potencial para usar astevidro em concreto de cimento Portland. **J Materiais em Engenharia Civil**, ASCE, p. 210-219, 1998.

RIPPER, Ernesto. **Como evitar erros na construção**. 3. ed. rev. São Paulo: Pini, 1995.

ROMAN, Carla Rose. A ciência econômica e o meio ambiente: uma discussão sobre crescimento e preservação ambiental. **Teor. Evid. Econ.**, Passo Fundo, v. 4, n. 7/8, p. 99- 109, maio/nov. 1996.

ROMANO, A.S. **Vidro**. Iniciação científica (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

ROSÁRIO, Thaís Do; TORRESCASANA, Carlos Eduardo Nunes. **Tijolos de solo-cimento produzidos com resíduos de concreto**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2011.

SGOBERO, Jessica Bellanda; ALVES, Paulo Renato de Castro. **Análise do estudo com mistura de concreto asfáltico denso com resíduos de vidro**. IX EPCC – Encontro internacional de produção científica UniCesumar, 2015.

**AVALIAÇÃO DE UMA ÁREA CONTAMINADA POR REJEITO DE CARVÃO:
ESTUDO DE CASO EM CAPIVARI DE BAIXO/SC.**

Letícia da Silva Pereira¹

João Vitor Claudino da Silva²

Bruno de Souza Sodré³

Resumo: A região sul de Santa Catarina teve impacto direto com a extração e mineração de carvão em diversas regiões. Nesse estudo, confere-se atenção a uma região em específico, trata-se de um antigo depósito de rejeito da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada na cidade de Capivari de Baixo, no estado de Santa Catarina, chamada Estiva dos Pregos. Para a pesquisa, foram realizados uma série de levantamentos de dados que englobam 33 anos e que foram distribuídos em gráficos temáticos, promovendo melhor interpretação e análise comparativa dos impactos gerados ao longo do tempo. O objetivo desse trabalho, portanto, tendo em vista a importância de trazer para a superfície o tema e a relevância do entendimento de tais impactos para o meio ambiente da região, visa servir como fonte informativa, interpretativa e de ponto de partida para pesquisas futuras que objetivem discutir e analisar os impactos gerados em outras regiões da cidade.

Palavras-chave: Carvão. Contaminação. Meio ambiente. Capivari de Baixo.

1 INTRODUÇÃO

A região sul de Santa Catarina foi impactada por décadas pela exploração de carvão e, conseqüentemente, pelos depósitos de rejeitos de mineração de forma inapropriada, tendo influência direta na contaminação dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. A mineração de carvão, nesse sentido, prejudicou diretamente a qualidade das águas superficiais dos rios, tornando-as impróprias para os seus diversos usos (encontram-se valores de pH abaixo de 3, elevadas concentrações de sulfatos, acidez e metais) (Alexandre, 2000).

O presente estudo teve como foco regional a localidade chamada Estiva dos Pregos, localizada no município de Capivari de Baixo, Santa Catarina. A área refere-

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: leticia.pereira_@outlook.com.br.

² Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: jovitor35@hotmail.com.

³ Orientador. Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade Capivari. E-mail: brunosodre@fucap.edu.br.

se ao antigo depósito de rejeito da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e possui 110ha. Em 1986, foi apresentado um Estudo de Impacto Ambiental, visando consorciar as atividades de lavra e beneficiamento dos rejeitos carbono-piritosos existentes no Banhado, com a implantação de medidas mitigadoras dos impactos negativos, sendo realizadas duas campanhas de monitoramento anualmente.

O estudo apresentou dados que demonstraram que a qualidade das águas superficiais do banhado da estiva contribuíam para o Rio Tubarão com elevadas cargas de acidez, ferro e sólidos dissolvidos. A oxidação do material piritoso gerava significativa carga de acidez, com o conseqüente abaixamento do pH das águas, ocasionando a solubilização de uma ampla gama de metais pesados afetando o ecossistema regional.

Este trabalho, portanto, teve como objetivo abordar e investigar a problemática da contaminação que vem evoluindo na região, analisando todo o histórico da área a partir da desativação do depósito de rejeito pela CSN até os dias atuais. Para isso, foram analisados o recorte de 33 (trinta e três) campanhas de monitoramento das águas superficiais, englobando 5 pontos de monitoramento com os parâmetros pH, acidez, Ferro Total, Manganês, Zinco, Sulfatos, Sólidos Totais, Alumínio, Arsênio, Boro, Níquel e Chumbo, juntamente com 5 (cinco) campanhas de água subterrânea, englobando 25 PM, com os parâmetros Alumínio, Antimônio, Arsênio, Boro, Chumbo, Ferro, Manganês, Níquel, Acidez, Sulfato e Ph.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão bibliográfica levantada e explorada neste Trabalho de Conclusão de Curso foi fundamental como arcabouço teórico-metodológico, servindo para apresentar conceitos introdutórios sobre a mineração de carvão, os impactos negativos dessa atividade e fonte de dados sobre os contextos abordados e entendimento da relação histórica relacionada à extração de carvão no estado de Santa Catarina.

3 MINERAÇÃO DE CARVÃO

Dois marcos históricos impulsionaram o desenvolvimento da atividade

carbonífera no Brasil, as grandes guerras mundiais, nas décadas de 20 e 40, passadas. Nas guerras, diante do impedimento da importação do carvão europeu para atender às demandas internas, a exploração do carvão brasileiro passou a ser incentivada. Outros momentos de reativação e incentivo da mineração de carvão aconteceram com as crises mundiais do petróleo, segundo Philomena et al. (2012).

Segundo o CETEM/MCT (2001), com as crises energéticas mundiais de 1973 e 1979, o Governo Federal aumentou ainda mais os incentivos à indústria carbonífera, subsidiando desde o transporte até o consumo. Esse subsídio, sobretudo, era feito através de financiamento à empresas mineradoras. Justifica-se pelo interesse do governo federal em desenvolver fontes alternativas de energia do país em substituição ao petróleo. “Com estas medidas, a produção e consumo do carvão brasileiro atingiram valores máximos, da ordem de 8 milhões de toneladas, em 1986, triplicando os valores de 1975, e conquistando novos mercados, com destaque para o cimenteiro”. (CETEM/MTC, 2001, p.9).

Em 1988 foi suspenso qualquer tipo de subsídio ao carvão, delineando o início do seu declínio econômico. Com a desregulamentação do setor pelo governo Collor (1990- 1992) houve um período de grave recessão. Esse processo foi iniciado no governo Sarney (sobretudo no período 1986-1988). Nesse período foram retirados subsídios e garantias de compra da fração metalúrgica. Esse processo resultou no fechamento de minas, falência de empresas, privatização da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional). A massa de trabalhadores no setor passou neste período de 15.000 para aproximadamente 3.000. (Menezes, 2007). O período posterior a 1997, com a inauguração da usina Jorge Lacerda IV, possibilitou o ressurgimento do setor, com a reabertura de minas, retorno da produção, ganhos de produtividade, menor número de trabalhadores e mecanização das minas. Os preços relativos da tonelada tiveram ganhos reais, passaram de aproximadamente R\$ 32,00/ton no início da década de 1990 para em torno de R\$ 150,00. (Sánchez, 1994).

3.1 MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SC

No sul do Estado de Santa Catarina, desde o século XIX se desenvolvem atividades de extração de carvão mineral. Segundo (Belolli; Quadros; Guidi 2002) a

primeira tentativa de explorar economicamente carvão é datado de 1861 quando o político e diplomata baiano Felisberto Caldeira Brandt, conhecido como Visconde de Barbacena, recebe do imperador D. Pedro II a concessão para explorar carvão na localidade de Lauro Muller/SC. Desse período se destaca a construção da Estrada de Ferro Dona Teresa Cristina, hoje Ferrovia Teresa Cristina, inaugurada em 1884, ligando o Porto de Imbituba a Lauro Muller.

Segundo Goularti Filho (2001), o carvão extraído nas minas de Santa Catarina tinham duas aplicações principais, o carvão metalúrgico para o uso na siderurgia, e o carvão energético para a geração de energia em usinas termelétricas.

O principal destino do carvão metalúrgico era a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) implantada em 1942, na cidade de Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro. A implantação da Cia. Siderúrgica Nacional resultou na instalação da usina de beneficiamento de carvão, em Capivari de Baixo/SC, para a obtenção de carvão metalúrgico, destinado aos altos fornos, situados na cidade de Volta Redonda/RJ e de carvão energético, que deu origem ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, a Sociedade Termoelétrica de Capivari – SOLTECA, primeira termoelétrica estatal brasileira, (Belolli; Quadros; Guidi 2002).

3.2 IMPACTOS DO CARVÃO

A produção de carvão está vinculada há diversos setores, impactando a sociedade em diferentes aspectos. No contexto socioeconômico, esta atividade é caracterizada por gerar muitos empregos, porém é historicamente associada a péssimas condições de trabalho (Calle *et al.*, 2005, apud Moura; Martins, 2011). Os impactos ambientais relacionados à produção de carvão envolvem o desmatamento, a inserção de monoculturas, emissões atmosféricas e geração de resíduos sólidos (Figueira, 2012). A saúde humana também pode sofrer com esta prática, uma vez que alguns gases emitidos durante o processo de beneficiamento do carvão são tóxicos. Indivíduos expostos a esta situação podem apresentar sintomas e até mesmo doenças provenientes da inalação destes gases (Souza *et al.*, 2010).

No beneficiamento do carvão, no qual ocorre a separação do carvão dos outros materiais agregados, como pirita, siltitos e folhelhos, há geração de outro foco de poluição ambiental devido à disposição dos rejeitos. Até meados da década de

1980 (Milioli, 1995), esse material, cerca de 75% do total retirado das minas, foi depositado em menor distância possível do lavador e, muitas vezes, nas margens de rios ou próximo das vilas operárias. Hoje, inúmeras cidades do sul de Santa Catarina encontram-se sobre depósitos de rejeitos piritosos.

Segundo Menezes (2007), aproximadamente 2/3 dos recursos hídricos das bacias dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá encontram-se seriamente comprometidos pela mineração, beneficiamento e uso do carvão. As principais características da poluição hídrica na região carbonífera podem ser assim resumidas: a maioria dos rios apresenta pH variando entre 2 e 4 unidades; a poluição não se refere apenas a baixos índices de pH e elevadas concentrações de sulfatos e acidez, mas também às altas concentrações de metais dissolvidos na água; além da concentração de chumbo, zinco e cobre que pode ser superior a 1000 vezes.

3.3 FONTE DE CONTAMINAÇÃO

Na década de 1950, deu-se início a degradação na localidade da Estiva dos Pregos – Capivari de Baixo, por meio da deposição de rejeitos piritosos, sendo este considerado o tipo mais poluente de resíduo de carvão. Estes rejeitos são constituídos de um concentrado de matéria mineral contendo sulfetos, aluminossilicatos, óxidos e hidróxidos, na qual podem ser liberados em meio ácido, resultante da oxidação da pirita.

Em decorrência destes processos de oxidação, depósitos com rejeitos de carvão, frequentemente causam a poluição de corpos d'água superficiais e subterrâneos, entre outros problemas ambientais.

Em um estudo realizado para avaliação de uma área de rejeito da mineração de carvão, Prochnow e Porto (2000 p. 675) citam que:

As áreas com rejeito de carvão não queimado passam por diversos estágios onde o potencial de acidez, inicialmente alto, vai decrescendo. O pH inicialmente alto vai baixando até tornar-se extremamente ácido, aumentando depois gradativamente, até se esgotar o potencial de acidez; a quantidade de sulfato livre é inicialmente baixa e vai aumentando até o último estágio.

Para Singer e Stumm; Curtiz; Torrey (1970; 1973; 1978 apud Ortiz e Teixeira,

2002), os rejeitos mais antigos estão mais propícios ao desenvolvimento de DAM (Drenagem Ácida de Mina) do que os recém depositados, devido, provavelmente a ação tardia de bactérias.

Desta forma estes autores concluíram que os rejeitos de carvão expostos só podem ser considerados inócuos ao meio ambiente sob condições em que o fluxo de água existente seja severamente limitado ou ausente.

Em epítome, esta área possui potencial de geração de drenagem ácida, que em função da ação gravitacional, migra em direção ao lençol freático. Em contato com o lençol freático ocorre a dissolução dos metais presentes no percolado na água subterrânea, formando uma pluma de contaminação.

3.4 IMPACTOS PARA O MEIO FÍSICO E BIÓTICO POR ESSES DEPÓSITOS

As ações antrópicas são responsáveis por adições de até 1,16 milhão de toneladas de metais por ano em ecossistemas terrestres e aquáticos no mundo todo (Nriagu; Pacyna, 1988). No Brasil, a mineração de carvão tem contribuído com a liberação de rejeitos que se constituem como uma das principais formas de contaminação do solo e da água por metais pesados. O aumento nas concentrações desses rejeitos no solo e nos efluentes próximos a zonas de mineração pode estar relacionado com processos químicos e biológicos que controlam a solubilidade, a disponibilidade biológica e a mobilidade desses metais (Guilherme *et al.*, 2005).

Todos os metais e seus compostos possuem toxicidade, ou seja, a capacidade inerente que um elemento químico tem para causar efeitos adversos sobre os organismos vivos. O fator-chave é o grau de exposição que afeta o organismo. A exposição está relacionada tanto com a quantidade envolvida como com o tempo de exposição (Goyer, 1996).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse estudo será aplicada a abordagem quali-quantitativa, uma vez que procura computar os eventos estudados através da análise dos dados. A pesquisa quantitativa é caracterizada pelo uso da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento das informações, utilizando-se de técnicas estatísticas (Richardson,

1999). Objetiva a aquisição de resultados que evitem possíveis distorções de análise e interpretação e que possibilitem a maximização da margem de segurança (Diehl, 2004). De modo geral, a pesquisa quantitativa é passível de ser medida em escala numérica (Rosental; Frémontier-Murphy, 2001).

Este método é frequentemente aplicado nos estudos descritivos, que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis, os quais propõem descobrir as características de um fenômeno. Nesse tipo de pesquisa, identificam-se primeiramente as variáveis específicas que possam ser importantes, para posteriormente explicar as complexas características de um problema (Richardson, 1999). Denzin e Lincoln (2011) afirmam que a pesquisa qualitativa consiste em “um conjunto de práticas interpretativas que faz o mundo visível”. Esse tipo de pesquisa busca a obtenção de dados descritivos de pessoas, lugares e processos interativos que acontece através do contato direto do pesquisador com aquilo que está sendo estudado, sendo que a compreensão dos fenômenos se dá segundo a perspectiva dos sujeitos participantes (Godoy, 1995; Dalfovo; Lana; Silveira, 2008).

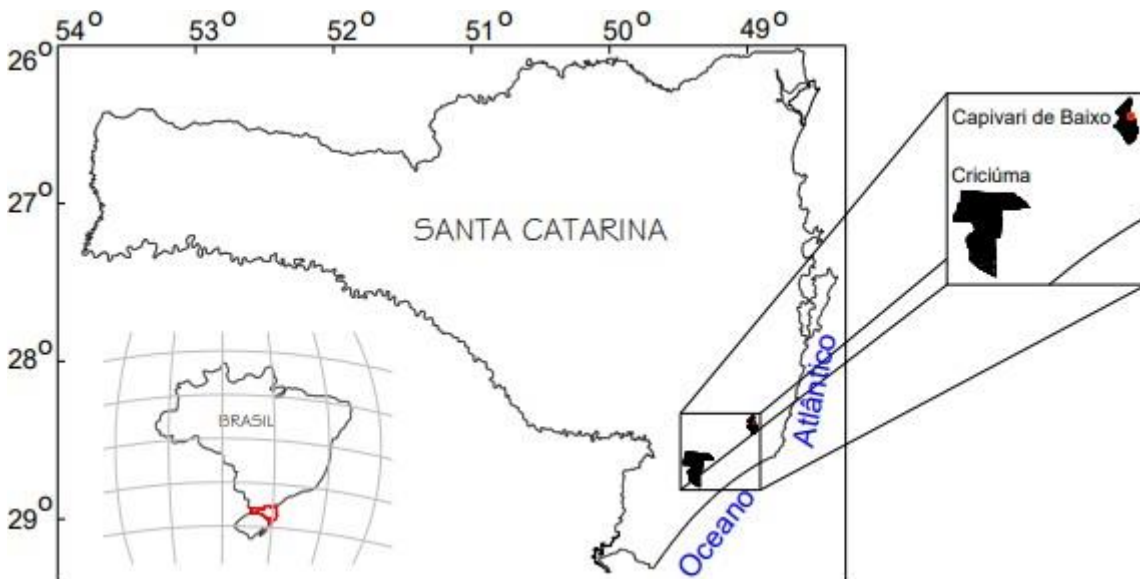
De acordo com Creswell (2010), o desenvolvimento e a legitimidade percebida de ambos os métodos gerou uma popularização da pesquisa de métodos mistos, a qual abrange os pontos fortes tanto da abordagem qualitativa quanto da quantitativa, proporcionando uma maior compreensão dos problemas estudados. Sendo assim, o pesquisador pode valer-se da possibilidade de explicitar todos os passos da pesquisa e, ao mesmo tempo, pode prevenir a interferência de subjetividades nas conclusões obtidas (NEVES, 1996). Sendo assim, para atingir os fins do presente trabalho foi realizado primeiramente uma revisão bibliográfica sobre os principais trabalhos relacionados a Análise de Áreas Degradadas por Rejeito de Carvão, e juntamente, a pesquisa documental, utilizando dos dados existentes disponíveis no Instituto do Meio Ambiente, o qual fundamentou nossa análise quali-quantitativa em um estudo de caso na cidade de Capivari de Baixo.

Por fim, tendo como finalidade, a pesquisa descritiva em uma dinâmica espaço-temporal, sendo analisados fatores locais do espaço e do tempo, focando na análise dos fatos (dados) e interpretando os mesmos por meio de gráficos comuns que sustentará uma Análise de Componentes Principais (PCA) (do inglês *Principal Component Analysis*) que é um método que visa identificar a relação entre características extraídas de dados.

5 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no sul de Santa Catarina, no município de Capivari de Baixo, na localidade da Estiva dos pregos, conforme figura abaixo.

Figura 1 Localidade da área em estudo.



Fonte: Autores, 2021.

A área situa-se na microbacia do córrego dos Matutos, um dos contribuintes da sub-bacia do rio Capivari, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Tubarão, a leste do perímetro urbano do município de Capivari de Baixo, SC.

Na década de 1950, deu-se início a degradação do local, por meio da deposição de rejeitos piritosos, sendo este considerado o tipo mais poluente de resíduo de carvão. Estes rejeitos são constituídos de um concentrado de matéria mineral contendo sulfetos, aluminossilicatos, óxidos e hidróxidos, na qual podem ser liberados em meio ácido, resultante da oxidação da pirita.

Em decorrência destes processos de oxidação, depósitos com rejeitos de carvão, frequentemente causam a poluição de corpos d'água superficiais e subterrâneos, entre outros problemas ambientais.

Em um estudo realizado para avaliação de uma área de rejeito da mineração de carvão, Prochnow e Porto (2000 p. 675) citam que:

As áreas com rejeito de carvão não queimado passam por diversos estágios

onde o potencial de acidez, inicialmente alto, vai decrescendo. O pH inicialmente alto vai baixando até tornar-se extremamente ácido, aumentando depois gradativamente, até se esgotar o potencial de acidez; a quantidade de sulfato livre é inicialmente baixa e vai aumentando até o último estágio

51. COLETA DE DADOS

Em uma área com cerca de 110 hectares, a Estiva dos Pregos é a maior área degradada na região de Capivari de Baixo.

O objetivo foi através do pedido de vistas ao órgão ambiental estadual, coletar o máximo de laudos de monitoramento entregues ao Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina - IMA/SC, para apresentar uma análise dos resultados do monitoramento das águas superficial e subterrânea na área da Estiva dos Pregos.

Também se procedeu a uma análise da área para se avaliar as diferentes etapas de uso e de ocupação do solo na área da Estiva dos Pregos e seu entorno. A análise serviu de base para a compreensão das etapas de deposição de rejeitos na área e também das diferentes fases da recuperação ambiental na área.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 2 – Localização da área coberta com rejeitos em 1966



Figura 3 - Detalhe da área coberta com rejeitos em 1966



Fonte: IMA/SC, 2021.

Figura 4 - Detalhe da área coberta com rejeitos em 1976/78



Fonte: IMA/SC, 2021.

Através da interpretação das fotografias verificou-se que o limite da área aterrada com rejeito em 1978 era bem maior do que aquele da área que existia em 1966, o que alterou sua geometria. Houve aumento significativo de área na porção sul e também no lado oeste, nas proximidades da BR-101.

Figura 5 - Vista da área da Estiva dos Pregos em 2002



Fonte: IMA/SC, 2021.

Na imagem de 2002, é possível perceber que já havia alguns trabalhos de recuperação ambiental, com cobertura da camada de rejeito e/ou cinzas com material de empréstimo. No caso da área, observa-se que somente na porção sul havia rejeito e/ou cinzas expostas. Percebe-se também a existência de duas lagoas ácidas nas proximidades do limite sudoeste, limitadas pelo dique periférico, como mostra a Figura 5. Nota-se que ao sul do referido dique periférico havia grande quantidade de rejeito espalhado, resultante da atuação de processos erosivos sobre a área coberta com rejeito e/ou cinza.

Figura 6 - Vista da área da Estiva dos Pregos em 2006



Fonte: Google Earth, 2021.

Para avaliar a área coberta com rejeito e/ou cinzas na Estiva dos Pregos em 2006, analisamos os dados de satélite disponíveis via Google Earth, datadas de 2006. Percebe-se que a geometria da área coberta com rejeito e/ou cinzas é idêntica àquela existente em 2002, tendo havido, porém, mudanças na cobertura do solo e no aterramento de lagoas ácidas.

Figura 7 - Vista da área da Estiva dos Pregos em 2021



Fonte: Google Earth, 2021.

Em 2021, a geometria da área permanece idêntica à de 2002 e 2006, havendo novamente mudança na cobertura do solo, uma vez que, atualmente, a forma de recuperação da área trata-se da remoção de todo rejeito piritoso para aproveitamento do mesmo.

Figura 8 - Vista da área atual, 2021



Fonte: Autor, 2021.

Para a análise do monitoramento das águas superficiais, a empresa responsável pela recuperação começou em 1989, com periodicidade semestral e atualmente quadrimestral de 5 e hoje, 4 pontos, sendo analisado os seguintes parâmetros de 1989 a 2010:

- PH;
- Acidez total;
- Ferro total;
- Manganês;
- Zinco;
- Sulfatos;
- Sólidos totais.

A partir de 2010 houve o descarte do parâmetro Zinco e o monitoramento de mais 5 (cinco) parâmetros das águas superficiais:

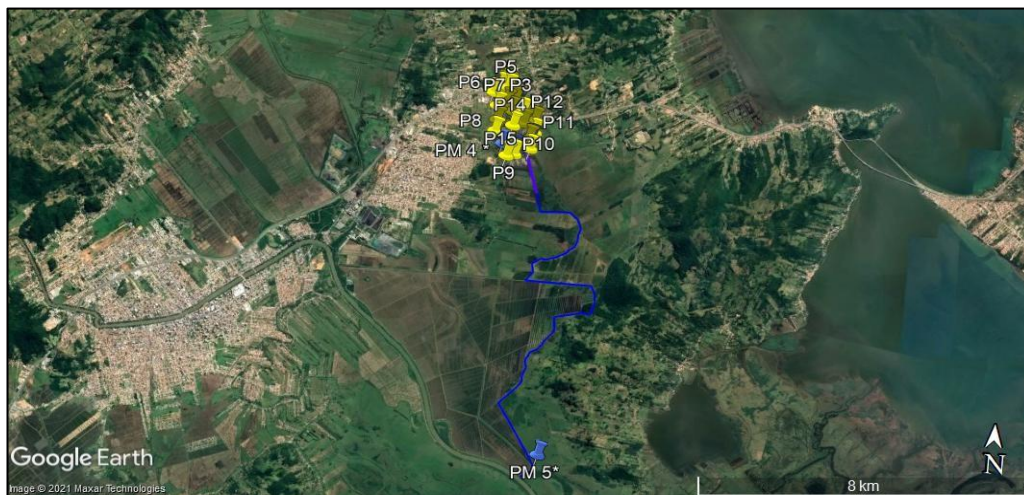
- Alumínio;
- Arsênio;
- Boro;
- Níquel e
- Chumbo.

Figura 09 - Visualização dos pontos de monitoramento de água superficial



Fonte: Autores, 2021.

Figura 10 Visualização do PM 5 de água superficial.*¹



Fonte: Autores, 2021.

Para análise da água subterrânea, os poços piezométricos foram locados com base na direção e sentido do fluxo das águas subterrâneas. Os poços piezométricos foram locados com base na direção e sentido do fluxo das águas subterrâneas. Todos os poços instalados tem o objetivo de monitorar o aquífero superficial, por isso foram instalados ao longo da coluna de aterro (cinzas e rejeito), Tabela 1. Iniciou-se em 2010 o monitoramento de 16 PM, e após 2017, o local conta com 25 PM. Sendo analisado os seguintes parâmetros:

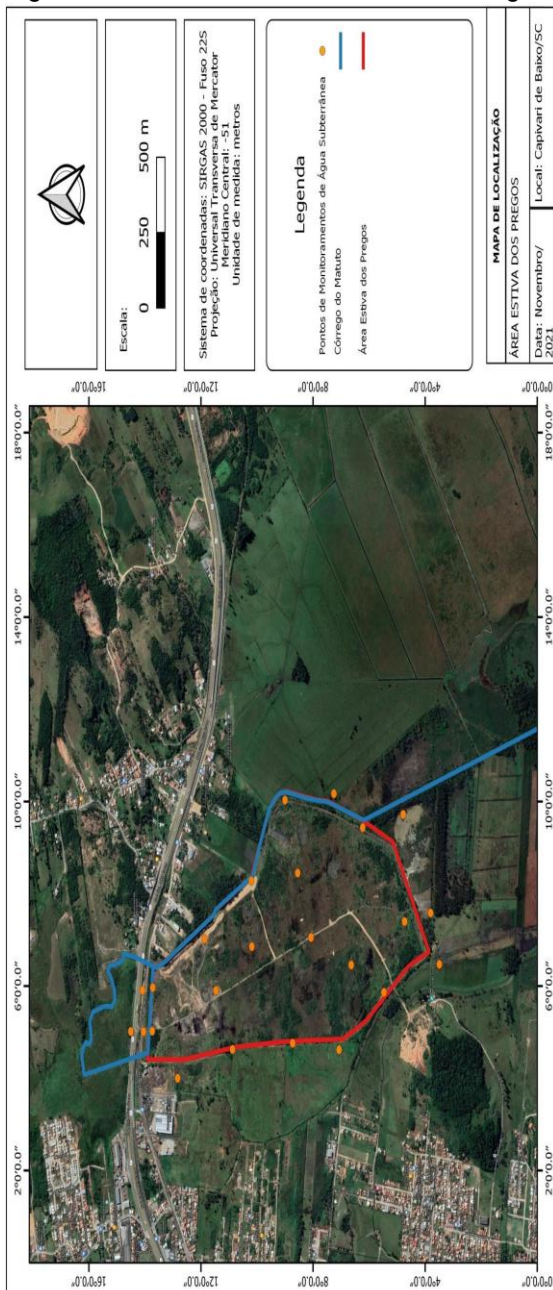
- Alumínio; Antimônio; Arsênio; Boro; Chumbo; Ferro; Manganês; Níquel;

¹ * Os pontos (PM) demarcados na cor azul representam a água superficial, enquanto os (P) na cor amarela representam os monitoramentos na água subterrânea.

Acidez; Sulfato; pH.

Na área em avaliação, o principal recurso hídrico superficial é o Córrego do Matuto. A caracterização das águas do Córrego tem uma função muito importante, pois através dela pode se determinar a qualidade das superficiais e detectar possíveis descargas das águas oriundas do lençol freático, fornecendo subsídios para o entendimento do ciclo hidrológico do local, a figura 11 mostra o Córrego do Matuto e os poços de monitoramento onde são coletadas as amostras para análise da água subterrânea.

Figura 11 - Pontos de Monitoramento de água subterrânea

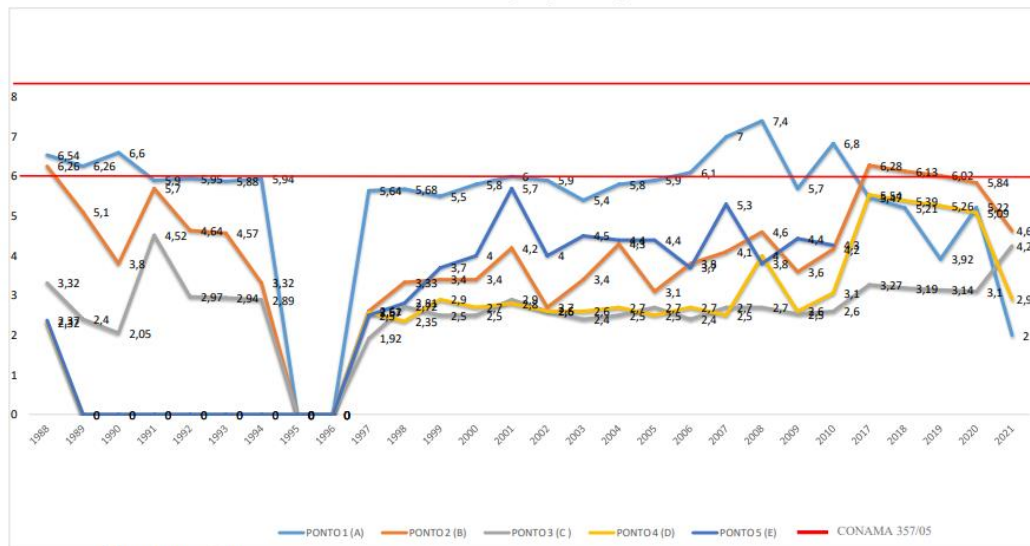


7 ANÁLISE DA ÁGUA SUPERFICIAL

Os resultados das análises superficiais foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005, água doce classe 2, estabelecido no Art. 15, item II, que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”.

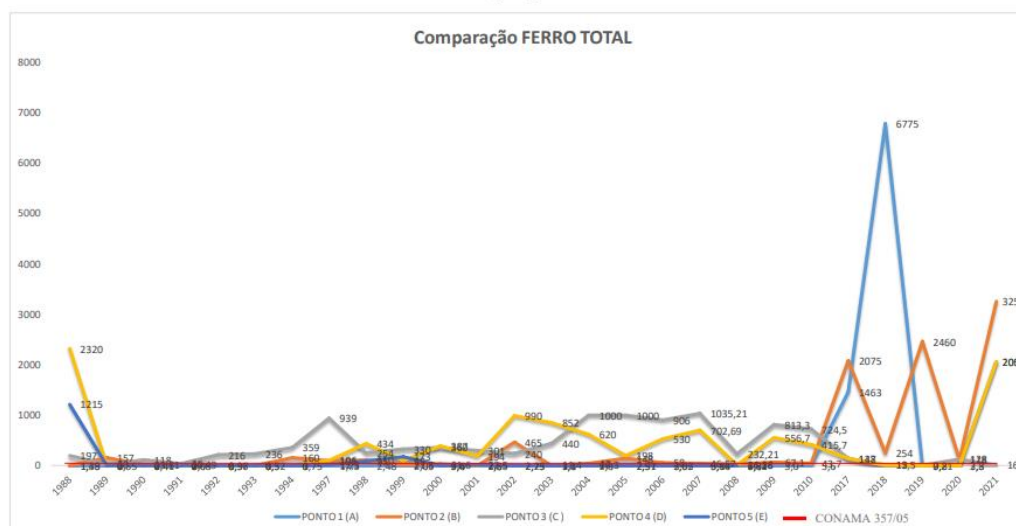
Os anos que apresentam valor 0 (zero) são desconsiderados nessa análise, pois não foram avaliados no ano em questão.

Gráfico 1 - Análise da água superficial de pH



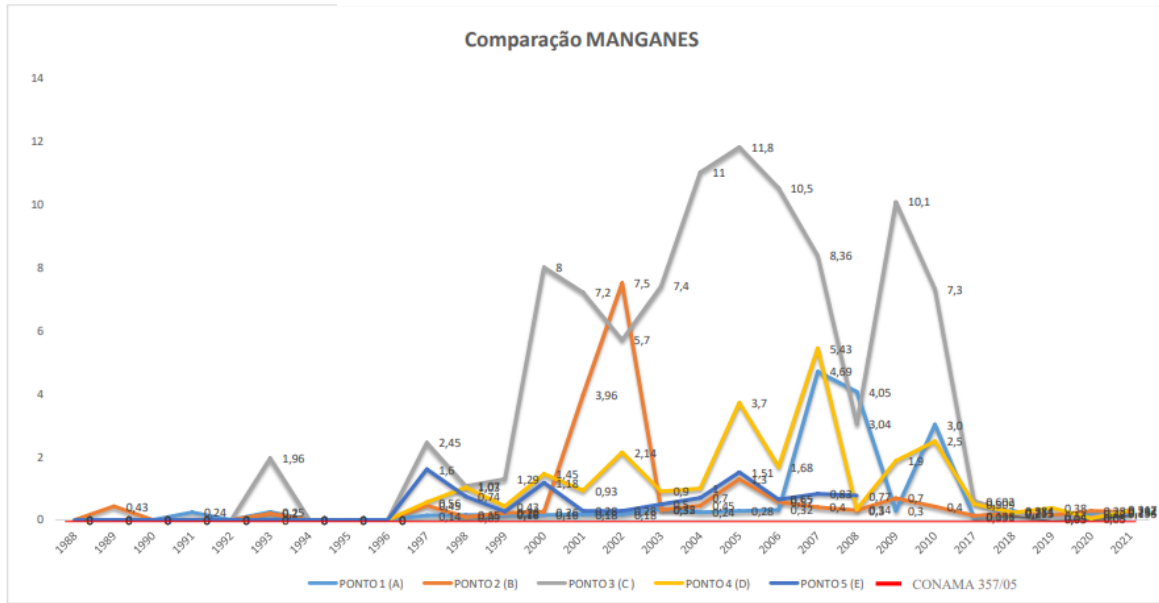
Fonte: Autores, 2021

Gráfico 2 - Análise da água superficial de Ferro.



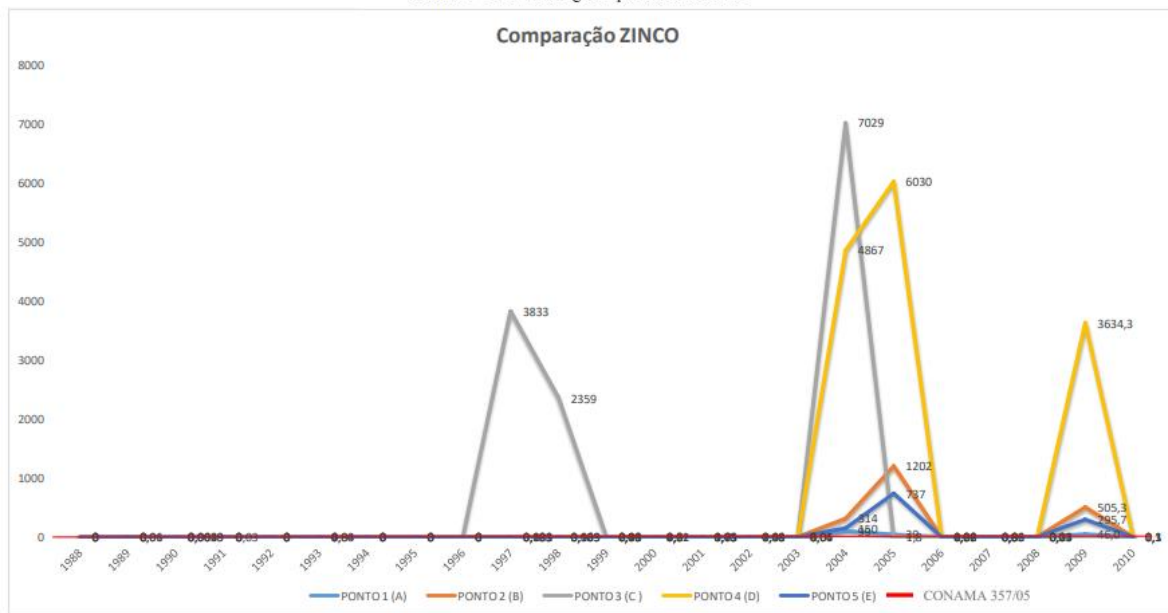
Fonte: Autores, 2021.

Gráfico 3 - Análise da água superficial de Manganês.



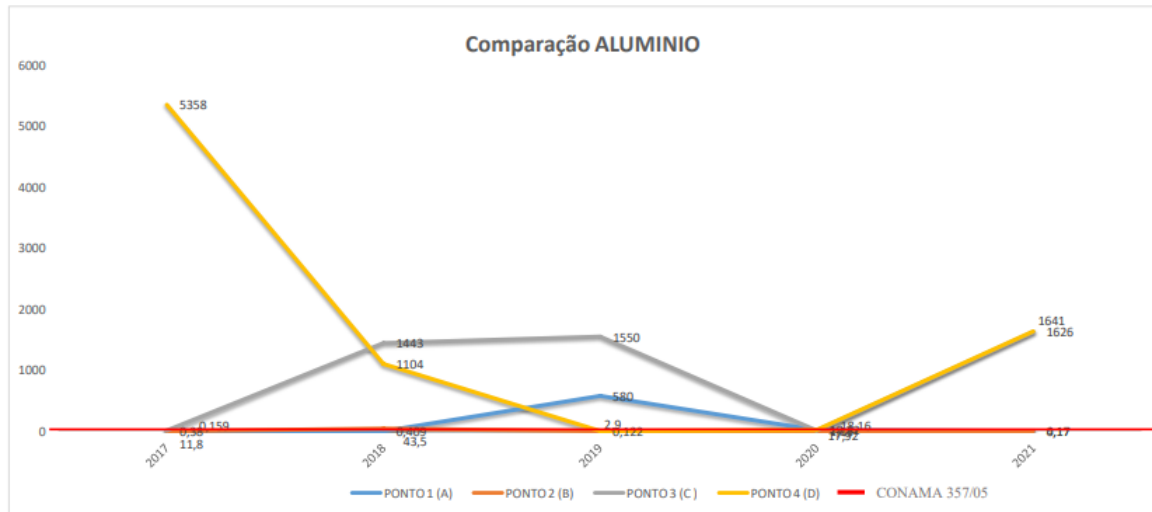
Fonte: Autores, 2021.

Gráfico 4 - Análise da água superficial de Zinco.



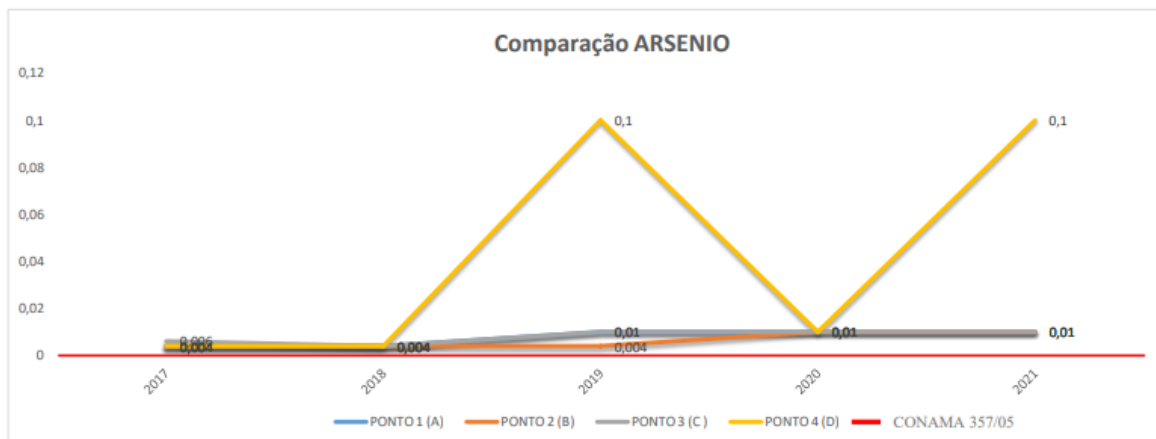
Fonte: Autores, 2021.

Gráfico 5 - Análise da água superficial de Alumínio.



Fonte: Autores, 2021.

Gráfico 6 - Análise da água superficial de Arsênio.



Fonte: Autores, 2021.

Com relação aos pontos de monitoramento superficiais analisados, constatou-se que o Ponto 1 (A), que atua do outro lado da BR-101 foi o que apresentou a melhor qualidade de água e o que mostrou menor variação temporal nos aspectos qualitativos, considerando-se os parâmetros analisados. Entretanto, do período de 2010 para 2021, o pH reduziu consideravelmente, juntamente com o aumento de ferro e alumínio.

Já o Ponto 2 (B), percebe-se que houve um aumento do pH considerável do período de 2017 para 2021, junto da redução da carga de acidez. Os parâmetros, Ferro, Manganês e Alumínio ainda estão apresentando variação, não podendo ser concluído uma melhora significativa dos parâmetros em escala temporal.

Os pontos 3 e 4 que estão muito próximos dentro da área, apresentaram o mesmo grau de evolução, onde depois de 2017 houve o progresso dos parâmetros pH, Acidez, Ferro, Manganês, Sulfato e Sólidos totais, que ainda não apresentam estar dentro do limite permitido pela legislação vigente, mas que, houve uma evolução com a retirada do rejeito da área.

O ponto 5, descartado em 2010, apresentava pH abaixo de 5 e ferro entre 2 a 22 mg.L, sendo que por mais distante que fique o ponto 5, a jusante da área, ele deveria ser reativado, pois recebe a carga poluidora que passa pela área.

7.1 ANÁLISE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Já os resultados das análises subterrâneas foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396 de abril de 2008, que “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”.

Gráfico 7 - Comparativo Alumínio

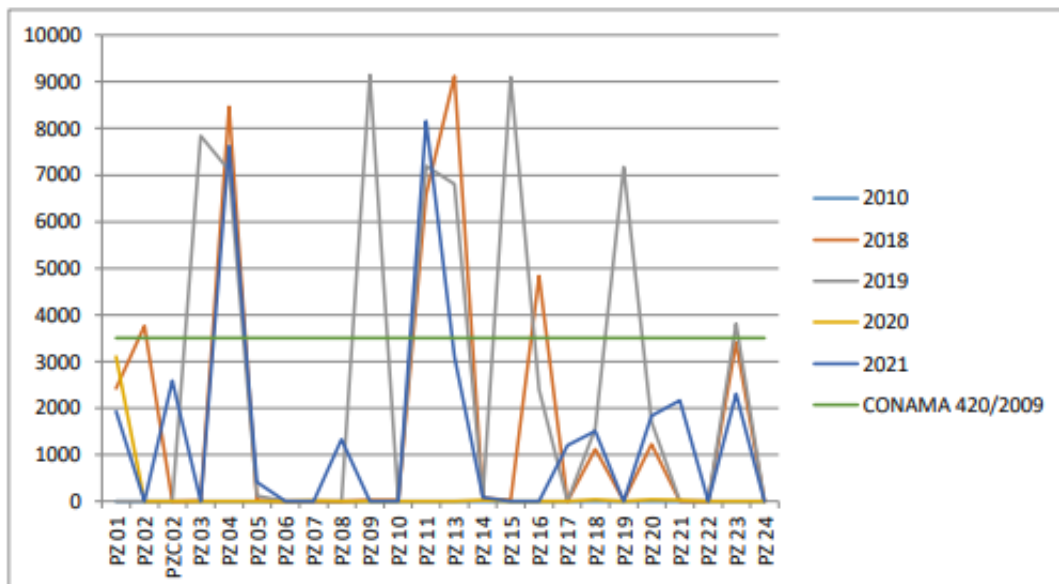


Gráfico 8 - Comparativo Boro

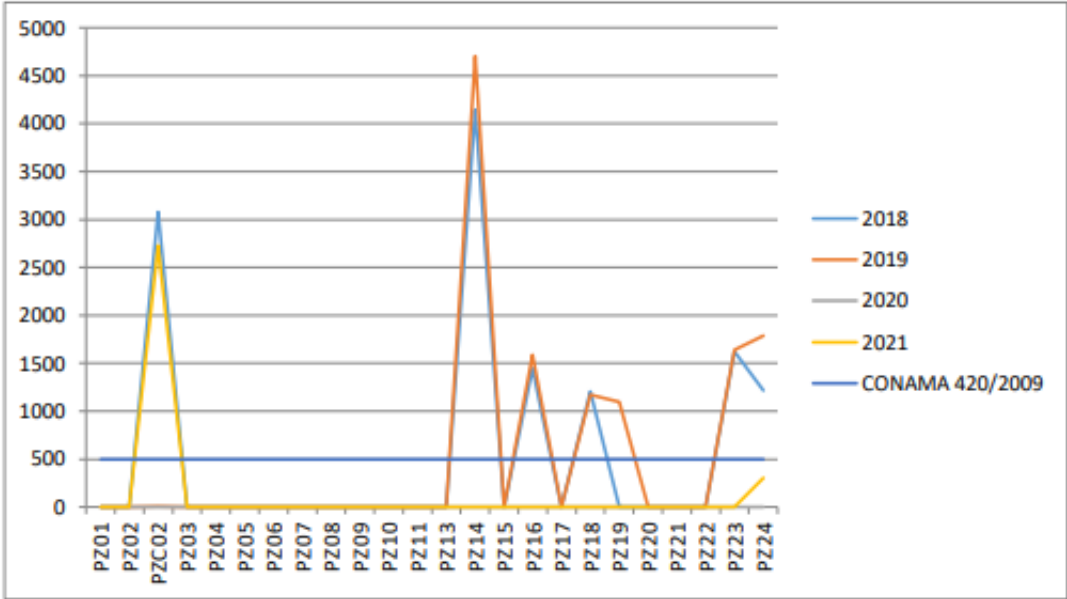


Gráfico 9 - Comparativo Chumbo

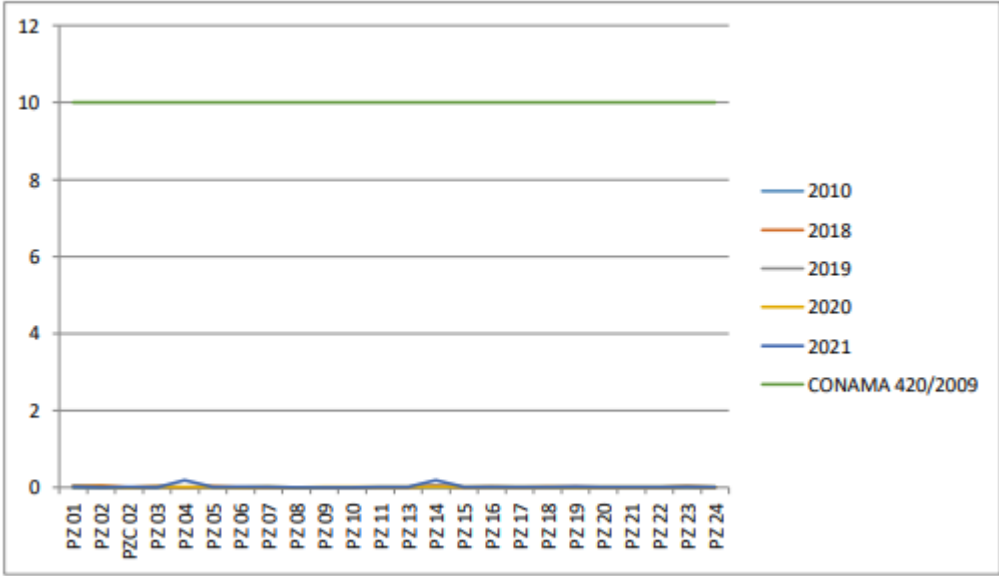


Gráfico 10 - Comparativo Ferro

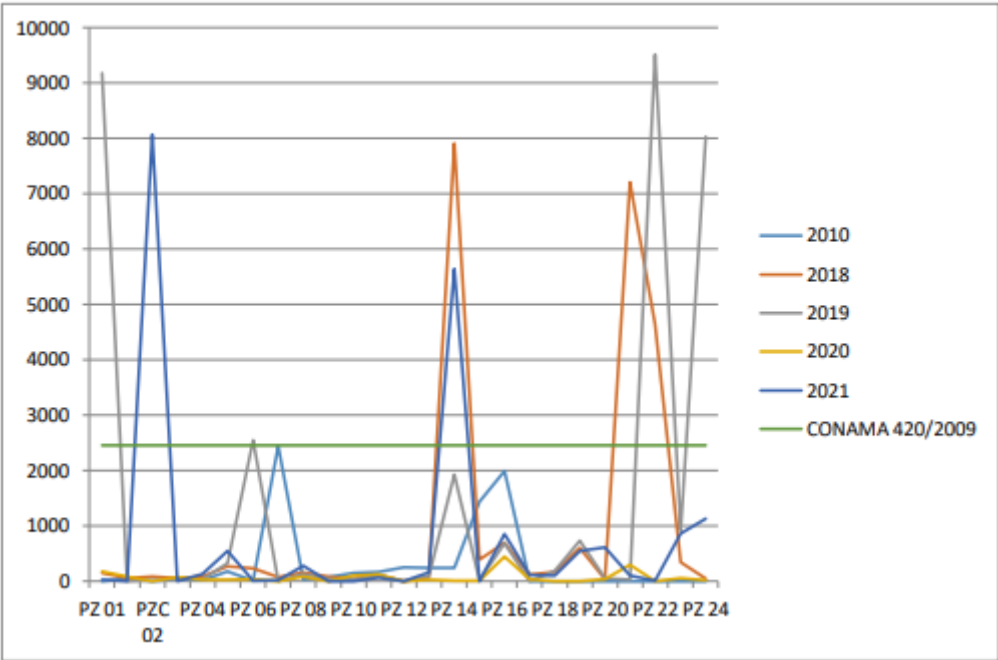


Gráfico 11 - Comparativo de Manganês.

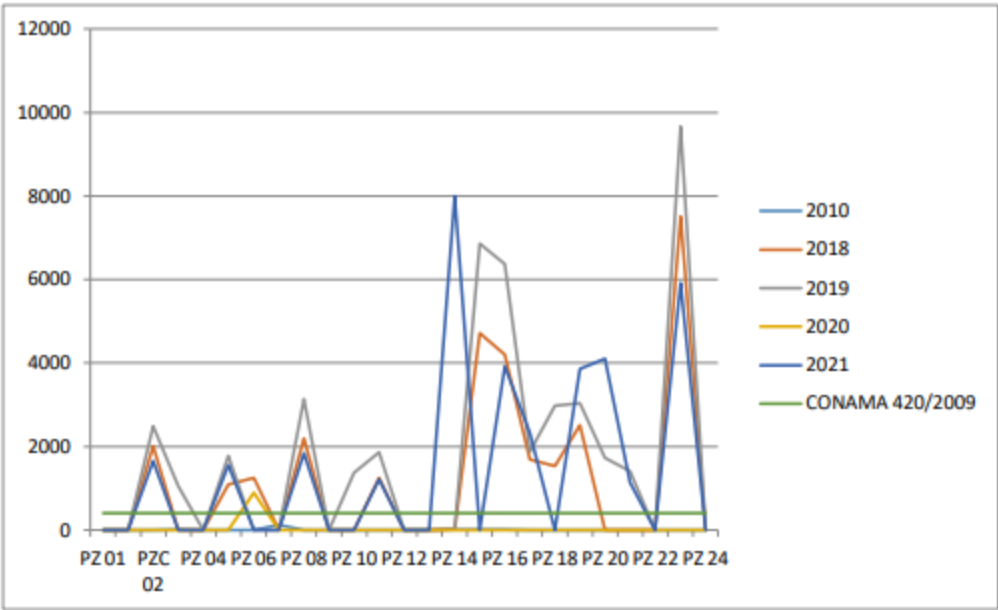
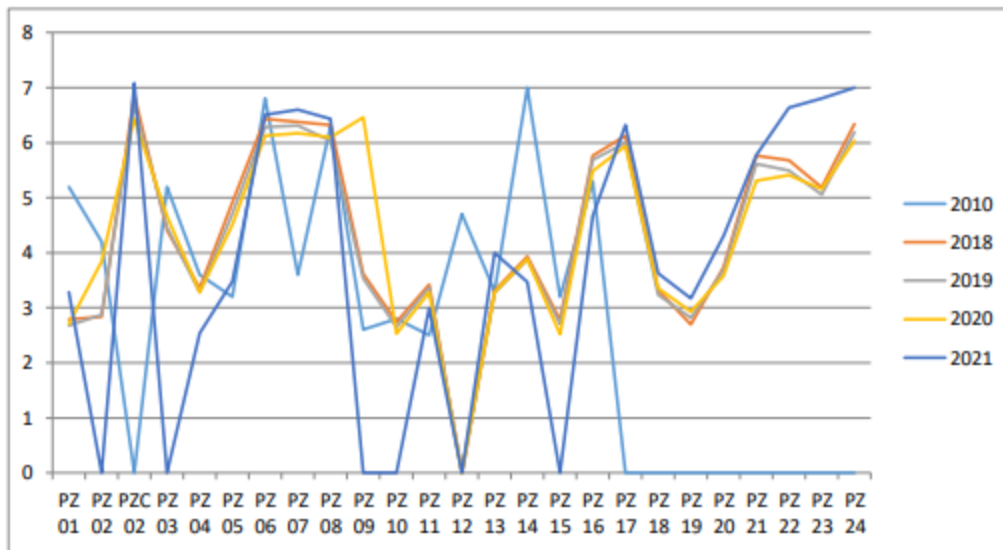


Gráfico 12 - Comparativo pH



Considerando que o sentido de fluxo do aquífero freático se processa de norte para sul, pode-se verificar que os piezômetros PZ 01, PZ 02 e PZ 04, atuam como piezômetros de montante para o setor norte da área estudada. Da mesma forma, os piezômetros PZ 06, PZ 07 e PZ 08 atuam como piezômetros de montante para setor oeste da referida área. Todos eles servem para se monitorar a qualidade da água de recarga deste aquífero. Os piezômetros PZ 11 e PZ 12 atuam como piezômetros de jusante para o setor leste e os piezômetros PZ 09, PZ 10 e PZ 15 atuam como piezômetros de jusante para o setor sul. Todos eles servem para se monitorar a qualidade da água do aquífero freático, após esta passar pela área do antigo depósito. Os piezômetros PZ 03, PZ 05, construídos, nas proximidades do limite norte, servem para se avaliar a qualidade das águas do aquífero freático, logo que estas adentrem à área, bem como, para correlacionar os aspectos qualitativos, com as águas de montante. Os piezômetros PZC 02, PZ 13, PZ 14, e PZ 16 servem para indicar a qualidade da água do aquífero freático no interior da área.

A primeira campanha de monitoramento da qualidade das águas e do nível do aquífero freático foi realizada em novembro de 2010. As análises de água subterrânea começaram a ser sugeridas pelo IMA/SC para os parâmetros: Ferro, Manganês, Acidez, Sulfato, e pH, eram 16 PM e hoje constam 25 PM. Apesar das análises serem sugeridas em 2010, não foram encontrados no IMA os laudos dos períodos de 2011-2017.

No final de 2017, com um novo PRAD - Programa de Recuperação de Áreas Degradadas aprovado, tornou-se uma exigência, a análise periódica de 25PM no local, sendo os parâmetros: Alumínio, Antimônio, Arsênio, Boro, Chumbo, Ferro, Manganês, Níquel, Acidez, Sulfato e pH.

Os piezômetros 01 localizados do outro lado da BR-101 e os PZ 02 e 04 que atuam como “ponto de referencia” apresentaram níveis de Ph abaixo de 4 e altas concentrações de alumínio, o ponto 2 ainda, apresentou concentrações de manganês, ferro e boro.

Já o PZ 03 que atua como piezômetro de montante, mostrou que a água do aquífero que adentra a área neste local foi de má qualidade apenas em 2019, o que se refere aos parâmetros manganês e alumínio. Por outro lado, em todas as campanhas apresentou valores relativamente altos de pH.

O PZ 05 que também atua como piezômetro de montante para a área, também indicou que a água do aquífero freático nesta porção é de má qualidade, com altos teores de acidez, pH e Manganês. A leitura dos gráficos dos parâmetros pH, acidez e ferro total mostra que as águas de montante são levemente ácidas Com relação à qualidade da água do aquífero freático na porção correspondente ao lado oeste, onde estão situadas as áreas das demais empresas, o PZ 06 apresenta pH dentro do limite permitido pela legislação desde 2010 e apenas uma variação de ferro e manganês.

Outros pontos que foram relevantes para o estudo em tela, foram o PZ 11 e 20 que fica a leste da área, próximo ao curso d'água, que apresentou altas concentrações de alumínio, manganês e pH abaixo de 3,5.

Os PZ 15 e 16 também apresentaram elevadas concentrações de alumínio e manganês, juntamente com pH ácido e níveis altos de boro no PZ 16 nos anos de 2018 e 2019, que reduziu nos anos de 2020 e 2021 significadamente.

Já os PZ 18 e 19 apresentaram bastante variação entre os parâmetros alumínio, boro, manganês e pH.

E para finalizar, os PZ 22, 23 e 24 apresentaram durante o período variação de alumínio, boro, ferro, manganês e pH.

8 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Para uma análise mais relevante foi utilizado o método de PCA - Análise de

Componentes Principais, o objetivo da análise é colocar todas as variáveis e encontrar combinações destas que sejam correlacionadas na ordem de sua importância. Análise de Componentes é um modelo fatorial no qual os fatores são baseados na variância total. Na análise de componentes, unidades (1s) são usadas na diagonal da matriz de correlação; esse procedimento implica computacionalmente que toda a variância é comum ou compartilhada. A análise ocorreu no software PAST. Foi pego a tabela com todos os valores e pontos analisados e calculado a média e desvio padrão desses valores. Como os parâmetros não são a mesma escala, cada valor foi transformando pela seguinte fórmula abaixo, criando uma nova tabela de dados.

$$\frac{\text{Escore bruto} - \text{Média}}{\text{Desvio Padrão}}$$

Como os parâmetros não apresentam a mesma unidade de medida, foi utilizado a matriz Correlação dentro do software.

9 ANÁLISE DE ÁGUA SUPERFICIAL

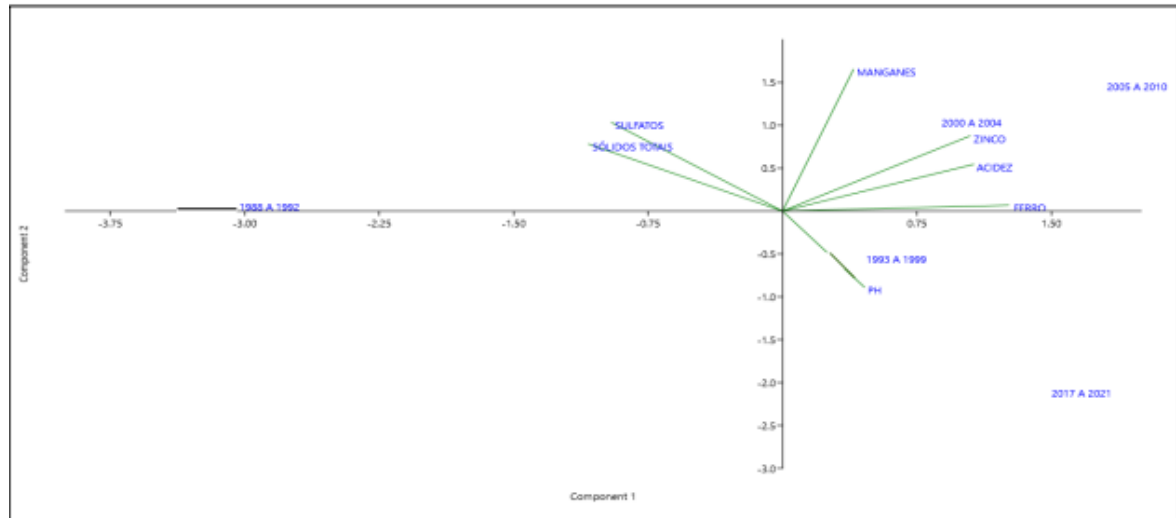
Para a análise de componentes principais de água superficial, foi realizado uma média de cada 5 (cinco) anos de todos os pontos, desconsiderando uma análise espacial e considerando apenas temporal, para tornar melhor a visualização e entendimento dos dados.

Segue abaixo o gráfico de PCA dividido por:

- 1988 a 1992
- 1993 a 1999 (1995 e 1996 não foram avaliados os laudos)
- 2000 a 2004
- 2005 a 2010
- 2017 a 2021 (2013 a 2014 não foram avaliados os laudos)

Os parâmetros: Alumínio, Arsênio, Boro, Níquel e Chumbo foram descartados dessa análise, por terem apenas análises a partir de 2017, e não iria apresentar uma relevância temporal, visto a forma da divisão dos anos (a cada 5 anos).

Gráfico 4 Análise de Componentes Principais de Água Superficial



Fonte: Autores, 2021.

Neste tipo de gráfico, cada seta são variáveis e cada ponto são as amostras, o tamanho da seta é o peso que ela tem para amostra, ou seja, nos anos de 2000 a 2005 pode-se perceber uma correlação entre o parâmetro manganês, que realmente teve conexão, pois dentro desse período houve o ápice de 11,8 mg.L de manganês, e no ano de 2010 o manganês começou a reduzir consideravelmente. Nas mesmas proximidades, observa-se também o parâmetro zinco onde sofreu variações significativas no período de 2000 a 2010, mas que foi um parâmetro descartado dos monitoramentos também em 2010.

Já o ferro, que ficou próximo dos metais Zinco e Manganês, juntamente também com a acidez, em quase todas as amostras de água superficial coletadas na área do empreendimento o parâmetro ferro apresentou-se com valores acima dos padrões preconizados pela Resolução CONAMA 357/05.

A acidez é possível visualizar que é inversamente proporcional ao valor do pH, isto é, uma diminuição do valor pH significa um aumento da acidez, em forma logarítmica. Exemplo: um pH igual a 4,0 é 10 vezes mais ácido do que um pH igual a 5,0 e 100 vezes mais ácido do que um pH igual a 6,0. A resolução CONAMA 357/05 não estabelece padrões para esta variável, no entanto pode-se perceber que na área do empreendimento os pontos de monitoramento de águas superficiais encontram-se com valores elevados.

O pH negativo no gráfico ocorre em relação que em condições de pH baixo há tendência à solubilização dos metais, (Zanardi Jr. e Porto, 1991). Ou seja, com a

diminuição do pH, houve o aumento de Zinco e Manganês. Nota-se também uma correlação entre 1993 a 1999 e 2017 a 2021, isso se explica pela variação que o pH teve em todo período de recuperação da área.

O sulfato (SO_4) é encontrado na água devido à lixiviação das rochas sedimentares e dissolução de solos. A maior contribuição são os depósitos de sulfatos como gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4). Segundo Macêdo (2004), as concentrações de sulfato além de 250 mg.L^{-1} não são recomendadas para água de abastecimento público. É importante o controle do sulfato na água tratada, pois sua ingestão, em elevadas concentrações, provoca efeito laxativo. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor. E na rede de esgoto, em trechos de baixa declividade onde ocorre o depósito da matéria orgânica, o sulfato pode ser transformado em sulfeto, ocorrendo a exalação do gás sulfídrico, que resulta em problemas de corrosão em coletores de esgoto de concreto e odor, além de ser tóxico (São Paulo, 2006). Na área do empreendimento observou-se que os pontos de monitoramento de águas superficiais apresentaram valores acima do limite permitido por legislação e que apresentam ligação com os sólidos totais, uma vez que, eles aumentam e diminuem gradativamente.

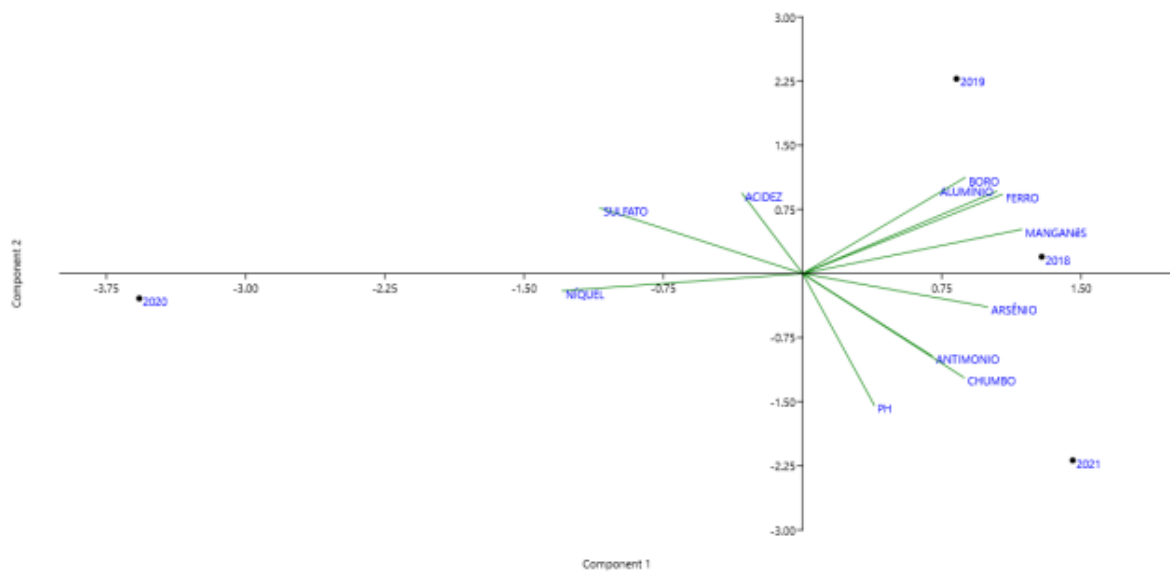
10 ÁGUA SUBTERRÂNEA

Na análise de PCA de água subterrânea, foi descartado o ano de 2010, pois o mesmo não apresentava o mesmo número de parâmetros e nem de PM.

Foi realizado a média dos 25 PZ dos anos: 2018, 2019, 2020 e 2021 com os seguintes parâmetros:

- Alumínio; Antimônio; Arsênio; Boro; Chumbo; Ferro; Manganês; Níquel; Acidez; Sulfato; e pH.

Gráfico 5 Análise de Componentes Principais de Água Subterrânea



Nesse momento, é possível analisar de forma mais ampla a análise de água subterrânea, nota-se novamente que quando o pH diminui a acidez aumenta.

O gráfico se dividiu nos anos e parâmetros que sofreram maior alteração/variância naquele ano, ou seja, em 2018 os parâmetros Arsênio, Boro, Ferro e Manganês estavam no “pico” visto os outros anos. Já em 2019, percebeu-se que, houve um aumento de Alumínio e diminuição Arsênio, Boro e Manganês. Em 2020 o parâmetro que apresentou maior variação foi o Níquel, mostrando uma melhora significativa nos demais parâmetros. Em 2021, a variância ocorreu nos parâmetros antimônio e chumbo, que apresentaram uma alteração visto os demais anos, o arsênio e o pH tiveram significativa melhora.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática da mineração de carvão na região Sul do estado de Santa Catarina teve como consequência uma série de impactos ambientais, que podem ser observados até os dias atuais. A falta de técnicas de mineração, a legislação ambiental negligenciada e a ausência de fiscalização, fizeram com que parte dos elementos dos meios físico e biótico da região carbonífera de Santa Catarina fosse comprometida devido à perda de suas características naturais. O presente trabalho, diante desse contexto, buscou abordar e investigar a problemática da contaminação que vem evoluindo especificamente na região da Estiva dos Pregos, analisando todo

o histórico da área a partir da desativação do depósito de rejeito pela Companhia Siderúrgica Nacional até os dias de hoje.

Algumas características da área são o baixo pH, e alta concentração de metais, entre eles o ferro, que lhes conferem coloração amarelo/avermelhada, bem como alumínio, zinco e manganês. Ainda, os cursos d'água apresentam uma alta carga de sulfatos, acidez.

A partir da análise dos dados durante o período da pesquisa, foi possível visualizar que a área passou por diversas interrupções do processo de recuperação da área, entretanto, tornou-se perceptível uma melhora dos parâmetros a partir do ano de 2017, período em que se iniciou a implementação de uma nova técnica de recuperação, partindo da remoção do rejeito da área. De todo modo, foi possível visualizar também que, os pontos de “referência”, que estão a montante da área, apresentaram variações que devem ser melhor analisadas pelo órgão ambiental.

Ainda, foi observado a ausência de alguns parâmetros que são essenciais para o estudo em tela, como por exemplo, o Enxofre, que é muito presente no carvão de Santa Catarina. Segundo Amaral Filho (2014), no processo de beneficiamento em SC, aproximadamente 65% do carvão é descartado como resíduo sólido em depósitos de rejeitos, contendo teores aproximados de 12% de pirita e 6% de enxofre. No Brasil, as reservas de carvão estão localizadas no Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Paraná (PR) e se caracterizam por grande quantidade de cinzas (compostas por silicatos e quartzos), de enxofre e ferro (que se apresentam principalmente na forma de pirita – FeS_2). Kalkreuth, 2006.

Ainda, no caso da mineração de carvão, além do enxofre e dos metais já analisados, a Drenagem Ácida de Minas (DAM) apresenta valores significativos de cobre, crômio, níquel e outros nitratos (Kontopoulos, 1998). Nesses meandros, para uma análise ainda mais aprofundada da área, devem ser inclusos parâmetros adicionais que estão interferindo no meio, para assim, haver a possibilidade de visualização da real situação da área, uma vez que os parâmetros analisados hoje ainda demonstram ser insuficientes.

Ademais, é recomendável que volte a ser analisado o ponto de água superficial nº 05, junto dos parâmetros acima citados, que são encontrados através do rejeito do carvão, e assim, ter uma observação apurada sobre a possibilidade de a contaminação da área estar chegando no Rio Tubarão ou não.

Sendo assim, sugere-se que o órgão ambiental não permita que a

recuperação seja interrompida ao longo do processo e que continue ocorrendo o monitoramento constante da área, e que seja incluído novos pontos de monitoramento para água superficial e mais parâmetros que sejam relevantes visto o tipo de contaminação presente, para que assim, possa ser analisado a real complexidade e risco da área.

REFERÊNCIAS

- AMARAL FILHO, J.R. **Aproveitamento de rejeitos de carvão em Santa Catarina, Brasil**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 161 p., 2014.
- ANTUNES, P. B. **Dano ambiental**: uma abordagem conceitual. Rio de Janeiro: Lúmen Júris, 2000.
- GRIPP, M.F.A.; KALKREUTH, W.; HOLZ, M.; KERN, M.; MACHADO, G.; MEXIAS, A.; SILVA, M.; WILLET, J.; KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control. In: CASTRO, S.H. et alii. (Eds.). **Effluent Treatment in the Mining Industry Chile**: University of Concepción, p.57-118, 1998.
- BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável**: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- BELOLLI, José; GUIDI, Mário. **Criciúma - Carvão e a região sul**, 2011.
- CALLE, Felipe V.P.; Moura, Luis Inacio; Martins, Maria C. F. **Uma biografia com um pouco de história do carvão catarinense**. Florianópolis, 2011.
- CRESWELL, P. de. **Chemical elements in the environment**. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. 2010 pp. Berlim, 1998.
- DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **The sage handbook of qualitative research**. Thousand Oaks, CA: Sage. 2011.
- DIEHL, C. D. C. D. **Toxicology**: the basic science of poisons. 8. ed. 2004. 1454 p
- FIGUEIRA, Carlos Renato. **Dos subterrâneos da história**: minas de carvão de SC. Florianópolis: Editora da UFSC, 2012.
- GODOY, M.P.DE. **Peixes do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis : UFSC,

1995. 572

GROTZINGER, Guilherme Jordan. **Para entender a terra**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

GOYER, R. A. Toxic Effects of Metals. *In*: KLAASSEN, C.D. (Ed.). **Casarett & Doull's toxicology**: The basic science of poisons, New York: McGraw Hill, 1996.

LANA, Fabiola; SILVEIRA, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a terra**. 4. Ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2008.

MENEZES, N.A.; BUCKUP, P.A.; FIGUEIREDO, J. L.; MOURA, R. L. **Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil**. São Paulo, Museu de Zoologia USP. 2007.

MACEDO, E. H. Contaminação por Espécies. **Ciência Hoje**, v. 13, n. 75, p. 52-57, 2004.

MILIOLI, Vanderlei Antônio. **Informações sobre o Lavador de Capivari de Baixo**. 1995.

MENEZES, Ulpiano T. Bezerra. **A crise da memória, história e documento**. São Paulo, 2007.

NEVES J. M. A. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. 332 p.

NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, v. 33, p. 134-139, 1988.

NONATO, C. A. **A preservação e recuperação do meio ambiente no planejamento e projeto de lavra**. II Congresso Ítalo Brasileiro de Engenharia de Minas, 1993. São Paulo, 15 a 17/09/1993.

PROCHNOW, Tania Renata; PORTO, Maria Luiza. Avaliação de uma área de rejeitos da mineração de carvão com vistas a bioindicadores vegetais para metais pesados. *In*: **Carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 2000.

PHILOMENA, N. Z.; KREBS, A. S. J.; NOSSE, E. de O.; VIERO, A. C. **Fontes de Poluição no Município de Criciúma, SC**. Porto Alegre : CPRM. 1v. (Série Degradação Ambiental, v.8). (Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC). 2012.

RICHARDSON, C. A.; NETTO J. M. A. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 332 p.

REIS, N. L; BARRETO, M. L. **Desativação de empreendimento mineiro no Brasil**. São Paulo, Signus Editora, 2001.

ROSENTAL, Claude; FRÉMONTIER-MURPHY, Camille. **Introdução aos métodos**

quantitativos em ciências humanas e sociais. Porto Alegre: Instituto Piaget, 2001.

RESOLUÇÃO nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasil, 2009.

SANCHES, I. **Professores de educação especial:** da formação às práticas Educativas. Porto: Porto Editora, 1994.

SOUZA, Marco Antonio de D. Orione. **A batalha do carvão.** Rio de Janeiro, 2010.

SINGER, P. E.; STUMM, W. Acid mine drainage: the rate determining step. **Science**, v. 167, p. 1121-1123. 1970.

SÃO PAULO, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 236 p.

SOUZA, Marcelo Gomes. **Fechamento de mina:** aspectos legais. 2001.

TAVEIRA, Ana Lúcia Silva. **Provisão de recursos financeiros para o fechamento em empreendimentos minerários.** (Doutorado em Engenharia Mineral) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica/USP, São Paulo, 2003.

US Department of the Interior. **Office of Surface Mining.**

WARHURSH, A; Noronha, L. **Integrated environmental management through planning for closure front he outset the challenges.** Environmental policy un mining: corporate strategy and planning for closure. United State of America: Lewis Publishers, 1999, p. 13-32.

ZANARD, Jn, Porto, M,C. **Comportamento geoquímico de íons metálicos associados a solos/sedimentos e águas subterrâneas em indústrias de reciclagem.** Exame de qualificação. Instituto de geociências da USP, São Paulo - SP, 58 p.,1991

ESTUDO DE LOGÍSTICA REVERSA EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Gustavo Eugênio Correa¹

Thainá Machado²

Evandro dos Passos Farias³

Resumo: A energia solar fotovoltaica tem ganhado destaque como uma importante fonte de energia renovável devido aos seus benefícios ambientais e potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa. Com o crescimento significativo da adoção de painéis solares em todo o mundo, surge a necessidade de abordar questões relacionadas ao desenvolvimento e à sustentabilidade dessa indústria. Um dos desafios que precisa ser enfrentado é o gerenciamento adequado do fim de vida útil dos painéis solares, incluindo a reciclagem dos materiais utilizados em sua fabricação. Neste artigo, será explorada a importância da reciclagem no setor fotovoltaico, destacando os impactos ambientais do descarte inadequado, as vantagens da reciclagem e as tecnologias e métodos disponíveis. Além disso, serão apresentados dados sobre a energia fotovoltaica no mundo, no Brasil e na região sul de Santa Catarina, destacando a necessidade de políticas públicas e incentivos para impulsionar o desenvolvimento sustentável desse setor. A reciclagem adequada dos painéis solares é crucial para garantir a sustentabilidade da energia solar e promover a economia circular, reduzindo o desperdício e maximizando a utilização dos recursos.

Palavras-chave: Energia solar. Energia renovável. Economia circular. Painéis solares. Políticas públicas. Reciclagem.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil enfrenta desafios relacionados à diversificação de sua matriz energética e à redução das emissões de gases de efeito estufa, possui um grande potencial para a geração de energia solar devido à sua localização geográfica privilegiada, com alta incidência de radiação solar. (ANEEL, 2021).

A busca por fontes de energia tem sido uma necessidade humana desde os primórdios da civilização, impulsionando o progresso ao longo da história. Inicialmente, utilizaram-se recursos naturais como madeira e animais de tração, além de tecnologias como as rodas d'água (SMIL, 2017).

Com a Revolução Industrial, surgiram novas fontes de energia, como carvão,

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitarista – UNIVINTE.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitarista – UNIVINTE.

³ Professor, Esp. Gestão Ambiental e em Planejamento e Gestão de Cidades, Engenheiro de Pesca, Mestrando em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Sustentável (UDESC).

petróleo e gás. Esses avanços abriram caminho para sistemas mais avançados, incluindo energia nuclear, hidrelétrica, eólica, solar e outras fontes renováveis (SMIL, 2017).

A primeira célula fotovoltaica foi anunciada em 1954 por cientistas da *Bell Laboratories*, através do processo de *Czochralski*. Os pesquisadores responsáveis foram Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin. Eles desenvolveram a primeira célula fotovoltaica de silício cristalina, com eficiência de 4%. Essa descoberta foi possível graças ao trabalho de outros cientistas que vieram antes, como Edmond Becquerel, que observou o efeito fotovoltaico em 1839, e Russel Shoemaker Ohl, que patenteou um dispositivo sensível à luz em 1941 (Siemens, 2013; Perlin, 2013).

Desde então, os painéis solares têm sido utilizados e evoluído. No entanto, a reciclagem de módulos fotovoltaicos ainda não é totalmente explorada, embora possua um potencial significativo para a cadeia de valores. A reciclagem pode gerar matéria-prima e componentes valiosos, beneficiando a economia e garantindo o suprimento de matérias-primas no futuro (Hartel, 2016; Oliveira, 2022).

A justificativa para este estudo está alinhada com o Relatório Brundtland, disposta na Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, publicada em 1987, que destaca a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo. É necessário estabelecer uma nova relação entre ser humano e meio ambiente, conciliando o crescimento econômico com questões ambientais e sociais (Valle, 2023).

O desafio é garantir uma prática adequada no desmantelamento dessas usinas, a fim de compreender todos os

elementos que compõem um modelo de desenvolvimento sustentável (Weber, 2012; Sark, 2016).

Por meio de uma pesquisa bibliográfica, em artigos científicos, publicados na última década, este estudo científico tem como objetivos: identificar os possíveis impactos ambientais do descarte inadequado de módulos fotovoltaicos e buscar tecnologias de reciclagem existentes, avaliando sua viabilidade e aplicabilidade no contexto brasileiro.

O escopo deste trabalho se concentra na análise da viabilidade da logística reversa aplicada aos módulos fotovoltaicos, propondo alternativas para o destino final dos resíduos, considerando os princípios do desenvolvimento sustentável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito clássico de desenvolvimento sustentável foi definido no Relatório Brundtland, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. O relatório define o desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades” (LEFF, 2006).

O Artigo nº. 225 da Constituição Federal de 1988, diz 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 (Brasil, 1988).

Em 2015, a ONU estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abrangem uma ampla gama de questões, incluindo erradicação da pobreza, segurança alimentar, saúde, educação, igualdade de gênero, água limpa e saneamento, energia acessível e limpa, crescimento econômico inclusivo e sustentável, infraestrutura resiliente, redução das desigualdades, cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis, cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis, ação climática, vida na água e na terra, paz e justiça e parcerias para o desenvolvimento (Nações Unidas do Brasil, 2023).

2.1.1 Logística reversa

A logística reversa é um tema que abrange o planejamento, implementação e controle do fluxo de materiais desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recapturar valor ou assegurar a destinação adequada dos resíduos. Trata-se de um campo de estudo e prática que busca promover a gestão sustentável de resíduos, com o intuito de reduzir os impactos ambientais e otimizar a utilização dos recursos disponíveis (Daher *et al*, 2006; Silva *et al*, 2021).

É um processo que tem ganhado importância tanto no meio acadêmico quanto na prática das empresas e governos, por ser um dos instrumentos para a prática da sustentabilidade e por seu papel estratégico em muitos segmentos econômicos (Chaves *et al*, 2019).

Essas razões incluem a conformidade com a legislação ambiental, os benefícios econômicos da recuperação de produtos e materiais, bem como a crescente conscientização ambiental dos consumidores. Além disso, existem motivos estratégicos, como a busca por vantagem competitiva, a limpeza do canal de distribuição, a proteção da margem de lucro e a recaptura de valor e ativos. Essas perspectivas são respaldadas por autores como Rogers e Tibben- Lembke (1999), que destacam a importância da Logística Reversa na gestão sustentável e eficiente dos fluxos de materiais.

Shibao (2010) resume as atividades de logística reversa em cinco funções básicas, que são:

- Planejamento, implantação e controle de fluxo de materiais e de informações do ponto de consumo ao ponto de origem;
- Movimentação dos produtos na cadeia produtiva, na direção do consumidor para o produtor;
- Busca pela melhor utilização dos recursos;
- Recuperação do valor;
- Segurança no destino final após utilização do produto.

2.1.2 Resíduos sólidos

Segundo a Lei 12.305/2010, instituída pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos sólidos são:

Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Art. 3º, inc. XVI da Lei 12.305/2010)

No mesmo sentido da legislação brasileira citada anteriormente, Ribeiro

(2020) aborda a economia circular e novas perspectivas para o gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a redução de resíduos, logística reversa, revisão de produtos e estímulo à pesquisa e inovação.

No conceito de economia circular o foco é a redução do desperdício, promoção da recuperação de materiais e criação de um ciclo de reutilização e reciclagem. Essas estratégias abrangem desde práticas mais sustentáveis na produção e consumo até a implementação de sistemas que visam a recuperação e reaproveitamento dos resíduos.

Ribeiro (2023) destaca que a visão sobre os materiais descartados está evoluindo, passando a serem vistos não mais como resíduos, mas sim como novas matérias-primas ou recursos para as atividades econômicas. Esses recursos são chamados de "recursos secundários" ou "recursos recuperados", sendo o segundo termo preferível para evitar interpretações de que possuem menor valor em relação aos recursos "virgens". O autor também apresenta alguns atributos dos resíduos, conforme disposto na tabela 1, abaixo:

Tabela 1 – Atributos dos resíduos

Atributo	Descrição
Resíduos são um "estado econômico" da matéria	Representam uma forma em que os materiais se encontram após serem descartados.
Resíduos são recursos forados ciclos	Indica que não estão sendo aproveitados adequadamente na economia.
Resíduos são uma consequência do consumo	Evidencia que são gerados como resultado das atividades de consumo humano.
Resíduos são materiais não aproveitados pela economia	Ressalta que seu potencial de valor não está sendo totalmente explorado.
Resíduos são um erro de projeto	Sugere que a forma como os produtos são projetados e fabricados pode resultar em maior volume de resíduos gerados.

Fonte: Ribeiro, 2023.

2.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

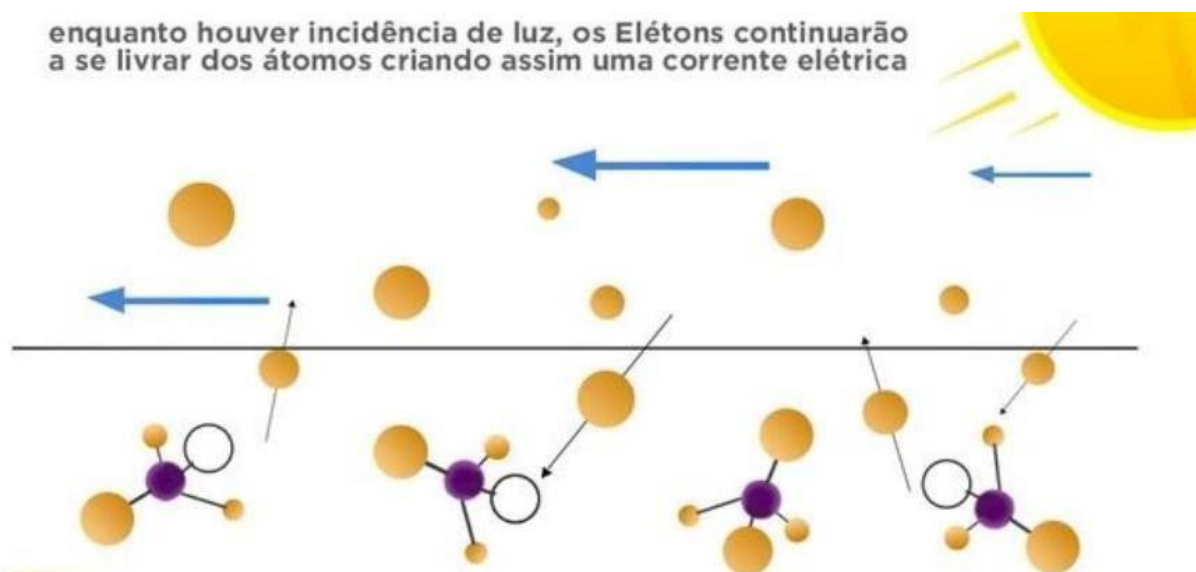
A energia fotovoltaica é uma solução sustentável e prática para atender à crescente demanda global por energia, convertendo a energia solar em eletricidade (Polman *et al.*, 2016). Essa tecnologia utiliza uma fonte renovável e contribui para a

redução das emissões de gases de efeito estufa, impulsionando seu desenvolvimento e implementação (Gul *et al.*, 2016).

Em um estudo recente realizado por Lima *et al.* (2022), que avaliou os impactos da geração de energia fotovoltaica, concluiu-se que essa geração é crucial para o desenvolvimento sustentável mundial. Além disso, eles ressaltaram que a geração de energia fotovoltaica é reconhecida como um método de geração de energia renovável.

As células fotovoltaicas, feitas de materiais semicondutores, são os componentes básicos desse sistema. Elas absorvem fótons da luz solar e produzem corrente elétrica por meio de elétrons livres (Hosenuzzaman *et al.*, 2015). Várias células são agrupadas em módulos e, quando conectados em série ou paralelo, formam um painel fotovoltaico (Oliveira *et al.*, 2022) (Figura 1).

Figura 1 — ilustração do trajeto percorrido pelos elétrons durante a incidência solar



Fonte: Portal Solar/Divulgação, 2023.

O desenvolvimento de materiais para células solares tem sido uma área de crescimento significativo, visando aumentar a eficiência a baixo custo, fator-chave para a viabilidade da tecnologia fotovoltaica (Polman *et al.*, 2016).

Gul *et al.* (2016) destacam que há uma variedade de materiais fotovoltaicos disponíveis em todo o mundo, fabricados por diferentes empresas e com diferentes limitações e eficiências. A eficiência elétrica depende da intensidade e comprimento da luz solar incidente no sistema, do tipo, qualidade e materiais das células fotovoltaicas, bem como dos componentes utilizados nos módulos solares

(Hosenuzzaman *et al.*, 2015).

2.2.1 Gerações dos módulos fotovoltaicos

O silício é amplamente utilizado na tecnologia fotovoltaica, e a produção de células solares baseadas nesse material teve início na indústria da microeletrônica (Ferreira; Fenato, 2017).

Os módulos fotovoltaicos de primeira geração são fabricados a partir de estruturas cristalinas de silício, que apresentam a mais alta eficiência comercial, em torno de 24% em comparação com outros tipos de tecnologia fotovoltaica (Gul *et al.*, 2016). Além disso, existem outros fatores que contribuem para a dominância das células solares de silício wafer no mercado global, como a disponibilidade abundante da matéria-prima e a maturidade dos processos de fabricação na indústria (Andreani *et al.*, 2019) (Figura 2).

As células solares de segunda geração, conhecidas como "thin-film" (filme fino), são fabricadas aplicando-se camadas finas de materiais semicondutores, com espessuras de apenas alguns micrômetros (menos de 10 μm), em uma base sólida (Hosenuzzaman *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2021).

De acordo com Hosenuzzaman *et al.* (2015), os materiais de camada mais comuns utilizados nas células de filme fino são o arseneto de gálio, telureto de cádmio, disseleneto de cobre e índio, e dióxido de titânio.

Quanto à base, os substratos mais comuns são plástico, vidro, metal e cerâmica. Essa tecnologia de camadas finas permite a criação de células solares flexíveis, leves e de menor custo, uma vez que consomem menos material fotovoltaico em comparação com as células de primeira geração (Ogbomo *et al.*, 2017).

Figura 2 – Gerações dos Módulos Fotovoltaicos



Fonte: Os autores, 2023.

Legenda: CdTe = Painel solar de telureto de cádmio CIGS = Painel solar de arseneto e gálio.

2.2.2 Geração atual dos módulos fotovoltaicos

De acordo com Ogbomo et al (2017) as células de terceira geração são também denominadas como tecnologias emergentes, já que a maioria delas se encontra em fase experimental, e que englobam uma variedade de materiais queem sua maioria são orgânicos.

A tabela 2 representa as principais tecnologias de terceira geração dos painéis fotovoltaicos em desenvolvimento.

Tabela 2 – tecnologias atuais no desenvolvimento de painéis fotovoltaicos

Dye-sensitized solar cell (DSSC) (Célula solar sensibilizada por corante)	
Componente	Descrição
Corante químico	Absorve a luz do sol, entrando em um estado fotoexcitado ejetando elétrons no eletrodo.
Eletrodo de trabalho	Semicondutor, comumente à base de nanopartículas de dióxido de titânio, onde os elétrons são adsorvidos, gerando uma diferença de potencial em relação a esse eletrodo e a um contra eletrodo.
Contra-eletrodo	Óxido condutor transparente, geralmente óxido de estanho dopado com flúor, que transporta os elétrons injetados e inicia a corrente elétrica na célula.

Eletrólito	Substância contida entre os eletrodos que atua como um par redox, catalisado por platina, acomodando o elétron do contra-eletródo e devolvendo-o ao corante para regenerar seu estado fundamental, completando assim o circuito elétrico.
Heterojunction solar cell (célula solar de heterojunção)	
Componente	Descrição
Wafer de silício cristalino	Componente central da célula solar de heterojunção, que é passivado em ambos os lados com camadas de silício amorfo hidrogenado intrínseco e dopado.
Camadas de silício amorfo hidrogenado	Camadas adicionadas ao wafer de silício cristalino, com alta concentração de hidrogênio, que modificam as propriedades do material, aumentando o <i>bandgap</i> e resultando em uma absorção óptica mais forte.
Processo de fabricação a baixa temperatura	As células solares de heterojunção de silício são produzidas em um processo que não excede 200 °C, o que permite a fabricação em temperaturas mais baixas em comparação com outros dispositivos fotovoltaicos.
Avanços na eficiência de conversão	Nos últimos anos, houve avanços significativos no desenvolvimento da tecnologia de células solares de heterojunção de silício, resultando em eficiências de conversão acima de 26%.
Heterojunction solar cell (célula solar de heterojunção)	
Comercialização e produção em massa	A Panasonic foi a primeira empresa a comercializar células solares de heterojunção. Com a expiração da patente, outras empresas também começaram a produzir essas células em produção piloto ou em massa.
Multijunction solar cell (célula solar de multijunção)	
Componente	Descrição
Wafer de silício cristalino	Consiste em um <i>wafer</i> de silício cristalino que é passivado em ambos os lados com camadas de silício amorfo hidrogenado intrínseco e dopado.
Camadas de silício amorfo hidrogenado	Camadas adicionadas ao wafer de silício cristalino, com alta concentração de hidrogênio, que alteram as propriedades do material, aumentando o <i>bandgap</i> e resultando em uma absorção óptica mais forte.
Processo de fabricação a baixa temperatura	As células solares de heterojunção de silício são produzidas em um processo que não excede 200 °C, permitindo a fabricação em temperaturas mais baixas em comparação com outros dispositivos fotovoltaicos.
Avanços na eficiência de conversão	Nos últimos anos, houve avanços bem-sucedidos no desenvolvimento das tecnologias de células solares de heterojunção de silício, resultando em eficiências de conversão acima de 26%.
Comercialização e produção em massa	A Panasonic foi a primeira empresa a comercializar células solares de heterojunção. No entanto, com a expiração da patente, outras empresas têm lançado produção piloto ou mesmo produção em massa dessas células.

Fonte: Lima *et al*, 2022.

2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO, BRASIL E REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

2.3.1 Energia fotovoltaica no mundo

A energia fotovoltaica tem experimentado um crescimento significativo em todo o mundo nas últimas décadas. A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa têm impulsionado a adoção de fontes de energia renovável, incluindo a energia solar fotovoltaica (Green, 2016).

Diversos países têm investido na expansão da energia fotovoltaica como uma alternativa sustentável e de baixa emissão de carbono. A China, por exemplo, é líder mundial na instalação de capacidade fotovoltaica, seguida por Estados Unidos, Japão e Alemanha. Esses países têm implementado políticas e incentivos para promover a energia solar, como tarifas de alimentação, subsídios e metas de energia renovável (LI et al, 2023).

A energia fotovoltaica tem se mostrado uma solução viável tanto em áreas urbanas quanto rurais, oferecendo benefícios econômicos, sociais e ambientais. Além disso, o avanço tecnológico tem permitido uma redução significativa nos custos dos painéis solares, tornando a energia fotovoltaica cada vez mais competitiva em relação às fontes de energia convencionais (REN21, 2021).

2.3.2 Energia fotovoltaica no Brasil

No Brasil, a energia fotovoltaica tem ganhado destaque nos últimos anos. O país possui um grande potencial para a geração de energia solar devido à sua localização geográfica privilegiada, com alta incidência de radiação solar. Além disso, o Brasil enfrenta desafios relacionados à diversificação de sua matriz energética e à redução das emissões de gases de efeito estufa (ANEEL, 2021). O governo brasileiro tem implementado políticas de incentivo à energia fotovoltaica, como o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), que estimula a instalação de sistemas solares em residências, empresas e propriedades rurais. Além disso, leis e regulamentações específicas foram criadas para facilitar a conexão desses sistemas à rede elétrica (Moraes; Braga, 2021).

O Brasil tem apresentado um rápido crescimento na capacidade instalada de energia fotovoltaica. Em 2021, o país ultrapassou a marca de 10 gigawatts (GW) de capacidade instalada, representando um aumento significativo em relação aos anos anteriores. A energia solar fotovoltaica está se tornando cada vez mais acessível e atrativa para consumidores, empresas e investidores (ANEEL, 2021).

2.3.3 Energia Fotovoltaica no Sul de Santa Catarina

A região Sul de Santa Catarina tem acompanhado o crescimento da energia fotovoltaica no país. Os municípios dessa região têm investido na implantação de usinas solares e na instalação de sistemas fotovoltaicos em residências, empresas e instituições públicas.

A região se destaca pela presença de empresas especializadas na montagem e fabricação de painéis solares e na prestação de serviços relacionados à energia fotovoltaica. Além disso, há uma forte atuação de cooperativas de eletrificação rural, principalmente no Vale do Braço do Norte, que incentivam a adoção da energia solar pelos produtores rurais.

A geração distribuída tem se mostrado uma opção interessante na região Sul de Santa Catarina, permitindo que os consumidores produzam sua própria energia e reduzam os custos com eletricidade. Além disso, a energia fotovoltaica contribui para a diversificação da matriz energética local, reduzindo a dependência de fontes não renováveis.

No entanto, é importante destacar a necessidade de políticas públicas claras e incentivos adequados para impulsionar ainda mais o desenvolvimento da energia fotovoltaica na região. Investimentos em capacitação profissional, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias são essenciais para o crescimento sustentável desse setor.

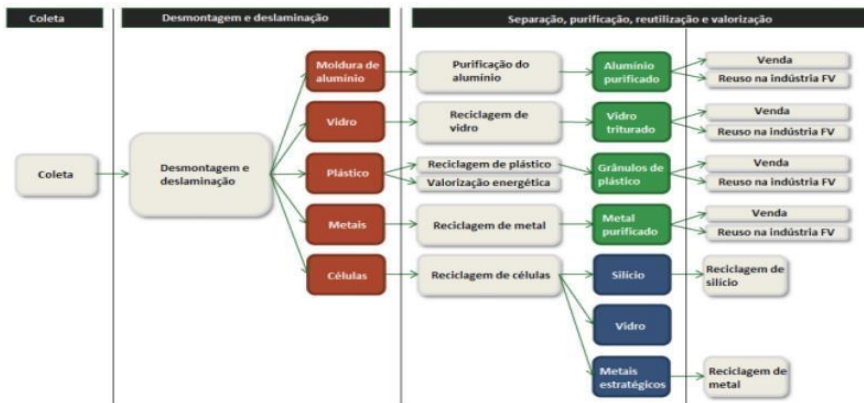
2.4 RECICLAGEM NO SETOR FOTOVOLTAICO

As tecnologias existentes para a reciclagem dos painéis fotovoltaicos de silício são embasadas em tratamento físicos, químicos ou uma combinação das duas técnicas. Essas abordagens visam garantir a reciclagem eficiente e sustentável dos materiais presentes nos módulos fotovoltaicos, promovendo a reutilização de

componentes valiosos, como prata, cobre, cádmio e a redução dos impactos ambientais associados aos resíduos desses dispositivos (LI et al, 2023).

O objetivo da reciclagem é maximizar o aproveitamento dos recursos e minimizar a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários, contribuindo para a economia circular e o desenvolvimento sustentável (Figura 3).

Figura 3 – Etapas do processo de reciclagem dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado de: Bazin, F.; Billard, Y.; Lacroix, O., 2012.

O processo de reciclagem e tratamento dos painéis fotovoltaicos começam a desmontagem do painel. As bordas do quadro de alumínio serão cortadas e separadas dos cabos/caixa de junção, havendo assim também a separação da mesma das camadas de células fotovoltaicas, vidros e polímeros (Biois, 2011).

Logo em seguida vem a separação do vidro das camadas restantes, o que irá facilitar o processo. Para essa separação, os painéis fotovoltaicos são aquecidos por um sistema misto de infravermelho de onda média e curta, para que haja um desprendimento mecânico. O resultado será pedaços de vidro que passarão por um processo posterior de refinação (Cellura et al, 2012).

O restante do “sanduíche” que forma o painel é levado para uma incineradora e o resultado da queima é um composto de cinzas que contém silício e outros metais. As cinzas passam por um processo de tratamento que consiste, primeiramente, na peneiração, seguindo para a lixiviação ácida (Granata et al, 2014).

O processo de lixiviação ácida tem o objetivo de fazer a separação do silício do restante dos outros metais presentes na cinza, na expectativa de recuperar-se até 95% do elemento de silício em grau metalúrgico (Alsema et al, 2006) e o restante dos metais é dissolvido na solução ácida e sucessivamente tratada por

eletrólise. No processo ocorre ainda a recuperação de prata e cobre com eficiência de 95%, e o que não serviu para ser aproveitado é encaminhado para um aterro para disposição final.

Sabe-se que a energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia limpa e renovável que vem ganhando cada vez mais espaço no cenário energético mundial. Porém, para assegurar sua viabilidade a longo prazo, é preciso enfrentar o desafio da reciclagem dos componentes empregados.

Frisa-se também que o processo de reciclagem dos componentes dos painéis fotovoltaicos deve ser analisado diante de alguns cenários, destacando-se os itens a seguir:

2.4.1 A urgência da reciclagem no setor fotovoltaico

Com a expansão da capacidade de geração de energia solar fotovoltaica em diversos países, a quantidade de painéis solares que chegam ao fim de sua vida útil está crescendo rapidamente. O tempo de vida útil dos módulos gira em torno de 20 a 25 anos na maioria dos fabricantes dependendo do tipo e material usado na sua produção (Dias, 2015).

Estima-se que em 2050 a China terá 13,5 milhões de toneladas de resíduos. Esta questão exige a necessidade e urgência enquanto ainda dá tempo de não termos toneladas de placas acumuladas aguardando reciclagem e solução (Anami, 2017).

Para que a energia solar seja considerada uma energia totalmente limpa, deve-se incluir sua destinação final correta no âmbito da reciclagem e descarte adequado. Atualmente as empresas fornecedoras de placas fotovoltaicas estão sendo responsáveis pela sua destinação final, mas ainda assim com um descarte inadequado e baixo potencial de reciclagem dos componentes (Oliveira *et al*, 2017).

2.4.2 As vantagens da reciclagem no setor fotovoltaico

Os materiais usados atualmente na confecção das placas fotovoltaicas ainda possuem alto custo em sua produção, o que poderia de acordo com Coelho & Serra (2018), ser reduzido com investimentos no processo de coleta e reciclagem onde

gerariam um impacto financeiro positivo em longo prazo. A reciclagem atualmente, quando ocorre, ainda é focada em materiais semicondutores. Há grande escassez de políticas de incentivo e falta de planejamento, tendo em vista um futuro com grande aumento da produção de sistemas fotovoltaicos que irão necessitar de descarte.

Sica *et al.* (2018), exemplifica essas vantagens, apontando que a reciclagem de 185 t de módulos c-Si (Cilício cristalino) de uma estação com uma potência instalada de 2,46 MW, permite uma economia de cerca de até 2.220 t CO₂eq (Equivalência em dióxido de carbono). Esse valor, somado ao benefício ambiental da utilização da energia solar para geração de eletricidade, trazem uma redução de aproximadamente 49.470 t CO₂eq ao longo da vida útil da estação, que gira em torno de 20 anos.

2.4.3 Dificuldades e soluções na reciclagem fotovoltaica

A rentabilidade da reciclagem com base na recuperação de materiais, como alumínio, vidro e cobre atualmente é baixa (Choi e Fthenakis, 2014; D'Adamo *et al.*, 2017). Esta baixa rentabilidade tem afetado negativamente os investimentos na coleta e tratamento de resíduos fotovoltaicos. Para aumentar a lucratividade tem-se que aumentar a pureza dos materiais reciclados, incluindo prata e silício (Peeters *et al.*, 2017).

A reciclagem de painéis solares enfrenta desafios específicos, como a complexidade dos materiais e a ausência de regulamentações claras.

No entanto, soluções estão sendo desenvolvidas, incluindo o aperfeiçoamento dos processos de reciclagem, a implementação de normas e regulamentos adequados, e a sensibilização dos fabricantes, instaladores e consumidores sobre a relevância da reciclagem.

A reciclagem de sistemas fotovoltaicos tem avançado rapidamente devido às modificações no resíduo eletrônico europeu, estabelecidas pela diretiva de equipamentos eletrônicos (WEEE 2012/19/EU) em 2012. Atualmente, a retirada e reciclagem de módulos fotovoltaicos são obrigatórias na Europa, e a quantidade de reciclagem tem aumentado anualmente (Oliveira, 2021).

A melhor solução para o problema diz respeito a reciclagem e a inserção

destes resíduos na cadeia produtiva como matéria prima, gerando economia com a redução de custos e aumentando a competitividade dos novos produtos, além de poupar fontes de material ainda conservadas (Ghizoni, 2017).

2.4.4 Tecnologia e métodos de reciclagem fotovoltaica

Diversas tecnologias de reciclagem estão sendo utilizadas atualmente, como a separação mecânica, a pirólise e a hidrometalurgia.

Cada método de reciclagem possui suas vantagens e desafios. Segundo Oliveira (2021), a separação mecânica tem como vantagem a capacidade da separação do vidro dos painéis solares, mas suas desvantagens são a necessidade de outro processo para remover completamente o EVA (etileno- acetato de vinila), e que também, o processo de separação mecânica causa danos às células fotovoltaicas (FV), mesmo em pequenas quantidades. A pirólise apresenta como vantagem a eficiência na recuperação dos materiais, com 80% de recuperação do sanduíche e 100% do vidro, além de ser um processo viável em termos de eficiência e custo para escala industrial. No entanto, sua desvantagem é que esse método danifica as células FV.

De acordo com Betanin (2017), a hidrometalurgia é um processo que oferece uma maior proteção ambiental em relação ao risco de poluição atmosférica, além de possibilitar o tratamento e reciclagem dos reagentes utilizados durante o processo. No entanto, as desvantagens estão relacionadas à complexidade da maioria dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) e à necessidade de utilizar grandes volumes de reagente. Se esses reagentes não forem reciclados, podem gerar um grande volume de efluentes no tratamento final. Os estudiosos continuam buscando melhorias e inovações para aumentar a eficiência e a viabilidade econômica da reciclagem.

2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS PELO DESCARTE IRREGULAR DE PLACAS SOLARES

O aumento significativo da adoção de módulos fotovoltaicos em território nacional tem despertado atenção. Embora os benefícios dessa fonte de energia sejam incontestáveis, é essencial direcionar a discussão para os efeitos do acúmulo

desses equipamentos ao longo dos anos e as opções de destinação adequada no final de sua vida útil (Soares, 2017).

O descarte dos painéis fotovoltaicos deve ser realizado e gerenciado de forma correta, pois, quando realizado de maneira inadequada e sem o devido tratamento, pode acarretar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Esses impactos estão relacionados à lixiviação de materiais tóxicos, como chumbo e cádmio, e à perda de materiais preciosos, como prata, índio, gálio e germânio, além de materiais convencionais como alumínio e vidro (Monier, 2011).

De acordo com Wang e Xu (2014), as frações não-metálicas desses painéis podem representar uma ameaça ambiental, mesmo após o tratamento, devido à presença de materiais pesados, retardadores de chama bromados (BFR) e outras substâncias tóxicas e perigosas (Tabela 3).

Tabela 3 - impactos ambientais e problemas de saúde, causados por alguns compostos das placas fotovoltaicas

Composto	Impactos Ambientais	Problemas de Saúde
Chumbo (Pb)	Contaminação do solo, água e ar	Danos ao sistema nervoso, renal e cardiovascular, efeitos sobre a fertilidade
Cádmio (Cd)	Poluição do solo, água e ar, bioacumulação em cadeias alimentares	Efeitos cancerígenos, danos aos rins, pulmões e sistema cardiovascular
Cobre (Cu)	Poluição do solo e água, efeito tóxico em organismos aquáticos	Irritação dérmica, problemas respiratórios
Prata (Ag)	Poluição da água, efeito tóxico em organismos aquáticos	Efeitos neurológicos e reprodutivos, problemas renais
Índio (In)	Poluição da água, impacto na biodiversidade	Efeitos respiratórios e pulmonares, danos hepáticos
Telúrio de Cádmio (CdTe)	Impactos ambientais associados à mineração e descarte	Efeitos respiratórios e pulmonares, efeitos tóxicos em tecidos e órgãos
Silício (Si)	Baixo impacto ambiental, material reciclável	Riscos ocupacionais durante a produção e manuseio

Fonte: Adaptado de Véronique Monier, 2011.

Vale destacar que o chumbo, o cádmio, o alumínio e o vidro são alguns dos materiais que compõem as placas fotovoltaicas. São materiais com diferentes características e potenciais impactos para o meio ambiente e a saúde humana.

De acordo com informações disponíveis no site do Ministério da Saúde do Brasil (2022), o chumbo é um metal tóxico cumulativo que afeta diversos sistemas do corpo humano, sendo especialmente prejudicial para crianças pequenas. Não há

um nível seguro de exposição ao chumbo, pois mesmo baixas concentrações podem causar efeitos nocivos. Os sistemas mais afetados pelos impactos na saúde causados pelo chumbo incluem o sistema neurológico, cardiovascular, gastrointestinal e hematológico.

Fernandes e Mainier (2014) alertam sobre os riscos da exposição ao cádmio, cuja ingestão prolongada pode levar ao desenvolvimento de doenças como osteoporose, hipertensão, doenças cardíacas, câncer nos rins e no trato urinário.

O alumínio é um metal leve e abundante na crosta terrestre. A principal fonte de alumínio é a bauxita, um minério que precisa ser extraído e beneficiado para a produção de alumínio metálico. Esse processo gera impactos socioambientais negativos, como desmatamento, erosão, poluição da água e do solo e geração de rejeitos que podem vazar das barragens e causar danos à biodiversidade e às comunidades locais (Henriques; Porto, 2013).

Diante do exposto, é necessário considerar os aspectos ambientais e sanitários dos materiais presentes nas placas fotovoltaicas. O chumbo e o cádmio são metais pesados que representam riscos à saúde dos trabalhadores e consumidores dessas placas. O alumínio, por sua vez, tem um alto custo energético e ambiental em sua produção. Já o vidro é um material que pode ser reciclado de forma eficiente e com baixo impacto.

3 RESULTADOS

A energia solar fotovoltaica vem se destacando no Brasil e em Santa Catarina como forma de geração de energia limpa, atrativa e cada vez mais acessível. Junto disso a crescente conscientização ambiental dos consumidores, que vem sendo impulsionada por programas de incentivo do Governo Federal neste mercado.

Todavia, não podemos afirmar que a energia solar fotovoltaica no Brasil é uma forma de geração de energia 100% limpa, tendo em vista a falta de regulamentação clara para o seu descarte correto após o fim de sua vida útil, que gira em torno de 25 anos. É dado enfoque para os módulos da primeira geração c-Si (silício cristalino), pois, por conta de sua eficiência e custo de produção são a maioria do mercado.

Para que a energia solar fotovoltaica seja considerada uma energia totalmente limpa devemos incluir, a destinação correta após o fim da vida útil dos

módulos, visando o descarte assertivo e a reciclagem dos mesmos. Reintroduzindo-os novamente no ciclo produtivo de novos módulos como matéria prima, diminuindo assim seu custo e aumentando a competitividade e rentabilidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando a melhora deste setor é proposto que haja uma regulamentação mais direta e clara no Brasil, onde todos os atores do ciclo de vida dos módulos (fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e compradores) saibam qual sua obrigação no processo de logística reversa deste material.

Mesmo tendo que os resíduos eletroeletrônicos, alguns dos componentes dos painéis, já possui obrigatoriedade de logística reversa e acordo setorial.

Além disso, estudos mais profundos em processos mais eficientes na reciclagem de módulos fotovoltaicos de silício cristalinos, serão de suma importância para a melhora da rentabilidade da reciclagem destes que são os módulos que mais aparecem no mercado.

REFERÊNCIAS

ANAMI, A. M. Painel fotovoltaico: perspectivas e desafios. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 80 f. 2017.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. (2021). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Brasília: ANEEL. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>

Andreani, L. C., Bozzola, A., Kowalczewski, P., Liscidini, M., & Redorici, L. (2019). **Silicon solar cells: toward the efficiency limits**. *Advances in Physics*:X, 4(1), 1548305. <https://doi.org/10.1080/23746149.2018.1548305>

Brasil. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

Brasil (2010). **Lei nº 12305, 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. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 13 jul. 2022.

Chaves, Gisele de Lorena Diniz; Balista, Wagner Cezario; Comper, Indiana Caliman. **Logística reversa: o estado da arte e perspectivas futuras**. Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental. Jul/ago de 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019172051>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

COELHO, T.; SERRA, J. Tecnologias para reciclagem de sistemas fotovoltaicos: impactos ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Volume 15, número 7. Curitiba–PR, jun/dez-2018.

CHOI, J.K., FTHENAKIS, V. Crystalline silicon photovoltaic recycling planning: macro and micro perspectives. **J. Clean. Prod.** 66, 443–449, 2014.

DAHER, Cecílio Elias; SILVA, Edwin Pinto de La Sota; FONSECA, Adelaida Pallavicini. **Logística Reversa**: Oportunidade para Redução de Custos através do Gerenciamento da Cadeia Integrada de Valor. Vol. 3, No. 1 Vitória-ES, Brasil, jan/ jun 2006. pp. 58-73. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12550/1/ARTIGO_Logística Reversa Oportunidade.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12550/1/ARTIGO_Logistica%20Reversa%20Oportunidade.pdf). Acesso em: 02 de julho de 2023.

Da Silva, Mayara Cristina Ghedini; Hatakeyama, Kazuo; Pilatti, Luiz Alberto; Felizardo, Jean Mari. **Logística reversa**: tendência das empresas focadas na sustentabilidade. UNIFAP. Setembro de 2021. Disponível em: [https://www2.unifap.br/glauber pereira/ files/2016/07/Logística-Reversa-e-Sustentabilidade.pdf](https://www2.unifap.br/glauber%20pereira/files/2016/07/Logística-Reversa-e-Sustentabilidade.pdf). Acesso em: 06 de julho de 2023.

DIAS, P. R. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos Fotovoltaicos** (painéis solares). 2015.

FERNANDES, L.H.; MAINIER, F. B. Os riscos da exposição ocupacional ao cádmio. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n.2, p. 194-199, 2014.

FERREIRA, A. S., & Fenato, A. J. (2017). Potencial impacto ambiental fotovoltaica. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, 1, 228-242. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/ambiental-fotovoltaica>

GHIZONI, Joana Pauli *et al.* **Sistemas fotovoltaicos**: estudo sobre reciclagem e logística reversa para o Brasil. 2017.

GUL, M.; KOTAK, Y.; MUNEEER, T. Review on recent trend of solar photovoltaic technology. **Energy Exploration & Exploitation**, 34(4), 2016, 485-526. <https://doi.org/10.1177/0144598716650552>.

Green, M. A.. **Solar Cells**: operating principles, technology, and system applications. the university of New South Wales Press Ltd, 2016.

HARTEL, Richard W. **Recycling of photovoltaic modules**: an economic and environmental assessment. Cham: Springer, 2016.

HEBER, F.; SILVA, E. M. D. Institucionalização da política nacional de resíduos sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Rev. Adm. Pública**, 48(4), 2014, 913-937.

HOSENUZZAMAN, M.; RAHIM, N. A.; SELVARAJ, J.; HASANUZZAMAN, M.; MALEK, A. A.; NAHAR, A. Global prospects, progress, policies, and environmental

impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 41, 2015, 284-297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>.

IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable Energy Statistics**, 2016.

LEFF, E. **Ecologia, economia e ética: a questão ambiental na sociedade tecnológica**. Rio de Janeiro: Vozes, 2015.

LI, Y.; WEI, Y.; ZHU, F.; DU, J.; ZHAO, Z.; OUYANG, M. **The path enabling storage of renewable energy toward carbon neutralization in China**. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2590116823000012#pre-view-section-abstract>. Acesso em: 05 jul. 2023.

LIMA, P. D. T. D.; NETO, M. M.; ABRAHÃO, R. Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15(03), 2022, 1260-1273. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/252652/41290>

LIMA, G. A. M. de.; OLIVEIRA, V. O.; LOPES, R. S. Tecnologias emergentes para a produção de células solares fotovoltaicas: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, 11(17), 2022. e139111736068. DOI: 10.33448/rsd-v11i17.36068. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36068>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MORAES, G. J. L.; BRAGA, E. A. Energy transition in Brazil: public policies and economic incentives for photovoltaic solar power generation. **Brazilian Journal of Development**, 7(9), 2021. 66702-66712. DOI: 10.34117/bjdv7n9-732.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 jul. 2023.

OGBOMO, O. O.; AMALU, E. H.; EKERE, N. N.; OLAGBEGI, P. O. A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 75, 2017, 1225-1238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.109>

OLIVEIRA, D. B., LEBENSOLD, F., OLIVEIRA, L. T. **Destinação final das placas fotovoltaicas pós-consumo no Brasil**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, A. T. E. De; SOBREIRA, A. A.; COSTA, H. F.; FERREIRA, J. dos S.; PEREZ, C. A. S. A energia solar fotovoltaica: transformação, evolução, aspectos ambientais e abordagens na sala de aula. **Research, Society and Development**, 11(9), 2022. e25811932533. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32533>.

PEETERS, J. R.; ALTAMIRANO, D.; DEWULF, W.; DUFLOU, J.R. Forecasting the composition of emerging waste streams with sensitivity analysis: A case study for photovoltaic (PV) panels in Flanders. *Resour. Conserv. Recy.* 120, 14– 26, 2017.

Perlin, J. (2013). **Let It Shine: The 6,000-Year Story of Solar Energy**. New World Library.

POLMAN, A.; KNIGHT, M.; GARNETT, E. C.; EHRLER, B.; SINKE, W. C. Photovoltaic materials: present efficiencies and future challenges. *Science*, 352(6283), 2016. aad4424. <https://doi.org/10.1126/science.aad4424>.

REN21 - **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**. 2021.

RENEWABLES 2021 Global Status Report. Paris: **REN21 Secretariat**. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/ren21-reports/>

Ribeiro, F. M. **Economia** circular: uma visão de futuro para a gestão dos resíduos sólidos no estado de São Paulo. *In: Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo*. São Paulo: SIMA - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2020.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. **Going Backwards: reverse logistics trends and practices**. University of Nevada, Reno -Center for Logistics Management, 1999.

Sark, W. V. **Photovoltaic solar energy: from fundamentals to applications**. 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2016.

SEMANA internacional de prevenção da intoxicação por chumbo. **Biblioteca Virtual em Saúde**, 2022. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/23-a-29-10-semana-internacional-de-prevencao-da-intoxicacao-por-chumbo/> Acessado em: 2023.

SICA, Daniela; MALANDRINO, Ornella; SUPINO, Stefania; TESTA, Mario; LUCCHETTI, Maria Claudia. Management of end-of-life photovoltaic panels as a step towards a circular economy. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 2934–2945, 2018.

SIEMENS. **Operating Instructions (compact) Photovoltaics SINVERT PVM**. [S.l.]: Siemens, 2013.

SMIL, V. **Energy and civilization: A History**. Cambridge, MA: The MIT Press. 2017.

TEIXEIRA, M. A. C.; RAMOS, H. R.; AGUIAR, A. O. Perspectivas de novos materiais alternativos ao silício para a produção de células solares fotovoltaicas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 9(71), 2017, 48–62.

WANG, R.; Xu, Z. Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (**WEEE**): **A review**. *Waste Management*. 34, 1455-1469. 2014.

WEBER, E. (Ed.). **Renewable energy sources and climate change mitigation: special report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC)**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2012.

OLIVEIRA, Eláine Vieira de. **Processos de reciclagem de módulos fotovoltaicos de primeira geração**. Fortaleza: UFC, 2021.

BETTANIN, Andrea. **O uso de tiosulfato para a recuperação de Prata na reciclagem de módulos fotovoltaicos**. UFRGS, 2017.

**GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA NA ELABORAÇÃO DE UMA
ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO: UM ESTUDO DE CASO NA FERROVIA
TEREZA CRISTINA S/A, ENTRE OS MUNICÍPIOS DE SANGÃO A IMBITUBA**

Laís Maria da Silva¹

Renata Porto²

Resumo: A Ferrovia Tereza Cristina (FTC) é a empresa que transporta carvão e revestimentos cerâmicos na malha ferroviária sul catarinense, ela passa pela Região Hidrográfica 9 (RH9), região influenciada pela mineração de carvão. Este trabalho busca uma análise preliminar de risco utilizando ferramentas de geoprocessamento, a fim de identificar locais com potenciais riscos ambientais na faixa de domínio da ferrovia entre os municípios dentro da RH9. Deste modo, foram utilizados dados vetoriais e raster, de fontes oficiais e gratuitas, da região de estudo. Com isso obteve-se dados de arruamento, limites municipais, perímetros urbanos, áreas de proteção, RH9, e também uma imagem de satélite disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além da coleta de dados na FTC. Com o software QGIS na versão 3.10.11, estabeleceu-se pesos para as camadas. Durante a saída de campo, adquiriram-se novas informações com a observação da linha e seu entorno. Os resultados obtidos demonstram que o uso de técnicas de geoprocessamento e dados oficiais gratuitos foram meios essenciais na estimativa dos locais com riscos ambientais, mesmo sendo ferramentas de baixo custo, são capazes de auxiliar nas ações de tomadas de decisão de gestores públicos e/ou privados.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Ferrovia. RH9. Gestão ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Conforme a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, a poluição ambiental é entendida como a degradação do ambiente, resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar das populações, criando condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetando desfavoravelmente a biota e as condições sanitárias do meio ambiente. Por conta deste fato alguns ambientes são mais afetados do que outros, uma vez que os mais resilientes têm maior capacidade de recuperar seu equilíbrio.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Univinte Fucap. E-mail: silva1.lais@gmail.com.

² Professora do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Univinte Fucap. E-mail: prof.renata@fucap.edu.br.

Quando um ambiente sofre uma ameaça de impacto ambiental configura um risco, o qual é a medida de danos referente a uma atividade que possa causar o impacto no ambiente, podendo ser resultante da frequência de ocorrência e a magnitude das perdas, danos ou consequências (CETESB, 2021).

No momento que esse risco se concretiza, causa danos ambientais e o ecossistema próximo ao local poderá sofrer impactos devido às propriedades físicas, químicas e toxicológicas dos materiais (Rangel, 2015). Além de causar transtorno à população como contaminação do Sistema de Abastecimento público de água, solo, impactos à fauna e à vegetação.

O transporte ferroviário é um exemplo que demanda estudos para a minimização de possíveis impactos. Essa análise consiste em um processo de avaliação das probabilidades da ocorrência de um impacto ou evento.

O Geoprocessamento é uma ferramenta que permite mapear áreas com potenciais riscos, além de auxiliar no planejamento, utiliza técnicas para a coleta e tratamento de dados espaciais. São tecnologias cada vez mais presentes em nosso cotidiano, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Um SIG permite a análise, gestão e modelagem de processos e relações espaciais, também organiza as informações em camadas capazes de ajudar na decisão do usuário, podendo ser definido como um sistema computacional que processa dados gráficos e alfanuméricos tendo como base a análise espacial e modelagens de superfícies (Filho *et al*, 2021).

Atualmente existem vários tipos de softwares no mercado, sendo proprietários ou livres, como o QGIS, este juntamente com as bases cartográficas e dados oficiais gratuitos se mostram de grande valia para estudos ambientais.

Sendo assim é de extrema importância que a análise de risco faça o levantamento de possíveis danos ambientais, utilizando as mais diversas ferramentas disponíveis, facilitando no processo de tomada de decisão.

Dessa forma, o presente trabalho visa realizar uma análise preliminar de risco ao longo da faixa de domínio da Ferrovia Tereza Cristina na RH9.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 FERROVIA TEREZA CRISTINA – FTC

A FTC transporta o carvão mineral até o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, em Capivari de Baixo, e também interliga o porto de Imbituba e o Terminal Intermodal Sul (TIS), posicionado no pólo cerâmico da região. Os principais produtos transportados pela FTC são: carvão mineral (região carbonífera até termelétrica) e produtos cerâmicos (até Porto de Imbituba, para exportação).

Segundo FTC, 2015, no ano de 1880 iniciava-se a construção da linha férrea que ligaria as minas até um porto de embarque para levar o carvão até a Europa. Quando concluída possuía uma linha tronco de 118.096 metros que ligava Imbituba às Minas e um ramal de 7.056 metros que ia de Bifurcação a Laguna, constituída de sete estações: Imbituba, Bifurcação, Laguna, Piedade, Pedras Grandes, Orleans e Minas. E as oficinas, inicialmente, localizadas em Imbituba.

Em 1940 terminaram as concessões do Governo, que congregou as ferrovias numa única entidade em 1957, a Tereza Cristina, integrada à Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA). Nesta época, a Estrada de Ferro Dona Tereza Cristina, com sede em Tubarão, possuía 264 km de linhas principais e ramais, com 37 locomotivas a vapor (Zumblick, 1987).

A Sua malha ferroviária atualmente possui 164 km, representada na figura 1, passando por 14 municípios, sendo 116 km de linha tronco, de Imbituba à Forquilha, 25 km do ramal de Urussanga, 18 km do ramal de Siderópolis e 5 km do ramal de Oficinas (FTC, 2015).

A população residente nos municípios por onde passa a ferrovia é de aproximadamente 495.802 habitantes, sendo Criciúma e Tubarão os maiores, caracterizados como pólos regionais, concentrando comércio e serviços. Nos municípios de Laguna, Jaguaruna e Imbituba, o turismo tem grande importância (Santa Catarina, 2016).

Entre os principais corpos hídricos que cortam a linha dos trens na área de estudo estão o Rio Tubarão, Rio Congonhas, Rio Jaguaruna, a lagoa do Imaruí e Santo Antônio.

Figura 1 – Malha ferroviária FTC



Fonte: FTC, 2015.

De acordo com FTC, 2015, a Faixa de Domínio é o terreno com pequena largura em relação à extensão, necessária para a instalação das vias férreas e demais estruturas exigidas para sua operação. Essa faixa é variável e depende de consulta à FTC para a sua correta identificação.

Embora não haja uma dimensão e definição jurídica no Brasil sobre o tema, o seu objetivo é a proteção da linha de visão na operação ferroviária, atenuar os efeitos de vibração dos trens, permite a operação segura além de ampliações futuras sem necessidade de desapropriação de áreas lindeiras (Oliveira, 2019).

Para as ferrovias há também a faixa não edificável, conforme figura 2, esta é regida pela lei nº 13.913, de 25 de novembro de 2019, alterando a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências, sendo determinado que ao longo das águas correntes e dormentes e da faixa de domínio das ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não edificável de, no mínimo, 15 (quinze) metros de cada lado.

Figura 2 – Faixa de domínio e faixa não edificante



Fonte: autor, 2021

Há dificuldades em manter a faixa de domínio e a faixa não edificante conservadas, pois ao longo do tempo ocorreram várias invasões para construção de casas e barracos irregulares, gerando transtornos para a operação e para a população, uma vez que causam riscos as moradias e as pessoas que circulam ali perto.

A falta de infraestrutura e planejamento urbano além de ser agente de invasões na faixa de domínio e não edificante também provoca dificuldades na gestão dos resíduos, uma vez que o crescimento desordenado próximo a linha férrea configura risco permanente de acidentes.

Os resíduos, descartados ao longo da linha férrea, são outros problemas a serem enfrentados, podendo ser originário de fatores econômicos, sociais ou

culturais. O acúmulo gera proliferação de insetos e roedores que são potenciais transmissores de diversas doenças, provocando mau cheiro, compromete a drenagem em períodos chuvosos e intensifica os riscos de acidentes ferroviários, principalmente quando há objetos de grande porte nos trilhos, podendo colidir com a locomotiva. Além de ter consequências à saúde das pessoas, causa impactos ambientais significativos como a poluição do solo, água e visual (Araújo, Pimentel, 2016).

Por causa deste problema faz-se necessário investimento tanto por parte da empresa quanto das prefeituras a fim de promover mutirões de limpeza para retirada dos resíduos, resultando em custos com equipamentos, maquinários, pessoal, transporte e destinação correta dos resíduos. Além disso, é preciso realizar trabalhos de sensibilização e educação ambiental nas comunidades lindeiras, e esclarecer os perigos e riscos do acúmulo de lixo nas margens ou na linha férrea (FTC, 2019).

2.2 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO E PROTEÇÃO AMBIENTAL

As Áreas de Preservação Permanente (APP) contribuem para a manutenção do equilíbrio do meio ambiente, assim como para a minimização de inundações, pois auxiliam na infiltração de água no solo, com isso facilitam o abastecimento ao lençol freático mantendo a qualidade e a quantidade da água. Além de preservar as marginais dos corpos d'água, dificultando o escoamento de sedimentos que causam poluição e assoreamento e auxiliar na manutenção da biodiversidade. A ocorrência de um acidente e contaminação dessas áreas pode acarretar em problemas no abastecimento público de água, uso e ocupação do solo, saúde pública dentre outros (Guimarães, Braga, 2017).

Segundo a lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, as Áreas de Preservação Permanente são áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, tabela 1.

Tabela 1 – Áreas de preservação Permanente conforme lei 12.651

Hidrografia	Largura	Largura/Raio APP
Cursos d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros	Menos de 10 (dez) m de largura;	30 (trinta) metros de largura;
Cursos d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros	De 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;	50 (cinquenta) metros de largura;
Cursos d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros	De 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;	100 (cem) metros de largura;
Cursos d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros	De 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;	200 (duzentos) metros de largura;
Cursos d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros	Largura superior a 600 (seiscentos) metros	500 (quinhentos) metros de largura
As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais	Em zonas rurais	100 (cem) metros,
	Em zonas rurais com até 20 (vinte) hectares de superfície, Em zonas urbanas;	50 (cinquenta) metros;
As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais		30 (trinta) metros,
As áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais,		Na faixa definida na licença ambiental do empreendimento
As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, As encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;		No raio mínimo de 50 (cinquenta) metros
As restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; Os manguezais, em toda a sua extensão;		Em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado. (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).
Em veredas, a faixa marginal.		

Fonte: BRASIL, 2012

Vegetação ciliar é um tipo de vegetação, que se encontra no entorno de nascentes, lagos, rios ou açudes, responsável pelo equilíbrio, conservação e funcionamento das bacias hidrográficas. Além de regular o ciclo da água, possibilita a absorção de nutrientes e ajuda a evitar danos causados pelas enxurradas através da retenção de partículas do solo que com a chuva iriam acabar assoreando o leito dos rios (Castro, 2017).

No litoral de Santa Catarina também há a Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APABF) que inclui uma área de 156 mil hectares, 130 km de costa marítima e foi criada pelo decreto federal s/nº em 14 de setembro de 2000. Tem por finalidade proteger, em águas brasileiras, a baleia franca austral, ordenando e garantindo uso dos recursos na região, uso do solo e água, turismo, pesquisas e tráfego de embarcações. As riquezas protegidas pela APA incluem outras espécies de animais e vegetais, dunas, restinga e sítios arqueológicos (ICMBIO, 2019).

2.3 GEOPROCESSAMENTO

Para Filho *et al*, 2021, “Geoprocessamento é o conjunto de técnicas de processamento e análise de dados espaciais”. Portanto, representa tecnologias capazes de coletar e analisar informações georreferenciadas.

O Geoprocessamento envolve diversas disciplinas científicas e tecnologias de apoio, como a Cartografia, Topografia, Geodésia, Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas, Ciência da Computação, entre outras. Estas permitem a representação espacial através da computação e análise de informações geográficas (Silva; Machado, 2014).

As geotecnologias constituem o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica. São compostas por *hardware*, *software*, *peopleware* e *dataware*. (Zaidan, 2017).

Zaidan, 2017 define SIG como “um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos”. Um SIG pode ser usado em diversos estudos ambientais, proporcionando a integração dos dados espaciais, permitindo conhecer a ocorrência de um evento em determinado lugar, além de servir de apoio no planejamento e tomada de decisões (Silva; Machado, 2014).

A manipulação de dados espaciais envolve dois tipos de formato de dados: os dados vetoriais, que são dados geométricos atrelados às coordenadas e relações de pontos, são geometrias simples como pontos, linhas, curvas e polígonos. Outro tipo de dado é o raster, uma estrutura de dados geográficos representando uma parte do espaço em células, ou pixels, onde cada célula tem associado um valor alfanumérico que representa um atributo, cor ou outros tipos de informações, como altitude ou teor de algum elemento químico (Filho *et al*, 2021).

2.3.1 Imagens CBERS 4A

O CBERS-4A é um satélite do *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS), Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, um programa de cooperação tecnológica entre o Brasil e a China, com objetivo de desenvolver e operar satélites de sensoriamento remoto. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é o responsável pela execução do programa. Este satélite é equipado com câmeras que permitem observação óptica do globo terrestre, possui também um sistema para coleta de dados e monitoramento ambiental. Entre as câmeras que o satélite possui está a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), caracterizada abaixo na tabela 2 (INPE,

2019).

Tabela 2 – Características da câmera WPM

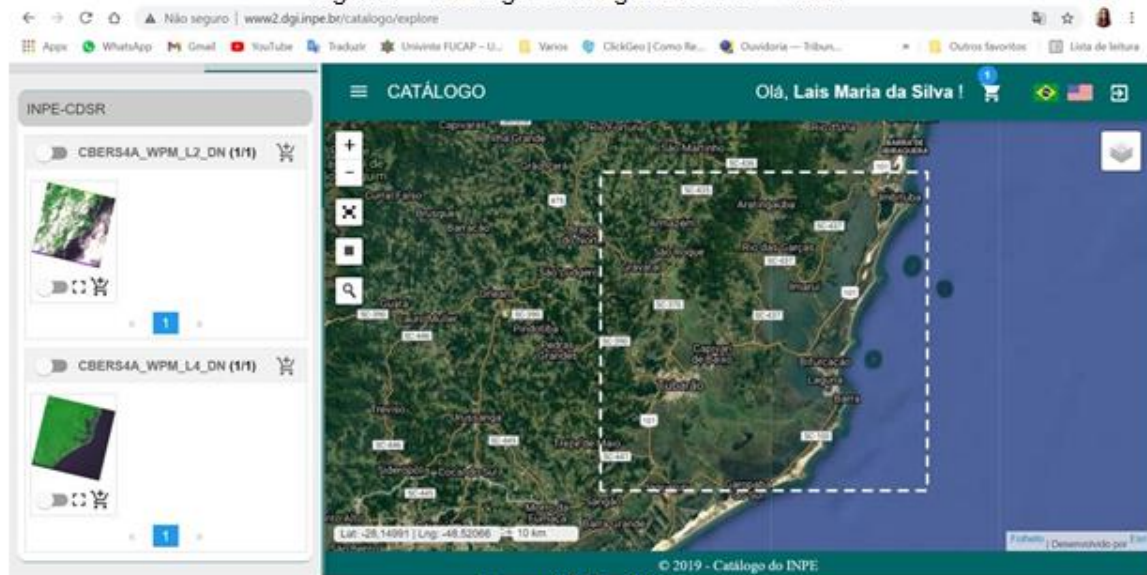
Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM)	
Característica	Dado
Bandas Espectrais	P : 0,45 - 0,90 μm B1: 0,45 - 0,52 μm B2: 0,52 - 0,59 μm B3: 0,63 - 0,69 μm B4: 0,77 - 0,89 μm
Largura da Faixa Imageada	92 km
Resolução Espacial	2 m (pancromática) 8 m (multiespectral)
Visada Lateral de Espelho	Não
Taxa Bruta de Dados	1800.8 Mbps 450.2 Mbps

Fonte: INPE, 2019.

A câmera WPM foi a utilizada neste trabalho, a qual é principal carga útil do CBERS 04A, possui 5 bandas espectrais, que operam no intervalo de 0,45 μm a 0,90 μm , uma delas é a pancromática, com 2 metros de resolução espacial, as outras 4 bandas multiespectrais tem 8 metros de resolução (INPE, 2019).

As imagens CBERS e de outros satélites estão disponíveis gratuitamente no catálogo de imagens no site do INPE (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>) conforme figura 3. Fazendo seu cadastro, navegue pelo menu e selecione o sensor de imagens, local e data. Acrescentando a imagem desejada no carrinho, e a mesma estará pronta para *download*.

Figura 3 – Catálogo de imagens CBERS – INPE



Fonte: INPE, 2020

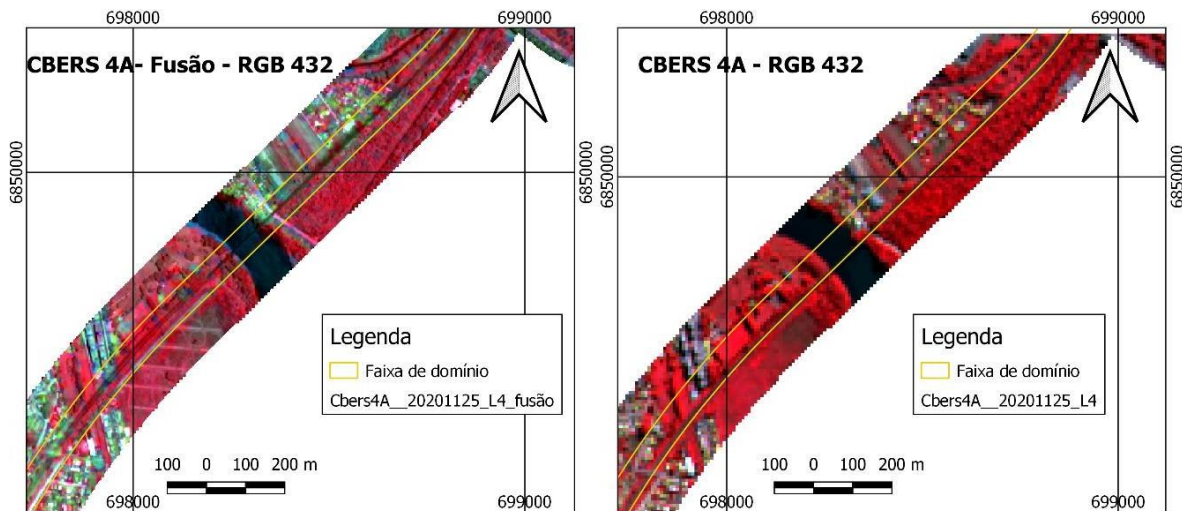
2.3.1.1 Fusão de imagens CBERS 4A

A fusão, também chamada de técnica de realce espacial, permite a obtenção de imagens coloridas (RGB e falsa-cor) de maior resolução, usando a banda pancromática para obter a resolução espacial e as bandas multiespectrais fornecendo informações espectrais. Isto porque a banda pancromática geralmente tem a resolução espacial superior (Filho *et al*, 2021).

Para realizar o processo de fusão no QGIS 3.10 primeiramente é preciso ter a composição das bandas coloridas, e ir ao menu Caixa de ferramentas>*Pansharpening*.

Foi utilizado um recorte da fusão da imagem CBERS 4A de 25/11/2020, utilizando o polígono da faixa de domínio, permitindo que se obtenham imagens coloridas com maior resolução, facilitando a vetorização dos corpos hídricos da faixa de domínio. A fusão da imagem permitiu que tivéssemos cor e maior resolução espacial, passando de 8 metros para 2 metros de resolução espacial, apresentamos um trecho na figura 4.

Figura 4 – Imagem fusionada e não fusionada RGB 432



Fonte: Autores, 2021.

2.3.2 Interpolação

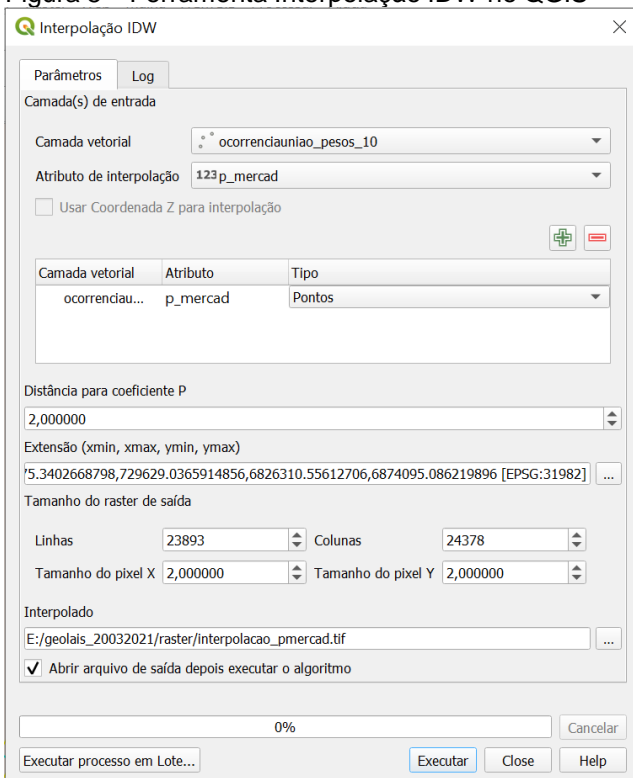
Interpolação é uma operação que usa técnicas matemáticas, estimativas precisas de valores de uma região em locais onde não foram feitas medidas em campo. Este é um método que estima valores de uma variável em uma região interna aos pontos de amostragem, permitindo representar espacialmente no mapa o comportamento de variáveis amostradas pontualmente (Silva, 2015).

A interpolação IDW considera que o valor em um determinado local é similar aos valores dos vizinhos mais próximos. Para pontos que não tem um valor estabelecido, usa-se uma medida definida ao seu redor, sendo assim cada local pode influenciar pontos desconhecidos (Nakati *et al*, 2018).

É um dos métodos mais utilizados em análises GIS, a atribuição de um valor não amostrado é feita usando uma combinação linear com base em pontos amostrais ao redor do ponto interpolado, com isso se atribui valor maior aos pontos mais próximos e menor valor aos pontos mais distantes. O peso é controlado por um parâmetro p , sendo escolhido de forma arbitrária, porém é largamente utilizado o valor $p=2$ (Silva, 2015).

Para realizar o processo de Interpolação IDW no QGIS 3.10 é preciso acessar o menu Processar > Caixa de Ferramentas > Interpolação IDW, logo aparecerá uma nova janela, conforme figura 5, onde é selecionada a camada vetorial, o campo para interpolação, extensão e tamanho do pixel.

Figura 5 – Ferramenta Interpolação IDW no QGIS



Fonte: Autor, 2021.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, representada pela figura 6, engloba o trecho da linha férrea entre Imbituba e Sangão, pertencentes a Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar - RH9. Compreendendo 7 municípios: Tubarão, Imbituba, Capivari de Baixo, Pescaria Brava, Laguna, Sangão e Jaguaruna, Tabela 3.

A área que compõe a RH9 é de 5.725 km² compreendendo o Complexo Lagunar, além dos rios da região, sendo os principais o rio Tubarão, com 4.685 km², e o rio d'uma, com 491 km². O rio Tubarão nasce na encosta da Serra Geral pela confluência do Rio Bonito e o Rio Rocinha, percorre 120 km atravessando vários municípios até a lagoa de Santo Antônio dos Anjos, em Laguna. Por receber grande carga poluidora é a bacia mais comprometida do estado, por conta da mineração, usina termelétrica, produtores de coque, cerâmicas, fecularias e agroindústria (Santa Catarina, 2016).

Nesta região, mais precisamente em Capivari de Baixo se encontra o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, responsável pela geração de energia através da queima de carvão oriundos da Região Carbonífera por transporte ferroviário. A

extração e comercialização do carvão estão diretamente relacionadas com o crescimento da região, sendo por muito tempo, a principal atividade de geração de capital e empregos (Zanette, 2018).

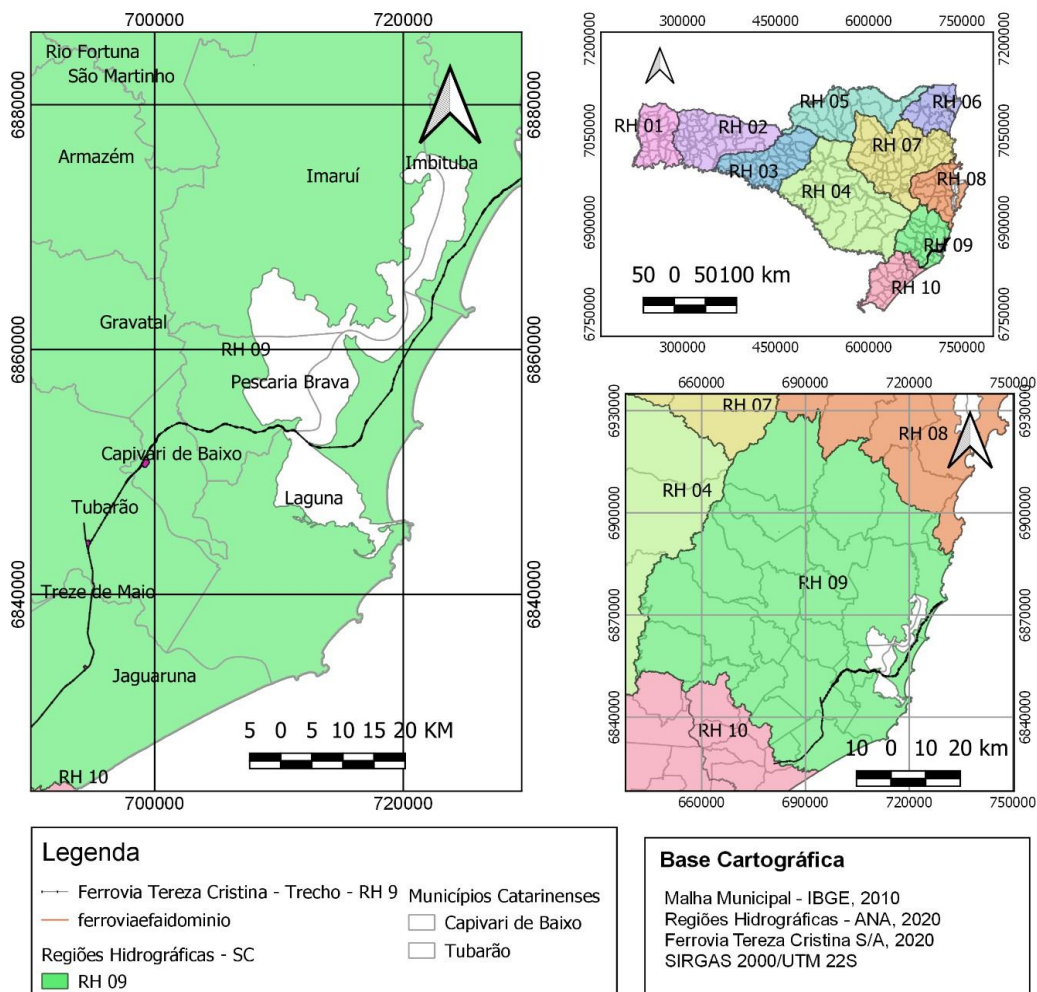
Tabela 3 – Dados demográficos dos municípios no traçado da FTC na RH9

Município	População	Área (Km²)	Densidade demográfica Hab./Km²
Imbituba	45.286	181,577	249,40
Laguna	46.122	333,260	138,39
Pescaria Brava	10.159	106,853	95,07
Capivari de Baixo	25.177	53,222	473,05
Tubarão	106.422	301,485	352,99
Jaguaruna	20.288	326,362	62,16
Sangão	12.905	82,984	155,51

Fonte: IBGE, 2020.

Figura 6 – Área de estudo

Área de Estudo



Fonte: Autor, 2021.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES

Foram obtidos produtos, documentos cartográficos, dados raster e dados vetoriais oriundos de bases cartográficas e banco de dados oficiais e gratuitos. Estes foram utilizados para a elaboração das novas informações, análise e geração de alguns mapas.

Utilizou-se o software livre de código aberto, QGIS, na versão 3.10.11 - versão mais estável.

Adotou-se a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), sistema de coordenadas planas, Datum SIRGAS 2000, conforme recomendação R.PR – 1/2005 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2005).

Os dados vetoriais e rasters foram obtidos em bases oficiais e com disponibilidade gratuita: IBGE, INPE, Agência Nacional de Águas (ANA), Prefeituras e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). Outros dados foram disponibilizados pela FTC:

- Mapa da malha da linha férrea e faixa de domínio em SIRGAS 2000, no formato AutoCAD 2014, disponibilizado pelo Departamento de Topografia (FTC, 2020).
- Planilha eletrônica com as ocorrências ferroviárias entre os anos 2005 e 2020, selecionadas a partir da área de estudo, no trecho de Imbituba a Sangão, do Km 00+000 até o Km 84+126.

Dados vetoriais e raster obtidos em fontes oficiais:

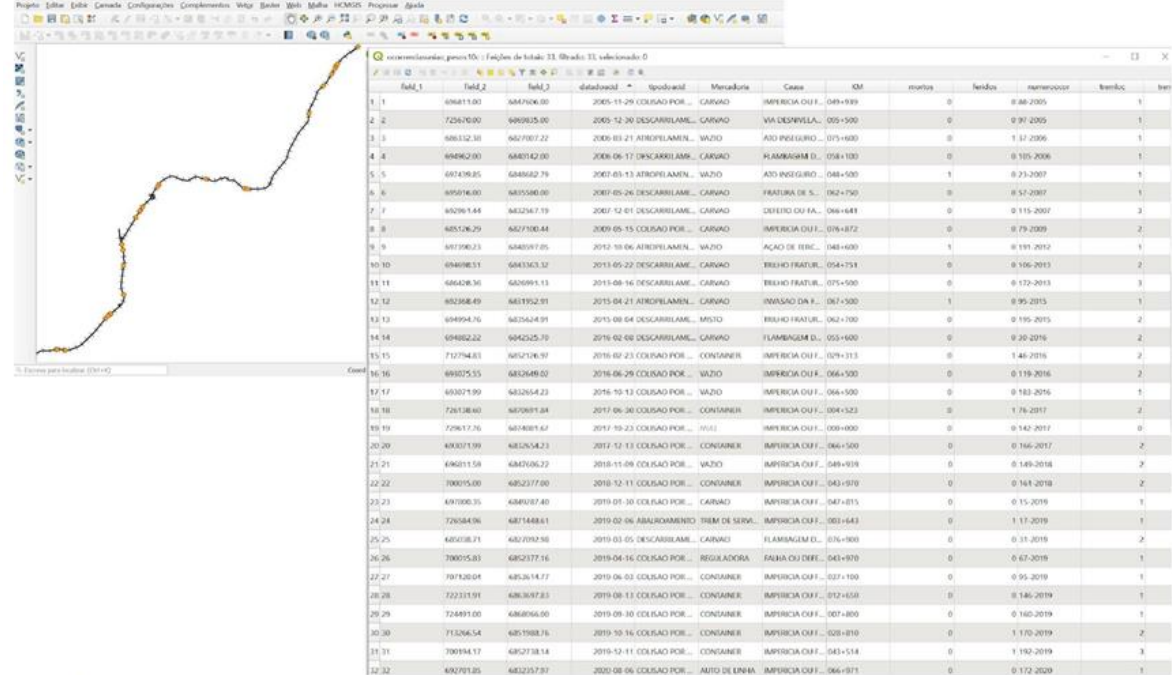
- Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar, escala 1:1000000; ANA, 2019;
- Arruamento compatível com escalas de 1:5000 a 1:25000; IBGE, 2019;
- APABF escala 1:50000, ICMBIO, 2020;
- Áreas urbanas dos municípios, disponibilizado pelas prefeituras de Capivari de Baixo, Imbituba, Jaguaruna, Laguna, Pescaria Brava*, Sangão, Tubarão;
- Hidrografia escala 1:1000000 ANA, 2013;
- CBERS 4A fusão RGB 432, INPE, 2020.

* A prefeitura de Pescaria Brava não forneceu o mapa da área urbana.

Os arquivos foram recortados a partir da área de estudo, ANEXO 4. Os arquivos oriundos do Software AutoCAD 2014, foram convertidos para o formato shapefile. Todos os arquivos foram convertidos para SIRGAS 2000/UTM 22S – EPSG31982.

A planilha das ocorrências ferroviárias disponibilizada pela FTC é das ocorrências entre os anos de 2005 a 2020, informadas a ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres, que estabelece procedimentos para comunicação de acidentes ferroviários. A partir da área de estudo realizou-se a seleção das ocorrências no trecho de Imbituba a Sangão, Km 00+000 até Km 84+130, cidades que compõem a RH9. Esta foi espacializada, como ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Espacialização da planilha ocorrências ferroviárias



Fonte: Autor, 2021

Na tabela de atributos da camada ocorrências ferroviárias podem-se observar as informações: data do acidente, **tipo de ocorrência**, **mercadoria transportada**, **causa do acidente**, KM, cidade, **mortos**, **feridos**, **quantas locomotivas trafegavam na composição**, quantos vagões tinham, locomotivas envolvidas no acidente e vagões envolvidos no acidente, tabela completa no ANEXO 1.

Sendo que os tipos de ocorrência destacados foram: descarrilamento, colisão por abalroamento, descarrilamento com tombamento, atropelamento **com vítimas (mortos e/ou feridos)**.

A Tabela de atributos permite a manipulação de dados, porém uma boa organização dos dados necessita ser feita para seu uso ser eficaz.

Inicialmente foram analisados os registros históricos de acidentes, compreendidos entre os anos de 2005 e 2020, após realizar a triagem dos dados, a partir da área de estudo, foram inseridos pontos considerados de interesse ambiental, pois ao longo do trecho havia locais com a passagem da ferrovia em pontes, lagoas, rios, APP e áreas de proteção ambiental, estas são áreas protegidas por lei e pontos de relevância ambiental, dispostos na tabela 4.

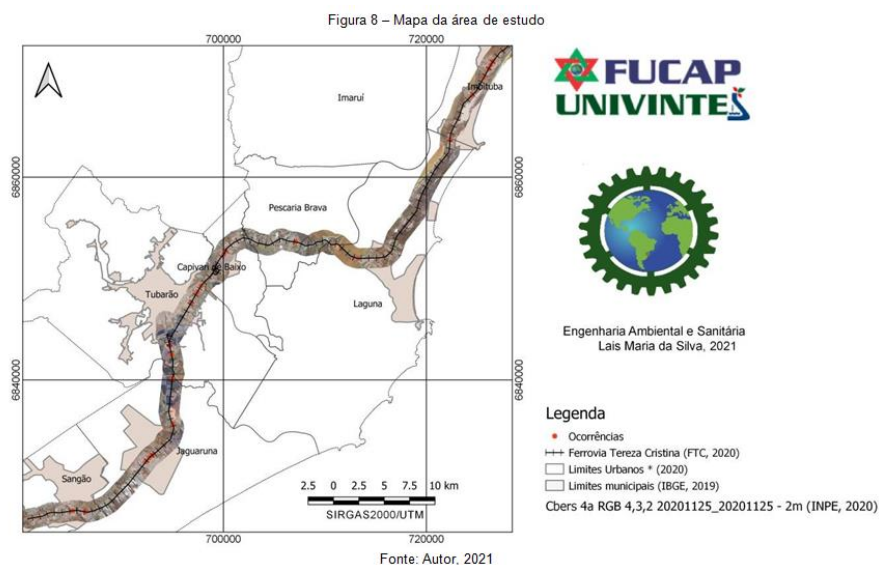
Tabela 4 – Pontos acrescentados na saída e campo

PARADA	COORD X	COORD Y	TIPO	KM	CIDADE
5	719185.00	6857220.00	Linha dentro da APA	020+000	LAGUNA
7	7111359.00	6853317.00	Lagoa Imaruí	031+200	LAGUNA
8	702081.43	6853985.92	Rio dos Pregos	041+200	CAPIVARI
10	699109.38	6850952.84	Cruzamento Secretaria obras	045+647	CAPIVARI
12	698285.84	6849818.30	Rio Tubarão - Ponte	047+040	TUBARAO

Fonte: Autor, 2021

Com isso, organizou-se a saída de campo, realizada em 18 de novembro, onde foi possível perceber os aspectos naturais e sociais e conhecer melhor parte da área de estudo em relação às áreas úmidas, vegetação, áreas de proteção e fluxo de veículos, mais informações no ANEXO 2.

Na figura 8 podem-se ver os pontos das ocorrências, a linha férrea, limites municipais, limites urbanos e o recorte da fusão CBERS 4A.



3.2 CRITÉRIOS E OPERAÇÕES

Baseados em entrevistas com os profissionais da FTC, dos dados históricos, dos cenários prováveis no caso da ocorrência de acidentes, e levando-se em conta a interação que a cada mercadoria poderá ter com o meio, foram atribuídos os pesos, Tabela 5.

Tabela 5 – Pesos Mercadorias

Mercadoria	Carvão	Contêiner	Misto	Vazio
Definição	Carvão Mineral	Revestimentos cerâmicos	Carvão mineral e contêiner de revestimentos cerâmicos	Sem carga
Peso	5	3	5	0

Fonte: Autor, 2021.

O carvão e os revestimentos cerâmicos no solo e na água, se não remediados rapidamente, poderão causar poluição. O carvão por sua vez possui metais pesados em sua estrutura, e pode alterar a composição do solo e corpos d'água, além de ser de difícil remediação quando em contato com a água, neste sentido recebeu o peso maior, 5.

Um dos problemas mais sérios é a presença de pirita e outros minerais sulfetados, que quando entram em contato com ar ou água produzem ácido sulfúrico, pois sofrem oxidação. A acidez aumenta a concentração de metais pesados do solo, que acelera o processo de dissolução do solo, criando a drenagem ácida da mina que contamina as águas superficiais. Com isso causa impactos ao meio ambiente, principalmente em corpos d'água, pois diminui o pH e aumenta a concentração de metais pesados, prejudicando organismos, animais e vegetais (Bitencourt, 2014).

Os derramamentos de carvão em pequenas quantidades estão ligados diretamente às atividades de carregamento e descarregamento, tornando-os ocorrências de mais fácil remediação uma vez que ocorrem próximas às caixas de embarque e da Usina Termelétrica Jorge Lacerda (UTJL), possibilitando uma rápida remoção do carvão sobre o solo.

Levando-se em conta a ocorrência com vítimas (mortos e/ou feridos) atribuíram-se os pesos, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Pesos vítimas

Vítimas	Mortos	Feridos	Mortos e feridos	Sem vítimas
Peso	5	3	5	0

Fonte: Autor, 2021

De acordo com a planilha no ANEXO 1, todos os acidentes com mortos ou feridos foram por imprudência de motoristas ou pedestres, uma vez que, de acordo com o código de trânsito brasileiro os veículos que deslocam sobre os trilhos têm preferência de passagem, porém alguns condutores e pedestres não conseguem perceber a chegada do trem, assim colidindo com o mesmo. Neste sentido, zelando pela segurança das pessoas foi atribuído peso maior em ocorrências com mortes.

Quando há um “acidente” próximo de corpos hídricos e da vegetação ciliar todo ecossistema pode ficar comprometido, ou ainda interferir no Sistema de Abastecimento público de água ou em outros usos, causando assim diversos impactos ambientais, como a contaminação da água e solo, impactos na fauna e vegetação, além de ocasionar danos à saúde e bem estar da população e economia de uma região (Longhitano, 2010). Podendo ocorrer também o derramamento do produto transportado, assim como o combustível, causando a morte de animais e transtornos para moradores.

Assim, quando a APP, a APABF e os cursos d’água são interceptados ou cruzados pela faixa de domínio serão adotados os pesos descritos na tabela 7.

Tabela 7 – Pesos hidrografia, APP e APABF

Feição	Peso
Cruza/intercepta hidrografia (rios, lagos, lagoas)	5
Cruza APP	4
Cruza APABF	4

Fonte: Autor, 2021.

Pela dificuldade de remediação em corpos d’água, do principal material transportado, estes receberam o peso máximo, 5, pois facilmente podem acarretar em contaminação de águas superficiais, afetando o abastecimento público, pois a retirada do material se torna mais difícil, uma vez que se mistura rapidamente. O cruzamento em APP e APABF recebeu peso 4 por serem áreas protegidas por lei que requerem maior cuidado.

Com base nas informações de hidrografia disponíveis, a APP foi estimada

utilizando a ferramenta *buffer*, ANEXO 3, gerados de acordo com o *art 4º do Código Florestal brasileiro lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012* (Quadro 1). Esta ferramenta cria polígonos e delimita uma área de acordo com a largura definida pelo usuário.

A ferrovia atravessa 7 municípios, muitas vezes interceptando o perímetro urbano e/ou ainda suas ruas principais e de maior fluxo de veículos. Assim, atribuíram-se os pesos descritos na tabela 8 e 9 abaixo:

Tabela 8 – Pesos Área Urbana

Urbano	Peso
Trecho da faixa de domínio em área urbana	5
Trecho da faixa de domínio fora da área urbana	3

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 9 – Pesos Arruamento

Arruamento (IBGE, 2019)	Peso
Arruamento e demais vias que cruzam a linha férrea	5
Arruamento e demais vias na faixa de domínio que não cruzam a linha férrea.	4

Fonte: Autor, 2021.

Na camada arruamento foi possível perceber que a maioria das ruas que cruzam a linha férrea está dentro da área urbana. A faixa de domínio em área urbana recebeu peso 5, assim como nas vias que cruzam a faixa de domínio, pois consistem em áreas de maior fluxo de pessoas e veículos com potencial risco de acidentes. Além disso, em algumas cidades há vias estaduais que cruzam a área urbana e ainda há a BR 101 ao longo da faixa de domínio.

3.3 CAMADAS E “SOBREPOSIÇÃO” A FAIXA DE DOMÍNIO DA FERROVIA

Utilizou-se a tabela Ocorrências Informadas a ANTT, ANEXO 1, especializada para atribuir os pesos dos campos “tipo de mercadoria” e “mortos e feridos”.

Aos campos “tipo de mercadoria” e “mortos e feridos” utilizou-se os pesos definidos nas tabela 5 e 6, respectivamente. Por meio da interpolação pelo método IDW, tendo como perímetro a faixa de domínio, gerou-se as camadas raster: interpolação mercadoria (6) e interpolação vítimas (7).

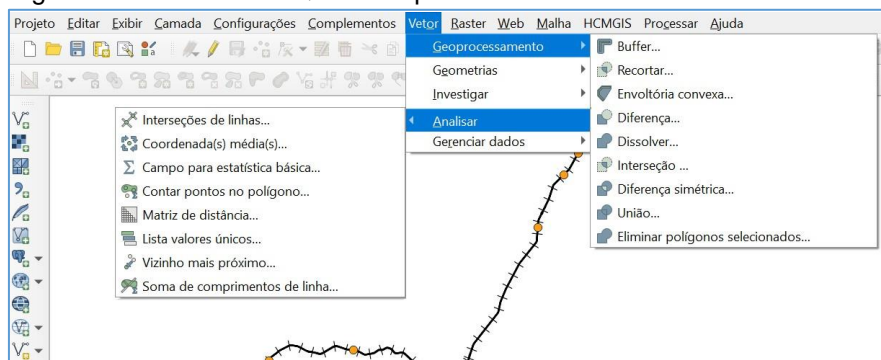
Verificou-se como se dá o cruzamento e/ou interceptação e/ou sobreposição

dos corpos hídricos (nascentes, córregos, rios e lagoas), APPs, APABF, perímetros municipais e áreas urbanas.com as camadas (6) e (7).

Considerando que a sobreposição ocorre quando uma camada está por cima da outra. Já o cruzamento quando a camada atravessa uma outra camada. E interceptação resulta nas partes onde há sobreposição de camadas.

Para tanto utilizou-se as ferramentas de Geoprocessamento e de Análise, existentes no menu do QGIS 3.10, conforme figura 9.

Figura 9 – Ferramentas QGIS Geoprocessamento e Análise



Fonte: Autor, 2021.

- Nascentes, hidrografia linha, hidrografia polígono, gerando a camada Corpos d'água (1);
- Buffer das APPs, conforme o código florestal, gerando a camada APP (2);
- Polígono de sobreposição da APABF com a faixa de domínio, gerando a camada APABF (3).

As camadas limite urbano e arruamento receberam os pesos conforme as tabelas 8 e 9, obtendo-se as camadas (4) área urbana e (5) arruamento.

Sendo assim, temos as camadas:

- (1) corpos d'água, (2) APP, (3) APABF,
- (4) área urbana, (5) arruamento,
- (6) Interpolação mercadorias e (7) Interpolação vítimas.

1) Corpos d'água + (2) APP + (3) APABF + (6) Interpolação mercadorias

As camadas foram convertidas em dados matriciais, ANEXO 5, permitindo executar operações a partir dos valores de pixel, na Calculadora Raster.

Para a obtenção do cenário "Ambiental" (17) realizou-se a soma (1) Corpos d'água + (2) APP + (3) APABF + (6) Interpolação mercadorias, este cenário leva em conta as consequências ao meio ambiente. Já para o cenário "Urbano" (18) efetuou-

se a operação de soma de (4) área urbana + (5) arruamento + (7) Interpolação vítimas, as ocorrências de colisão com veículos são mais comuns, este cenário indica uma alta probabilidade de acontecer.

Para a Análise Preliminar de risco realizou-se a soma dos cenários:
Ambiental (17) + Urbano (18).

Para melhor visualização dos trechos e rapidez no processamento as camadas (6), (7), (8) e (9) foram convertidas a dados vetoriais, ANEXO 6.

Utilizando a calculadora de campo, ferramenta que permite executar cálculos baseado em valores de atributos ou funções existentes definidas, aplicou-se a função condicional IF, para classificar o nível de risco em cada camada.

IF (condição, verdadeiro, falso)

- Camada Mercadorias, expressão 1:
if("DN" <=2, 'Baixo', if (("DN" =5), 'Alto', 'Médio')) (1)
- Camada Vítimas, expressão 2:
if("DN" <=2, 'Baixo', if (("DN" =3), 'Médio', 'Alto')) (2)
- Cenário Ambiental, expressão 3:
if("DN" <=9, 'Alto', if (("DN" >=13), 'Altíssimo', 'Muito Alto')) (3)
- Cenário Urbano, expressão 4:
if("DN" <=9, 'Alto', if (("DN" >12), 'Altíssimo', 'Muito Alto')) (4)
- Modelo Preliminar, expressão 5:
if("DN" <=15, 'Alto', if (("DN" >=17), 'Altíssimo', 'Muito Alto')) (5)

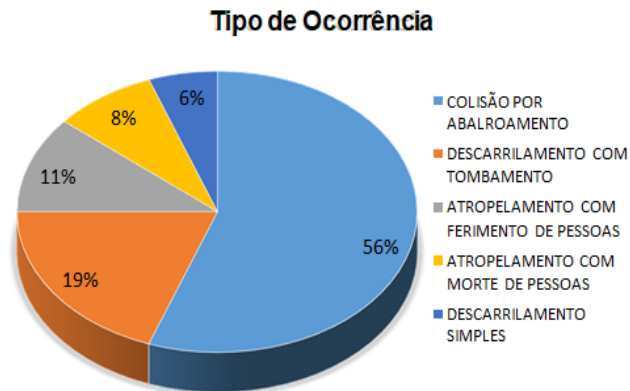
Os mapas por cidade, com as camadas: Mercadorias, Vítimas, Cenário Urbano e Cenário Ambiental, estão apresentados nas figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16. O mapa com a Análise Preliminar de Risco está no ANEXO 7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da tabela de ocorrências, ANEXO 1, foram elaborados os gráficos 1 e 2 que demonstram respectivamente as ocorrência de cada tipo de evento e as

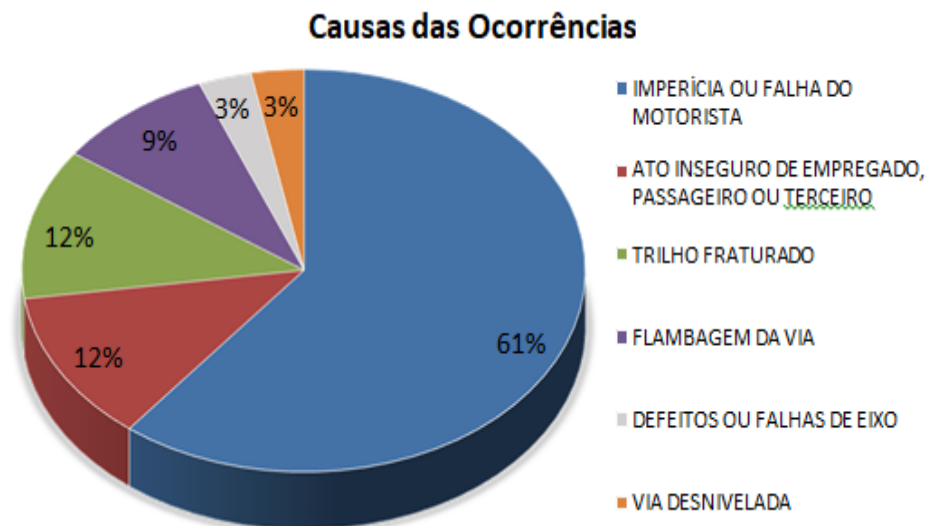
causas de cada evento em relação ao total no período.

Gráfico 1 – Tipos de ocorrências



Fonte: Autor, 2021.

Gráfico 2 – Causas das ocorrências



Fonte: Autor, 2021.

Analisando o disposto nos gráficos, a maioria dos acidentes tem sua causa por imperícia de motoristas causando colisão por abalroamento, visto que esse tipo de ocorrência acontece nas Passagens em nível (PN), onde há o cruzamento rodoviário com o ferroviário.

Os mapas apresentados nas figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 fornecem uma visão dos locais onde se tem riscos com relação às mercadorias transportadas, sobre os lugares de ocorrência com vítimas e também uma visão de onde há ruas e áreas de relevância ambiental que possam oferecer risco ao meio ambiente.

A água é um dos fatores importantes, uma vez que o dano será mais severo

pela difícil separação dos poluentes e a recuperação do corpo hídrico será muito mais complicada, pois se espalhará mais rápido, levando o poluente até mesmo ao lençol freático.

Com as observações de campo é possível comprovar locais onde fora percebido maior risco ambiental por encontrar-se próximo a lagoas, estradas, e alto tráfego de veículos.

Ocorreram alguns erros no cruzamento de camadas e classificação, como por exemplo, na via próximo ao Rio Tubarão. Quando analisada a Rua Doraci Rosa Osório foi classificada como uma PN, cruzamento da linha férrea com a rodovia, no entanto há uma elevação da linha férrea e a rua esta sob a linha.

Analisando o disposto nos gráficos, a maioria dos acidentes tem sua causa por imperícia de motoristas causando colisão por abalroamento, visto que esse tipo de ocorrência acontece nas Passagens em nível (PN), onde há o cruzamento rodoviário com o ferroviário.

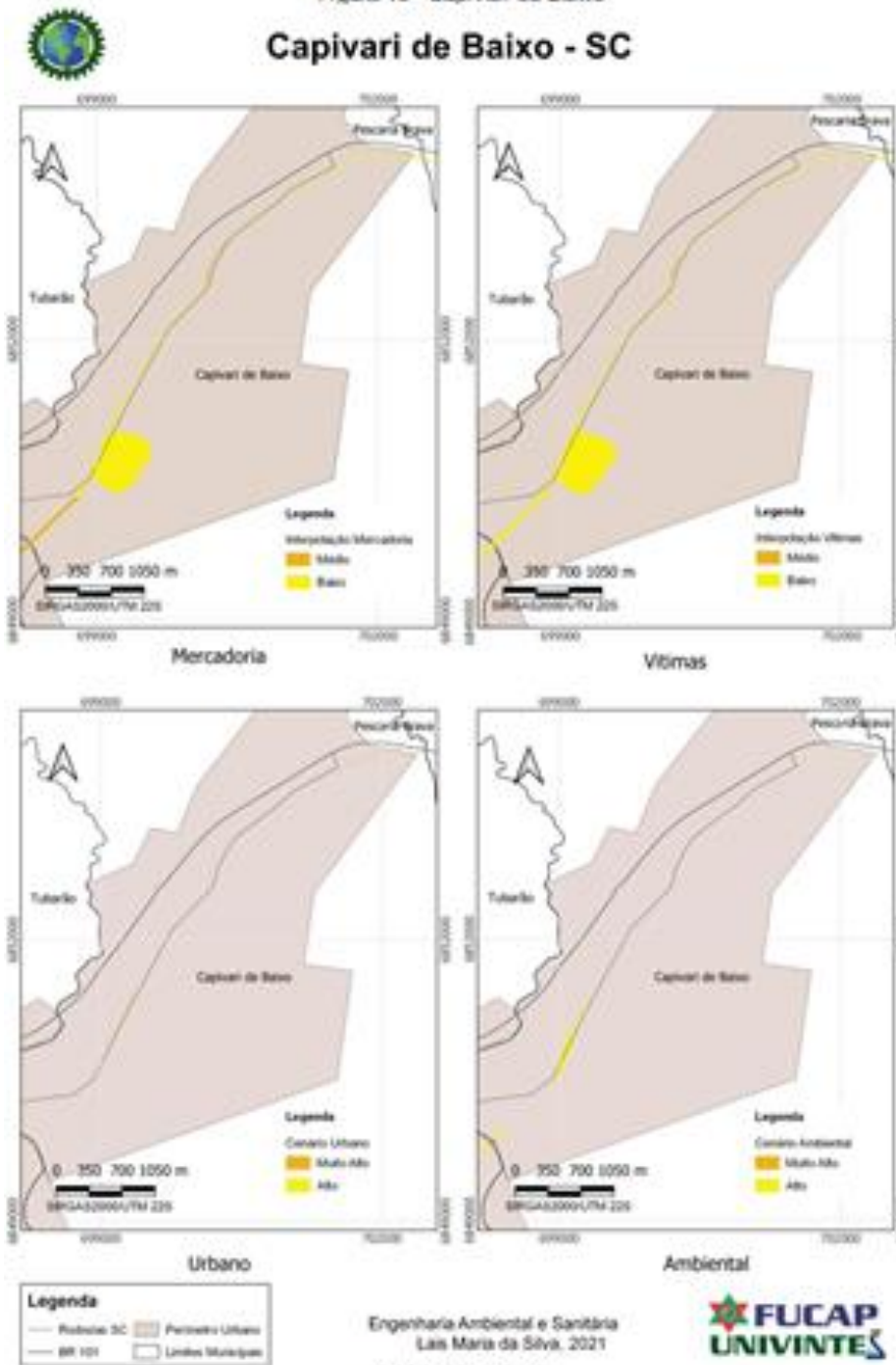
Os mapas apresentados nas figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 fornecem uma visão dos locais onde se tem riscos com relação às mercadorias transportadas, sobre os lugares de ocorrência com vítimas e também uma visão de onde há ruas e áreas de relevância ambiental que possam oferecer risco ao meio ambiente.

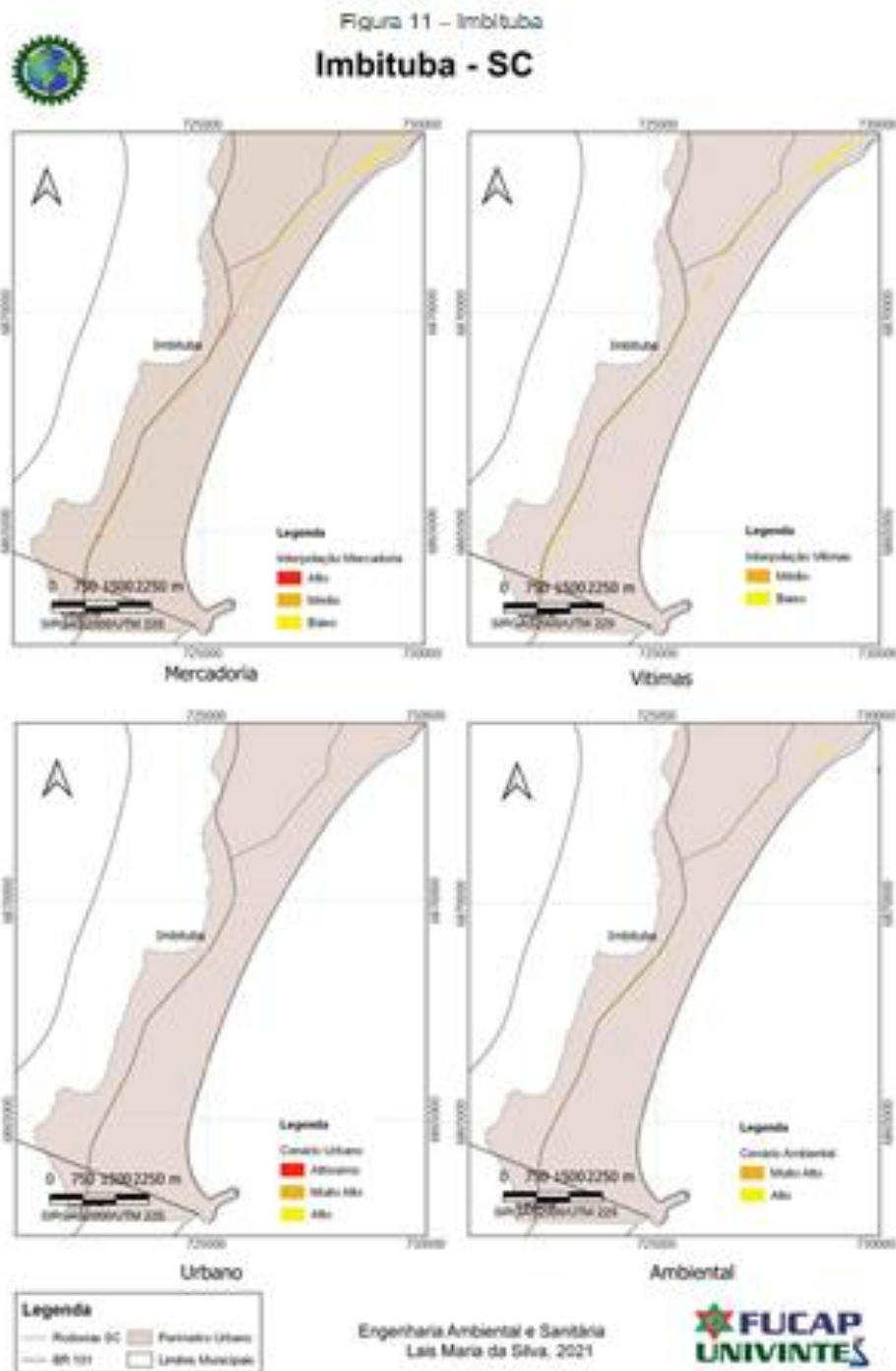
A água é um dos fatores importantes, uma vez que o dano será mais severo pela difícil separação dos poluentes e a recuperação do corpo hídrico será muito mais complicada, pois se espalhará mais rápido, levando o poluente até mesmo ao lençol freático.

Com as observações de campo é possível comprovar locais onde fora percebido maior risco ambiental por encontrar-se próximo a lagoas, estradas, e alto tráfego de veículos.

Ocorreram alguns erros no cruzamento de camadas e classificação, como por exemplo, na via próximo ao Rio Tubarão. Quando analisada a Rua Doraci Rosa Osório foi classificada como uma PN, cruzamento da linha férrea com a rodovia, no entanto há uma elevação da linha férrea e a rua esta sob a linha.

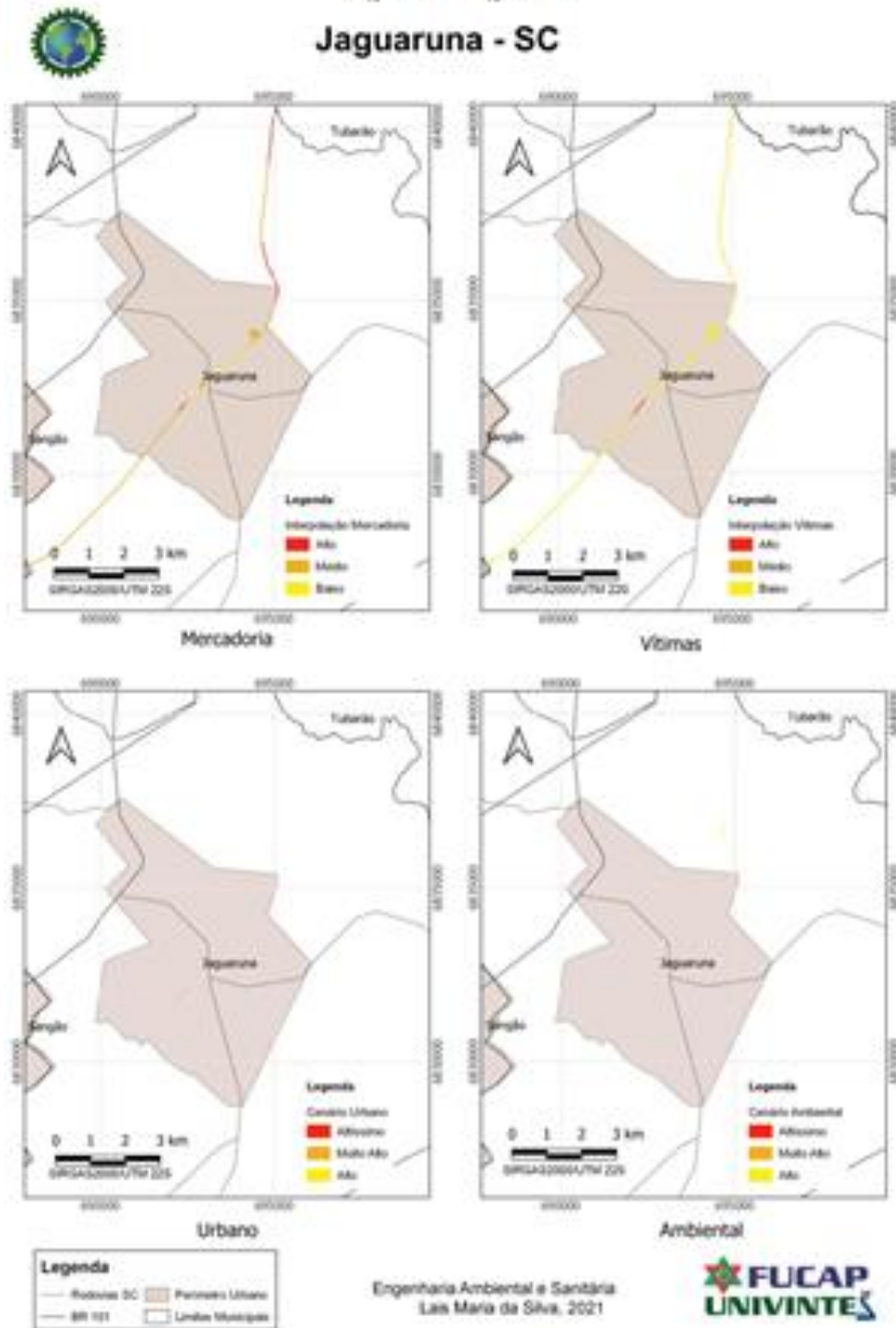
Figura 10- Capivari de Baixo





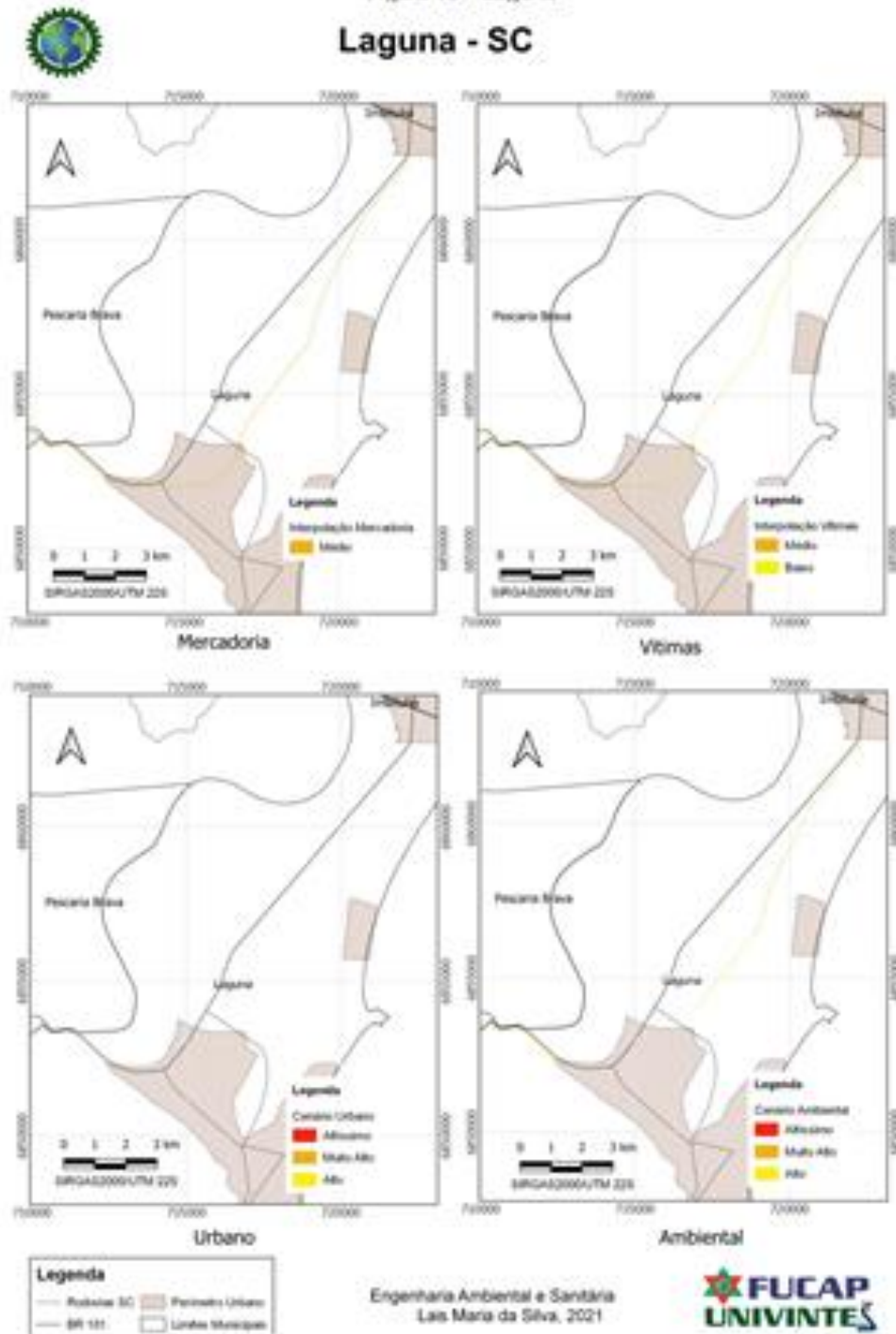
Fonte: Autor, 2021

Figura 12 – Jaguaruna



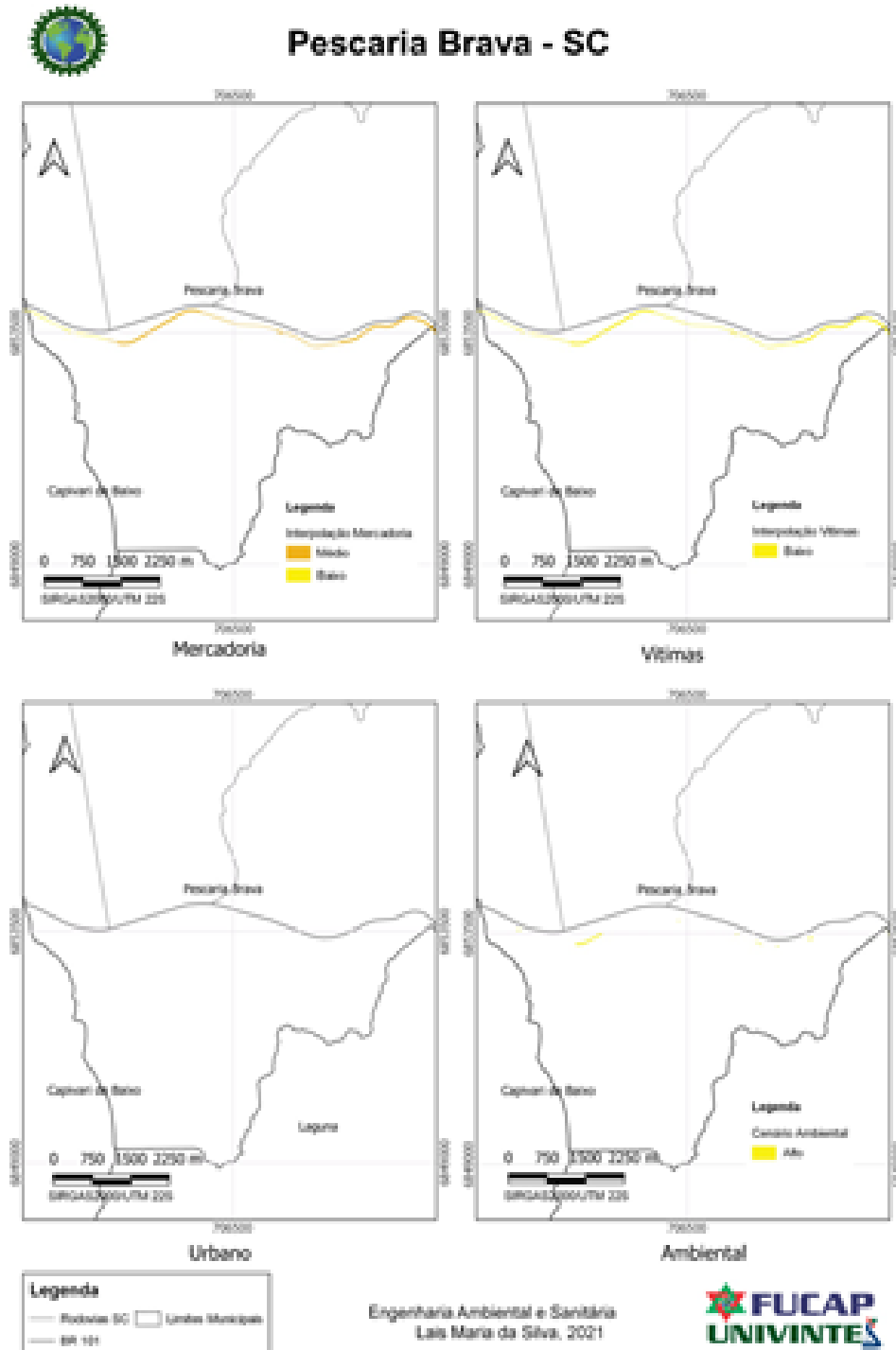
Fonte: Autor, 2021

Figura 13 – Laguna



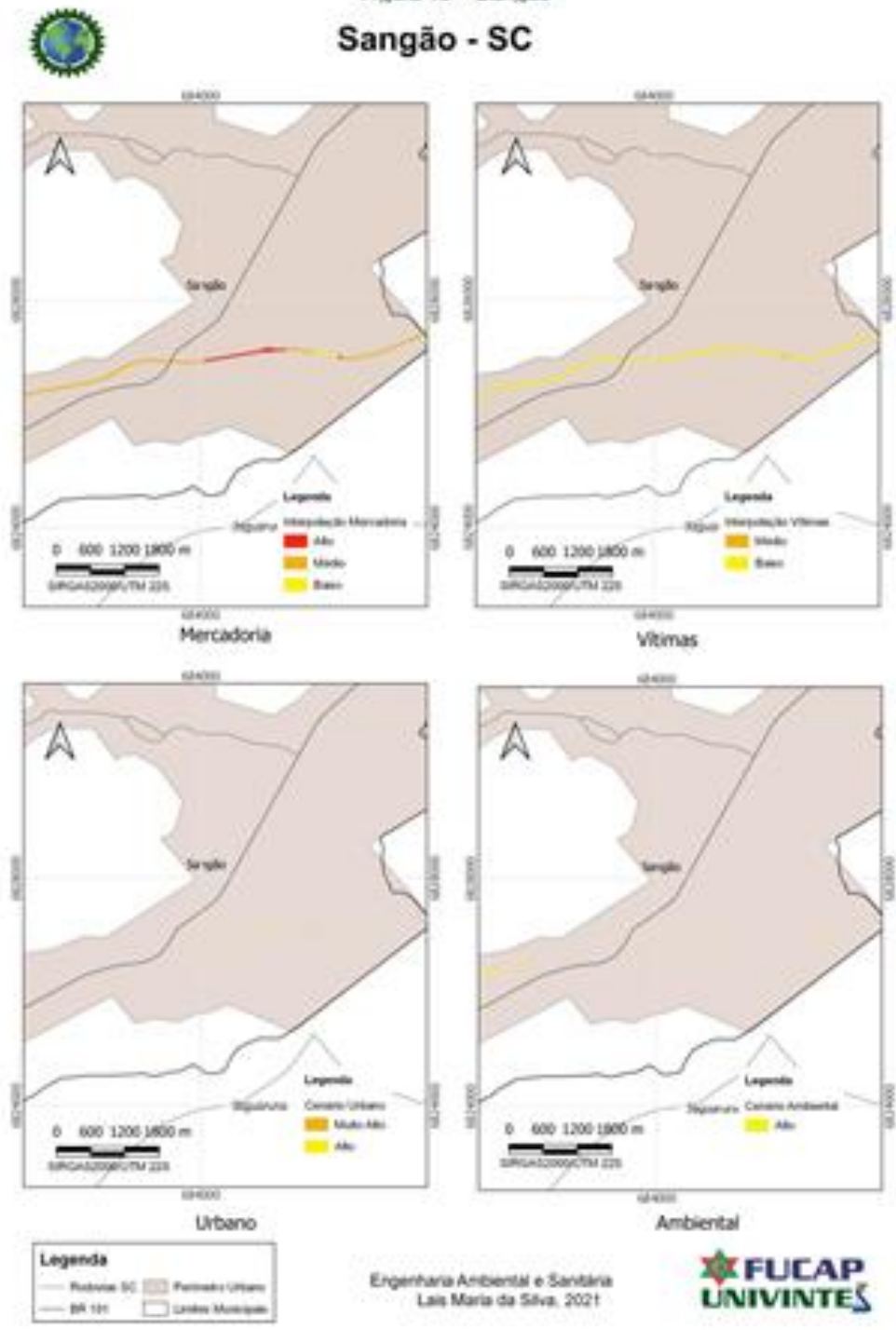
Fonte: Autor, 2021

Figura 14 – Pescaria Brava



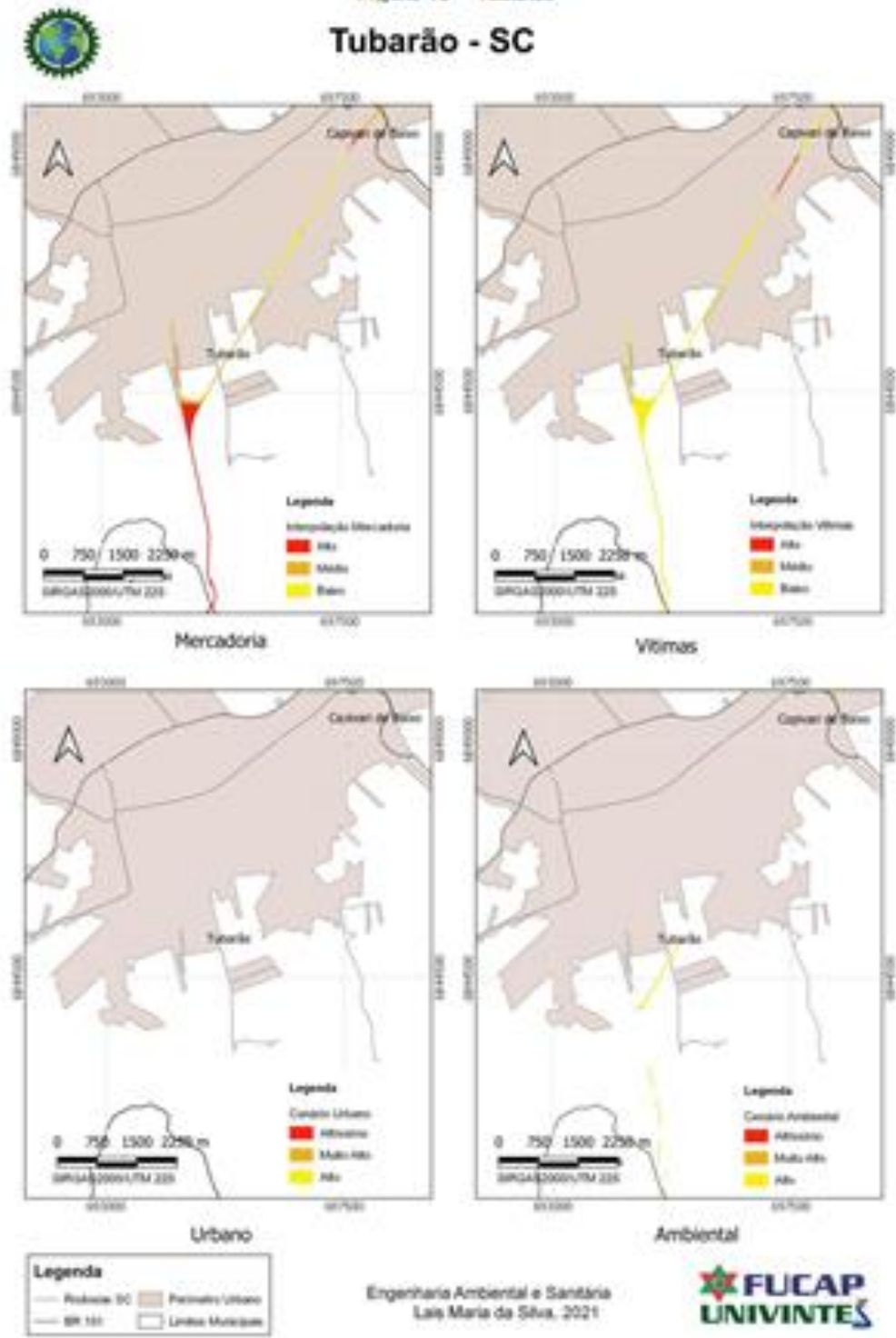
Fonte: Autor, 2021

Figura 15 – Sangão



Fonte: Autor, 2021

Figura 16 – Tubarão



Fonte: Autor, 2021

As informações obtidas quando a sobreposição e cruzamento com a faixa de domínio estão apresentadas resumidamente na tabela 10.

Tabela 10 – Informações obtidas

Camadas	Área (km²)	%
Faixa de domínio	2,99	100,00
Corpos d'água	0,0554154	1,85
APP	0,391402	13,09
APABF	0,292272	9,77
Limite urbano*	1,684	56,30
Ocorrências em área urbana	-	81,81

Fonte: Autor, 2021.

*sem Pescaria Brava

A faixa de domínio da ferrovia, na área de estudo, possui cerca de 3 km². Assim, temos que:

- 1,85% da Faixa de domínio sobrepõem corpos d'água;
- 13,09 % da Faixa de domínio estão em APPs;
- 9,77% da Faixa de domínio estão na APABF;
- 56,30 % Faixa de domínio está em área urbana;
- 81,81% das ocorrências foram em área urbana.

Alguns erros ocorreram devido a problemas na escala e vetorização.

4.1 ANÁLISES DOS PONTOS CRÍTICOS

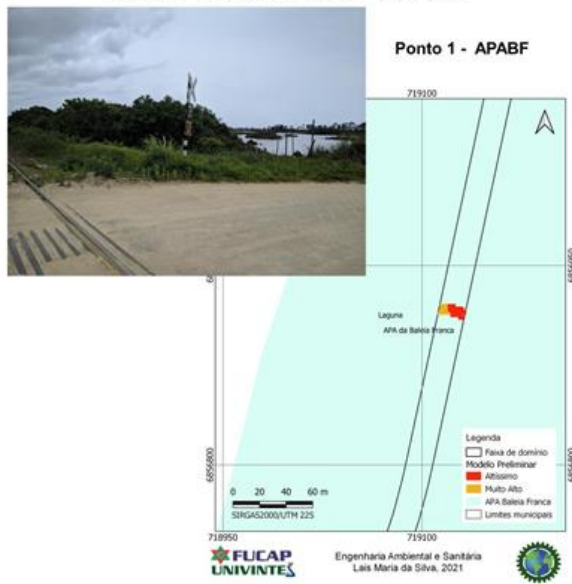
Através da análise foram selecionados alguns locais onde foram identificados risco ambiental e de acidentes e serão discutidos na tabela 11. Estes pontos são locais onde há maiores riscos ambientais, como nos locais onde a linha férrea passa por áreas de preservação, corpos d'água, que oferecem maiores consequências ao meio ambiente, além do cruzamento com vias rodoviárias na qual a maioria das ocorrências são registradas. Tendo identificado como pontos críticos as áreas 1, 2, 3, 4, descritos a seguir, e corroborados com as informações do campo.

Tabela 11 – Pontos críticos

Ponto	Descrição	Classificação	Análise
P1 – APABF	Faixa de domínio percorre alguns trechos da APA da Baleia Franca, em Laguna, figura 18 e na área urbana do município de Imbituba, figura 19.	Altíssima	Nas PNs, onde em uma delas já houve uma ocorrência.
		Muito Alta	Nas vias que ficam dentro da faixa de domínio, mas não cruzam a ferrovia
P2 – Lagoa do Imaruí e Santo Antônio	Linha férrea e a BR-101 cruzam as Lagoas paralelamente, entre km 30+000 e km 31+000, figura 20.	Altíssimo	Não há registro de ocorrências no local, porém o transporte de produtos cerâmicos e carvão pela ferrovia e a diversidade de produtos perigosos pelas rodovias próximas podem gerar um potencial risco na região.
P 3 – Área Urbana de Capivari de Baixo	Cruzamento da Avenida Nilton Augusto Sachetti e a Ferrovia, próximo a Usina Termelétrica Jorge Lacerda e a Secretaria Municipal de Obras, Viação, Trânsito e Meio Ambiente, figura 21.	Altíssimo	O local fica dentro da área urbana da cidade de Capivari e há tráfego intenso de veículos, inclusive caminhões.
P4 – Área úmida e urbana Imbituba	Situado na área urbana da cidade de Imbituba, próximo ao km 02+000, figura 22.	Muito alto	Local acrescentado durante a saída de campo, com presença de áreas úmidas no entorno da linha férrea, não há ocorrências registradas no local. Os fatores ambientais envolvidos são os recursos hídricos superficiais, tendo em vista que existem duas lagoas próximas (Lagoa da Bomba e Lagoa Paes Leme).

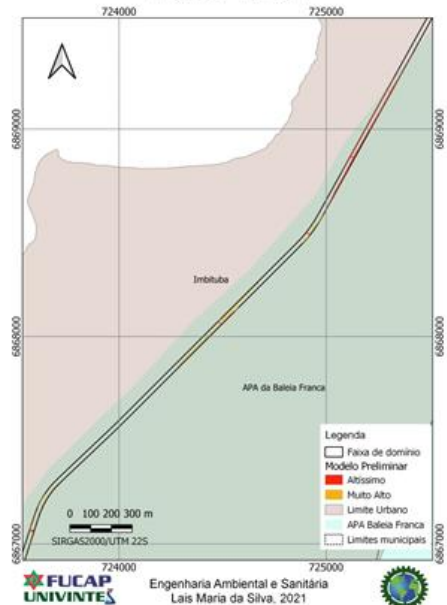
Fonte: Autor, 2021.

Figura 18 – PN dentro da APABF em Laguna



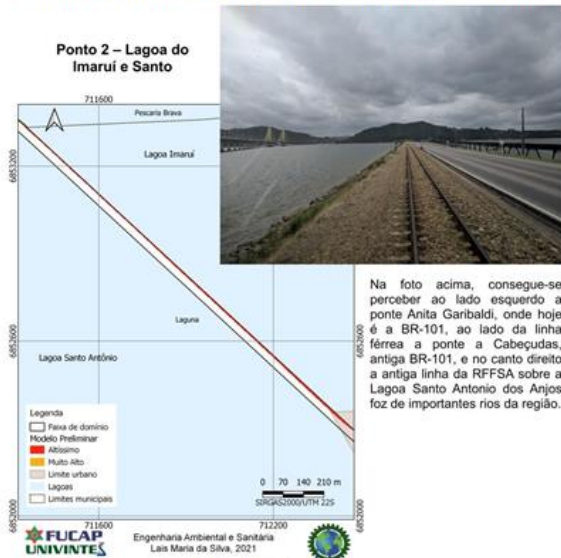
Fonte: Autor, 2021

Figura 19 – APABF na área urbana de Imbituba
Ponto 1 – APABF



Fonte: Autor, 2021

Figura 20 – Linha férrea sobre a lagoa do Imaruí e Santo Antônio



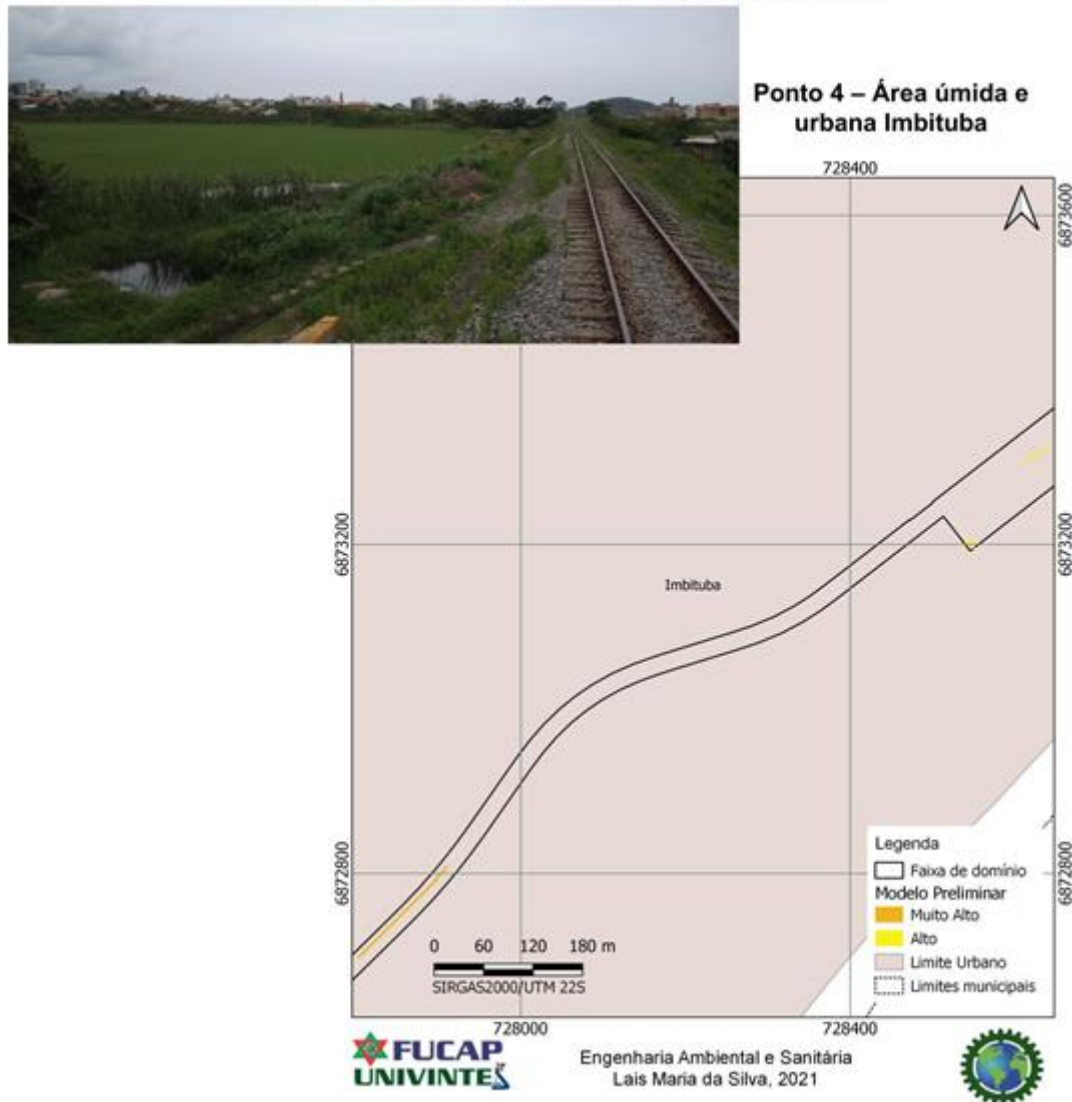
Fonte: Autor, 2021

Figura 21 – Cruzamento secretaria de obras em Capivari de Baixo



Fonte: Autor, 2021

Figura 22 – Áreas úmidas dentro da área urbana de Imbituba



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de técnicas do Geoprocessamento tem sido importantes para obter mapas temáticos para estudos em diferentes áreas, podendo ser utilizadas em ações de fiscalização.

Acredita-se que o software livre QGIS, é uma alternativa viável, pois não requer a aquisição de licenças e pagamento por atualizações para uso de ferramentas, além de ser um software de código aberto possibilitando o usuário entender como procede aos cálculos.

Os dados gratuitos de bases oficiais juntamente com softwares livres se

mostram capazes de subsidiar, a baixo custo às ações e tomadas de decisão de gestores públicos.

As Imagens de satélites CBERS 4A disponibilizadas gratuitamente pelo INPE e os dados obtidos de fontes oficiais foram primordiais e estão cada vez mais sendo usados em estudos ambientais.

Além disso, a saída de campo feita juntamente com o engenheiro da ferrovia, trouxe um olhar mais amplo para refletir os problemas enfrentados, localização de áreas com potencial risco, áreas úmidas e informações relevantes ao realizar a análise.

Sugere-se a empresa Ferrovia Teresa Cristina o encaminhamento aos Municípios dos dados vetoriais atualizados da faixa de domínio e da faixa não edificante, bem como a legislação pertinente acerca do tema, contribuindo com o ordenamento territorial das cidades, acrescentando-as ao plano diretor, a fim de facilitar o planejamento urbano e colaborando com a mitigação dos problemas.

Além disso, melhorias da sinalização, das vias e na área visível dos trilhos são fatores de minimização de acidentes. Outra forma de minimizar impactos é com o levantamento da população lindeira, assim fazendo a realização do diagnóstico da área de vulnerabilidade no entorno dos trilhos.

Utilizando-se as ferramentas de geoprocessamento, foi possível identificar áreas que possam trazer riscos ao meio ambiente ou ao entorno da ferrovia, porém novas análises devam ser realizadas levando-se em conta também outras características da faixa de domínio e de seu entorno como: a vegetação, o fluxo das águas subterrâneas e superficiais, geologia e geomorfologia da área.

O cenário atual da Pandemia de Covid-19, a inexistências de algumas informações regionalizadas, dificultaram a execução de alguns procedimentos, tornando-os menos automatizados e realizados com vários recortes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Catálogo de metadados**: Mapa das Bacias Hidrográficas. 2019. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=327&currTab=simple>. Acesso em: 12 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Catálogo de metadados**: Hidrografia. 2013. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.Search>

;jsessionid=20 8ADE39CA1A2BD0D5CBAFC7A683983C#/metadata/7bb15389-1016-4d5b-9480-5f1acdadd0f5. Acesso em: 15 out.2020.

ARAÚJO, Kássia K; PIMENTEL, Angélica K. A problemática do descarte irregular dos resíduos sólidos urbanos nos bairros Vergel do Lago e Jatiúca em Maceió, Alagoas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 626 – 668. Florianópolis, 2016.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

BRASIL. **Lei nº 13.913, de 25 de novembro de 2019**. Altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, para assegurar o direito de permanência de edificações na faixa não edificável contíguas às faixas de domínio público de rodovias e para possibilitar a redução da extensão dessa faixa não edificável por lei municipal ou distrital. Brasília, 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.

BITENCOURT, Dioni Glei Bonini. **Dinâmica de acidificação e de liberação de metais na solução do solo de perfis de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota, RS**. 2014. 114f. Tese - Programa de Pós - Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CAPIVARI DE BAIXO. **Mapa da área urbana do município**. 2020.

CASTRO, Jhon L. S. **Mata Ciliar: Importância e Funcionamento**. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS. Campo Grande, 2017.

CETESB, Companhia de tecnologia e saneamento ambiental. **Análise de Risco tecnológico**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/analise-risco-tecnologico/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

FILHO, Antônio Conceição *et al.* **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá: Uniedusul, 2021. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/01/GEOTECNOLOGIAS-PARA-APLICACOES-AMBIENTAIS.pdf> . Acesso em: 03 dez. 2020.

FERROVIA TEREZA CRISTINA. **Departamento de topografia**, 2020.

FERROVIA TEREZA CRISTINA. 2015. Disponível em: <http://www.ftc.com.br>. Acesso em: 10 out.2020.

FERROVIA TEREZA CRISTINA. **Excesso de lixo nas linhas férreas aumenta a proliferação de doenças e insetos**. 2019. Disponível em: <http://ftc.com.br/noticias/>

excesso-de-lixo-nas-linhas-ferreas-aumenta-a-proliferaçao-e-doencas-e-insetos. Acesso em: 5 dez. 2020.

GUIMARÃES, Bruno Bianchi; BRAGA, Roberto. **Áreas de Preservação Permanente Urbanas e as Inundações em São João da Boa Vista/Sp**: observações sobre a aplicação do Código Florestal Brasileiro no Córrego São João. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. I Congresso Nacional de Geografia Física. São Paulo, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/imbituba.html>. Acesso em: 20 jan 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Downloads**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 15 nov.2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução IBGE Nº 1/2005**, que altera a caracterização do referencial geodésico brasileiro, passando a ser o SIRGAS2000. Disponível em: Acesso em: 30 dez.2020.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca**. 2019. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/apabaleiafranca/>. Acesso em: 08 jan. 2021.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Mapa APA da Baleia Franca**. 2020. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2236-apa-da-baleia-franca>. Acesso em: 09 jan.2020.

IMBITUBA. **Mapa da área urbana do município**. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Câmeras Imageadoras CBERS 04A**. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>. Acesso em: 15 fev. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de Geração de Imagens**: Catálogo CBERS 4A. 2020. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 15 dez. 2020.

JAGUARUNA. **Mapa da área urbana do município**. 20---. LAGUNA. **Mapa da área urbana do município**. 20--.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto**: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Acesso em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-105505/pt-br.php>. Acesso em: 24 mar. 2021.

NAKATI, Raissa de Moraes, *et al.* **Geoprocessamento como Ferramenta de Análise de Possíveis Grandes Geradores de Resíduos Sólidos**. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ v. 41, n. 3, Rio de Janeiro, 2018.

OLIVEIRA, Lucas Martins. **Ferrovia-parque**: possibilidades para paisagens das cidades do Triângulo Mineiro. (Tese doutorado – Universidade de São Paulo) São Paulo, 2019.

RANGEL, Cleide A. **Estudo de Metodologias de Gestão de Impactos Socioambientais em Comunidades Junto à Linha Férrea**. (Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro) Rio de Janeiro, 2015.

SANGÃO. **Mapa da área urbana do município**. 2020.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. **Atlas geográfico de Santa Catarina**: diversidade da natureza – fascículo 2. Santa Catarina. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UDESC, 2016.

SCHARF, Francisco. **Transporte Ferroviário de cargas**: panorama e perspectivas para Ferrovia Tereza Cristina. Florianópolis, SC, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina**. Disponível em: <http://sigsc.sds.sc.gov.br/download/index.jsp>. Acesso em: 15 dez. 2020.

SILVA, Antônio S. Alves. **Ferramentas para modelagem e interpolação de dados ambientais em escala regional**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015. (Tese de doutorado). Disponível em: www.ppgbea.ufrpe.br/files/documentos/tese_antonio_samuel_alves_da_silva.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.

SILVA, Vanessa C., MACHADO, Patrícia de Sá. SIG na Análise Ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego mutuca, nova lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)** V. 31, No. 2, 2014.

TUBARÃO. **Mapa da área urbana do município**. 2019.

Z Aidan, Ricardo Tavares. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia**, v. 7, nº. 2, Juiz de Fora, 2017.

ZANETTE, Eduardo Netto. **Uma análise histórica da exploração do carvão mineral no sul de santa Catarina**: do desenvolvimento socioeconômico a recuperação ambiental. Seminário de Ciências Sociais Aplicadas, v. 6, n. 6, Criciúma, 2018.

ZUMBLICK, Valter. **Tereza Cristina**: a ferrovia do carvão. Florianópolis: Ed. UFSC, 1987.

ANEXOS

ANEXO 1 - TABELA OCORRÊNCIAS INFORMADAS A ANTT

IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA FERROVIÁRIA				TREM			VEÍCULOS ENVOLVIDOS		VÍTIMAS		CAUSA
REGISTRO	DATA	POS.KM	NATUREZA	LOC	VAGÕES	MERCADORIA	LOC	VAG	MORTOS	FERIDOS	
2--2005	29/11/2005 02:00	050+000	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	15	CARVÃO	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
3--2005	30/12/2005 09:05	005+500	DESCARRILAMENTO SIMPLES	1	19	CARVÃO	0	1	0	0	VIA DESNIVELADA ATO INSEGURO DE EMPREGADO, PASSAGEIRO OU TERCEIRO
2--2006	21/03/2006 19:20	075+600	ATROPELAMENTO COM FERIMENTO DE PESSOAS	1	18	VAZIO	1	0	0	1	FLAMBAGEM DA VIA ATO INSEGURO DE EMPREGADO, PASSAGEIRO OU TERCEIRO
3--2006	17/10/2006 12:05	058+100	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	1	18	CARVÃO	0	3	0	0	FRATURA DE SOLDANO TRILHO
1--2007	13/03/2007 23:15	048+500	ATROPELAMENTO COM MORTE DE PESSOAS	1	14	VAZIO	1	0	1	0	DEFEITOS OU FALHAS DE EIXO
2--2007	26/05/2007 02:30	062+750	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	1	19	CARVÃO	0	3	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
4--2007	01/12/2007 00:50	066+641	DESCARRILAMENTO SIMPLES	3	19	CARVÃO	0	3	0	0	ACÇÃO DE TERCEIROS
3--2009	15/05/2009 22:05	076+753	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	41	CARVÃO	2	0	0	0	TRILHO FRATURADO
1--2012	06/10/2012 11:55	048+600	ATROPELAMENTO COM MORTE DE PESSOAS	1	10	VAZIO	1	0	1	0	TRILHO FRATURADO
1--2013	22/05/2013 09:54	054+751	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	2	35	CARVÃO	2	5	0	0	TRILHO FRATURADO
2--2013	16/08/2013 08:25	075+500	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	3	54	CARVÃO	0	6	0	0	INVASÃO DA FAIXA DE SEGURANÇA
1--2015	21/04/2015 22:50	067+500	ATROPELAMENTO COM MORTE DE PESSOAS	1	18	CARVÃO	1	0	1	0	

IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA FERROVIÁRIA				TREM			VEÍCULOS ENVOLVIDOS		VÍTIMAS		CAUSA
REGISTRO	DATA	POS.KM	NATUREZA	LOC	VAGÕES	MERCADORIA	LOC	VAG	MORTOS	FERIDOS	
2--2015	04/08/2015 23:35	062+700	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	2	31	MISTO	0	5	0	0	TRILHO FRATURADO
1--2016	08/02/2016 14:30	055+600	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	2	19	CARVÃO	0	3	0	0	FLAMBAGEM DA VIA
2--2016	23/02/2016 11:35	029+313	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	19	CONTAINER	1	0	0	1	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
4--2016	29/06/2016 09:50	066+500	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	35	VAZIO	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
6--2016	13/10/2016 10:59	066+500	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	19	VAZIO	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
4--2017	30/06/2017 16:35	004+500	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	13	CONTAINER	1	0	0	1	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
8--2017	23/10/2017 08:32	000+000	COLISAO POR ABALROAMENTO	0	0		0	1	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
9--2017	13/12/2017 16:45	066+500	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	27	CONTAINER	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
8--2018	09/11/2018 20:20	049+939	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	40	VAZIO	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
9--2018	11/12/2018 14:50	043+900	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	37	CONTAINER	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
2--2019	30/01/2019 12:25	047+815	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	20	CARVÃO	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
3--2019	06/02/2019 11:15	003+500	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	3	TREM DE SERVIÇO	1	0	0	1	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
4--2019	05/03/2019 13:30	076+900	DESCARRILAMENTO COM TOMBAMENTO	2	40	CARVÃO	0	5	0	0	FLAMBAGEM DA VIA
7--2019	16/04/2019 15:50	043+970	COLISÃO POR ABALROAMENTO	1	0	REGULADORA	1	0	0	0	FALHA OU DEFEITO DE VEICULO RODOVIARIO
9--2019	03/06/2019 08:45	037+180	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	18	CONTAINER	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
11--2019	13/08/2019 06:45	012+650	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	21	CONTAINER	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
12--2019	30/09/2019	007+570	COLISÃO POR	1	25	CONTAINER	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO

IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA FERROVIÁRIA				TREM			VEÍCULOS ENVOLVIDOS		VÍTIMAS		CAUSA
REGISTRO	DATA	PQ, KM	NATUREZA	LOC	VAGÕES	MERCADORIA	LOC	VAG	MORTOS	FERIDOS	
	09:30		ABALROAMENTO								MOTORISTA
13--2019	16/10/2019 11:48	028+800	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	21	CONTAINER	1	0	0	1	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
15--2019	11/12/2019 14:45	043+557	COLISAO POR ABALROAMENTO	3	36	CONTAINER	1	0	0	1	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
4--2020	06/08/2020 11:45	066+971	COLISAO POR ABALROAMENTO	1	0	AUTO DE LINHA	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA
5--2020	03/10/2020 10:15	004+081	COLISAO POR ABALROAMENTO	2	30	CONTAINER	1	0	0	0	IMPERICIA OU FALHA DO MOTORISTA

Fonte: FTC, 2020

ANEXO 2 – Relatório de Campo

No dia 18 de novembro foi realizada saída a campo com intuito de obter informações e observar a linha e seu entorno, conhecendo-se melhor parte da área de estudo.

Pré-Campo

Definiu-se o trecho entre as cidades de Tubarão e Imbituba, pois seria o percurso mais viável: menor tempo, pequeno tráfego de locomotivas e movimentações na linha férrea naquele dia, sendo, portanto um percurso sem interrupções e menor custo. O material de campo utilizado:

- Mapa impresso em A3 com os locais de parada pré-estabelecidas
- Caderno com foto e características de cada parada
- GPS GarminEtrex 20

Sendo assim foi elaborada a tabela 1, os pontos de parada em campo.

Campo

A saída foi no pátio Henrique Lage, da FTC, em Oficinas, com o veículo Auto de Linha, figura 1, um veículo autopropulsionado, destinado ao transporte de passageiros, geralmente empregado em viagens de curtas distâncias. O Engenheiro Ambiental da FTC acompanhou e pode acrescentar algumas informações.

Pode-se entender como funciona a operação ferroviária e observar de perto o entorno da linha, além de coletar fotos e observações. Ao longo do percurso notaram-se, resíduos ao longo da linha, que além de causar mau cheiro e comprometer a drenagem pluvial, causam problemas como proliferação de insetos e roedores que podem transmitir doenças.

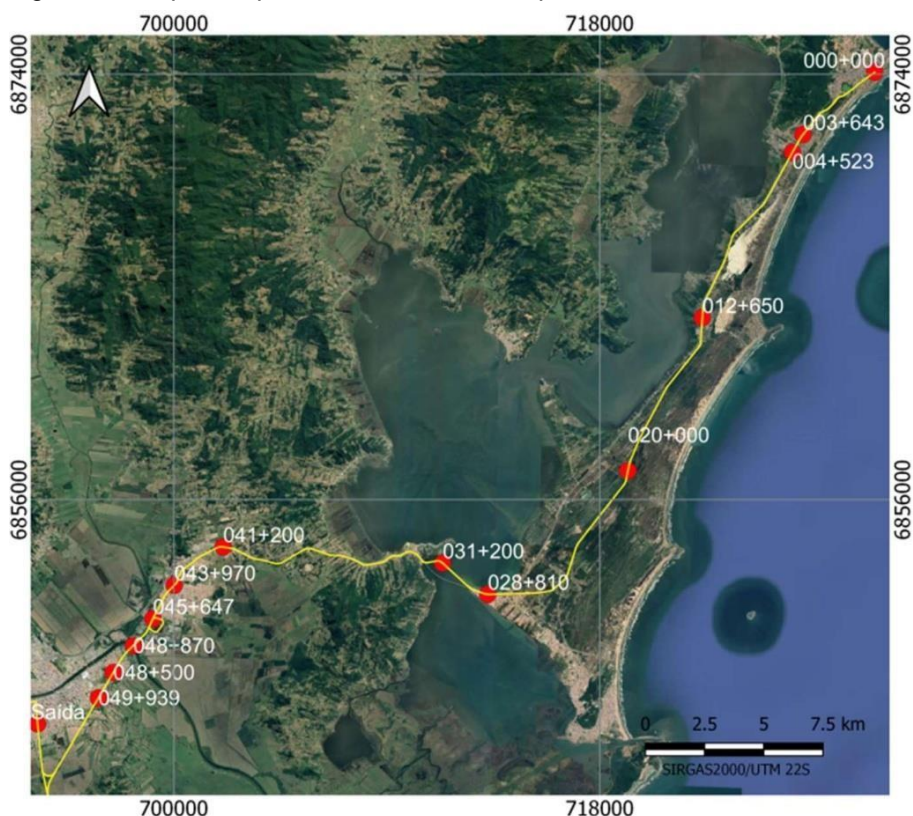
Os pontos de parada foram escolhidos de acordo com os pontos de ocorrências da FTC informados a ANTT, entre as cidades de Tubarão e Imbituba. Analisando o percurso se notou a existência de pontes e lagoas, sendo necessário acrescentar pontos de relevância ambiental, além das ocorrências.

Figura 1 – Veículo saída de campo



Fonte: Autor, 2021.

Figura 2 – Mapa dos pontos da saída de campo



Fonte: Google Earth, 2021.

Tabela 1– Pontos de parada em campo

PARADA	COORD X	COORD Y	CARACTERÍSTICA	KM	MORTOS	FERIDOS	NUM DA OCORRENCIA	DATA	CIDADE	ANOTAÇÕES EM CAMPO
1	729617.76	6874081.67	COLISAO POR ABALROAMENTO	000+000	Q	Q	142-2017	23/10/17	IMBITUBA	PROXIMO AO MAR, SAIDA DO PORTO DE IMBITUBA, AREA PLANA
2	726584.96	6871448.61	ABALROAMENTO	003+643	Q	1	17-2019	06/02/19	IMBITUBA	AREA URBANA E PLANA
3	726138.60	6870691.84	COLISAO POR ABALROAMENTO	004+523	Q	1	76-2017	30/06/17	IMBITUBA	AREA URBANA, POSSUI GRAMA NO ENTORNO
4	722331.91	6863697.83	COLISAO POR ABALROAMENTO	012+650	Q	Q	146-2019	13/08/19	LAGUNA	PROXIMO A SAIDA DA BR
5	719185.00	6857220.00	LINHA DENTRO DA APA	020+000					LAGUNA	LAGOA, ESTRADA, DA PRAIA DO SOL, POSSUI VEGETAÇÃO NO ENTORNO, APA DA BALEIA FRANCA
6	713266.54	6851988.76	COLISAO POR ABALROAMENTO	028+810	Q	1	170-2019	16/10/19	LAGUNA	SAIDA DA BR, AREA URBANA E PLANA
7	7111359.00	6853317.00	LAGOA IMARUÍ	031+200					LAGUNA	PONTE DA LAGUNA, LAGOA DO IMARUÍ
8	702081.43	6853985.92	PONTILHÃO	041+200					CAPIVARI	
9	700015.83	6852377.16	COLISAO POR ABALROAMENTO	043+970	Q	Q	67-2019	16/04/19	CAPIVARI	AREA URBANA, RUA MOVIMENTADA
10	699109.38	6850952.84	CRUZAMENTO SECRETARIA OBRAS CAPIVARI	045+647					CAPIVARI	AREA MUITO MOVIMENTADA EM 2 SENTIDOS, PROXIMO A ENGIE
11	697439.85	6848682.79	ATROPELAMENTO COM MORTE DE PESSOAS	048+500	1	Q	23-2007	13/03/07	TUBARAO	AREA DE VULNERABILIDADE SOCIAL
12	698285.84	6849818.30	PONTE RIO TUBARÃO	048+870					TUBARAO	PONTE SOBRE O RIO TUBARAO, DORMENTE CONCRETO
13	696811.00	6847606.00	COLISAO POR ABALROAMENTO	049+939	Q	Q	88-2005	29/11/05	TUBARAO	AREA URBANA, INCIDENCIA DE RESIDUOS

Fonte: Autor, 2021.

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

Foto 1 - Km 00+000 – Ponta de Imituba



Foto 4 – Km 12+943



Foto 2 – Km 003+643



Foto 5 – Km 020+000 – Faixa de domínio dentro da APA



Foto 3 – Km 004+523



Foto 6 – Km 020+000 – Faixa de domínio dentro da APA



Foto 7 – Km 28+810 – Saída da BR 101



Foto 10 – Km 41+200 – Rio das Pregas



Foto 8 – Km 31+200 – Ponte Laguna



Foto 11 – Km 43+515



Foto 9 – Km 31+200 – Ponte Cabeçudas, lagoas de Imarui e Santa Antônio



Foto 12 – Km 43+970



Foto 13 – Km 45+871



Foto 14 – Km 47+870



Foto 15 – Km 48+870 – Ponte sobre o Rio Tubarão



Foto 16 – Km 48+870 – Ponte sobre o Rio Tubarão



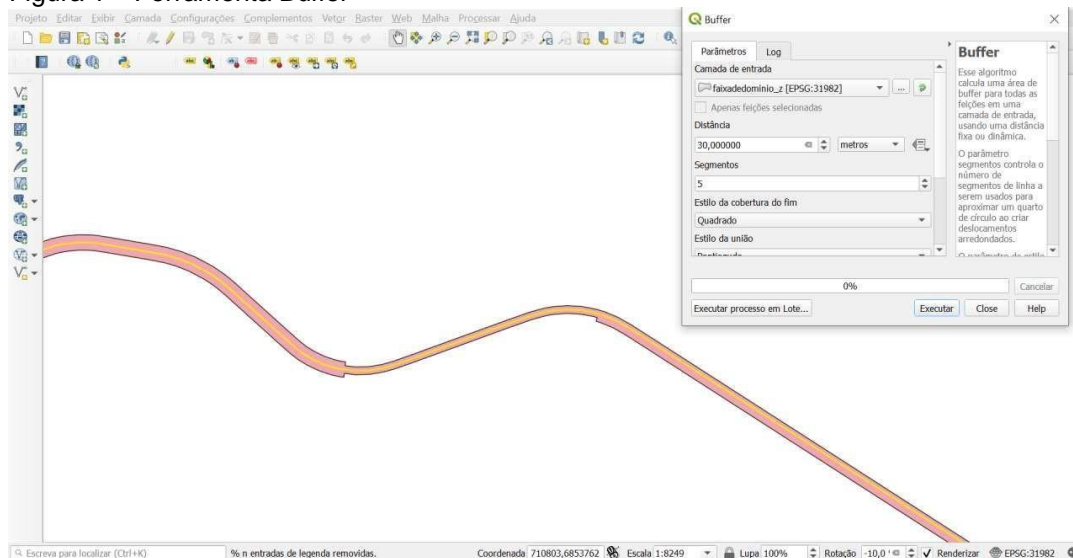
Foto 17 – Km 49+939 – Próximo ao pátio CCO



ANEXO 3 – TUTORIAL PARA A OPERAÇÃO *BUFFER* NO QGIS

No menu Vetor, vá em Geoprocessamento e selecione *Buffer*, abrirá uma nova janela, como na figura 1, nela será preciso colocar qual a camada que será criado o *buffer*, a distância, o segmento, o estilo da cobertura, que pode ser arredondado, plano ou quadrado, o estilo da união, sendo arredondado, pontiagudo ou chanfrado. Após escolher as opções clique em executar para fazer a operação.

Figura 1 – Ferramenta Buffer



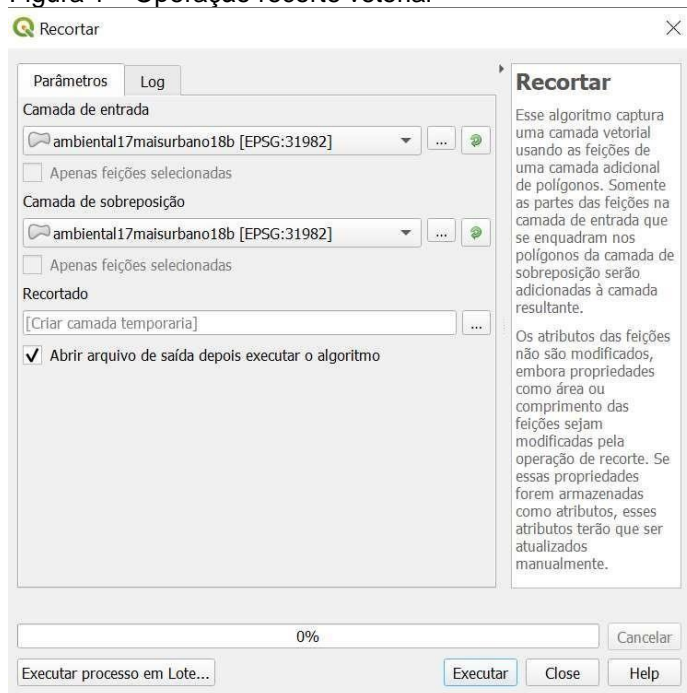
Fonte: Autor, 2021

ANEXO 4 – TUTORIAL OPERAÇÃO RECORTE VETOR NO QGIS

Para realizar o recorte do vetor, basta selecionar o local desejado através da tabela de atributos e no menu camadas, clicando com o botão esquerdo do mouse vá em exportar e clique em exportar somente feições selecionadas, escolhendo o nome e local do arquivo.

No entanto se o intuito for recortar usando uma camada de polígonos, use o caminho menu Vetor> Geoprocessamento> Recortar, escolhendo a camada de entrada e a de sobreposição, como mostra a figura 1, salve o arquivo. Esta operação lhe dará as feições que se enquadram no polígono escolhido como entrada no resultado.

Figura 1 – Operação recorte vetorial

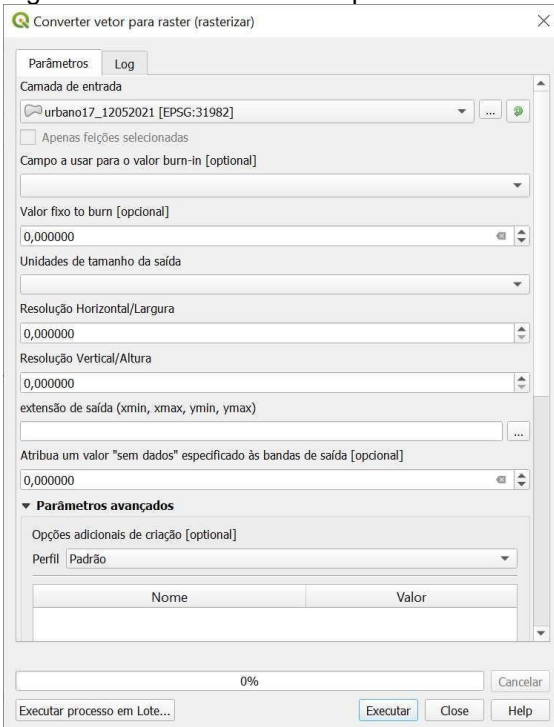


Fonte: Autor, 2021.

ANEXO 5 – TUTORIAL CONVERTER VETOR EM RASTER NO QGIS

Esta operação permite converter um arquivo vetorial em um arquivo raster (pixel), para isto utilizou-se o caminho, raster> converter> converter vetor para raster (rasterizar). Após abrir uma nova janela, como a figura 1, coloque o valor fixo, a resolução, que representa o tamanho do pixel, a extensão de saída e executado para converter.

Figura 1 – Conversão e vetor para raster

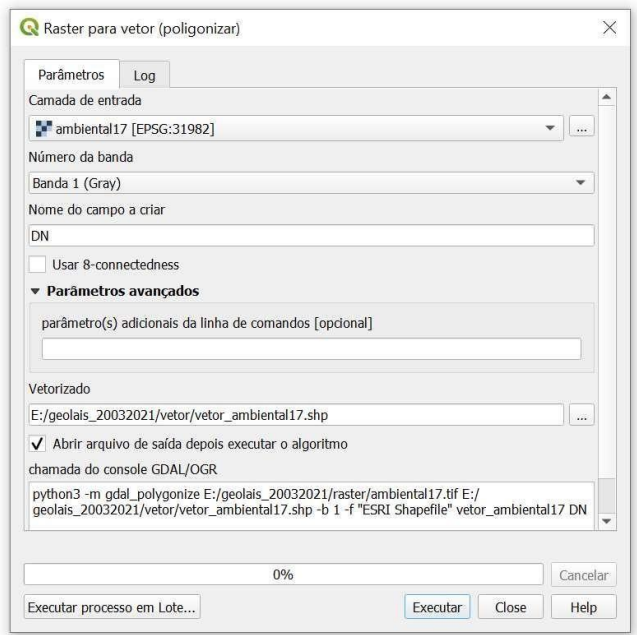


Fonte: Autor, 2021.

ANEXO 6 – TUTORIAL CONVERTER RASTER EM VETOR NO QGIS

Para converter um arquivo matricial em vetorial basta seguir o caminho raster> Converter> Raster para vetor (poligonizar). Com isso será aberta uma nova janela, figura 1, nela basta selecionar a camada de entrada, definir o nome do campo a ser criado, salvar a camada que será criada e executar.

Figura 1 - Poligonizar

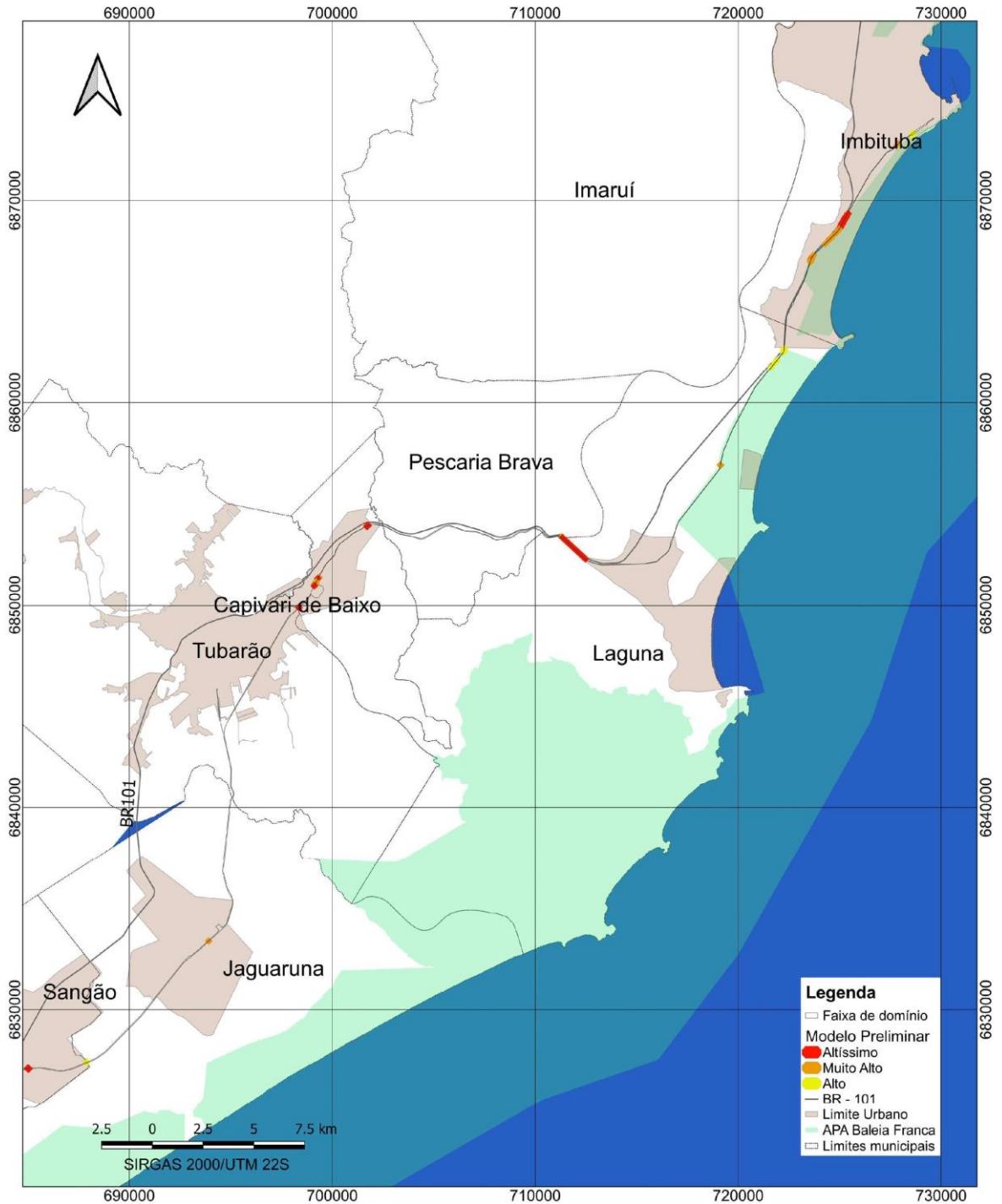


Fonte: Autor, 2021.

ANEXO 7 – MODELO PRELIMINAR DE RISCO



Modelo Preliminar de Risco



DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS NO RIO TUBARÃO POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

*Leander Silva Souza*¹

*Arnaldo Granja Russo*²

Resumo: Em estudos e projetos voltados para a área de recuperação ambiental e restauração de ambientes aquáticos, é de suma importância para compreender a dinâmica dos sedimentos nos corpos hídricos para identificação de possíveis focos de contaminação e ameaças aos sistemas aquáticos e estuarinos. Grande parte desse problema ambiental é causado pela exploração industrial ao longo do rio Tubarão e seus afluentes. A exploração do carvão, usado como combustível fóssil, efluentes urbanos e industriais, fertilizantes e depósitos de rejeitos são as principais fontes antrópicas de contaminação. O estudo de mais mecanismos que possam identificar esses materiais se faz de extrema importância, uma vez que grande parte da bacia do rio Tubarão e complexo Lagunar estão sujeitos a essa contaminação. Esse trabalho teve como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Tubarão, que encontra-se carente de estudos sobre a relação dos sedimentos e a deposição de metais pesados provenientes das atividades industriais na região como a queima do carvão mineral na geração de energia entre outras atividades. O foco desse trabalho está em simplificar o acesso à obtenção de dados sobre os metais pesados e sua disposição no corpo hídrico resultante de todo o processo da cadeia industrial, de modo a manter o equilíbrio entre os meios. O método de análise através da fluorescência de Raio X possibilita detectar fontes desse tipo de contaminação através da análise dos sedimentos coletados de um determinado local. Para o acondicionamento do sedimento no equipamento de fluorescência de Raio X foram utilizadas pastilhas confeccionadas em parafina a fim de facilitar o encapsulamento do sedimento uma vez que, a composição da parafina não interfere na leitura dos dados pelo equipamento de fluorescência e a amostra pode armazenada e reutilizada. Os resultados obtidos foram comparados com legislações vigentes a fim de discutir a viabilidade dos procedimentos e a real existência desses contaminantes na área de estudo proposta.

Palavra-chave: Metais Pesados. Sedimentos. Análise.

1 INTRODUÇÃO

O atual cenário da sociedade mundial tornou os recursos hídricos indispensáveis para diversas atividades exercidas pelos seres humanos.

O crescimento da população mundial neste século, acompanhado de um considerável aumento dos parques industriais, trouxeram vários problemas para o

¹ Leander Silva Souza – Acadêmico Do Curso De Engenharia Ambiental E Sanitária.

² Arnaldo Granja Russo – Professor Orientador.

meio ambiente, especialmente nos ambientes aquáticos (Tang *et al.*, 2019; Xiong *et al.*, 2019) e conseqüentemente dos sedimentos de fundo por resíduos orgânicos e inorgânicos produzidos pela antropia.

Resíduos contendo espécies metálicas em corpos d'água, mesmo que em pequenas concentrações, geram vários problemas ambientais nas características da água e sedimentos. Os metais exercem efeitos diretos na cadeia alimentar, podendo reduzir a capacidade de auto recuperação do ambiente devido à ação tóxica sobre microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica presente na água, causando a deterioração da sua qualidade.

A contaminação por metais pesados não pode ser baseada somente nos teores encontrados na água, pois sedimentos contaminados podem funcionar como uma fonte de poluição ambiental que pode durar muito tempo. A metodologia da *EDXRF* com equipamento portátil, por exemplo, permite mapeamento e uma classificação de regiões contaminadas em um curto espaço de tempo se comparado as técnicas clássicas, pois uma grande quantidade de dados semiquantitativos pode ser gerada no local.

No Brasil, há pouca literatura científica em relação à pesquisa de âmbito ambiental sobre sedimentos (Margalef, 1983). A geração de energia e os cultivos agrícolas são atividades que por sua intensidade e persistência na região chamam a atenção para a quantidade de sedimentos depositados ao longo do rio Tubarão em suas cadeias de produção.

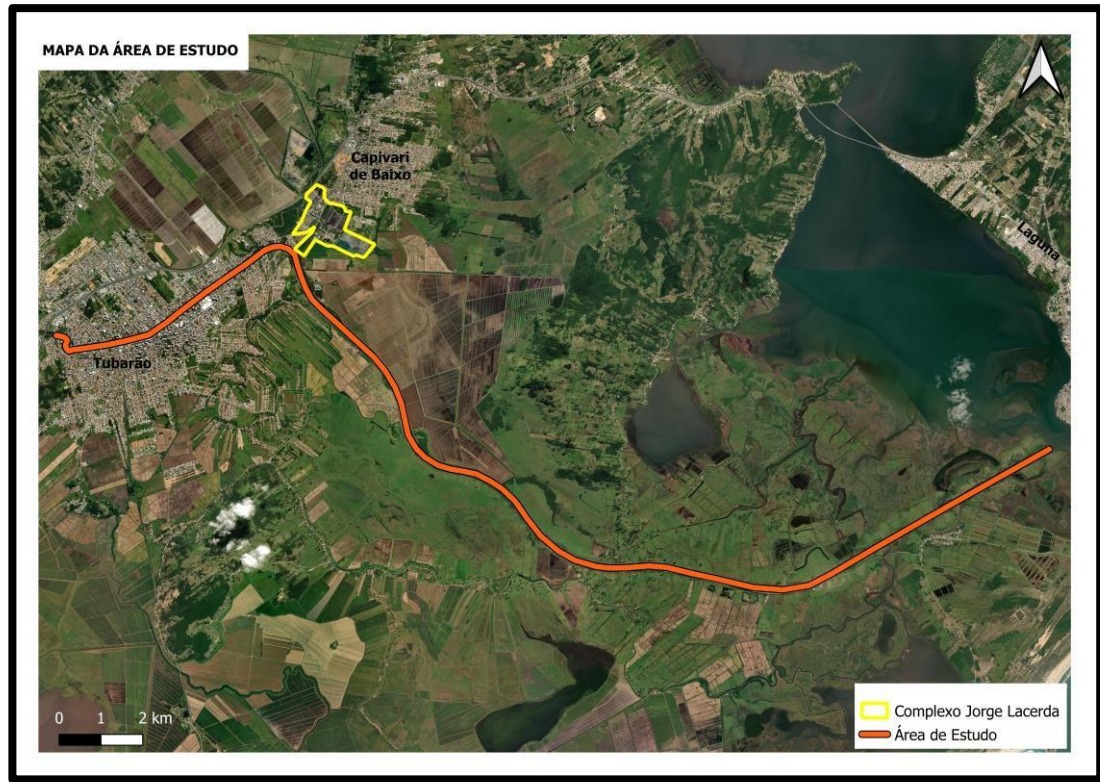
Esses sedimentos podem ser de natureza orgânica e não orgânica e interagir com o meio por interações físicas e químicas. Várias Técnicas vêm sendo estudadas e aplicadas em análises de sedimentos em diferentes cenários ambientais. Neste trabalho, serão apresentados resultados de análises feitas em onze pontos do rio Tubarão com o intuito de aprimorar técnicas e obter informações sobre os sedimentos e se há metais pesados contidos nas amostras.

Na região sul de Santa Catarina a extração do carvão mineral que é usada em sua grande parte na geração de energia através da sua queima no complexo termelétrico Jorge Lacerda localizado no município de Capivari de Baixo além do lançamento de gases o lançamento de efluentes nas sub-bacias dos rios Tubarão e Capivari, em sua maioria são fontes certas de contaminantes para o sistema hídrico superficial e subterrâneo através do deslocamento dos sedimentos ao longo desses corpos hídricos. Dentre os poluentes, um dos menos estudados, com poucas

pesquisas e literatura disponível, são os metais pesados provenientes das atividades industriais de toda a região do estudo (figura 1).

Embora tenham surgido vários métodos para quantificar esses resíduos, essas análises ainda não são de fácil acesso e possuem um custo elevado.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autor (imagem ESRI).

Nesse trabalho serão apresentados resultados da detecção de metais pesados presentes em amostras de sedimento coletadas em onze pontos da cidade de Tubarão, Santa Catarina, através da técnica de *EDXRF*, utilizando o equipamento de Fluorescência de Raio X de Energia Dispersiva.

Os instrumentos da fluorescência de Raio X podem produzir análises quantitativas de materiais complexos com muita precisão que pode exceder alguns dos métodos clássicos (L. Bonizzoni, S. Caglio, 2010). Para uma precisão adequada das análises feitas com fluorescência, será necessário a disponibilidade de padrões de calibração, ou métodos matemáticos para lidar com efeitos além dos elementos analisados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Estudos relacionados à toxicidade causada por metais pesados em ambientes aquáticos vêm sendo realizados em todo o mundo em uma escala cada vez maior. Os impactos causados por este tipo de contaminação têm aumentado a demanda em busca de dados a respeito desse tipo de contaminação e suas consequências, fazendo com que diversas técnicas sejam consideradas comprovadas para essa determinação. Na região sul catarinense, mais precisamente na bacia do rio Tubarão e complexo Lagunar, não tem sido diferente. A geração de energia, cultivos agrícolas e a industrialização da região tem chamado atenção para a qualidade da água e o lançamento de efluentes contendo metais pesados no rio Tubarão e complexo Lagunar (Bortoluzzi, 2003).

A técnica de Fluorescência de Raio X com Dispersão de Energia (*EDXRF*) vem sendo muito utilizada para a identificação de metais pesados em diferentes cenários ambientais (Yeung *et al.*, 2003).

Esse trabalho apresenta resultados sobre a presença de metais pesados no corpo hídrico feitas mediante amostras coletadas em onze pontos do rio Tubarão com o intuito de aprimorar técnicas e obter informações sobre a qualidade da água e sobre a existência de metais pesados contidos nos sedimentos ao longo da área estudada (figura 1).

2.1 ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

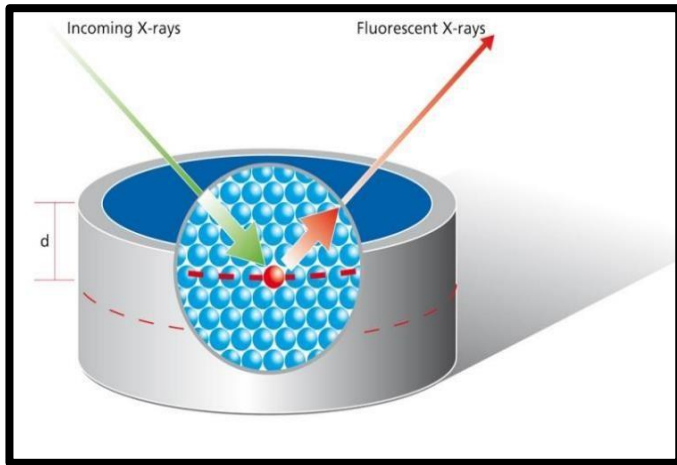
A fluorescência de Raio X é uma técnica de análise não destrutiva utilizada para obter informações qualitativas e quantitativas da composição elementar das amostras (Nascimento-Dias *et al.*, 2017).

É baseada na produção e detecção de Raio x característicos emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiada com elétrons, prótons, Raio X ou raios gama. Ou seja, é baseada em princípios físicos da fluorescência onde os elementos químicos emitem radiações características quando submetidos a um tipo de excitação específica (Beckhoff, 2006).

Os Raios X bombardeiam com partículas de prótons e elétrons (figura 2) o material alvo gerando pela frenagem súbita dos fótons um espectro de energia que pode ser lido e interpretado.

Assim, o espectro de Raio X é emitido pela amostra e definido por diferentes energias e comprimentos de ondas com características espectrais dependendo da amostra.

Figura 2 – Incidência de raios sobre a amostra e a dispersão do Raio-X.



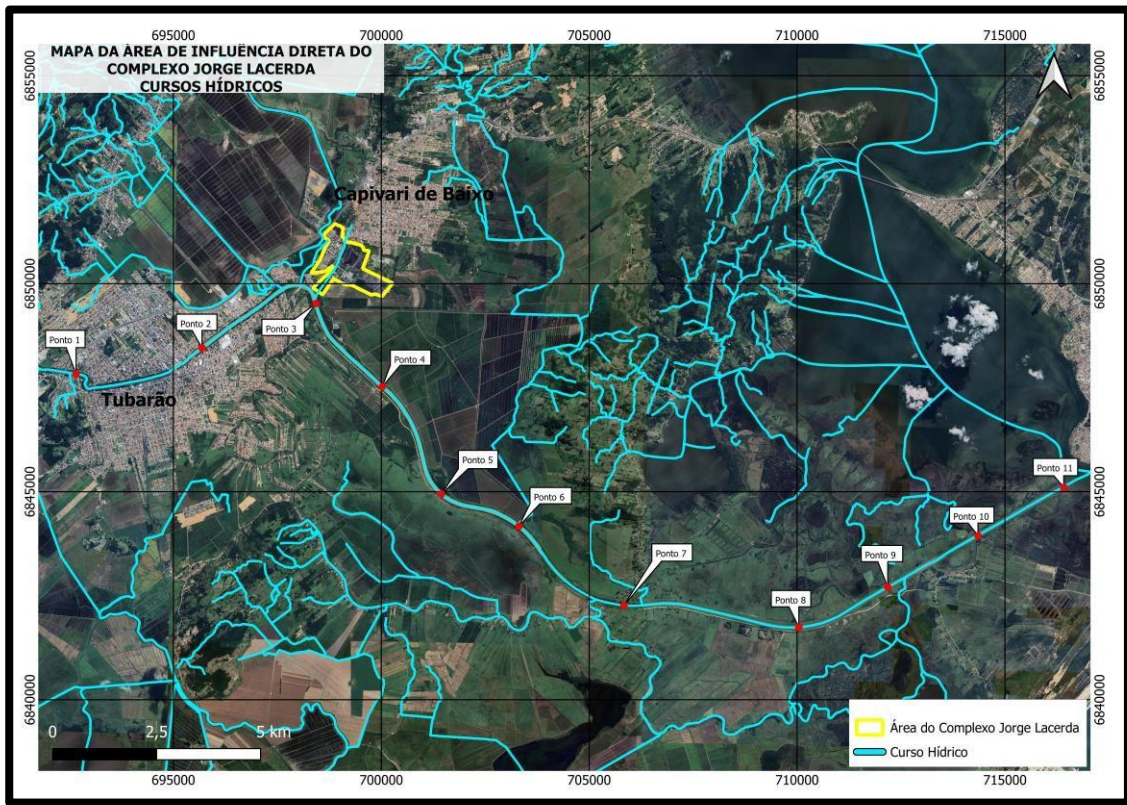
Fonte: Manual *EDXRF* 8300 (2014).

2.2 ÁREA DE ESTUDO

2.2.1 Localização

A área do estudo está localizada no litoral sul de Santa Catarina entre as cidades de Tubarão, Capivari de Baixo e Laguna. A disposição dos pontos compreende uma área menos antropizada a montante e outra mais antropizada a jusante (figura 3). Estende-se por cerca de 22 km com intervalos entre coletas de 2,5 a 3 km tendo como ponto mais a montante o ponto número um e o mais a jusante o ponto onze que faz a interseção entre o rio Tubarão e a lagoa Santo Antônio.

Figura 3 – Mapa de localização dos cursos hídricos em relação aos pontos de amostragem e o complexo Jorge Lacerda



Fonte: Autor (imagem ESRI/Google).

2.2.2 Histórico do ambiente

Os limites da grande Bacia Hidrográfica do rio Tubarão e Complexo Lagunar englobam 18 municípios, quais sejam: Lauro Müller, Orleans, São Ludgero, Braço do Norte, Grão Pará, Rio Fortuna, Santa Rosa de Lima, Anitápolis, São Bonifácio, São Martinho, Armazém, Gravatal, Capivari de Baixo, Tubarão, Pedras Grandes, Treze de Maio, Jaguaruna e Sangão. Ao longo das sub-bacias do Rio Tubarão e Capivari, há o desenvolvimento de diferentes atividades econômicas.

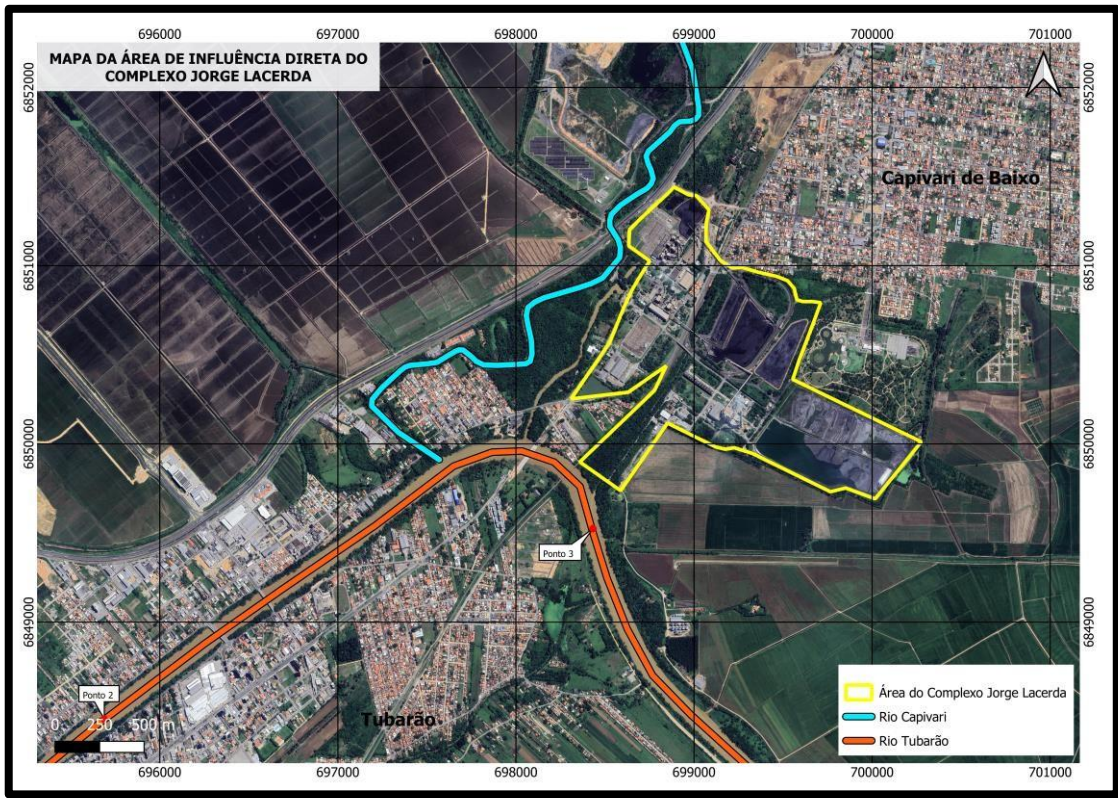
2.2.3 Complexo termelétrico

O complexo termoelétrico Jorge Lacerda (figura 4), inaugurado em 1957 com 100 Mw/h, é a maior termoelétrica da América Latina. Após iniciada a unidade C (363 Mw/h) em 1986, a capacidade total de geração passou a ser de 857 MW/h.

Num raio de 100 km a partir da usina existe a APA da Baleia Franca, os

Parques Nacionais dos Aparados da Serra e do São Joaquim, além da Reserva Biológica Estadual do Aguai e do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro. Somente a partir do início do funcionamento do complexo C, em 1986, é que foi feito o primeiro Estudo de Impacto Ambiental (EIA).

Figura 4 – Mapa de localização do complexo termelétrico Jorge Lacerda

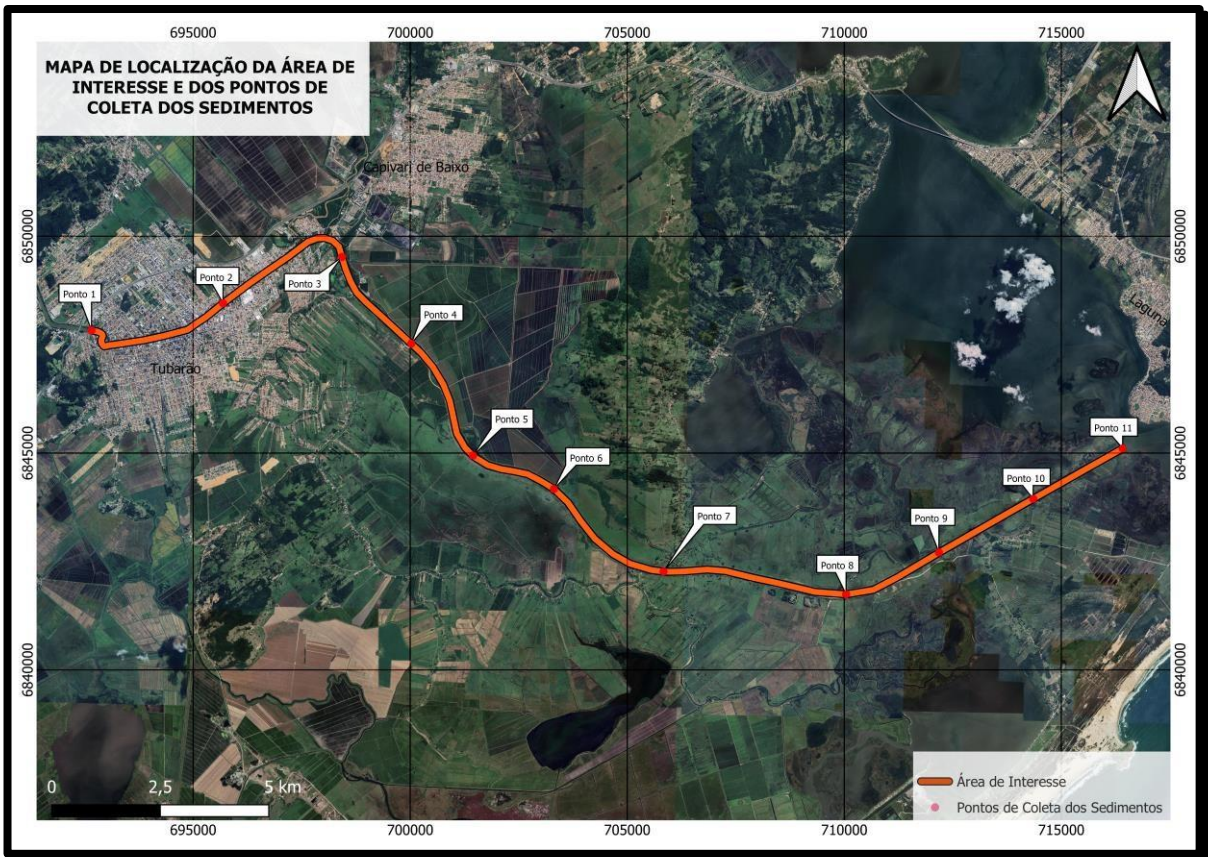


Fonte: autor (imagem ESRI/Google).

2.2.4 AMOSTRAGEM

As amostras de sedimento foram coletadas em junho de 2019, em onze pontos do rio Tubarão, localizado na cidade de Tubarão Santa Catarina. Os pontos de coleta estão indicados na figura 6 e suas respectivas coordenadas na tabela 1. Todos os procedimentos envolvidos durante as etapas de coleta até a preparação das amostras seguiram os protocolos de técnicas válidas no país (EMBRAPA, 2006). As amostras coletadas foram acondicionadas em frascos apropriados previamente descontaminados. Do ponto 1 (montante) ao ponto 11 (jusante) um total de 21.875,962 metros.

Figura 6: Mapa da localização dos pontos de amostragem



Fonte: Imagens Google.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos de coleta

AMOSTRA	COORDENADAS	
Pomto 01	-28,48194444	-49,03194444
Pomto 02	-28,47583333	-49,00111111
Pomto 03	-28,46583333	-48,97333333
Pomto 04	-28,48361111	-48,95666666
Pomto 05	-28,50666666	-48,94166666
Pomto 06	-28,51333333	-48,92251327
Pomto 07	-28,53010533	-48,89639288
Pomto 08	-28,53416666	-48,85333331
Pomto 09	-28,52512333	-48,83166662
Pomto 10	-28,51361111	-48,80972222
Pomto 11	-28,50277771	-48,78888885

Fonte: Autor.

2.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

2.3.1 Sedimentos

As amostras de sedimentos do fundo do rio foram coletadas com uma draga *Van Veen*, (mecanismo de coleta de sedimentação para análises geoquímicas e granulométricas, figura 7) e armazenadas em vasilhames plásticos.

Figura 7 – Draga *Van Veen*



Após a coleta, todas as amostras de sedimento foram transferidas para *beckers* de vidro de 250 ml e secas em uma estufa a 60 °C, sendo feita a pesagem a cada 24 horas até que os pesos se igualaram por dois dias consecutivos. Após a secagem foram maceradas com um almofariz e pistilo de vidro e em seguida foram peneiradas em uma série de quatorze peneiras de aço inox que variaram de 2,00 mm/μm a 0,106 mm/μm de espessura onde ficarão retidos os sedimentos com a granulometria desejada.

Após o procedimento anterior, as amostras de sedimento foram armazenadas em potes plásticos esterilizados, com tampa e protegidas da umidade e do sol. Para a análise com o equipamento de *EDXRF*, EDX8300 (figura 8), foram pesadas e adicionadas 4 gramas de cada amostra encapsuladas em pastilhas individuais envoltas por parafina líquida. O *EDXRF*, EDX8300 é o equipamento de fluorescência de Raio X de propriedade do Centro Univinte que foi utilizado para as análises.

Figura 8 – Espectrômetro de raios-x



Fonte: autor (acervo pessoal).

2.4 COLETA

A coleta do sedimento foi realizada por draga *Van Veen* a bordo de um barco que percorreu os pontos supracitados (figura 6) com o auxílio de *GPS Garmin Etrex 10* e o software *Tracklia (geoposicionamento)*, ambos utilizados para encontrar cada ponto previamente definido para as coletas.

2.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo. Entende-se por partículas individuais grãos de minerais individualizados, fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada, concreções, nódulos e materiais similares cimentados, conforme definidos pelo Vocabulário de Ciência do Solo (“materiais que não podem ser desagregados senão por aplicação de elevada energia, como pancada com martelo”, Curi *et al.*, 1993).

O procedimento operacional aplicado visa separar os agregados do solo para sua quantificação (figura 9) após separação das frações (Curi *et al.*, 1993). As frações granulométricas são descritas com base no tamanho, conforme a Tabela 2. A fração de areia pode ainda ser subdividida outras frações. Porém, o procedimento de rotina, na maioria dos laboratórios de física do solo, adota apenas as frações de areia grossa (2,0 - 0,21 mm) e areia fina (0,21-0,05 mm) (Curi *et al.*, 1993).

Figura 9 – Separação granulométrica feita por peneiras graduadas



Fonte: Autor.

Tabela 2 – Classificação granulométrica dos grãos

Denominação	Diâmetro (mm)
Areia Muito grossa	2 a 1
Areia grossa	1 a 0,5
Areia média	0,5 a 0,21
Areia fina	0,21 a 0,10
Areia muito fina	0,10 a 0,05
Argila	< 0,002

Fonte: CETESB (2006).

2.4.2 Granulometria das amostras

Para obter a granulometria desejada as amostras de sedimento foram submetidas a secagem em estufa com temperatura controlada de 50 °C até atingir a mesma pesagem por dois (2) dias seguidos. Após a secagem, o sedimento foi submetido a moagem em almofariz com pistilo e despejado em um conjunto/sequência de peneiras granulométricas conforme figura 10.

Figura 10 – Resultados obtidos com o peneiramento das amostras

Peneira	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso (g) vazia limpa	0,402	0,468	0,388	0,424	0,400	0,362	0,350	0,366	0,366	0,360	0,350	0,348	0,342	0,332	0,432
Granulometria (mm/µm)	2,00	1,70	1,40	850	710	600	500	355	300	250	180	150	125	106	Fundo
Amostra (g)	Peso retido														
1	0,011	0,002	0,012	0,088	0,038	0,028	0,060	0,030	0,004	0,004	0,006	*	*	*	0,283
2	0,022	0,006	0,010	0,006	0,024	0,020	0,026	0,048	0,020	0,016	*	*	*	*	
3	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,024	0,050	0,090	0,052	0,050	*	*	*
4	0,003	0,000	0,002	0,014	0,007	0,006	0,008	0,008	0,017	0,070	0,092	0,068	*	*	*
5	0,014	0,000	0,004	0,036	0,030	0,028	0,030	0,040	0,010	0,008	0,010	0,002	*	*	*
6	0,006	0,000	0,004	0,060	0,028	0,040	0,040	0,064	0,008	0,004	0,006	0,002	*	*	*
7	0,006	0,000	0,002	0,012	0,010	0,036	0,052	0,082	0,016	0,016	0,024	0,003	*	*	*
8	0,001	0,000	0,002	0,004	0,010	0,014	0,040	0,168	0,040	0,008	0,004	0,001	*	*	*
9	0,008	0,000	0,003	0,002	0,002	0,001	0,006	0,080	0,058	0,030	0,044	0,006	*	*	*
10	0,000	0,000	0,001	0,006	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,012	0,016	0,012	0,006	0,001	*
11	0,000	0,000	0,002	0,008	0,004	0,002	0,004	0,004	0,002	0,004	0,022	0,016	0,008	0,010	*

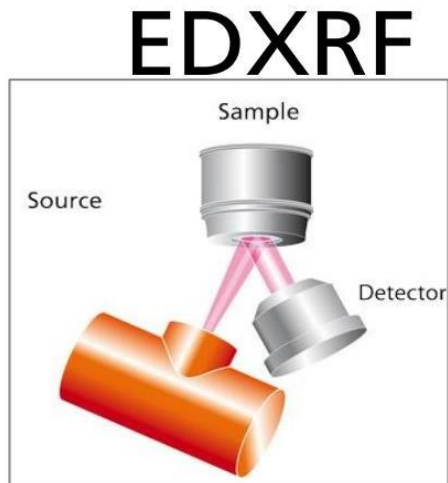
Fonte: Autor

2.4.3 XRF

O XRF funciona com a produção e detecção de raios-x e radiações eletromagnéticas com frequências eletromagnéticas altas. Possui comprimento de onda de 0,003 µm a 3 nm (R. EISBERG E R. RESNIK., et al.,1988). Utiliza as faixas do petahertz e exahertz.

A fluorescência por Raio X *EDXRF* (figura 11) é baseada na produção e detecção de raios característicos emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiada com elétrons, prótons, Raio X ou raios gama. A fluorescência de Raio X é uma técnica de análise não destrutiva utilizada para obter informações qualitativas e quantitativas da composição elementar das amostras. (180. Ciências Exatas e Naturais, 2009).

Figura 11 - Métodos de detecções do sistema *EDXRF* (dispersão por energia)

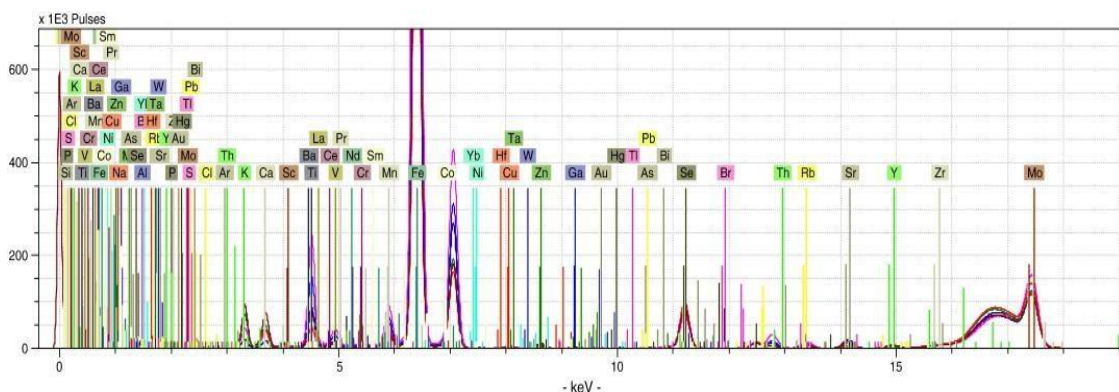


Fonte: Manual do Equipamento EDX8300.

Através da técnica analítica de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia com radiação empregadas na análise qualitativa de amostras de sedimentos foi possível verificar a presença de metais pesados e comparar os resultados obtidos com os valores estabelecidos pela legislação vigente afim de verificar a qualidade dos sedimentos nos corpos hídricos.

Na figura 12 está o espectro de frequências fundamentais e comprimento de onda para cada elemento utilizado pelo equipamento de EDX 8300 para a análise das amostras coletadas. Porém, foram utilizadas frequências específicas para os materiais de interesse.

Figura 12 – Comprimento de onda de cada elemento lidas pelo *EDXRF*



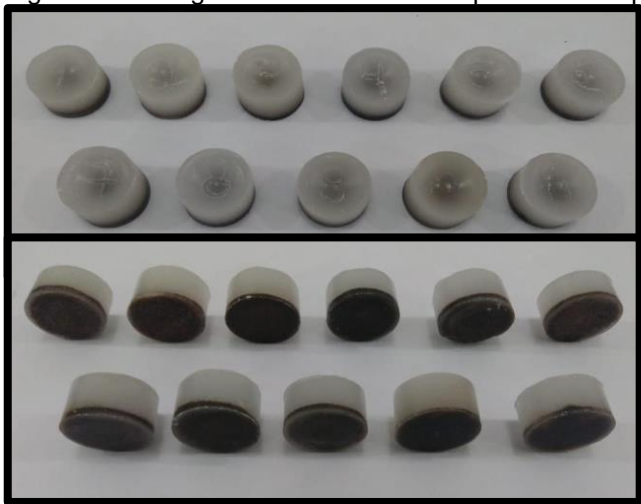
Fonte: Fabricante EDX8300.

2.4.4 Pastilhas

Uma das principais formas para preparar a amostra para a análise com fluorescência de raios X é a utilização de prensas que possibilitam a formação de uma pastilha compacta (Brandão, B. B., 2006). Quanto menor o tamanho da partícula mais eficiente é a distribuição dos constituintes da amostra que se analisados. Porém, o material mesmo apresentando uma granulometria ideal teve dificuldades de se manter prensado (Rouxhet, *et al.*, Samudacheata, *et al.*, Jacobs, 1977). Por isso foi utilizado parafina como material para manter os grãos unidos.

As pastilhas (figura 13) foram confeccionadas em parafina, pois a mesma não sofre influência na detecção dos elementos por fluorescência de raio X. A parafina foi aquecida até alcançar o estado líquido e colocada em um molde com 25 mm de diâmetro por 10 mm onde foram adicionados quatro gramas do sedimento em cada uma. Após a secagem (resfriamento), foram retiradas do molde e já prontas para uso. Algumas das facilidades desse método, é que a amostra pode ser preservada e analisada por várias vezes em um longo espaço de tempo sem sua destruição desde que, armazenadas em condições corretas.

Figura 13 – Imagem das amostras encapsuladas em parafina



Fonte:

2.4.5 Dinâmica dos sedimentos

Entende-se a erosão como um processo natural do deslocamento dos solos onde “sedimentos em suspensão são parte de um processo difícil de ser

acompanhado na sua plenitude”. Algumas alterações de natureza antrópica como esteróis sedimentares e alquilbenzenos lineares que estão associados a insumos de matéria orgânica alóctone (MOA) (A.C. Cabral et al., / Chemosphere 251 – 2020). Estes materiais causam uma considerável interferência nesse processo. A supressão de vegetação, práticas agrícolas e obras que impermeabilizam o solo e alteram os regimes fluviais também são contribuintes desse processo. Essas práticas podem alterar o transporte de sedimentos e a qualidade da água para consumo humano e seus diversos usos.

Essas alterações no fluxo e quantidade deslocada de sedimentos se refletem no transporte de nutrientes necessários para a manutenção de flora e fauna que mantêm os ecossistemas das zonas costeiras tornando o processo de sedimentação extremamente complexo.

Além da contribuição industrial de sedimentos lançados nos rios Tubarão e Capivari, nas sub-bacias são realizadas diversas atividades agrícola e agropecuária dispostas nos municípios adjacentes que podem influir nesse processo.

São elas:

Sub-bacia do Rio Capivari:

Armazém: Agricultura, indústria moveleira e de facção, frigoríficos;

Gravatal: Turismo, indústria de confecções, agropecuária e agricultura;

São Bonifácio: Agricultura, agropecuária, indústria madeireira e de laticínios.

Sub-bacia do Rio Tubarão:

Lauro Muller: Mineração, cerâmica e agricultura;

Orleans: Suinocultura, agricultura, indústria madeireira, moveleira e plástica;

Pedras Grandes: Suinocultura, agricultura;

Capivari de Baixo: Indústria termelétrica e rizicultura; Jaguaruna: Rizicultura, agricultura, agropecuária e turismo; Sangão: Rizicultura, agricultura, cerâmica;

Treze de maio: Agricultura;

Tubarão: Rizicultura, comércio, serviços, indústria têxtil, madeireira, moveleira.

(Fonte: Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar (2002)).

2.4.6 Metais pesados de origem (carvão)

Sabe-se que os metais pesados, em sua maioria, são provenientes das

atividades mineradoras de carvão. Na região sul de Santa Catarina podem ser encontrados rejeitos caracterizados por sua alta acidez contendo concentrações expressivas de metais pesados como cobre, ferro, chumbo, cádmio, manganês, alumínio entre outros (Benassi *et al.*, 2006; Laus *et al.*, 2006). Alguns destes metais pesados foram detectados na análise das amostras.

Além disso, em um cálculo estimado pela quantidade de carvão transportado e queimado diariamente no complexo termelétrico, estima-se que em dez (10) anos de atividade da usina (cálculo estimado na quantidade de carvão consumido) foram gerados os seguintes resultados em quantidades de elementos conforme tabela 3.

Tabela 3 – Dados estimados em 10 anos de atividades do complexo Jorge Lacerda

Arsênio	Emitidas mais de 22 toneladas
Bário	Emitidas 53 toneladas
Boro	Emitidas mais de 320 toneladas
Chumbo	Emitidas mais de 100 toneladas
Flúor	Emitidas mais de 3.380 toneladas
Selênio	Emitidas mais de 40 toneladas
Urânio	Emitidos mais de 500 kg

Fonte: ONG Sócios da Natureza.

2.4.6.1 Metais e sua dinâmica

O entendimento da mobilidade dos metais-traço e de sua disponibilidade aos organismos passa necessariamente pelo entendimento do seu comportamento químico no sistema solo. Constituintes mineralógicos, orgânicos e biológicos interagem de tal maneira resultando em diversas formas de distribuição dos metais-traço na fase líquida e na fase sólida do solo.

A condição química do solo determina a mobilidade desses elementos assim como sua disponibilidade aos organismos (Fontes & Weed, 1996).

O solo tem um papel depurador de metais-traço, imobilizando grande parte desses metais, dependendo de suas propriedades químicas e a natureza desses metais. Dessa forma, solos desenvolvidos em ambientes tropicais apresentam uma vantagem na imobilização dos metais-traço por serem predominantemente constituídos de óxidos, além de serem ácidos. Seriam então fatores de retenção muito fortes para metais (Fontes & Weed, 1996).

Outro aspecto importante na mobilidade dos metais-traço é o grau de cristalinidade dos óxidos, pois óxidos menos cristalizados têm maior potencial de adsorção dos metais.

2.4.7 Resoluções CONAMA

O enquadramento das águas e da bacia do complexo Lagunar é efetuado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e complexo Lagunar, que prevê os padrões de valores máximos para metais pesados contidos em sedimentos amparados na resolução CONAMA 420 e lançamento de efluentes amparados na resolução CONAMA 430. Os resultados expostos na tabela 5 mostram que alguns dos parâmetros exigidos por legislação não estão totalmente adequados a realidade atual do corpo hídrico.

Os resultados foram obtidos através da pré-programação do equipamento de fluorescência de Raio X para focar em elementos específicos (Arsênio, Cádmiu, Mercúrio, Chumbo, Cromo, Bário, Antimônio e Selênio). Foram identificadas e estabelecidas as frequências específicas dos elementos supracitados para serem identificados ou não.

A discussão de dados foi baseada nas normativas do CONAMA nº 357, atual CONAMA nº 430 que dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes e CONAMA nº 420, que trata de critérios e valores orientando a qualidade do solo na presença de substâncias químicas em decorrência de atividades antrópicas, as quais estabelecem parâmetros para lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

Em relação à concentração de metais pesados, os dados foram obtidos através da pré-programação do equipamento de fluorescência de Raio X que focou nos elementos previamente selecionados mais prováveis de ocorrer na região devido à industrialização e a exploração do carvão mineral como fonte de energia.

Na tabela 4 estão dispostos os resultados dos elementos que foram

identificados nas amostras de sedimentos e comparados aos valores máximos permitidos pela legislação das resoluções CONAMA 430 e 420.

Nesse trabalho, foram encontrados níveis de metais que variaram conforme tabela abaixo.

Tabela 4 – Resultados obtidos na análise das amostras de sedimentos.

Resultados					
Metais	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	VMP (valor máx. permitido)
As (Arsênio)	0,007 mg/l	0,003 mg/l	0,004 mg/l	0,003 mg/l	0,01 mg/l
Cd (cádmio)	0,045 mg/l	0,047 mg/l	0,027 mg/l	0,03 mg/l	0,001 mg/l
Hg (mercúrio)	0,001 mg/l	0,001 mg/l	0,001 mg/l	0,001 mg/l	0,0002 mg/l
Pb (chumbo)	0,009 mg/l	0,004 mg/l	0,004 mg/l	0,007 mg/l	0,01 mg/l
Cr (Cromo)	0,004 mg/l	0,006 mg/l	0,004 mg/l	0,006 mg/l	0,05 mg/l
Ba (Bárium)	0,082 mg/l	0,083 mg/l	0,051 mg/l	0,056 mg/l	0,7 mg/l
Sb (antimônio)	0,076 mg/l	0,082 mg/l	0,043 mg/l	0,053 mg/l	0,005 mg/l
Se (selênio)	0,001 mg/l	0,001 m/l	0,001 mg/l	0,001 mg/l	0,01 mg/l

Resultados					
Metais	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8	VMP (valor máx. permitido)
As (Arsênio)	0,1 mg/l	0,001 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,01 mg/l
Cd (cádmio)	0,007 mg/l	0,016 mg/l	0,003 mg/l	0,004 mg/l	0,001 mg/l
Hg (mercúrio)	0,01 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,0002 mg/l
Pb (chumbo)	0,01 mg/l	0,002 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,01 mg/l
Cr (Cromo)	0,001 mg/l	0,002 mg/l	0,1 mg/l	0,001 mg/l	0,05 mg/l
Ba (Bárium)	0,011 mg/l	0,027 mg/l	0,006 mg/l	0,008 mg/l	0,7 mg/l
Sb (antimônio)	0,010 mg/l	0,027 mg/l	0,007 mg/l	0,006 mg/l	0,005 mg/l

Resultados					
Metais	Amostra 9	Amostra 10	Amostra 11		VMP (valor máx. permitido)
As (Arsênio)	0,001 mg/l	0,001 mg/l	0,1 mg/l		0,01 mg/l
Cd (cádmio)	0,018 mg/l	0,006 mg/l	0,015 mg/l		0,001 mg/l
Hg (mercúrio)	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l		0,0002 mg/l
Pb (chumbo)	0,001 mg/l	0,001 mg/l	0,001 mg/l		0,01 mg/l

Cr (Cromo)	0,003 mg/l	0,001 mg/l	0,002 mg/l	0,05 mg/l
Ba (Barium)	0,029 mg/l	0,009 mg/l	0,026 mg/l	0,7 mg/l
Sb (antimônio)	0,025 mg/l	0,008 mg/l	0,025 mg/l	0,005 mg/l
Se (selênio)	0,01 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,01 mg/l

Fonte: Autor.

Sabendo que esses metais são considerados elementos com potencial tóxicos aos ecossistemas, a resolução do CONAMA nº420 estabelece os parâmetros para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos para estes elementos. Considera-se então, que os metais Arsênio, Chumbo, Cádmi e Antimônio apresentam níveis superiores aos estabelecidos na lei, o que mostra o estado atual no momento dessas amostragens do potencial tóxico a que estão sujeitos os ecossistemas.

Porém, para resultados e comparações com maior precisão e enquadramento dos lançamentos de efluentes e condições reais dos corpos hídricos nas normas tem-se a necessidade de séries (históricas) com maior levantamento de dados. Dados estes, que não são levantados periodicamente pelos órgãos competentes, pois não são considerados alarmantes a curto prazo sendo que, este tipo de processo e contaminação se dão a longo prazo por ser um processo complexo, como já foi citado acima.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo explorar a fluorescência de Raio X bem como procedimentos de pastilhamento para leitura de amostras de sedimentos e qualificação de metais pesados lançados no corpo hídrico com o auxílio de métodos agregados para encapsulamento tornando o método mais acessível e periódico possibilitando uma melhor gestão da qualidade da água e monitoramento dos resíduos contaminantes lançados nos corpos hídricos.

Conforme os resultados obtidos na tabela nº 4, que se remete a comparação dos dados possíveis ambientados no CONAMA nº420, que serve de parâmetro para quantidades de metais pesados, os resultados mostraram que alguns parâmetros ficaram acima do estabelecido pelas normas CONAMA. Pode também ser visualizado nos resultados uma possível dispersão dos metais pesados ao longo do

trajeto que foi alvo de estudo assim como outras quantidades em determinados pontos que precisariam de uma pós investigação para saber a fonte destes elementos contaminantes. As alterações na vazão do rio Tubarão e seus adjacentes tem se tornado variável fazendo desse estudo uma ferramenta possível para começar a entender a dinâmica desses fenômenos ao longo desse corpo tão importante para todo uma região.

Ainda são escassos os dados científicos para poder construir um panorama da concentração de metais pesados nos sedimentos e sua dispersão no rio Tubarão no espaço que compreende os pontos amostrados nesse trabalho, sugerindo que mais estudos temporais sejam realizados para garantir o status ambiental dos sedimentos neste trecho de extrema importância para o rio Tubarão e o complexo Lagunar.

Nas amostras de sedimento foi possível identificar qualitativamente a presença de metais pesados no rio Tubarão. Deste modo, torna-se de grande importância o monitoramento destas substâncias que para além de seus padrões pré-estabelecidos podem prejudicar todo um sistema, já que foram detectados metais pesados em pontos com atividades antrópicas mais intensas. Também se faz necessário o aprimoramento do sistema de coleta e pastilhamento dos sedimentos para posteriores análises para que se possa tornar a rotina de análises mais eficiente e condizente com a realidade da situação do corpo hídrico e seu entorno além de tornar as análises e levantamentos de dados sobre a contaminação por metais pesados e seus processos um hábito.

Portanto, a técnica de *EDXRF* através dos procedimentos de pastilhamento das amostras demonstrou eficiência e praticidade em relação a outros métodos de análises quali quantitativa das amostras de sedimentos, identificando os pontos com possíveis contaminações do rio Tubarão por elementos específicos depositados em seus sedimentos.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. Z. Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: Degradação dos Recursos Naturais. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v.5, n.2, 1999.

AMREC. Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense. **Plano Básico de Desenvolvimento Ecológico e Econômico – PBDEE**. Araranguá, SC. 1997.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.

BOSTELMANN, E. **Avaliação da concentração de metais em amostras de sedimento do Reservatório Billings, Braço Rio Grande, São Paulo, Brasil**. 130p. Dissertação (Mestre na área de tecnologia nuclear). IPEN, São Paulo. 2006.

BERTOLUZZI, I.P. **Estudos sobre as interações entre a água e o material em suspensão, na bacia do rio tubarão e complexo Lagunar – SC/Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade de Santiago de Compostela/ Universidade do Sul de Santa Catarina. Santiago de Compostela. 2003.

BECKHOFF, B. **Handbook on Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Springer, Berlim. 2006. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-36722-2>.

BERTIN; Nascimento Dias *et al.*, A Utilização E A Relevância Multidisciplinar Da Fluorencência De Raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0089>.

BRIZOLA, DAISANA. F. **Otimização no preparo de amostras para análise em espectrômetro de fluorescência de Raio-X; (..)** UFRJ.

BORTOLOTTO, T. SAVI, GD, & PICH, C.T. Influência da mineração de carvão na toxicidade das águas passagem do Rio Molha, Urussanga, SC. **Tecnologia e Ambiente**, 13. 2007.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**. 2012. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Relatório Temático do GEO- Brasil** (p. 31). Perspectivas do Meio Ambiente para o Brasil: Uso do Sub- solo 2002.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

EDMONDSON, W. T. MARGALEF, R. **Limnología**. Ediciones Omega, EM, Barcelona. 1010 p., *Limnology and Oceanography*, 6, 1984. doi: 10.4319/lo.1984.29.6.1349b.

EMBRAPA. **Manual de procedimentos de coleta de amostras: solo, água e sedimentos**. 2006. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129660/1/2006OL-008.pdf>.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (2002). **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar**.

https://www.aguas.sc.gov.br/jsmaifib_top/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20da%20Bacia%20Hidrografica%20do%20Rio%20Tubarao%20e%20Complexo%20Lagunar/Volume%20III/volume3.pdf.

IBAMA, **RESOLUÇÃO 454/2012**. <https://www.ibama.gov.br/24egislacao/24egislacao/?view=24egislacao&legislacao=128537>.

MARTINS, *et al.* **A dinâmica de metais-traço no solo**.

MATTIAS, J.L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Santa Maria, RS, Brasil. 2006. 164p.

MARGALEF, R. 1983. **Limnología**. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 1010 p.

MH TABACNIKS. 2005. **Os Elementos da Matéria**. Tese de Livre Docência em Interações Nucleares, Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. DO., OLIVEIRA, D. F., & ANJOS, M. J. DOS. A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de Raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 39(Em. Bras. Em- Ensino Fís., 2017 39(4)), e4308. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0089>.

B. FROZI. D. **Otimização no preparo de amostras para análise em fluorescência de Raios X**: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/600/1/Daisiana%20Frozi%20Brisola.pdf>.

EISBERG, E R. RESNIK, **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 7. ed. Campus, Rio de Janeiro, 1988.

ROUXHET, P. G.; SAMUDACHEATA, N.; JACOBS, H.; ANTON, O. **Attribution of the OH stretching bands of kaolinite**. Clay Minerals 1977.

SÓCIOS DA NATUREZA, ONG CNPJ 02.605.984/0001-60. Ofício de Registro de Pessoas Jurídicas, Araranguá - /SC – Livro nº A-2, Folhas nº 039, Registro nº 364 de 18/05/1998. ONG criada em 05 de Junho de 1980 **para defender a natureza e uma melhor qualidade de vida para Araranguá e a região sul de Santa Catarina**. <http://usina-jorge-lacerda.blogspot.com/2015/07/usitesc-440mw-uso-do-carvao-mineral.html>.

TANG, J.; WANG, W.; YANG, L.; QIU, Q.; LIN, M.; CAO, C.; LI, X. **Seasonal variation and ecological risk assessment of dissolved organic matter in a peri-urban critical zone observatory watershed**. Science of The Total Environment, 136093, 2019.

TORREZANI, C, N., OLIVEIRA F, E. **Problemas ambientais decorrentes da exploração do carvão mineral e a aplicação da ecotoxicologia aquática como ferramenta de biomonitoramento**; <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1704.05>.

TRACKING, the sources of allochthonous organic matter along a subtropical fluvial-estuarine gradient using molecular proxies in view of land uses; <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126435>.

XIONG, W.; NI, P.; CHEN, Y.; GAO, Y.; LI, S.; ZHAN, A. **Biological consequences of environmental pollution in running water ecosystems**: a case study in zooplankton. *Environmental Pollution*, 252, 1483-1490, 2019. doi:10.1016/j.envpol.2019.06.055

YEUNG, Z.L.L.; KWOK, R.C.W. ;YU, K.N. **Determination of multi-element profiles of street dust using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF)**. *Radiation and Isotopes*, v. 58, p. 339-346, 2003