

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E**  
**DEFESA CIVIL**

**Aldo Ribeiro de Carvalho**

**Reutilização de resíduos perigosos e não perigosos no desenvolvimento de novas tecnologias:** uma revisão da literatura com alternativas sustentáveis para a prevenção de desastres no Brasil.

Juiz de Fora

2024

**Aldo Ribeiro de Carvalho**

**Reutilização de resíduos perigosos e não perigosos no desenvolvimento de novas tecnologias:** uma revisão da literatura com alternativas sustentáveis para a prevenção de desastres no Brasil.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil.

Orientador: Prof. D.Sc Alysso Miranda de Freitas

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Carvalho, Aldo Ribeiro de.

Reutilização de resíduos perigosos e não perigosos no desenvolvimento de novas tecnologias: uma revisão da literatura com alternativas sustentáveis para a prevenção de desastres no Brasil. / Aldo Ribeiro de Carvalho. -- 2024.

79 f. : il.

Orientador: Alysson Miranda de Freitas

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil, 2024.

1. Reutilização de Resíduos. 2. Prevenção de Desastres. 3. Mapeamento. 4. Novas Tecnologias. 5. Sustentabilidade. I. Freitas, Alysson Miranda de, orient. II. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Ata da sessão pública referente à defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Reutilização de resíduos perigosos e não perigosos no desenvolvimento de novas tecnologias: uma revisão da literatura com alternativas sustentáveis para a prevenção de desastres no Brasil." pelo discente Aldo Ribeiro de Carvalho, matrícula 112960041, sob orientação do Prof. Dr. Alysson Miranda de Freitas.

Aos 03 dias do mês de junho do ano de 2024, às 14 horas, na modalidade virtual, reuniu-se a Banca Examinadora do TCC em epígrafe, com a seguinte composição:

Orientador: Dr. Alysson Miranda de Freitas (UFJF).

Examinadora 1: Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro (UFJF).

Examinadora 2: Dra. Júlia Righi de Almeida (UFJF)

Tendo o senhor Presidente declarado aberta a sessão, mediante o prévio exame do referido trabalho por parte de cada membro da Banca, o discente procedeu a apresentação de seu Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação lato sensu e foi submetido à arguição pela Banca Examinadora que, em seguida, com base na nota 10,0 calculada pela planilha de avaliação do curso, deliberou sobre o seguinte resultado:

Reprovação por nota (Conceito R)

Aprovação por nota (Conceito A)

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Professor(a)**, em 22/07/2024, às 18:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julia Righi de Almeida, Professor(a)**, em 22/07/2024, às 23:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alysson Miranda de Freitas, Professor(a)**, em 23/07/2024, às 10:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1878184** e o código CRC **3A5AB7DB**.

Referência: Processo nº 23071.908703/2023-44

SEI nº 1878184

Dedico este trabalho a todos os pesquisadores da área de resíduos que incessantemente buscam um mundo mais sustentável.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Rubens e Elzilene, pelo incentivo constante, não importando o tamanho da tribulação. Ao meu irmão, Arthur, pela motivação, encorajamento e força. Agradeço também à Baunilha, minha fiel companheira de quatro patas, que me acompanhou e adoçou com seu sorriso cada momento de escrita deste trabalho.

Expresso minha gratidão aos amigos que fiz durante esta pós-graduação. Apesar de estarmos espalhados pelo Brasil devido a modalidade a distância do curso, nosso propósito comum nos uniu. A distância não foi um obstáculo, apenas um detalhe que superamos com o esforço e colaboração mútua.

Ao meu orientador, Alysson Miranda, meus sinceros agradecimentos pela acolhida, compreensão e flexibilidade ao aceitar orientar este trabalho e colaborar em seu desenvolvimento. Agradeço também pelo apoio constante da professora e coordenadora do curso, Tatiana Rodriguez, assim como de todos os demais profissionais que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

Agradeço à Universidade Federal de Juiz de Fora, pela educação pública, gratuita e de qualidade.

Por fim, agradeço a Deus que está comigo em todos os momentos da minha vida.

“Onde houver erro, que eu leve a verdade.  
Onde houver desespero, que eu leve a esperança.”  
(Oração de São Francisco)

## RESUMO

O Brasil possui um vasto histórico de desastres associado aos riscos tecnológicos, especialmente, devido aos materiais residuais. Esses eventos resultaram na poluição ambiental de ecossistemas, afetando a fauna e a flora, além de causar perdas humanas e impactos socioeconômicos nas comunidades locais. Ainda que sejam feitas ações de prevenção e mitigação dos riscos, é imperativo que os materiais residuais sejam reinseridos no ciclo produtivo. Diante disso, este estudo visa identificar os principais resíduos encontrados no Brasil e estudados por pesquisadores brasileiros, além de detectar as alternativas sustentáveis para reintegrá-los na cadeia produtiva. Para isso, foi realizado uma busca exploratória entre os anos de 2001 a 2023 nas bases de dados Scopus, Scielo e Google Acadêmico para identificar os principais resíduos localizados e estudados no Brasil. Essa análise considerou artigos de periódicos, anais de congresso e capítulos de livros que possuísem autores vinculados às instituições brasileiras. Além de identificar os resíduos, a pesquisa exploratória objetivava aprofundar o conhecimento sobre a constituição química de cada um dos materiais detectados. Em seguida, os resíduos foram classificados segundo sua periculosidade, conforme a NBR 10.004 de 2004. Então, por meio de dados de instituições públicas e privadas, foram identificados os estados brasileiros que produzem cada tipo de resíduo. A última etapa consistiu em uma revisão sistemática da literatura que considerou apenas estudos de periódico, entre os anos de 2001 e 2023 no Scopus e Scielo, para identificar as principais práticas sustentáveis de aplicação dos materiais residuais. Foram identificados 80 tipos de resíduos, oriundos do setor agrícola, da construção civil, geológicos e industriais. Destes, 15% são classificados como perigosos e 85% como não perigosos. Entre as aplicações notadas estão a incorporação em matrizes cimentícias, a produção de fertilizantes, em cobertura de aterros, entre outras. Além disso, foram produzidos mapas com a distribuição dos resíduos no Brasil, os quais podem ser utilizados como uma ferramenta pelos órgãos públicos para monitorar os riscos associados aos resíduos e favorecer a elaboração de políticas públicas, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias a partir desses materiais.

**Palavras-chave:** Reutilização de Resíduos. Prevenção de Desastres. Mapeamento. Novas Tecnologias. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Brazil has a vast history of disasters associated with technological risks, especially due to residual materials. These events have resulted in environmental pollution of ecosystems, affecting wildlife and flora, as well as causing human casualties and socioeconomic impacts on local communities. Despite prevention and mitigation actions being taken, it is imperative that residual materials be reintegrated into the production cycle. Therefore, this study aims to identify the main waste found in Brazil and studied by Brazilian researchers, as well as to detect sustainable alternatives for reintegrating them into the production chain. To achieve this, an exploratory search was conducted between the years 2001 and 2023 in the Scopus, Scielo, and Google Scholar databases to identify the main waste located and studied in Brazil. This analysis considered journal articles, conference proceedings, and book chapters authored by individuals affiliated with Brazilian institutions. In addition to identifying the waste, the exploratory research aimed to deepen knowledge of the chemical composition of each of the materials detected. Next, the wastes were classified according to their hazardousness, in accordance with NBR 10.004 of 2004. Then, using data from public and private institutions, the Brazilian states that produce each type of waste were identified. The final step consisted of a systematic literature review that considered only journal studies between the years 2001 and 2023 in Scopus and Scielo, to identify the main sustainable practices for the application of residual materials. A total of 80 types of waste were identified, originating from the agricultural, construction, geological, and industrial sectors. Of these, 15% are classified as hazardous and 85% as non-hazardous. Among the noted applications are incorporation into cementitious matrices, fertilizer production, landfill cover, among others. Additionally, maps were produced showing the distribution of waste in Brazil, which can be used as a tool by public authorities to monitor the risks associated with waste and favor the development of public policies, as well as the development of new technologies based on these materials.

**Keywords:** Reuse of Waste. Disaster Prevention. Mapping. New Technologies. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ações de busca e resgate no Morro do Bumba .....	15
Figura 2 - Busca de sobreviventes após rompimento da barragem, em Mariana-MG .....	16
Figura 3 - Atuação do corpo de bombeiro nas buscas em Brumadinho-MG.....	17
Figura 4 - Resumo Metodológico .....	35
Figura 5 - Mapa da distribuição dos resíduos comuns a todos os estados do Brasil	46
Figura 6 - Mapa da distribuição de resíduos na região Norte .....	48
Figura 7 - Mapa da distribuição de resíduos na região Nordeste .....	49
Figura 8 - Mapa da distribuição de resíduos na região Centro-Oeste.....	50
Figura 9 - Mapa da distribuição de resíduos na região Sudeste .....	51
Figura 10 - Mapa da distribuição de resíduos na região Sul.....	52

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Característica dos resíduos perigosos .....	24
Quadro 2 - Valores máximos de compostos inorgânicos para lançamentos em corpos d'água .....	33
Quadro 3 - Resíduos detectados, sua composição e periculosidade .....	41
Quadro 4 - Aplicações identificadas na RSL .....	53

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Realização do protocolo de busca da RSL .....	39
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EVA	Etileno Vinil Acetato
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
PET	Polietileno Tereftalato
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

## LISTA DE SÍMBOLOS

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Alumínio
ARN	Ácido Ribonucleico
Ba	Bário
BaO	Óxido de Bário
C	Carbono
Ca	Cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
CH <sub>4</sub>	Metano
Cl	Cloro
CN <sup>-</sup>	Íon Cianeto
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Cromo III
Fe	Ferro
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Ferro III
H	Hidrogênio
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de Hidrogênio
HCN	Cianeto de Hidrogênio
K	Potássio
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potássio
MPa	Megapascal
Mg	Magnésio
MgO	Óxido de Magnésio
MnO <sub>2</sub>	Dióxido de Manganês
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
Na	Sódio
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sódio
P	Fósforo
P <sub>2</sub> O	Óxido de Fósforo II
S <sup>2-</sup>	Sulfeto
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silício

SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de Enxofre
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de Titânio
U	Urânio
Zn	Zinco
ZnO	Óxido de Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	19
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO.....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1 DESASTRES PROVENIENTE DE RESÍDUOS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS.....	21
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO SUA PERICULOSIDADE .....	23
<b>2.2.1 Resíduos Classe I – Perigosos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2 Resíduos Classe II – Não Perigosos.....</b>	<b>26</b>
2.2.2.1 <i>Resíduo Classe II A – Não Inertes.....</i>	26
2.2.2.2 <i>Resíduo Classe II B – Inertes.....</i>	26
2.3 LEGISLAÇÕES E NORMATIZAÇÕES NACIONAIS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS.....	27
<b>2.3.1 Política Nacional De Resíduos Sólidos .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2 Resolução CONAMA N° 307/2002 .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.3 Resolução CONAMA N° 358/2005 .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.4 Resolução CONAMA N° 404/2008 .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.5 Resolução CONAMA N° 430/2011 .....</b>	<b>32</b>
2.3.5.1 <i>Condições de lançamento de efluentes:.....</i>	32
2.3.5.2 <i>Padrões de lançamento de efluentes: .....</i>	33
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>

3.1 DETECÇÃO DOS PRINCIPAIS RESÍDUOS ESTUDADOS NO BRASIL .....	36
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	36
3.3 DETECÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS PARA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS .....	37
<b>3.3.1 Planejamento .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.2 Realização .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.3 Divulgação .....</b>	<b>40</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
4.1 RESÍDUOS DETECTADOS NA BUSCA EXPLORATÓRIA E SUA CLASSIFICAÇÃO .....	41
<b>4.1.1 Ocorrência de resíduos no Brasil .....</b>	<b>46</b>
4.2 APLICAÇÕES DETECTADAS PELA REVISÃO SISTEMÁTICA E CORRELAÇÃO COM OS RESÍDUOS BRASILEIROS .....	53
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) define desastres como eventos adversos, naturais ou antrópicos, que causam danos humanos, materiais e/ou ambientais ao ecossistema vulnerável e consequentes prejuízos econômicos e sociais (BRASIL, 2023). Desastres usualmente são relacionados aos eventos naturais, como fortes chuvas que ocasionam desabamentos de encostas e enchentes nos centros urbanos. Entretanto, o Brasil possui um vasto histórico de desastres que transpassam várias décadas até os dias atuais.

Em 1984 ocorreu um desastre ambiental no complexo industrial sidero-petroquímico em Cubatão, interior de São Paulo. Na época, a empresa Petrobrás não prestava manutenção adequada nos dutos utilizados para transporte dos produtos de alta periculosidade, como o isocianato de metila e o pentacloro fenol (Ferreira, 2006). Então, no dia 24 de fevereiro de 1984, os dutos foram rompidos pelo aumento de pressão do transporte de combustível em seu interior e, em cerca de duas horas, mais de 700 mil litros haviam sido espalhados por debaixo da Vila Socó; em seguida houve a ignição e o início do incêndio (SINDIPETRO, 2019). Até o momento, apenas 93 corpos foram encontrados, mas acredita-se que mais de 500 pessoas desaparecidas foram consumidas pelo fogo (SINDIPETRO, 2019).

A partir deste momento, a comunidade da Vila de Socó passou a ser conhecida como Vale da Morte (Ferreira, 2006). Os moradores vizinhos ao parque industrial sidero-petroquímico começaram a assistir, perplexos, a redução da longevidade de suas vidas devido a poluição do ar, oriunda da queima dos materiais inflamáveis e poluentes (Ferreira, 2006). Problemas respiratórios, leucopênicos e neuróticos se tornaram normais na região, bem como o nascimento de milhares de crianças com malformações congênitas (Ferreira, 2006).

No ano de 1987, dois catadores de recicláveis em Goiânia desmontaram um aparelho de uma clínica abandonada (G1, 2023). Os catadores não sabiam, mas estavam prestes a contribuir para o maior acidente radiológico ocorrido fora de uma usina nuclear em toda a história. O objeto foi vendido a um ferro velho, onde outras pessoas terminariam de desmontá-lo. Dentro do aparelho foi encontrado 19 gramas de um pó brilhante, o Césio-137, que se espalhou pela cidade e ocasionou o óbito de quatro mortes e mais de mil pessoas foram afetadas pela radiação (G1, 2023).

Em 18 de janeiro de 2000 ocorreu um dos maiores desastres ambientais do Brasil, na baía de Guanabará, no estado do Rio de Janeiro. Na época, um duto da Petrobrás que ligava a Refinaria Duque de Caxias ao terminal Ilha d'Água se rompeu e provou um vazamento de 1,3 milhões de litros de óleo combustível na baía (Instituto Socioambiental, 2014). A mancha se espalhou por mais de 40 km<sup>2</sup> e afetou milhares de famílias que dependiam da pesca (Instituto Socioambiental, 2014).

Apesar de a Petrobras ter pago multas e indenizações, os efeitos prejudiciais sobre a fauna e flora persistem até hoje. Os residentes locais afirmam que a limpeza se limitou ao óleo visível na superfície, deixando ainda poluição no fundo da Baía. Isso impactou a quantidade e a qualidade dos peixes na região, afetando a sua adequação para consumo (Instituto Socioambiental, 2014).

O desastre no Morro do Bumba, em Niterói-RJ no ano de 2010, foi um deslizamento de terra e resíduos urbanos decorrente de fortes chuvas na região e que se estendeu por cerca de 600 metros, levando casas e toda infraestrutura urbana que havia instalada no local (Cunha, 2016). Após o desastre, estudos revelaram que a existência de um lixão desativado na encosta do morro foi responsável pelo aumento da instabilidade no maciço (Carvalho, 2014). Como consequência deste sinistro, 48 pessoas morreram e milhares ficaram desabrigadas (Carvalho, 2014). Na época foram realizadas ações coordenadas da Defesa Civil, com o Corpo de Bombeiros para o salvamento do maior número de pessoas, como pode ser observado na Figura 1 . Além disso, aluguéis sociais foram fornecidos aos afetados pela tragédia e o governo prometeu a entrega de moradias sociais, que foram construídas, mas não podem ser habitadas pelo risco de desabamento intrínseco da construção (G1, 2020).

Figura 1 - Ações de busca e resgate no Morro do Bumba



Fonte: Niterói em Foco (2010)

Infelizmente, este não foi o último grande desastre brasileiro. Em 2015 ocorreu o Rompimento da Barragem do Fundão, pertencente à mineradora Samarco no município de Mariana-MG. Este é considerado o maior desastre socioambiental da história do Brasil, com o lançamento de cerca de 45 milhões de metros cúbico de rejeito no ambiente (IBAMA, 2022). O material, composto de óxido de ferro e sílica, percorreu 55 km ao longo do rio Gualaxo do Norte até o rio do Carmo, em seguida, se deslocou mais 22 km até chegar ao Rio Doce e então, atingiu o oceano Atlântico, no litoral do Estado do Espírito Santo (IBAMA, 2022).

O rejeito liberado no rompimento da barragem de Fundão soterrou o subdistrito de Bento Rodrigues levando 19 pessoas a óbito (IBAMA, 2022). A Defesa Civil de Minas Gerais classificou o desastre como de porte muito grande, nível IV, com danos extremamente significativos e prejuízos vultosos e consideráveis (SEMAD, 2017). Na época, foi criada uma força-tarefa com a Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros e diversos outros órgãos dos Governos Estadual e Federal para busca e socorro às vítimas, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Busca de sobreviventes após rompimento da barragem, em Mariana-MG



Fonte: G1 (2016)

Naquela ocasião, esse evento despertou a atenção do Brasil para a possibilidade de ruptura de outras barragens. Contudo, as discussões nos âmbitos social e político não foram eficazes em prevenir futuras negligências. Em janeiro de 2019, a Barragem I da mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho-MG, de responsabilidade da Mineradora Vale, rompeu-se e despejou 12 milhões de metros cúbicos de rejeito no ambiente (G1, 2021). Como consequência, 270 pessoas faleceram, o rio Paraopeba e São Francisco foram contaminados, e dezenas de cidades tiveram parte do abastecimento de água comprometido (G1, 2023; VALE, 2024). A Figura 3 apresenta ações do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais realizando busca dos desaparecidos pela tragédia.

Figura 3 - Atuação do corpo de bombeiro nas buscas em Brumadinho-MG



Fonte: G1 (2023)

Todos os desastres supracitados têm origem, direta ou indireta, nas ações humanas, compartilhando a presença de substâncias tóxicas. Essas substâncias podem derivar tanto de insumos utilizados em atividades industriais quanto dos resíduos gerados por essas atividades. Além disso, é perceptível que as comunidades locais foram afetadas pelos desastres, exigindo a implementação de planos de emergência para atenuar as crises, sendo executados por meio da atuação coordenada da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros. A atuação das distintas esferas de governo também foi imperativa, sobretudo para as medidas reestruturantes de longo prazo.

Dito isto, os materiais residuais e sua disposição no meio ambiente assume relevância. Se as estruturas que abrigam esses materiais forem adequadamente mantidas, o risco de desastres diminui. No entanto, a manutenção de elementos como barragens implica custos significativos, podendo afetar o capital das empresas (Huang, Ranade e Li, 2012). Adicionalmente, a ineficácia do Estado na fiscalização dessas estruturas é um fator a ser considerado.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS, Lei nº 12.305/2010, caracteriza os resíduos como perigosos e não perigosos (BRASIL, 2010). Assim, a PNRS entende que os resíduos perigosos são aqueles que possuem propriedades inflamáveis, corrosivas, reativas, tóxicas, patogênicas, carcinogênicas, teratogênicas e mutagênicas, representando risco à saúde pública ou à qualidade ambiental (BRASIL, 2010). Por sua vez esta mesma Lei entende que os resíduos não perigosos são todos aqueles que não se enquadram como resíduos perigosos (BRASIL, 2010). Em ambos os casos, a PNRS reconhece que os materiais residuais, ainda que dispostos corretamente, podem representar riscos à sociedade (BRASIL, 2010).

Diante dessas circunstâncias, é crucial empreender esforços para diminuir os efeitos prejudiciais dos resíduos no Brasil. Para isso, medidas como reciclagem ou reaproveitamento podem ser empregadas. Estudos revelam que o rejeito de barragem de minério de ferro pode ser utilizado como matéria prima para produção de ligantes geopoliméricos (Carvalho *et al.*, 2023a); pó de tijolo e pó de mármore podem ser aplicados nas argamassas (Bayraktar *et al.*, 2019) (Bayraktar *et al.*, 2019); as cinzas de folha de bananeira, cinzas de carvão e cinzas de arroz, além do pó de vidro LCD podem ser utilizado na produção de concretos (Lo, Lee e Lo, 2021; Raju, Anand e Rakesh, 2021; Tavares *et al.*, 2022). Além disso, o pó de mármore pode atuar como fíler em concretos de pavimentos intertravados (Carvalho *et al.*, 2023b). Tintas podem ser produzidas a partir de resíduo de granito (Moura *et al.*, 2023); a produção de celulose gera resíduos como os dregs, grits e krafts, que originam a lama de cal que pode ser adotada na fabricação de tijolos, blocos, estradas e bases de aeródromos (Torres *et al.*, 2020; Mymrin *et al.*, 2020). Até o momento, foram citados resíduos da indústria agrícola, mineralógica ou de extração de pedras ornamentais, e da indústria de celulose; mas os resíduos hospitalares, como as máscaras utilizadas para proteção contra a COVID-19, também foram objeto de estudo e podem ser recicladas e incorporadas ao concreto (Koniarczyk *et al.*, 2022).

É evidente que a reintrodução de materiais residuais se apresenta como uma prática sustentável que pode reduzir a presença desses materiais no meio ambiente, reduzindo ou até mitigando os seus riscos de desastre associados. Posto isto, o presente trabalho visa identificar os principais resíduos encontrados no Brasil, classificá-los segundo sua periculosidade, detectar e propor alternativas de como reutilizá-los. Assim, espera-se encontrar alternativas mais sustentáveis para os

resíduos disponíveis no Brasil, corroborando para a redução e prevenção de riscos de desastres e, conseqüentemente, atuando em prol da otimização de recursos, e de uma sociedade mais resiliente e segura.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é identificar os principais resíduos encontrados no Brasil e estudados por pesquisadores brasileiros, bem como detectar as alternativas sustentáveis de reinserção destes materiais no ciclo produtivo.

## 1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Compreender a periculosidade dos resíduos existentes no Brasil;
- Identificar a composição química predominante desses resíduos;
- Entender a distribuição dos resíduos no território brasileiro;
- Identificar tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa.

## 1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

O presente estudo está dividido em 5 capítulos, cujos conteúdos são expostos a seguir.

O Capítulo 1 é dedicado a Introdução e são apresentados os impactos ambientais e sociais decorrentes dos resíduos, além de expor alternativas para seu reaproveitamento e os objetivos deste estudo.

O Capítulo 2 trata da Revisão Bibliográfica e discute a classificação dos resíduos de acordo com sua periculosidade, bem como as normas e legislações nacionais que regulamentam sua destinação adequada.

No Capítulo 3 detalha-se a Metodologia adotada, descrevendo o processo experimental utilizado para identificar os principais resíduos e suas possíveis aplicações.

O Capítulo 4 dedica-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos em cada etapa do processo metodológico. Nesse capítulo são identificados, destacadas

as localizações e aplicações dos resíduos detectados na literatura, bem como os novos desenvolvimentos tecnológicos potenciais.

No Capítulo 5 são apresentadas as Conclusões, que consistem em um resumo sucinto deste trabalho, realçando os principais resultados, as limitações e sugestões para pesquisas futuras.

Por fim, são listadas as Referências Bibliográficas utilizadas para o embasamento teórico e analítico desta pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DESASTRES PROVENIENTE DE RESÍDUOS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Em 1982, a Companhia Paraibuna Metais, localizada em Juiz de Fora, estava envolvida na produção de zinco eletrolítico, bem como em seus subprodutos altamente poluentes, os quais eram separados e armazenados em uma barragem de rejeitos (Bastos, Júnior e Mattos, 2007). No dia 12 de maio de 1982, um vazamento ocorreu no tanque de decantação, liberando aproximadamente 18 milhões de litros de metais pesados que alcançaram o Rio Paraibuna, resultando na devastação de suas margens e causando uma significativa mortalidade de peixes (Bastos, Júnior e Mattos, 2007; O GLOBO, 2014).

Inicialmente, o Rio Paraibuna foi contaminado. Posteriormente, próximo a Três Rios, a onda tóxica atingiu o Rio Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro, causando devastação em sua flora e fauna (O GLOBO, 2014). O impacto foi tão expressivo que toneladas de peixes mortos foram arrastadas pelo rio até Campos dos Goytacazes, no Norte Fluminense, totalizando uma extensão de poluição de cerca de 300 quilômetros (O GLOBO, 2014).

O rejeito, composto por cádmio e chumbo, expôs a população ao risco de câncer, especialmente se a água contaminada fosse utilizada para atividades domésticas e laborais (O GLOBO, 2014). O desastre resultou na privação de acesso à água para 250 mil pessoas em 10 cidades diferentes, ao longo de um período de 15 dias (O GLOBO, 2014).

Em 2003, um desastre de grandes proporções atingiu Cataguazes, Minas Gerais, envolvendo a Indústria Cataguazes de Papel. No dia 29 de março daquele ano, aproximadamente um bilhão e quatrocentos milhões de litros de licor negro, composto principalmente por lignina e sódio, foram despejados no Rio (Gonçalves, 2006). Esse crime ambiental resultou na privação de água para cerca de 600 mil pessoas, além da destruição de matas ciliares contendo espécies vegetais da Mata Atlântica, e na perda de dezenas de milhares de peixes (G1, 2015).

Naquela ocasião, o município mais prejudicado foi Campos dos Goytacazes. Além de enfrentar uma semana sem o fornecimento de água, diversas atividades econômicas foram comprometidas. Isso incluiu o irrigamento de culturas agrícolas, o

fluxo de abastecimento e áreas destinadas ao beneficiamento de plantas industriais, bem como as atividades de pesca, que representam uma fonte direta de renda local, e o turismo (Miquelito e Quelhas, 2014).

Durante esse período, pesquisadores calcularam que 60 das 169 espécies de peixes presentes no rio Paraíba do Sul foram afetadas pelo desastre (Miquelito e Quelhas, 2014). Além disso, rebanhos de gado na região morreram após ingerirem a água contaminada, resultando na escassez de água potável para milhares de pessoas. Estima-se que a área necessitará de pelo menos 15 anos para alcançar um equilíbrio ecológico mínimo restabelecido (Costa e Pedlowky, 2004).

Além dos perigos inerentes relacionados à natureza química da substância liberada no meio ambiente, o impacto causado por esse crime ambiental se justifica, em parte, pela ausência de uma resposta imediata por parte dos órgãos competentes (Gonçalves, 2006). O que tornou excessivamente moroso o início das medidas necessárias para conter os danos, bem como para responsabilizar os responsáveis pelo incidente (Gonçalves, 2006).

Em 10 de janeiro de 2007, registrou-se o rompimento de uma barragem localizada na zona rural de Mirai, Minas Gerais, que armazenava resíduos de bauxita (G1, 2015). Esse incidente acarretou severos danos ambientais, incluindo a inundação de áreas agrícolas, a mortandade de peixes e a interrupção do fornecimento de água nas cidades de Muriaé-MG, Laje do Muriaé-RJ e Itaperuna-RJ e seus distritos, Retiro e Comendador Venâncio (G1, 2015). Em Mirai, aproximadamente 1200 residências foram afetadas pelos rejeitos, resultando no desalojamento de mais de 4 mil habitantes, o que correspondia a cerca de 33% da população municipal naquela época (G1, 2007).

O Rio Muriaé sofreu os efeitos desse incidente, cujas consequências ainda são percebidas nos dias atuais devido ao assoreamento de seu leito. Há 34 anos, a profundidade do rio era de 4 metros; no entanto, atualmente, esse valor diminuiu para menos de 50 centímetros (G1, 2015). A lama resultante do rompimento da barragem em 2007 sedimentou-se no leito do rio e permanece presente até os dias de hoje (G1, 2015).

Com base no que foi apresentado até o momento, observa-se que as consequências provocadas por substâncias residuais têm um impacto direto na fauna e flora, podendo, ademais, comprometer o acesso a recursos essenciais para as comunidades, como a água, e forçar a evacuação temporária de moradores. Nesse

contexto, verificou-se também que os incidentes envolvendo materiais residuais podem repercutir na atividade econômica da região afetada, acarretando na diminuição da renda da população e, eventualmente, na deterioração da qualidade de vida.

É importante ressaltar que a ameaça à vida humana vai além da simples privação de bens materiais ou renda, podendo resultar na perda irreparável de vidas. No período entre 2011 e 2020, estima-se que tenham ocorrido 345 óbitos devido à gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos (Ministério do Trabalho e Previdência, 2022). A magnitude da perda de vidas humanas pode ser ainda mais acentuada em um curto espaço de tempo, dependendo da gravidade da situação. Exemplificando, nos casos dos crimes ambientais em Mariana-MG, em 2015, e Brumadinho-MG, em 2019, ocorreram centenas de mortes em cada um desses eventos (IBAMA, 2022; G1, 2023).

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO SUA PERICULOSIDADE

A NBR 10.004 da ABNT (2004a) aborda a classificação dos resíduos sólidos. Neste aspecto, a norma define que resíduos sólidos são materiais nos estados sólido e semissólido, originados de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição (ABNT, 2004a).

Esta definição engloba não apenas os resíduos provenientes dessas atividades, mas também os lodos resultantes de estações de tratamento de água, resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como certos líquidos cujas características inviabilizem seu descarte na rede pública de esgoto ou em corpos d'água (ABNT, 2004a). Também são considerados resíduos sólidos os líquidos demandem soluções técnicas e economicamente inviáveis, em comparação com a melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004a).

A periculosidade dos resíduos sólidos constitui um fator determinante para o risco associado à saúde pública e/ou ao meio ambiente. Nesse contexto, a classificação dos resíduos ocorre conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Assim, os resíduos são categorizados em duas classes principais: Resíduos Classe I - Perigosos e Resíduos Classe II - Não Perigosos. Além disso, a classe II é subdividida em A - Não Inertes e B - Inertes (ABNT, 2004a). Essa classificação visa proporcionar uma abordagem mais precisa e abrangente em relação

à gestão e disposição adequada dos resíduos sólidos, visando à preservação da saúde pública e do meio ambiente.

### 2.2.1 Resíduos Classe I – Perigosos

Os resíduos pertencentes a esta categoria se destacam por apresentarem, no mínimo, uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. A fim de verificar se os resíduos possuem tais características, é imperativo que apresentem, no mínimo, uma das propriedades listadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Característica dos resíduos perigosos

Tipo:	Propriedades
Inflamável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando é líquido e possui um ponto de fulgor inferior a 60°C, ressalvando-se soluções aquosas contendo menos de 24% de álcool em volume;</li> <li>• Quando não é líquido, mas tem a capacidade, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 0,1 MPa (1atm), de gerar fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas, e, uma vez inflamado, queima de maneira vigorosa e persistente, tornando a extinção do fogo mais desafiadora;</li> <li>• Quando é classificado como oxidante, ou seja, uma substância capaz de liberar oxigênio e, como consequência, promover a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outros materiais;</li> <li>• Quando se trata de um gás inflamável comprimido.</li> </ul>
Corrosivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É aquoso e possui pH igual ou inferior a 2, ou igual ou superior a 12,5. Além disso, caso seja misturado com água na proporção de 1:1 em peso, resulta em uma solução com pH inferior a 2 ou superior a 12,5.</li> <li>• É líquido ou, quando misturado em peso equivalente de água, gera um líquido capaz de corroer o aço a uma taxa superior a 6,35 mm por ano, a uma temperatura de 55°C.</li> </ul>

Tipo:	Propriedades
Reativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ser intrinsecamente instável e reagir de maneira imediata e violenta, sem passar por detonação;</li> <li>• Apresentar reação violenta quando em contato com a água;</li> <li>• Formar misturas potencialmente explosivas quando em contato com a água;</li> <li>• Gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para causar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando combinados com a água;</li> <li>• Conter íons <math>CN^-</math> ou <math>S^{2-}</math> em concentrações que excedam os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de <math>H_2S</math> liberável por quilograma de resíduo, conforme o ensaio estabelecido pelo USEPA - SW 846;</li> <li>• Ter a capacidade de gerar uma reação explosiva ou detonação sob a influência de estímulo intenso, ação catalítica ou elevação de temperatura em ambientes confinados;</li> <li>• Ter a capacidade de gerar, imediatamente, uma reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 0,1 MPa (1 atm);</li> <li>• Ser considerado explosivo, sendo definido como uma substância fabricada com o propósito de produzir um efeito prático por meio de explosão ou efeito pirotécnico, independentemente de estar contida em um dispositivo preparado para tal finalidade.</li> </ul>
Tóxico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando a amostra do resíduo contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores estipulados no Anexo F da normativa. Nesse cenário, o resíduo deve ser categorizado como tóxico, com base no ensaio de lixiviação, utilizando o código de identificação constante no mencionado anexo desta norma.</li> <li>• Se a substância possuir uma ou mais substâncias listadas no Anexo C da NBR 10.004:2004 e demonstrar toxicidade. Para a avaliação dessa toxicidade, é necessário considerar os seguintes fatores: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo;</li> <li>b. Concentração do constituinte no resíduo;</li> <li>c. Potencial do constituinte, ou de qualquer produto tóxico resultante de sua degradação, para migrar do resíduo para o ambiente em condições inadequadas de manuseio;</li> <li>d. Persistência do constituinte ou de qualquer produto tóxico resultante de sua degradação;</li> <li>e. Potencial do constituinte, ou de qualquer produto tóxico resultante de sua degradação, para se degradar em constituintes não perigosos, considerando a velocidade de degradação;</li> <li>f. Extensão em que o constituinte, ou qualquer produto tóxico resultante de sua degradação, é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;</li> <li>g. Efeito nocivo pela presença de agentes teratogênicos, mutagênicos, carcinogênicos ou ecotóxicos, associados a substâncias isoladas ou resultantes do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo.</li> </ul> </li> <li>• Se for composta por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos Anexos D ou E da NBR 10.004:2004;</li> <li>• Se resultar de derramamentos ou de produtos fora de especificação ou do prazo de validade que contenham quaisquer substâncias constantes nos Anexos D ou E da NBR 10.004:2004;</li> <li>• Se for comprovadamente letal ao ser humano;</li> <li>• Se possuir substância em concentração comprovadamente letal ao ser humano, ou se estudos do resíduo demonstrarem uma DL50 oral para ratos inferiores a 50 mg/kg, uma CL50 inalação para ratos inferior a 2 mg/L, ou uma DL50 dérmica para coelhos inferiores a 200 mg/kg.</li> </ul>

Tipo:	Propriedades
Patogênico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caso o material em questão contenha ou haja suspeita de conter microorganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxirribonucleico (ADN) ou ácido ribonucleico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídios, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas com capacidade de provocar doenças em seres humanos, animais ou vegetais, está sujeito a determinadas restrições e regulamentações.</li> <li>• Adicionalmente, é necessário observar que os resíduos provenientes de serviços de saúde devem ser classificados de acordo com as normas estabelecidas pela ABNT NBR 12808. Por outro lado, os resíduos gerados nas estações de tratamento de esgotos domésticos e os resíduos sólidos domiciliares, com exceção daqueles provenientes da prestação de assistência à saúde a pessoas ou animais, não serão categorizados com base nos critérios de patogenicidade.</li> </ul>

Fonte: adaptado de ABNT (2004a).

## 2.2.2 Resíduos Classe II – Não Perigosos

Estes resíduos são subdivididos em Não Inertes e Inertes, conforme apresentado nos subitens abaixo.

### 2.2.2.1 Resíduo Classe II A – Não Inertes

Tratam-se dos resíduos que não se enquadram no Resíduo Classe I – Perigosos e podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004a).

### 2.2.2.2 Resíduo Classe II B – Inertes

Qualquer resíduo que, quando submetido ao contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada à temperatura ambiente, não apresentar a solubilização de seus constituintes a concentrações superiores aos padrões estabelecidos para a potabilidade da água, com exceção dos parâmetros de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004a).

## 2.3 LEGISLAÇÕES E NORMATIZAÇÕES NACIONAIS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS

### 2.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi estabelecida por meio da Lei nº 12.305, datada de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010). Essa legislação delinea as diretrizes referentes à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, além de estabelecer as responsabilidades dos geradores e do poder público, assim como os instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

No que diz respeito aos resíduos perigosos, a PNRS os define como aqueles que, em virtude de características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam um risco significativo à saúde pública ou à qualidade ambiental, em conformidade com legislação, regulamentos ou normas técnicas (BRASIL, 2010). Por outro lado, a PNRS adota uma abordagem mais simplificada em relação aos resíduos não perigosos em comparação com a NBR 10.004 (ABNT, 2004a), classificando-os como todos aqueles que não se enquadram na categoria de resíduos perigosos (BRASIL, 2010).

A PNRS estabelece que a destinação final apropriada dos resíduos compreende as seguintes práticas: reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético (BRASIL, 2010). Tais procedimentos devem ser realizados em conformidade com normas operacionais específicas, visando prevenir danos ou riscos à saúde pública, garantir a segurança e reduzir ao máximo os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010). Adicionalmente, a referida política permite a disposição de rejeitos em aterros, contanto que seja respeitado o cumprimento das regulamentações aplicáveis, de modo a evitar quaisquer riscos à saúde pública e preservar o meio ambiente (BRASIL, 2010).

As formas inadequadas de destinação de resíduos sólidos ou rejeitos são definidas de maneira clara pela PNRS (BRASIL, 2010), assim não são admitidas as práticas:

- I - Lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;
- II - Lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;

III - Queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;

IV - Outras formas vedadas pelo poder público.

É importante ressaltar que nas áreas destinadas à disposição desses materiais, são proibidas atividades como:

I - Utilização dos rejeitos dispostos como alimentação;

II - Catação, observado o disposto no inciso V do art. 17;

III - Criação de animais domésticos;

IV - Fixação de habitações temporárias ou permanentes;

V - Outras atividades vedadas pelo poder público.

Resíduos provenientes de agrotóxicos, pilhas, baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio, mercúrio e de luz mista, bem como produtos eletrônicos e seus componentes, devem ser descartados de acordo com logística reversa (ABNT, 2004a). Essa logística deve ser implementada pelas próprias empresas fornecedoras desses produtos.

### 2.3.2 Resolução CONAMA N° 307/2002

A Resolução n° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a correta destinação de resíduos provenientes da construção civil, visando minimizar os impactos ambientais associados a esses materiais (CONAMA, 2002). Esta norma divide os resíduos em quatro classes: A, B, C e D.

A Classe A abrange os resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados, provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e outras obras de infraestrutura, incluindo solos de terraplanagem; componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; resíduos do processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras (CONAMA, 2002).

A Classe B engloba os resíduos recicláveis destinados a outras finalidades, como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, entre outros (CONAMA, 2002). Por sua vez, a Classe C refere-se aos resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos derivados do gesso (CONAMA, 2002).

Por fim, a Classe D diz respeito aos resíduos perigosos provenientes do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e similares (CONAMA, 2002).

A Resolução N° 307 estipula que todos os resíduos provenientes da construção civil não podem ser depositados em aterros destinados a resíduos domiciliares, áreas de descarte informal, como “bota-foras”, encostas, corpos d'água, lotes vazios e áreas protegidas por legislação ambiental (CONAMA, 2002). Neste contexto, a resolução estabelece a destinação apropriada para os resíduos de acordo com sua classificação. Assim, os resíduos Classe A devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou então encaminhados para áreas de disposição adequadas para resíduos da construção civil, de modo a permitir sua reutilização ou reciclagem no futuro. Os resíduos Classe B devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados para áreas de armazenamento temporário, de forma a possibilitar sua utilização ou reciclagem posterior. Por outro lado, os resíduos Classe C devem ser armazenados, transportados e destinados conforme as normas técnicas específicas. Por fim, os resíduos Classe D devem ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados de acordo com as normas técnicas pertinentes (CONAMA, 2002).

Em 2015, a Resolução CONAMA N° 469 foi instituída, alterando a Resolução N° 307 ao incluir as embalagens vazias de tintas imobiliárias na categoria de resíduos Classe B. Essa alteração determina que as embalagens de tintas usadas na construção civil devem ser submetidas a um sistema de logística reversa, conforme estabelecido pela PNRS (CONAMA, 2015).

### **2.3.3 Resolução CONAMA N° 358/2005**

Os resíduos originários pelos serviços de saúde têm seu tratamento e destinação final determinados pela Resolução CONAMA N° 358, de 29 de abril de 2005. Esta resolução se aplica a todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros

de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de tatuagem, entre outros similares (CONAMA, 2005).

Conforme estabelecido por esta resolução, os resíduos gerados por serviços de saúde devem ser adequadamente armazenados de acordo com as regulamentações ambientais, sanitárias e de limpeza urbana, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na ausência destas, as normas e critérios internacionalmente reconhecidos devem ser seguidos. No que diz respeito aos efluentes líquidos provenientes de instalações de saúde, para sua descarga na rede de esgoto pública ou em um corpo receptor, devem ser cumpridas as diretrizes estabelecidas pelos órgãos responsáveis pelo meio ambiente, gestão de recursos hídricos e saneamento (CONAMA, 2005).

Para a Resolução N° 358 (CONAMA, 2005), os resíduos provenientes de estabelecimentos de saúde são categorizados em cinco grupos distintos:

- Grupo A: Resíduos que possuem a possibilidade de conter agentes biológicos cujas características, como alta virulência ou concentração, apresentam risco de infecção.
- Grupo B: Resíduos que contêm substâncias químicas com potencial para representar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de propriedades como inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.
- Grupo C: Materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades que excedam os limites de eliminação estipulados pelas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e que não são adequados para reutilização ou não têm previsão para tal.
- Grupo D: Resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domésticos comuns.
- Grupo E: Materiais perfurocortantes ou escarificantes, como lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, tubos capilares, micropipetas, lâminas e lamínulas, espátulas, todos os utensílios de vidro

quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e similares.

Com base nestes grupos, a resolução determina o procedimento adequado para o descarte. Os resíduos do Grupo A devem ser submetidos a processos de tratamento em equipamentos que reduzam a carga microbiana e, em seguida, encaminhados para um aterro sanitário licenciado ou um local apropriado licenciado para a disposição final de resíduos provenientes de serviços de saúde, que pode incluir aterros sanitários, cemitérios para animais ou humanos e crematórios (CONAMA, 2005). Por sua vez, os resíduos do Grupo B, quando sólidos, podem ser dispostos em aterros sanitários licenciados; quando líquidos, podem ser descartados em corpos receptores ou na rede pública de esgoto, desde que cumpram as diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes (CONAMA, 2005).

Os resíduos do Grupo C devem seguir uma destinação específica determinada pela CNEN. Por conseguinte, os resíduos do Grupo D devem, sempre que possível, ser encaminhados para processos de reutilização, recuperação ou reciclagem; caso não seja viável, devem ser destinados para aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (CONAMA, 2005). Por fim, os resíduos do Grupo E devem receber um tratamento específico de acordo com o tipo de contaminação, seja química, biológica ou radiológica (CONAMA, 2005).

#### **2.3.4 Resolução CONAMA N° 404/2008**

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos é regulada pela Resolução CONAMA N° 404, promulgada em 21 de março de 2008 (CONAMA, 2008). Conforme esta resolução, os resíduos sólidos urbanos compreendem aqueles provenientes de residências ou de qualquer atividade que gere resíduos com características semelhantes aos domiciliares, assim como os resíduos provenientes da limpeza pública urbana. Adicionalmente, a resolução determina que todos os resíduos sólidos urbanos devem ser encaminhados para aterros sanitários de pequeno porte (CONAMA, 2008).

### 2.3.5 Resolução CONAMA N° 430/2011

A Resolução nº 430 do CONAMA, de 2011, estabelece condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Segundo essa resolução, é proibido o lançamento de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) nos efluentes (CONAMA, 2011). Os POPs são compostos antropogênicos caracterizados por serem tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos, resistentes à degradação e capazes de se acumular nos tecidos adiposos dos organismos vivos. Exemplos de POPs incluem os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, os pesticidas organoclorados e as bifenilas policloradas (Pinto *et al.*, 2022).

Esta resolução autoriza a disposição de efluentes residuais provenientes de quaisquer fontes poluidoras diretamente nos corpos de água, desde que estejam em conformidade com as condições de lançamento e os padrões estabelecidos, conforme descritos a seguir.

#### 2.3.5.1 Condições de lançamento de efluentes:

I - O pH deve estar entre 5 e 9.

II - A temperatura do efluente deve ser inferior a 40°C. Além disso, a variação de temperatura no corpo receptor não deve exceder 3°C na zona de mistura.

III - A quantidade de materiais sedimentáveis não deve ultrapassar 1 mL/L em um teste de uma hora utilizando o cone Imhoff. Em corpos d'água com circulação praticamente nula, tais materiais devem estar virtualmente ausentes para o lançamento em lagos e lagoas.

IV - O regime de lançamento deve ter uma vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média durante o período de atividade diária do agente poluidor, exceto quando autorizado pela autoridade competente.

V - Em relação aos óleos e graxas:

- Para óleos minerais, o limite é de até 20 mg/L.
- Para óleos vegetais e gorduras animais, o limite é de até 50 mg/L.

VI - Não deve haver presença de materiais flutuantes.

VII - A remoção mínima da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) durante cinco dias a 20°C deve ser de 60%. Este limite só pode ser reduzido se houver um

estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove o atendimento às metas de classificação do corpo receptor.

### 2.3.5.2 Padrões de lançamento de efluentes:

Os padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água é apresentado no Quadro 2. Destaca-se que os efluentes provenientes de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer natureza devem estar em conformidade com os padrões estabelecidos no Quadro 2. Os efluentes derivados de atividades de saúde devem cumprir as normas sanitárias específicas em vigor, podendo ser descartados na rede coletora de esgoto conectada a uma estação de tratamento, desde que estejam em conformidade com as normas e diretrizes da operadora do sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário; alternativamente, podem ser descartados diretamente após tratamento especial (CONAMA, 2011).

Quadro 2 - Valores máximos de compostos inorgânicos para lançamentos em corpos d'água

<b>Parâmetros inorgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr <sup>+6</sup>
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr <sup>+3</sup>
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe

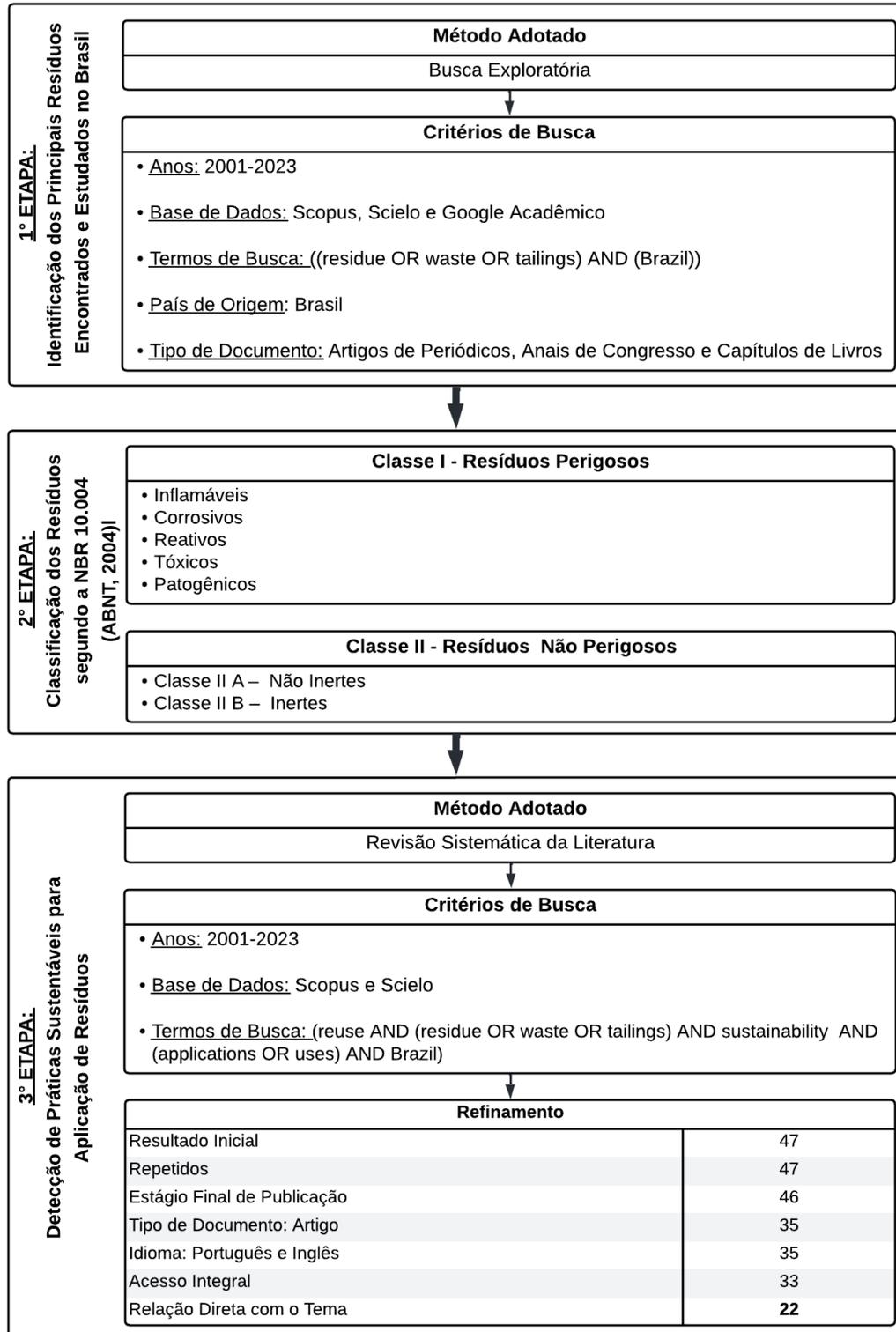
<b>Parâmetros inorgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: adaptado de ABNT

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento desta pesquisa está dividido em 3 partes que são apresentadas na Figura 4 e discriminadas nos subitens seguintes.

Figura 4 - Resumo Metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 3.1 DETECÇÃO DOS PRINCIPAIS RESÍDUOS ESTUDADOS NO BRASIL

A detecção dos resíduos foi realizada por meio de uma busca exploratória, conforme preconizado por Prodanov e Freitas (2013), abrangendo o período entre 2001 e 2023, nas bases de dados Scopus, Scielo e Google Acadêmico. Para ampliar a abrangência da pesquisa, optou-se por conduzi-la em língua inglesa, utilizando o termo de busca ((residue OR waste OR tailings) AND (Brazil)). Os critérios estabelecidos para a análise exploratória incluíam: o país de origem da pesquisa ser o Brasil, o tipo de documento ser artigo de periódico, anais de congressos ou capítulo de livros, por fim, na durante a análise semântica, o resíduo estudado precisava ter sua fonte localizada no Brasil.

Após a identificação dos resíduos, realizou-se uma pesquisa exploratória da literatura para aprofundar o conhecimento sobre a constituição química de cada um deles, utilizando também os bancos de dados mencionados e priorizando referências teóricas de pesquisadores brasileiros. Posteriormente, foram utilizados dados disponíveis em instituições públicas e privadas, como o Ministério da Agricultura do Brasil, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais e Fundação Oswaldo Cruz a fim de identificar os estados brasileiros que mais produzem cada tipo de resíduo.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos identificados foram catalogados e submetidos à etapa de classificação de acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a). O processo de classificação segue a distinção entre Classe I – Resíduos Perigosos, Classe II – Resíduos Não Perigosos. A classificação entre resíduos não perigosos inertes e não inertes não abrange o escopo desta pesquisa posto a necessidade de análise individual de cada lote de resíduo pelo ensaio de lixiviação conforme preconizado nas normas NBR 10.005 (ABNT, 2004b) e NBR 10.006 (ABNT, 2004c).

Para a classificação dos resíduos perigosos foram consideradas suas características de periculosidade, tais como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004a). Para uma classificação mais

precisa dos resíduos, foram adotados os anexos A e B da NBR 10.004, os quais tratam dos resíduos perigosos de fontes não específicas e específicas, respectivamente (ABNT, 2004a). Além disso, também foram levadas em conta as substâncias que conferem periculosidade aos resíduos, conforme descritas no Anexo C da mencionada norma, assim como as substâncias consideradas agudamente tóxicas ou tóxicas, conforme estipulado nos Anexos D e E da NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

### 3.3 DETECÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS PARA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

Para detectar as práticas de reutilização dos resíduos, foi adotada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). As revisões sistemáticas são mais abrangentes, com questões específicas e protocolos verificáveis e replicáveis por outros pesquisadores (Galvão e Pereira, 2014). Elas identificam, selecionam e avaliam criticamente trabalhos relevantes para o estudo proposto. Isso possibilita o entendimento do contexto no qual a pesquisa está inserida (Randolph, 2009).

Segundo Randolph (2009), a RSL engloba as etapas de planejamento (identificação da necessidade da revisão, definição da questão motivadora da pesquisa e elaboração do protocolo de busca), realização (onde ocorre a condução e aplicação dos critérios estabelecidos na fase de planejamento, além da síntese e análise dos resultados) e, por fim, a comunicação e divulgação dos resultados.

Para os propósitos deste estudo, serão incluídos os resíduos encontrados nos documentos detectados pela RSL, caso não tenham sido identificados previamente na etapa de detecção dos principais resíduos produzidos no Brasil, conforme descrito na seção 3.1 desta metodologia.

#### 3.3.1 Planejamento

A RSL foi proposta com o intuito de identificar, classificar e analisar os estudos relacionados à reutilização ou reaproveitamento de resíduos no Brasil. O objetivo desta busca foi que abordasse soluções mais sustentáveis e seguras para a sociedade. Assim, a metodologia buscou responder com dados quantitativos e qualitativos à questão motivadora da pesquisa: qual panorama de produção científica referente à reutilização de resíduos no Brasil nos últimos 22 anos. O levantamento dos estudos primários foi realizado por meio do estabelecimento de um protocolo de

busca, que detalhou as estratégias de pesquisa, as bases de dados utilizadas e os critérios de inclusão e exclusão adotados.

Como estratégias de busca, foi estabelecido que os estudos deveriam estar publicados em artigos de periódicos disponíveis integralmente em meio eletrônico no intervalo temporal de 2001 e 2023. A identificação dos estudos foi conduzida nas bases de dados Scopus, escolhida por ser o maior repositório de dados de citações de artigos revisados por pares (Tariq, Hu e Zayed, 2021), e por demonstrar o melhor desempenho em termos de precisão e consistência quando compactado com outras bases de dados (Darko e Chan, 2016), e no Scielo, por abranger grande parte dos países latino-americanos, incluindo o Brasil (Spatti *et al.*, 2021). O termo de busca utilizado foi: (reuse AND (residue OR waste OR tailings) AND Sustainability AND (applications OR uses) AND Brazil), o qual deveria estar presente no título, resumo ou palavras-chaves do documento. A opção por utilizar termos em inglês foi devido à ampliação da abrangência da busca.

Os estudos obtidos foram arquivados e avaliados conforme os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos. Os critérios de exclusão abrangeram estudos repetidos, documentos em estágios diferentes do estágio final de publicação, documentos que não sejam artigos de periódicos ou escritos em idiomas distintos do português e inglês. Além disso, foi adotado como critério de exclusão a disponibilidade integral do arquivo em meio virtual. Por fim, após análise semântica, foram eliminados aqueles documentos que não se alinharam com a temática proposta neste trabalho.

### **3.3.2 Realização**

A aplicação dos termos de busca foi realizada no dia 15 de março de 2024 e gerou um total de 47 arquivos somado as duas bases de dados utilizadas. O estabelecimento do protocolo de busca com os respectivos filtros pode ser aferido na Tabela 1.

Tabela 1 - Realização do protocolo de busca da RSL

	Scopus	Scielo
Resultados pelo termo de busca entre 2001 e 2023	47	0
Remoção dos estudos repetidos	47	0
Remoção por estágio de publicação distinto do estágio final	46	0
Remoção por tipo de documentos	35	0
Remoção por idioma	35	0
Remoção dos estudos de acesso integral indisponível	33	0
Remoção por incompatibilidade com a temática	22	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os estudos que tangenciam o tema, por não abordar um resíduo específico e sua respectiva aplicação, foram removidos e possuem seus títulos apresentados a seguir:

- Analysis of social and environmental practices related to conscious consumption of students from public education of Sertão Pernambucano, Brazil
- Analysis of sustainability indicators on the management construction sites CDW in Recife, Brazil
- Bibliometric analysis on the use of natural fibers in construction materials
- Life cycle management in bakeries: a proposed roadmap towards Sustainability
- Nitrogen, phosphorus and potassium accounts in the Brazilian livestock agro-industrial system
- Organizational dynamics in civil construction sector study on corporate social and environmental responsibility in companies in Brazil, Mexico and the United States of America
- Quality of effluent of pisciculture treated by aerobic and anaerobic biological filters to be used in irrigation
- Site-specific framework of sustainable practices for a Brazilian contaminated site case study
- Transitioning towards a sustainable circular city: How to evaluate and improve urban solid waste management in Brazil
- Typifying cities to streamline the selection of relevant environmental sustainability indicators for urban water supply and sewage handling systems: a recommendation
- Wastewater reuse: Perception and social acceptance.

### **3.3.3 Divulgação**

Segundo Randolph (2009), a terceira etapa de uma RSL está na divulgação dos resultados. Esta etapa se consolida por meio deste trabalho disponibilizado em acesso público no repositório da UFJF.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESÍDUOS DETECTADOS NA BUSCA EXPLORATÓRIA E SUA CLASSIFICAÇÃO

O Quadro 3 exibe os 83 resíduos identificados durante a pesquisa exploratória. Em alguns casos, os resíduos foram agrupados por serem oriundos da mesma fonte ou processo industrial. Além disso, no Quadro 3, é destacada a composição química desses materiais, ressaltando os três óxidos químicos ou moléculas de carbono (para os resíduos orgânicos) mais representativos. A localização predominante dos resíduos identificados no Brasil, bem como sua classificação segundo a periculosidade associada, também é abordada neste mesmo Quadro.

Quadro 3 - Resíduos detectados, sua composição e periculosidade

Resíduo	Ref.	Composição Química Predominante	Ref. da Composição	Localização no Brasil <sup>(a)</sup>	Classificação segundo NBR 10.004 (ABNT, 2004a).
Agrícolas / Agroindustriais / Resíduos vegetais	(Costa <i>et al.</i> , 2022)	Holocelulose Lignina	(Souza <i>et al.</i> , 2021)	Todos os estados	Não Perigoso
Água residual de lavagem de ônibus	(Almeida <i>et al.</i> , 2010)	Grande variabilidade <sup>(c)</sup>	-	Todos os estados	Perigoso <sup>(d)</sup>
Água residual de frigorífico de pescado	(Souza <i>et al.</i> , 2018)	Grande variabilidade <sup>(c)</sup>	-	Todos os estados	Não Perigoso
Água residual de unidades de dessalinização	(Souza <i>et al.</i> , 2021)	Cl <sup>-</sup>   Mg <sup>+2</sup> Na <sup>+2</sup>	(Souza <i>et al.</i> , 2021)	RJ, ES, MA, PI, CE, RN, PB, AL, SE, BA	Não Perigoso
Água residual industrial	(Hansen, Rodrigues e Aquim, 2016)	Grande variabilidade <sup>(c)</sup>	-	Todos os estados	Não Perigoso
Águas residuais de mandioca	(Santos <i>et al.</i> , 2023)	K   N   Mg	(Souza <i>et al.</i> , 2021)	SP, MG, AC, AM, PA, MA, BA, PR, RS	Não Perigoso
Cal	(Baldovino, Izzo e Ekinci, 2023)	CaO   MgO SiO <sub>2</sub>	(Baldovino, Izzo e Ekinci, 2023)	SP, RJ, MG, ES, TO, GO, DF, MT, MS, RO, PA, MA, PI, CE, RN, PB, PE, AL, BA, SE, PR, SC, RS	Não Perigoso
Cal carboneto	(Loterio, Moncaleano e Consoli, 2023)	CaO   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	(Atma e Souahi, 2021)	SP, MG, AM, PA, PE, RS	Perigoso
Calcário	(Medeiros <i>et al.</i> , 2016)	MgO   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO	(Medeiros <i>et al.</i> , 2016)	SP, RJ, MG, ES, GO, DF, MS, MT, RO, AM, PA, MA, PI, CE, RN, PB, PE, BA, AL, SE, TO, PR, SC, RS	Não Perigoso
Casca de café	(Almeida <i>et al.</i> , 2023)	Lignina Celulose Hemicelulose	(Almeida <i>et al.</i> , 2023)	SP, RJ, MG, ES, GO, MT, RO, BA, PR	Não Perigoso

Resíduo	Ref.	Composição Química Predominante	Ref. da Composição	Localização no Brasil <sup>(a)</sup>	Classificação segundo NBR 10.004 (ABNT, 2004a).
Casca de coco	(Avelino <i>et al.</i> , 2018)	K <sub>2</sub> O   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	(Saini <i>et al.</i> , 2024)	MG, ES, MA, PI, CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA	Não Perigoso
Caulim	(Maruoka <i>et al.</i> , 2023)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO	(Maruoka <i>et al.</i> , 2023)	AP, AM, PA	Não Perigoso
Cerâmica / Azulejos cerâmicos / Tijolos cerâmicos / Cerâmica vermelha	(Medeiros <i>et al.</i> , 2016)	CaO   K <sub>2</sub> O Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Medeiros <i>et al.</i> , 2016)	Todos os estados	Não Perigoso
Cinza de bagaço de cana / Bagaço de cana / Cinza de palha de cana	(Teixeira <i>et al.</i> , 2021)	SiO <sub>2</sub>   K <sub>2</sub> O P <sub>2</sub> O	(Teixeira <i>et al.</i> , 2021)	SP, MG, GO, MS, MT, RN, PB, PE, AL, SE	Não Perigoso
Cinza de biomassa	(Almeida e Cordeiro, 2023)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> K <sub>2</sub> O	(Almeida e Cordeiro, 2023)	Todos os estados	Não Perigoso
Cinza de casca de arroz / Casca de arroz	(Geraldo, Fernandes e Camarini, 2017)	SiO <sub>2</sub>   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Geraldo, Fernandes e Camarini, 2017)	Todos os estados	Não Perigoso
Cinza de folha de bambu	(Silva <i>et al.</i> , 2021)	SiO <sub>2</sub>   CaO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Silva <i>et al.</i> , 2021)	SP, MG, AC, MA, PB, BA, PR, RS	Não Perigoso
Cinza de madeira / Resíduo de madeira / Serragem	(Bonfim-Silva <i>et al.</i> , 2019)	K <sub>2</sub> O   Ca   Mg	(Bonfim-Silva <i>et al.</i> , 2019)	Todos os estados	Não Perigoso
Cinzas volantes / Cinzas volantes de carvão	(Consoli, Rocha e Saldanha, 2014)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Lange <i>et al.</i> , 2019)	SP, RJ, MG, PA, MA, CE, PR, SC, RS	Não Perigoso
Concreto	(Aguilar, Garcia e Santos, 2022)	SiO <sub>2</sub>   CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Aguilar, Garcia e Santos, 2022)	Todos os estados	Não Perigoso
Construção e demolição	(Azevedo <i>et al.</i> , 2020)	SiO <sub>2</sub>   CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Azevedo <i>et al.</i> , 2020)	Todos os estados	Não Perigoso
Curtume / Couro	(Rigueto <i>et al.</i> , 2022)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Priebe <i>et al.</i> , 2016)	SP, MG, GO, MS, CE, PB, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Dejetos de animais	(Silva <i>et al.</i> , 2020)	N <sub>2</sub> O   CH <sub>4</sub>	(Amaral Júnior, 2022)	Todos os estados	Não Perigoso
Dregs	(Mymrin <i>et al.</i> , 2020)	CaO   MgO Na <sub>2</sub> O	(Mymrin <i>et al.</i> , 2020)	SP, RJ, MG, ES, GO, MS, CE, PB, PE, SE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Efluentes da indústria farmacêutica	(Prado <i>et al.</i> , 2019)	Ca   K   N	(Prado <i>et al.</i> , 2019)	SP, RJ, MG, ES, GO, DF, AM, RN, CE, PB, PE, AL, BA, PR, RS	Perigoso
Escória de aciaria / Escória de forno de oxigênio básico	(Carvalho <i>et al.</i> , 2022)	CaO   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	(Carvalho <i>et al.</i> , 2022)	RJ, MG, ES, MS, RN, CE, PB, BA, PR, SC	Não Perigoso
Escória de alto forno	(Gonçalves, Balestra e Gil, 2023)	SiO <sub>2</sub>   CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Gonçalves, Balestra e Gil, 2023)	SP, RJ, MG, ES, PA, MA, CE	Não Perigoso
Escória de reator Kambara	(Dieguez <i>et al.</i> )	CaO   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	(Dieguez <i>et al.</i> )	RJ, MG, ES, MS, RN, CE, PB, BA, PR, SC	Não Perigoso
Esgoto humano	(Oliveira <i>et al.</i> , 2021)	N   P   K	(Lobo e Américo-Pinheiro, 2021)	Todos os estados	Não Perigoso
EVA (Etileno Vinil Acetato)	(Ribeiro <i>et al.</i> , 2020)	Acetato de Vinila	(Luna <i>et al.</i> , 2021)	SP, MG, CE, PB, PE, SE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Fibras de abacaxi	(Azevedo <i>et al.</i> , 2021)	Lignina Celulose Hemicelulose Pectina	(Botelho, Conceição e Carvalho, 2002)	SP, RJ, MG, ES, PA, TO, RN, PB, AL	Não Perigoso
Fosfogesso	(Costa e Gonçalves, 2022)	CaO   SiO <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	(Costa e Gonçalves, 2022)	SP, MG, GO, TO, PI, CE, PB, PE, BA, SC	Não Perigoso

Resíduo	Ref.	Composição Química Predominante	Ref. da Composição	Localização no Brasil <sup>(a)</sup>	Classificação segundo NBR 10.004 (ABNT, 2004a).
Granito	(Rodrigues <i>et al.</i> , 2022)	SiO <sub>2</sub>   CaO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Rodrigues <i>et al.</i> , 2022)	RJ, MG, ES, MS, CE, RN, PB, BA, PR, SC	Não Perigoso
Grãos	(Siqueira e Holanda, 2013)	CaO   K <sub>2</sub> O SO <sub>3</sub>	(Siqueira e Holanda, 2013)	SP, RJ, MG, ES, GO, MS, CE, PB, PE, SE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Lama de galvanoplastia	(Pinto <i>et al.</i> , 2021)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   ZnO MnO <sub>2</sub>	(Pinto <i>et al.</i> , 2021)	SP, RJ, MG, ES, GO, MT, MS, RO, AM, PA, MA, CE, RN, PB, PE, BA, PR, SC, RS	Perigoso <sup>(d)</sup>
Lama têxtil	(Almeida, Franco e Tavares, 2015)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	(Almeida, Franco e Tavares, 2015)	SP, RJ, MG, CE, RN, PB, PE, SE, BA, PR, SC, RS	Perigoso <sup>(d)</sup>
Lama vermelha / Resíduo de bauxita	(Azevedo <i>et al.</i> , 2022)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Azevedo <i>et al.</i> , 2022)	SP, MG, PA, MA, SC	Perigoso <sup>(d)</sup>
Lã de vidro	(Medeiros <i>et al.</i> , 2021)	SiO <sub>2</sub>   CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Medeiros <i>et al.</i> , 2021)	Todos os estados	Não Perigoso
Lodo de tratamento de água / Lodo de esgoto	(Geraldo, Fernandes e Camarini, 2017)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Geraldo, Fernandes e Camarini, 2017)	Todos os estados	Não Perigoso
Mármore	(Carvalho <i>et al.</i> , 2023b)	CaO   MgO SiO <sub>2</sub>	(Ramos, Passalini e Holanda, 2023)	RJ, MG, ES, MS, RN, CE, PB, BA, PR, SC	Não Perigoso
Papel / Papelão	(Mymrin <i>et al.</i> , 2020)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO	(Pinheiros <i>et al.</i> , 2007)	Todos os Estados	Não Perigoso
Pedras ornamentais / Rochas ornamentais	(Gadioli <i>et al.</i> , 2023)	SiO <sub>2</sub> <sup>(b)</sup>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Gadioli <i>et al.</i> , 2023)	RJ, MG, ES, MS, CE, RN, PB, BA, PR, SC	Não Perigoso
PET (Polietileno Tereftalato) / Sacolas Plásticas	(Silva <i>et al.</i> , 2018)	ácido tereftálico etilenoglicol	(Silva <i>et al.</i> , 2018)	Todos os estados	Não Perigoso
Pneu / Borracha de pneu / Borracha	(Copetti <i>et al.</i> , 2020)	C   Fe   Zn	(Copetti <i>et al.</i> , 2020)	Todos os estados	Não Perigoso
Pó de forno de arco elétrico	(Sellitto <i>et al.</i> , 2021)	ZnO   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	(Paiva <i>et al.</i> , 2021)	SP, RJ, MG, ES, PA, CE, PE, BA, PR, RS	Perigoso
Pó do polimento de porcelanato	(Ramos <i>et al.</i> , 2018)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ramos <i>et al.</i> , 2018)	SP, MG, ES, GO, MS, CE, RN, PB, PE, SE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Polpa de celulose	(Lacerda <i>et al.</i> , 2023)	Celulose	(Lacerda <i>et al.</i> , 2023)	SP, RJ, MG, ES, MS, RO, AM, PA, MA, PE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Quartzito	(Reis, Collares e Reis, 2017)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO	(Aguiar <i>et al.</i> , 2024)	SP, MG, ES, GO, CE, PE, BA, PR, RS	Não Perigoso
Rejeito de minério de carvão	(Acordi <i>et al.</i> , 2023)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Acordi <i>et al.</i> , 2023)	PR, SC, RS	Não Perigoso
Rejeito de minério de cromita	(Blaskowski <i>et al.</i> , 2019)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Cruz-Crespo <i>et al.</i> , 2019)	MG, GO, AP, AM, PA, TO, MA, PI, CE, BA, SC	Não Perigoso
Rejeito de minério de ferro	(Carvalho <i>et al.</i> , 2023a)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Carvalho <i>et al.</i> , 2023a)	MG, MS, PA	Perigoso <sup>(d)</sup>
Resíduo de minério não reagido	(Ribeiro <i>et al.</i> )	TiO <sub>2</sub>   SiO <sub>2</sub> CaO	(Ribeiro <i>et al.</i> )	BA	Não Perigoso
Resíduos de al-anodização	(Souza <i>et al.</i> , 2020)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO	(Souza <i>et al.</i> , 2020)	SP, RJ, MG, ES, GO, MT, MS, RO, AM, CE, RN, PB, PE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Radioativos - Usinas nucleares	(Crispianiano e Brito, 2022)	U	(EletroNuclear, 2024)	RJ	Perigoso

Resíduo	Ref.	Composição Química Predominante	Ref. da Composição	Localização no Brasil <sup>(a)</sup>	Classificação segundo NBR 10.004 (ABNT, 2004a).
Scheelita	(Araújo <i>et al.</i> , 2021)	CaO   SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Araújo <i>et al.</i> , 2021)	RN	Perigoso <sup>(d)</sup>
Sílica ativa	(Mendes <i>et al.</i> , 2021)	SiO <sub>2</sub> <sup>(b)</sup>	(Mendes <i>et al.</i> , 2021)	SP, MG, GO, MS, PA, CE, BA	Não Perigoso
Solos/ Rochas residuais	(Aquino <i>et al.</i> , 2020)	SiO <sub>2</sub>   Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	(Aquino <i>et al.</i> , 2020)	Todos os estados	Não Perigoso
Solos residuais - Perfuração	(Sobrinho <i>et al.</i> , 2020)	Ca   Mg Ba	(Sobrinho <i>et al.</i> , 2020)	SP, RJ, MG, ES, MS, AM, PA, MA, CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA, PR, SC, RS	Não Perigoso
Tecido	(Ferreira <i>et al.</i> , 2015)	C   H   N	(Jamaludin <i>et al.</i> )	Todos os estados	Não Perigoso
Tinta	(Mymrin <i>et al.</i> , 2019)	BaO   TiO <sub>2</sub> CaO	(Mymrin <i>et al.</i> , 2019)	Todos os estados	Perigoso <sup>(d)</sup>
Pó de vidro / Vidro moído	(Higuchi <i>et al.</i> , 2021)	SiO <sub>2</sub>   CaO Na <sub>2</sub> O	(Higuchi <i>et al.</i> , 2021)	Todos os estados	Não Perigoso

<sup>(a)</sup> Dados coletados em anuários de produção disponibilizados portais de instituições públicas e privadas

<sup>(b)</sup> Corresponde a mais de 80% do material

<sup>(c)</sup> Ampla variabilidade dos componentes do resíduo, variando conforme sua origem ou forma de armazenamento

<sup>(d)</sup> Classificação generalista posto que é necessário um estudo específico de cada resíduo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resíduos apresentados no Quadro 3 são oriundos do setor agrícola (por exemplo, casca de arroz, restos vegetais, fibras de abacaxi, casca de café, casca de coco), da construção civil (ex. concreto, construção e demolição, cerâmico, granito, mármore, madeira, serragem, vidro, entre outros), resíduos geológicos (ex. resíduo de minério de ferro, de lama vermelha e lama galvanoplastia, resíduos de caulim, de perfuração de solo, entre outros) e resíduos industriais (por exemplo, escória de aço, poeira de fornos de arco elétrico, resíduos al-anodização).

Além disso, é relevante destacar que existem diferentes tipos de resíduos hospitalares, como os comuns, infectantes, perfurocortantes, químicos e radioativos, e também os resíduos sólidos urbanos, como eletrônicos, matéria orgânica, metais, óleos e outros. Esses resíduos estão presentes em todo o Brasil e não foram incluídos no Quadro 3 devido à grande variedade em sua composição química e periculosidade, mesmo pertencendo à uma mesma categoria de resíduos.

Nesse caso, apenas 15% dos resíduos encontrados são considerados perigosos, enquanto 85% podem ser classificados como não perigosos. Isso indica que a maioria dos estudos se concentra nos resíduos não perigosos, o que é compreensível devido aos riscos que as substâncias perigosas representam para a saúde e o meio ambiente.

A escassez de estudos quanto a possibilidade de reinserção no ciclo produtivo ou reaproveitamento dos resíduos perigosos reforça a importância de garantir o descarte correto dessas substâncias, em conformidade com as normas brasileiras e as diretrizes do CONAMA. No entanto, é possível adotar medidas de saúde e segurança no trabalho para facilitar uma melhor compreensão desses materiais e avaliar sua viabilidade em atividades produtivas. Isso poderia ajudar a evitar descartes em locais irregulares ou o armazenamento em barragens e outras estruturas onerosas e que representam riscos à sociedade e ao meio ambiente.

Alguns resíduos provenientes da mineração são considerados perigosos devido às substâncias usadas durante o processo de produção. Entre esses resíduos estão o rejeito de minério de ferro, a lama vermelha, a lama de galvanoplastia e a scheelita, como indicado no Quadro 3. No entanto, essa classificação pode não ser precisa, uma vez que são necessários testes de lixiviação e solubilização para determinar seu potencial de poluição. Por exemplo, o rejeito de minério de ferro é considerado inerte e pode ser usado na construção civil tanto como filler em concretos, como material precursor na reação de geopolimerização (Carvalho *et al.*, 2023a).

A água residual da lavagem de ônibus é considerada perigosa devido aos possíveis óleos liberados pelo veículo, como os do combustível e da oxidação da lataria. Além disso, os produtos químicos usados na lavagem, como detergentes e sabão, podem ser prejudiciais ao meio ambiente. Portanto, essa água não é adequada para consumo humano ou uso na agricultura. No entanto, é possível tratá-la e reintegrá-la ao meio ambiente ou utilizá-la em processos produtivos, sendo o tratamento uma prática recomendada.

Das substâncias listadas no Quadro 3, 20 delas têm principalmente  $\text{SiO}_2$  em sua composição. Este composto é importante para transformar esses resíduos em materiais adequados para a produção de geopolímeros, pois o  $\text{SiO}_2$  desempenha um papel fundamental na cristalização durante o processo de geopolimerização, seja em meio ácido ou alcalino (Carvalho *et al.*, 2023a). O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  também foram encontrados com frequência nos materiais analisados. Esses óxidos também são importantes para o processo de geopolimerização (Carvalho *et al.*, 2023a). Isso faz com que os resíduos que os contenham sejam fortes candidatos a precursores geopoliméricos.

#### 4.1.1 Ocorrência de resíduos no Brasil

Com base nos dados apresentados no Quadro 3, foi realizado o mapeamento dos resíduos no Brasil. A Figura 5 apresenta os resíduos encontrados em todos os estados do país. É evidente que a maioria desses resíduos é originário do setor da construção civil, como vidro, concreto, resíduos de construção e demolição, além de resíduo cerâmico, entre outros. Resíduos agrícolas, urbanos e hospitalares também estão presentes em todo o Brasil. Portanto, considerando a ampla distribuição desses materiais pelo país, é de suma importância priorizar a implementação de políticas nacionais voltadas ao reaproveitamento ou reciclagem destes resíduos.

Figura 5 - Mapa da distribuição dos resíduos comuns a todos os estados do Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Dentre os resíduos destacados na Figura 5 encontram-se materiais descartados no cotidiano, como o PET, sacolas plásticas, tecidos, papéis, papelões, lodo de tratamento de água, esgoto humano, dejetos de animais e resíduos sólidos urbanos em geral. Apesar da frequência na produção desses materiais, suas taxas de

reaproveitamento e reciclagem são baixas. De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apenas 5% desses resíduos foram aproveitados em 2022 (ABRELPE, 2023).

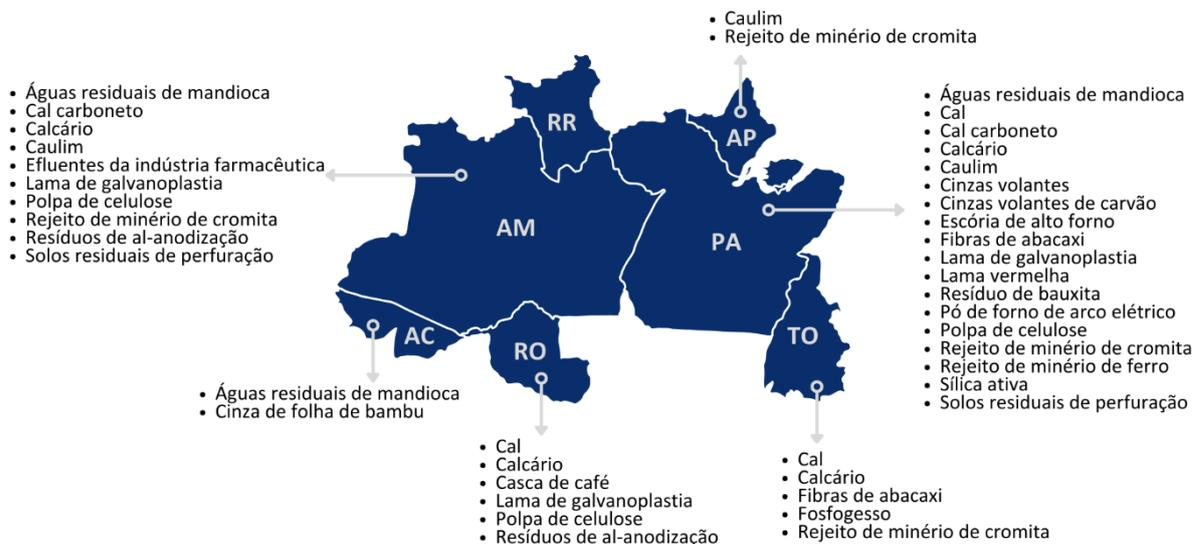
Cerca de 75% dos pneus, 75% dos vidros, 60% dos resíduos de construção e demolição, 55% dos plásticos são depositados em aterros sanitários em todo o mundo (Ferdous et al., 2021). Esses materiais ocupam muito espaço nos aterros e causam problemas para o meio ambiente e a saúde pública, sobretudo, se descartados de maneira irregular. Nesse contexto, a Resolução nº 416/2009 do CONAMA proibiu a disposição final de pneus em aterros sanitários, devido aos danos ambientais causados por sua decomposição ao longo do tempo (CONAMA, 2009). Portanto, as empresas fabricantes de pneus devem implementar programas próprios para a coleta e a destinação apropriada dos pneus inutilizados, a fim de reduzir o risco ambiental associado a esse resíduo (CONAMA, 2009). Essa recomendação também está presente na PNRS, reforçando a importância da logística reversa de pneus (BRASIL, 2010).

No ano de 2021, foram recolhidas mais de 48 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição, o que equivale a quase 230 kg por pessoa (ABRELPE, 2023). Segundo dados da ABRELPE (2023), a Região Sudeste foi responsável por 52% dessa produção, enquanto a Região Centro-Oeste se destaca como a área com a maior coleta per capita, totalizando 323 kg por habitante ao ano.

O descarte de resíduos plásticos representa um grande desafio para o Brasil. O país é o quarto maior produtor mundial de resíduos plásticos, e isso se deve à sua versatilidade e aos diversos formatos em que são encontrados, como em embalagens, por exemplo (ABRECON, 2022).

Na Figura 6 são exibidos os tipos de resíduos comumente encontrados nos estados da região Norte do Brasil. Observa-se que a maioria desses resíduos é de origem geotécnica, havendo também presença de alguns resíduos agrícolas, tais como casca de café, cinzas de folha de bambu e fibras de abacaxi. Cumpre ressaltar que a presença da Floresta Amazônica na região Norte restringe as atividades econômicas locais devido à necessidade de sua preservação, o que, por conseguinte, influencia na reduzida variedade dos resíduos produzidos.

Figura 6 - Mapa da distribuição de resíduos na região Norte



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 7 apresenta os resíduos encontrados na região Nordeste, destacando uma ampla variedade, incluindo resíduos agrícolas, industriais e geotécnicos. É importante notar que à medida que a quantidade e a diversidade dos resíduos aumentam, os riscos associados ao seu armazenamento e descarte também se elevam. Portanto, é fundamental uma gestão rigorosa e a manutenção adequada das estruturas de armazenamento para prevenir desastres e/ou crimes ambientais e sociais.

Figura 7 - Mapa da distribuição de resíduos na região Nordeste

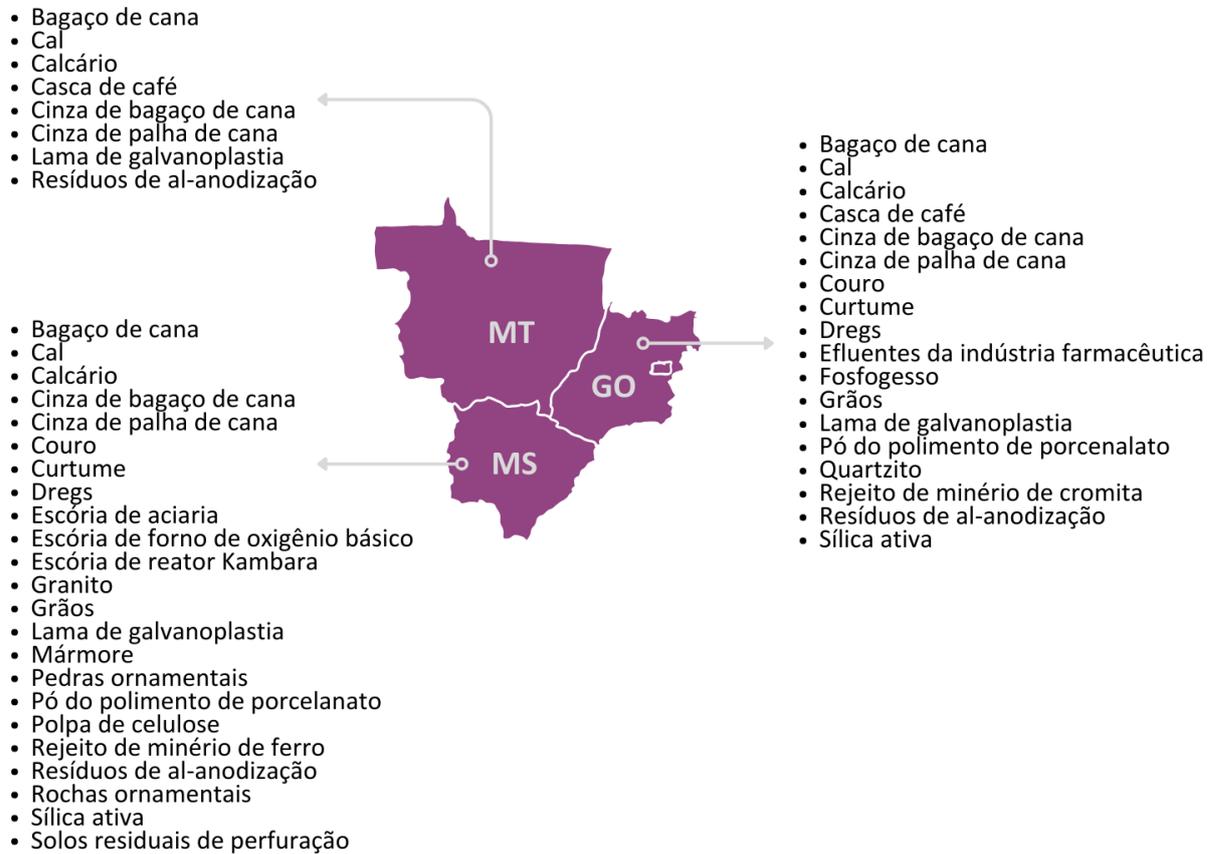


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 8 apresenta os resíduos encontrados na região Centro-Oeste do país. Nota-se a predominância dos resíduos agrícolas, provenientes das atividades do agronegócio que prevalece nessa região (CNA, 2024). Além disso, há a presença de resíduos geotécnicos, como lama de galvanoplastia, quartzito, rejeitos de minério de

cromita e rejeitos de minério de ferro. Em menor quantidade, encontram-se os resíduos industriais.

Figura 8 - Mapa da distribuição de resíduos na região Centro-Oeste



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 9 apresenta os resíduos encontrados nos estados da região Sudeste do Brasil. Esta é a região mais populosa e com o maior Produto Interno Bruto (PIB) do país (IBGE, 2024). Devido a essas características, ela possui a maior quantidade e variedade de resíduos, especialmente aqueles de origem industrial e geotécnica. Além disso, foi nessa região que ocorreram os desastres relacionados a resíduos que mais impactaram a história do Brasil, isto é, o rompimento das barragens de rejeitos de mineração na cidade de Mariana e Brumadinho no estado de Minas Gerais (G1, 2016; G1, 2023).

Figura 9 - Mapa da distribuição de resíduos na região Sudeste



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na Figura 10 são exibidos os resíduos identificados nos estados da região Sul do Brasil. Esta área é a segunda mais populosa do país e tem um PIB significativo (IBGE, 2024). Os resíduos nessa região provêm principalmente de atividades industriais, como escórias de aciaria, cinzas volantes, resíduos de al-anodização e lama têxtil, entre outros. Além disso, resíduos agrícolas e geotécnicos também são encontrados nessa região.

Figura 10 - Mapa da distribuição de resíduos na região Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por meio do mapeamento de ocorrências de resíduos disponibilizado nas Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10, é perceptível que os resíduos se encontram dispersos por todos os estados do país. Dessa forma, este mapeamento é uma ferramenta valiosa para que as empresas, instituições de ensino e de pesquisa possam estudar os resíduos presentes em suas proximidades,

facilitando a logística de transporte para o desenvolvimento de novos produtos e a reintegração desses materiais no ciclo produtivo.

Além disso, esse mapeamento pode ser usado pelos setores do Poder Público, Defesa Civil e Corpo de Bombeiros para ajudar na supervisão e controle dos perigos ligados à disposição final desses materiais. Dessa forma, o mapeamento se torna um instrumento importante para gerenciar riscos, melhorando as operações dos órgãos públicos e contribuindo para aumentar a segurança da população e do meio ambiente.

#### 4.2 APLICAÇÕES DETECTADAS PELA REVISÃO SISTEMÁTICA E OUTRAS INICIATIVAS PROPOSTAS

O Quadro 4 apresenta os resíduos e suas respectivas aplicações identificadas por meio da RSL. No total, foram detectados 29 tipos de resíduos ou combinações de deles, e 11 propostas de aplicação.

Quadro 4 - Aplicações identificadas na RSL

Resíduo	Utilização/Aplicação proposta	Referência
Agrícolas	Insumo para biorefinarias	(Forster-Carneiro <i>et al.</i> , 2013)
Água residual de lavagem de ônibus	Reutilização no próprio processo industrial	(Almeida <i>et al.</i> , 2010)
Água residual de frigorífico de pescado	Reutilização no próprio processo industrial e os eventuais sólidos em suspensão são destinados para confecção de farinha de peixe	(Souza <i>et al.</i> , 2018)
Água residual de unidades de dessalinização	Insumo para a piscicultura de tilápias do Nilo	(Souza <i>et al.</i> , 2021)
Água residual industrial	Resfriamento de equipamentos do próprio processo industrial	(Sadr <i>et al.</i> , 2018) (Hansen, Rodrigues e Aquim, 2016)
Calcário	Componente para confecção de cobertura intermediária de aterros	(Boscov, Tsugawa e Montalvan, 2021)
Construção e demolição	Reutilização e reciclagem	(Oliveira, Oliveira e Fonseca, 2021)
Construção e demolição + Lodo de tratamento de água	Contenção e estabilização de solos	(Boscov e Hemsj, 2020)
Cinzas de cana de açúcar	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
Cinzas de arroz	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
Cinzas volantes	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
Dejetos de animais	Produção de energia	(Oliveira <i>et al.</i> , 2021)
Dejetos de animais + resíduos alimentares	Produção de fertilizantes	(Silva <i>et al.</i> , 2020)
Efluentes da indústria farmacêutica	Produção de fertilizantes	(Prado <i>et al.</i> , 2019)

Resíduo	Utilização/Aplicação proposta	Referência
Embalagens	Reutilização e reciclagem	(Landim <i>et al.</i> )
Escória de alto forno	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
Escória de reator Kambara	Confecção de pavimentos para estradas rurais por meio de mistura com o solo original local.	(Dieguez <i>et al.</i> )
Esgoto humano	Produção de energia	(Oliveira <i>et al.</i> , 2021)
Fibras de abacaxi	Adição como fibras na produção de argamassas de cimento Portland	(Azevedo <i>et al.</i> , 2021)
Granito	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
	Substituição parcial do cimento e do agregado miúdo na produção de argamassas	(Nascimento <i>et al.</i> , 2020)
Lodo de tratamento de água	Cobertura intermediária de aterros	(Boskov, Tsugawa e Montalvan, 2021)
Mármore	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
Quartzito	Agregado para pavimentação de blocos de concreto	(Reis, Collares e Reis, 2017)
Rejeito de minério de cromita	Produção de fertilizante	(Blaskowski <i>et al.</i> , 2019)
Resíduos de computadores	Logística reversa para reciclagem e reutilização de componentes	(Slomski <i>et al.</i> , 2018)
Rochas residuais	Cobertura intermediária de aterros	(Boskov, Tsugawa e Montalvan, 2021)
Sacolas plásticas	Incentivo a reutilização	(Gomes, Lazaro e Leocadio, 2022)
Sílica ativa	Agregado de concreto	(Filho <i>et al.</i> , 2013)
Solos residuais agrícolas	Extração de potássio para indústria de fertilizantes	(Sipert, Cohim e Nascimento, 2020)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As propostas de aplicação de resíduos do Quadro 4 incluem: utilizar os resíduos para produção de farinha de peixe (representando 3%), usá-los como insumo para piscicultura (3%), para produção de energia (9%), reutilizá-los no próprio processo industrial (11%), além de reutilização e reciclagem (13%). Outras propostas incluem a contenção e estabilização de solos (3%), a confecção de pavimentos (6%), o desenvolvimento de cobertura de aterros (10%), a produção de fertilizantes (13%) e a incorporação em matrizes cimentícias (29%), seja como agregado, fibras ou para substituir parcialmente o cimento.

Observa-se que a sugestão predominante para a aplicação de resíduos é na construção civil, utilizando esses materiais na composição de compostos de cimento Portland, como pastas, argamassas e concretos. De fato, diversos materiais residuais podem ser usados na indústria da construção e integrados às matrizes de cimento Portland, podendo ter um efeito pozolânico ou preencher os poros da base, reduzindo

o número de vazios e aumentando a resistência por meio do efeito de fíler. (Carvalho *et al.*, 2023b).

Outras alternativas à matriz de cimento Portland para incorporar resíduos na construção civil são as matrizes geopoliméricas (Carvalho *et al.*, 2023a). Elas podem ser utilizadas na produção de pastas, argamassas e concretos geopoliméricos. Estes materiais podem emitir até 80% menos CO<sub>2</sub> do que os produtos derivados da matriz de cimento Portland (Carvalho *et al.*, 2023a). Para que o resíduo seja suscetível a geopolimerização basta que tenha uma granulometria reduzida e possua em sua composição SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, preferencialmente em formato amorfo, que são óxidos essenciais para o desenvolvimento de cristais geopoliméricos (Carvalho *et al.*, 2023a). A viabilidade desta alternativa em larga escala é evidente, uma vez que todos os resíduos que possuem uma composição majoritária de óxidos de silício, alumínio e/ou ferro podem ser totalmente utilizados como precursores para reações geopoliméricas.

Os resíduos industriais e geotécnicos podem ser integrados na construção civil, sendo empregados na elaboração de estruturas a partir das matrizes supracitadas ou em produtos refratários, como é o caso do pó de forno de arco elétrico, além de poderem ser utilizados na produção de peças cerâmicas.

De maneira geral, sugere-se que os resíduos agrícolas e orgânicos sejam utilizados na produção de adubos naturais, ração para animais, biomassa energética ou até mesmo na fabricação de embalagens biodegradáveis. No entanto, é importante notar que esta última opção não foi identificada em nenhum momento na literatura estudada, sendo fruto da análise deste trabalho.

Os resíduos sólidos urbanos e hospitalares comuns têm a possibilidade de passarem por logística reversa para serem reciclados ou reutilizados, considerando as particularidades de cada material. No que diz respeito aos resíduos sólidos urbanos eletrônicos, se estiverem em condições de uso, recomenda-se que sejam doados para outros usuários. Caso estejam obsoletos, é indicado que seus materiais componentes sejam separados e reprocessados, a fim de servirem como insumos para a fabricação de novos produtos dentro do ciclo produtivo. No Brasil, existem associações civis dedicadas a essa logística para resíduos eletrônicos, como a Green Eletron (Green Eletron, 2023). É fundamental destacar que, embora ainda pouco explorada, a logística reversa de resíduos representa também uma oportunidade de mercado, capaz de gerar renda e empregos.

Os resíduos classificados como Classe I - Perigosos devem ser analisados para reduzir sua periculosidade ou mitigá-la, permitindo que sejam reintegrados ao ciclo produtivo sem representar riscos à saúde ou ao meio ambiente. É importante destacar que, para todos os estudos de desenvolvimento tecnológico com materiais residuais, é essencial seguir rigorosamente as normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho, visando proteger os profissionais envolvidos nessa atividade.

Os resíduos industriais, como subprodutos, carecem de padrões de qualidade definidos. A falta de padronização desses resíduos representa um desafio significativo para sua incorporação em novos produtos e reinserção no ciclo produtivo (Carvalho *et al.*, 2023b). Dessa forma, sugere-se que o Governo estabeleça políticas públicas visando um controle mais efetivo sobre a padronização da composição, características e propriedade dos resíduos oriundos das atividades econômicas.

Nesse aspecto, deve-se enfatizar que o Governo e as normas técnicas brasileiras desempenham um papel fundamental na reintegração de resíduos no ciclo produtivo. No entanto, é lamentável observar que as medidas atualmente em vigor são limitadas e, em alguns casos, não surtem os efeitos desejados. Somente em 2021 a norma brasileira, NBR 15.116, foi ajustada para permitir o uso de agregados reciclados em argamassas e concretos (ABNT, 2021). Entretanto, mesmo com essa atualização, a utilização de agregados provenientes de materiais residuais em concretos estruturais ainda é limitada a apenas 20% de substituição do agregado natural (ABNT, 2021).

A reciclagem e a reutilização de materiais residuais são pouco significativas no Brasil, apesar da existência de alternativas conhecidas ou instituídas para reinserir esses resíduos no ciclo produtivo, como a logística reversa de pneus. É crucial compreender que a sociedade tem um papel fundamental no aumento das práticas sustentáveis de reaproveitamento de resíduos. Produtos feitos de materiais residuais podem inicialmente gerar desconfiança no público consumidor devido à sua estética e ao desconhecimento sobre o valor desses materiais como matéria-prima. Por causa desses fatores, produtos originados de materiais residuais não cativam rapidamente os consumidores e demoram a se estabelecer no mercado. Portanto, é essencial que a sociedade esteja disposta a superar barreiras culturais que influenciam diretamente esse comportamento.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo identificou, por meio de uma análise exploratória da literatura, 83 tipos de resíduos disponíveis no Brasil e investigados por pesquisadores brasileiros entre os anos de 2001 e 2023. Em seguida, foram analisados os compostos químicos presentes nesses materiais, assim como os riscos associados a eles. Com base nessas informações, foi elaborado um mapeamento dos resíduos comuns em todo o país, bem como daqueles específicos de cada um dos 26 estados brasileiros. Esse mapeamento tem o potencial de contribuir para a logística relacionada à reutilização e reintegração desses resíduos no ciclo produtivo, por meio da implementação de estratégias de logística reversa e de iniciativas de pesquisa e desenvolvimento. Adicionalmente, esse mapeamento pode ser empregado pela Defesa Civil e pelo Corpo de Bombeiros para supervisionar e controlar os perigos associados à disposição desses materiais no território nacional.

Posteriormente, por meio de uma revisão sistemática da literatura, foram identificadas alternativas sustentáveis para reinserção dos resíduos no ciclo produtivo. Entre as principais conclusões, destacam-se:

- 85% dos resíduos detectados são classificados não perigosos, enquanto apenas 15% são perigosos.
- A maioria dos resíduos inorgânicos identificados são compostos, principalmente, por  $\text{SiO}_2$ , seguido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . A presença desses óxidos torna esses materiais viáveis para aplicação como precursores geopoliméricos, especialmente se estiverem em estado amorfo.
- Resíduos originários da construção civil, agrícolas, sólidos urbanos e hospitalares são encontrados em todo o Brasil;
- Considerado os resíduos sólidos urbanos e hospitalares, foram identificados 46 de resíduos com ocorrência em todo o país. Assim, 48% dos resíduos estão distribuídos por todo o território nacional, destacando a importância de priorizar o desenvolvimento de tecnologias para seu reaproveitamento e reciclagem.
- As atividades econômicas e ambientais de cada região definem a maior ou menor variabilidade de resíduos produzidos. Na região Norte, por exemplo, os resíduos são majoritariamente geotécnicos e agrícolas.

Outras atividades econômicas na região são inviáveis dado a necessidade de preservação da Floresta Amazônica.

- Em contraste com a região Norte, onde predominam os resíduos agrícolas e geotécnicos, as regiões Nordeste e Centro-Oeste possuem também a presença de resíduos industriais. Nesse sentido, ressalta-se que à medida que a quantidade e variedade dos resíduos aumentam, os riscos relacionados ao seu armazenamento e descarte também se elevam.
- Devido à grande densidade demográfica e industrialização, as regiões Sudeste e Sul apresentam a maior diversidade de resíduos industriais. Por conseguinte, são as regiões com maior capacidade de reaproveitamento desses resíduos e de redução de seus impactos associados à sua produção e destinação final.
- Entre as aplicações detectadas, destaca-se que a maioria dos resíduos tem potencial para serem reinseridos no ciclo produtivo da construção civil, sendo empregados na confecção de compósitos cimentícios.
- As propostas de desenvolvimento tecnológico para os resíduos orgânicos estão principalmente voltadas para a geração de energia, por meio da biomassa, e para a produção de fertilizantes.

Recomenda-se, para futuras pesquisas, a análise do volume de produção desses resíduos, acompanhada do desenvolvimento de um método para avaliar seu impacto ambiental no contexto que estão inseridos atualmente. A implementação desse método possibilitará a priorização dos resíduos nas políticas governamentais, além de permitir a identificação daqueles que apresentam maior potencial de risco para o meio ambiente e a sociedade. Assim, estabelecida a priorização dos resíduos, a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros poderão tomar decisões com maior acurácia, além de realizar o monitoramento desses resíduos com maior frequência e cautela.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. 2004a.

ABNT. **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. ABNT. Rio de Janeiro. 2004b.

ABNT. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. ABNT. Rio de Janeiro. 2004c.

ABNT. **NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios**. ABNT. Rio de Janeiro. 2021.

ABRECON. Encontro Nacional das Usinas de Reciclagem de RCD apresenta dados inéditos sobre a reciclagem de entulho no Brasil. **ABRECON**, 2022. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/encontro-nacional-das-usinas-de-reciclagem-de-rcd-apresenta-dados-ineditos-sobre-a-reciclagem-de-entulho-no-brasil/>>. Acesso em: 05 abr. 2024.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). São Paulo, p. 1-64. 2023.

ACORDI, J. et al. Waste valorization of coal mining waste from a circular economy perspective: A Brazilian case study based on environmental and physicochemical features. **Resources Policy**, January 2023.

AGUIAR, M. C. D. et al. Eco-Efficient Artificial Stones Produced Using Quartzite Quarry Waste and Vegetable Resin. **Sustainability**, 2024.

AGUILAR, J. V. M. M. T. P.; GARCIA, D. C. S.; SANTOS, W. J. D. Management and characterization of concrete wastes from concrete batching plants in Belo Horizonte – Brazil. **Journal of Materials Research and Technology**, 2022.

ALMEIDA, C. M. V. B. et al. Identifying improvements in water management of bus-washing stations in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, September 2010.

ALMEIDA, M. N. D. et al. Exploring the potential of coffee husks as a raw material for second-generation ethanol production. **BioEnergy Research**, 16 August 2023.

ALMEIDA, P. H. S.; FRANCO, J. D. M.; TAVARES, C. R. G. Influência do tipo de argila no processo de solidificação/estabilização de lodo têxtil. **Cerâmica**, Jan-Mar 2015.

ALMEIDA, R. P. A.; CORDEIRO, G. C. Sustainable approach to simultaneously improve the pozzolanic activity of sugarcane bagasse ash and the vinasse fertilization potential. **Cleaner Engineering and Technology**, April 2023.

AMARAL JÚNIOR, F. **Quantificação das emissões de óxido nitroso e metano de fezes de herbívoros e suas relações com a composição química das fezes**. Universidade Estadual Paulista. Jaboticaba. 2022.

AQUINO, J. M. D. et al. The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers. **Journal of South American Earth Sciences**, 2020.

ARAÚJO, A. L. D. et al. Poder de mitigação da cinza de casca de arroz ao ataque por sulfatos em argamassas confeccionadas com resíduos de scheelita. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, 2021.

ATMA, W.; SOUABI, F. Characterization of carbide lime waste: a comparative study for acid soil stabilization. **Acta Periodica Technologica**, 2021.

AVELINO, F. et al. Microwave-assisted organosolv extraction of coconut shell lignin by Brønsted and Lewis acids catalysts. **Journal of Cleaner Production**, 785-796 July 2018.

AZEVEDO, A. R. G. D. et al. Application of pineapple fiber in the development of sustainable mortars. **Agronomy Research**, 2021.

AZEVEDO, A. R. G. D. et al. Perspectives for the application of bauxite wastes in the development of alternative building materials. **Journal of Materials Research and Technology**, September-October 2022. 3114-3125.

AZEVEDO, A. R. G. et al. Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW). **Journal of Materials Research and Technology**, 9, n. 3, 2020. 5942-5952.

BALDOVINO, J. D. J. A.; IZZO, R. L. D. S.; EKINCI, A. Strength, durability, and microstructure of lime production residue glass powder binder-based geomaterial. **Acta Geotechnica**, 2023.

BASTOS, S. Q. D. A.; JÚNIOR, L. B. D. O.; MATTOS, R. S. D. Implantação da Companhia Paraibuna de Metais (CPM) em Juiz de Fora (MG). **História Econômica & História de Empresas**, 2007. 139-160.

BAYRAKTAR, O. Y. et al. Investigation of effect of brick dust and silica fume on the properties of portland cement mortar. **Fresenius Environmental Bulletin**, 2019. 7823-7832.

BAYRAKTAR, O. Y. et al. Investigation of the mechanical properties of marble dust and silica fume substituted portland cement samples under high temperature effect. **Fresenius Environmental Bulletin**, 2019. 3865-3875.

BLASKOWSKI, A. E. et al. Potencial agromineral das rochas de descarte da mina de cromita Ipueira, Bahia. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, 2019. 355-373.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Wood ash and water availability in the production of Paiaguás-grass. **Revista Ambiente & Água**, 2019.

BOSCOV, M. E. G.; HEMSI, P. S. Some topics of current practical relevance in environmental geotechnics. **Soils and Rocks**, 43, n. 3, 2020.

BOSCOV, M. E. G.; TSUGAWA, J. K.; MONTALVAN, E. L. T. Beneficial use of water treatment sludge in geotechnical applications as a sustainable alternative to preserve natural soils. **Sustainability**, 2021.

BOTELHO, L.; CONCEIÇÃO, A. D.; CARVALHO, V. D. D. Caracterização de fibras alimentares da casca e cilindro central do abacaxi 'Smooth Cayenne'. **Ciência Agrotec**, Lavras, mar./abr. 2002. 362-367.

BRASIL. **Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12.** Brasília-DF. 2010.

BRASIL. Glossário de Defesa Civil, Estudos de Risco e Medicina de Desastres. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**, 29 Novembro 2023.

Disponível em:

<<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/glossario.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2024.

CARVALHO, A. R. D. et al. Proposition of geopolymers obtained through the acid activation of iron ore tailings with phosphoric acid. **Construction and Building Materials**, 403, 3 November 2023a. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823027952>>.

CARVALHO, A. R. D. et al. Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 23, out./dez. 2023b. 217-239. Disponível em:

<[CARVALHO, D. T. \*\*As Políticas Públicas de Gestão de Desastres Ambientais: o caso do município de Niterói.\*\* Dissertação \(Mestrado em Ciências Jurídicas e Sociais\) – Programa de Pós-Graduação em. Niterói. 2014.](https://www.scielo.br/j/ac/a/TqPt9XkJxZkZt8ZWcRghhLh/abstract/?lang=pt#:~:text=Notou%2Dse%20que%20o%20p%C3%B3,mais%20resistente%2C%20denso%20e%20homog%C3%A3neo.></a>>.</p></div><div data-bbox=)

CARVALHO, V. R. et al. Performance of low-energy steel slag powders as supplementary cementitious materials. **Construction and Building Materials**, 14 August 2022.

CNA. Panorama do Agro. **CNA Brasil**, 2024. Disponível em:

<<https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 05 abr. 2024.

CONAMA. **Resolução CONAMA N° 307, de 5 de Julho de 2002 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** [S.I.]. 2002.

CONAMA. **Resolução N° 358, de 29 de abril de 2005 - Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. [S.l.]. 2005.

CONAMA. **Resolução N° 404, de 11 de novembro de 2008 - Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.** [S.l.]. 2008.

CONAMA. **Resolução n° 416 de 30 de setembro de 2009 - Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. [S.l.]. 2009.

CONAMA. **Resolução CONAMA N°430, de 13 de maio de 2011 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357.** [S.l.]. 2011.

CONAMA. **Resolução CONAMA N°469, de 29 de julho de 2015 - Altera a Resolução CONAMA n° 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** [S.l.]. 2015.

CONSOLI, N. C.; ROCHA, C. G. D.; SALDANHA, R. B. Coal fly ash–carbide lime bricks: An environment friendly building product. **Construction and Building Materials**, 30 October 2014.

COPETTI, C. M. et al. Evaluation of tire rubber surface pre-treatment and silica fume on physical-mechanical behavior and microstructural properties of concrete. **Journal of Cleaner Production**, 20 May 2020.

COSTA, A. R. D.; GONÇALVES, J. P. Rheological properties and hydration of ternary cements containing clay brick, clay tile, marble, and phosphogypsum waste. **Ambiente Construído**, 2022.

COSTA, G. G. D. et al. Mapping and energy analysis of Brazilian bioenergy power potential for three agricultural biomass byproducts. **Journal of Cleaner Production**, 15 May 2022.

COSTA, T.; PEDLOWSKY, M. **Um estudo sobre os impactos do acidente ambiental da Cataguazes de Papel sobre as Comunidades de Pescadores do Delta do Rio Paraíba do Sul**. Encontro da ANPPAS. [S.l.]: [s.n.]. 2004.

CRISPIANIANO, J. M.; BRITO, A. C. D. **Caminhos para reutilização de instalações nucleares brasileiras de pesquisa**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. [S.l.]: ANTAC. 2022. p. 1-11.

CRUZ-CRESPO, A. et al. Flux for hardfacing by submerged arc welding from ferrochrome-manganese and slag from the simultaneous reduction of chromite and pyrolusite. **Soldagem & Inspeção**, 2019.

CUNHA, B. P. D. Morro do Bumba: o desastre dentro da tragédia. **Insight Inteligência**, Julho - Setembro 2016.

DARKO, A.; CHAN, A. P. C. Critical analysis of green building research trend in construction journals. **Habitat International**, October 2016. 53-63.

DIEGUEZ, A. C. D. O. et al. Comparison of Kambara reactor slag with blast furnace slag for Portland cement industry applications. **Journal of Materials Research and Technology**.

ELETRONUCLEAR. Gerenciamento de Resíduos. **Eletronuclear**, 2024. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Paginas/Gerenciamento-de-residuos.aspx>>. Acesso em: 31 Mar 2024.

FERDOUS, W. et al. Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. **Resources, Conservation and Recycling**, October 2021.

FERREIRA, L. D. C. Os fantasmas do vale: Conflitos em torno do desastre ambiental de Cubatão, SP. **Política & Trabalho: Revista de Ciências Sociais**, n. 25, Outubro 2006. 165-188.

FERREIRA, M. D. et al. Redução de resíduos têxteis por meio de projeto de produto de moda. **Design & Tecnologia**, 2015.

FILHO, R. D. T. et al. Rio 2016 sustainable construction commitments lead to new developments in recycled aggregate concrete. **ICE Proceedings Civil Engineering**, 2013.

FORSTER-CARNEIRO, T. et al. Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, August 2013. 78-88.

G1. Rompimento de barragem deixa 30% de cidade desalojada. **G1**, 11 jan. 2007. Disponível em: <<https://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,AA1417258-5598,00.html>>.

G1. Em Cataguases, barragem rompida foi desativada após acidente em 2003. **G1**, 06 nov. 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/11/em-cataguases-barragem-rompida-foi-desativada-apos-acidente-em-2003.html>>.

G1. Zona da Mata ainda se recupera de rompimento de barragem há 9 anos. **G1**, 07 nov. 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/11/zona-da-mata-ainda-se-recupera-de-rompimento-de-barragem-ha-9-anos.html>>.

G1. Defesa Civil faz ação preventiva para evitar nova tragédia em Mariana. **G1**, 01 Novembro 2016. Disponível em: <<https://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/11/defesa-civil-faz-acao-preventiva-para-evitar-nova-tragedia-em-mariana.html>>.

G1. Tragédia do Morro do Bumba, em Niterói, completa 10 anos sem entrega de moradias às famílias. **G1**, 20 Abril 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/04/30/tragedia-do-morro-do-bumba-em-niteroi-completa-10-anos-sem-entrega-de-moradias-as-familias.ghtml>>.

G1. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho completa mil dias. **G1**, 21 Outubro 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2021/10/21/rompimento-da-barragem-da-vale-em-brumadinho-completa-mil-dias.ghtml>>.

G1. Césio 137: maior acidente radiológico da história aconteceu em Goiás e afetou mais de mil pessoas; relembre. **G1**, 06 Julho 2023. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2023/07/06/cesio-137-maior-acidente-radiologico-da-historia-aconteceu-em-goias-e-afetou-mais-de-mil-pessoas-relembre.ghtml>>.

G1. Quatro anos da tragédia em Brumadinho: 270 mortes, três desaparecidos e nenhuma punição. **G1**, 25 <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2023/01/25/quatro-anos-da-tragedia-em-brumadinho-270-mortes-tres-desaparecidos-e-nenhuma-punicao.ghtml> Janeiro 2023.

GADIOLI, M. C. B. et al. Evaluation of the contents of ornamentals stones wastes and vegetable polyurethane resin in the production of engineered stones. **Journal of Building Engineering**, 1 November 2023.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, 23, Março 2014. 183-184.

GERALDO, R. H.; FERNANDES, L. F. R.; CAMARINI, G. Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. **Journal of Cleaner Production**, 15 April 2017. 146-155.

GOMES, A. R.; LAZARO, J. C.; LEOCADIO, A. Should I reuse it or throw it out? Analysis of the management of household plastic waste by brazilian consumers during the COVID-19 pandemic through practice lens. **Sustainability**, 2022.

GONÇALVES, L. F. D. C.; BALESTRA, C. E. T.; GIL, M. A. R. Evaluation of mechanical, physical and chemical properties of ecological modular soil-alkali activated bricks without Portland cement. **Environmental Development**, December 2023.

GONÇALVES, V. K. **O desastre de Cataguases: uma caricatura do risco**. REUNIÃO ANUAL DA SBPC. [S.I.]: [s.n.]. JULHO 2006.

GREEN ELETRON. Quem somos: Gestora para logística reversa de eletrônicos. **Green Eletron**, 2023. Disponível em: <<https://greeneletron.org.br/sobre>>. Acesso em: 07 Maio 2024.

HANSEN, E.; RODRIGUES, M. A. S.; AQUIM, P. M. D. Wastewater reuse in a cascade based system of a petrochemical industry for the replacement of losses in cooling towers. **Journal of Environmental Management**, 1 October 2016. 157-162.

HIGUCHI, A. M. D. et al. Use of glass powder residue as an eco-efficient supplementary cementitious material. **Construction and Building Materials**, 18 October 2021.

HUANG, X.; RANADE, R.; LI, V. C. Feasibility study of developing green ECC using iron ore tailings powder as cement replacement. **Journal of Materials in Civil Engineering**, September 2012.

IBAMA. Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**, 28 Novembro 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2020/rompimento-da-barragem-de-fundao-documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg>>.

IBGE. Cidades e Estados. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>>. Acesso em: 05 abr. 2024.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. Baía de Guanabara: vazamento da Petrobras completa 14 anos. **Instituto Socioambiental**, 18 Fevereiro 2014. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/acervo/noticias/baia-de-guanabara-vazamento-da-petrobras-completa-14-anos>>.

JAMALUDIN, S. I. S. et al. Textile waste valorization as potential activated carbon precursor for the removal of water contaminants: Commentary. **Materialstoday: proceedings**, 2024. 110-115.

KONIORCZYK, M. et al. Performance of concrete containing recycled masks used for personal protection during coronavirus pandemic. **Construction and Building Materials**, 21 March 2022.

LACERDA, M. P. D. et al. Efeito da adição de polpa de celulose nanofibrilada nas propriedades de argamassas de revestimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, 2023.

LANDIM, A. P. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**. 82-92.

LANGE, C. N. et al. Long-term leaching of As, Cd, Mo, Pb, and Zn from coal fly ash in column test. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2019.

LO, F.-C.; LEE, M.-G.; LO, S.-L. Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, 7 June 2021.

LOBO, I. V.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Esgoto sanitário: caracterização, tratamento e ecotoxicidade. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, p. 108-121, 2021.

LOTERO, A.; MONCALEANO, C. J.; CONSOLI, N. C. Alkali-activated red ceramic wastes-carbide lime blend: An alternative alkaline cement manufactured at room temperature. **Journal of Building Engineering**, 15 April 2023.

LUNA, C. B. B. et al. Additivation of the ethylene–vinyl acetate copolymer (EVA) with maleic anhydride (MA) and dicumyl peroxide (DCP): the impact of styrene monomer on cross-linking and functionalization. **Polymer Bulletin**, August 2021.

MARUOKA, L. M. A. et al. Effect of thermal annealing on kaolin from the Amazon region, aiming at the production of geopolymer. **Journal of Materials Research and Technology**, July-August 2023.

MEDEIROS, M. G. et al. A cleaner material production by the incorporation of the rockwool waste into portland cement matrices. **Journal of Cleaner Production**, 293, April 2021.

MEDEIROS, M. H. F. D. et al. Resíduo de cerâmica vermelha e fíler calcário em compósito de cimento Portland: efeito no ataque por sulfatos e na reação álcali-silica. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Jun. 2016.

MENDES, B. et al. Assessment of mechanical and microstructural properties of geopolymers produced from metakaolin, silica fume, and red mud. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, 2021. 262–274.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA. **Análise de Impacto Regulatório: Segurança e saúde no trabalho para o setor de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos**. Brasília. 2022.

MIQUELITO, A. D. C.; QUELHAS, O. L. G. Ações relacionadas aos acidentes ambientais: estudo de caso do acidente da Indústria Cataguases de Papel e Celulose/MG em 2003. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, Campos dos Goytacazes/RJ, 1, n. 1, jan./jun. 2014. 119-133.

MOURA, H. R. D. C. V. et al. Influence of biocide and dispersant additives on the performance and durability of building paints produced with granite waste. **Construction and Building Materials**, 15 December 2023.

MYMRIN, V. et al. Manufacturing of sustainable ceramics with improved mechanical properties from hazardous car paint waste to prevent environment pollution. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 29 October 2019.

MYMRIN, V. et al. Efficient application of cellulose pulp and paper production wastes to produce sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**, 263, 10 December 2020.

NASCIMENTO, A. S. et al. Production of plaster mortar with incorporation of granite cutting wastes. **Journal of Cleaner Production**, August 2020.

NITEROI EM FOCO. Morro do Bumba. **Niteroi em Foco**, 2010. Disponível em: <[www.niteroiemfoco.com.br/morro-bumba](http://www.niteroiemfoco.com.br/morro-bumba)>.

O GLOBO. Desastre ecológico atingiu Paraíba do Sul, em 82, e Chagas Freitas mergulhou no rio. **Acervo O GLOBO**, 21 mar 2014. Disponível em:

<<https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/desastre-ecologico-atingiu-paraiba-do-sul-em-82-chagas-freitas-mergulhou-no-rio-11935645>>.

OLIVEIRA, A. C. L. D. et al. Modeling for estimating and optimizing the energy potential of animal manure and sewage in small and medium-sized farms. **Journal of Cleaner Production**, 15 October 2021.

OLIVEIRA, M. D. P. S. L.; OLIVEIRA, E. A. D.; FONSECA, A. M. Strategies to promote circular economy in the management of construction and demolition waste at the regional level: a case study in Manaus, Brazil. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 2021. 2713–2725.

PAIVA, F. F. G. D. et al. Utilization of inorganic solid wastes in cementitious materials – A systematic literature review. **Construction and Building Materials**, 24 May 2021.

PINHEIROS, R. N. et al. **Caracterização de Resíduo de Papel**. Congresso Brasileiro de Cerâmica. Salvador - BA: [s.n.]. 2007.

PINTO, F. M. et al. Treatment, reuse, leaching characteristics and genotoxicity evaluation of electroplating sludge. **Journal of Environmental Management**, 15 February 2021.

PINTO, F. N. et al. Interferência da ocupação urbana na distribuição de poluentes orgânicos persistentes em manguezal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Mar-Apr 2022.

PRADO, C. A. et al. Evaluation of the use of fertilizer obtained from pharmaceutical effluent. **Revista Ambiente & Água**, 2019.

PRIEBE, G. P. S. et al. Anaerobic digestion of chrome-tanned leather waste for biogas production. **Journal of Cleaner Production**, 15 August 2016. 410-416.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Editora FEEVALE, 2013.

RAJU, A. S.; ANAND, K. B.; RAKESH, P. Partial replacement of Ordinary Portland cement by LCD glass powder in concrete. **Materialstoday: proceedings**, 2021. 5131-5137.

RAMOS, G. A. et al. Effect of porcelain tile polishing residue on geopolymer cement. **Journal of Cleaner Production**, 1 August 2018.

RAMOS, J. C. R.; PASSALINI, P. G. S.; HOLANDA, J. N. F. Utilization of marble waste as a sustainable replacement for calcareous in the manufacture of red-firing wall tiles. **Construction and Building Materials**, 9 May 2023.

RANDOLPH, J. J. A guide to writing the dissertation literature review. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, 14, n. 11, Junho 2009. 1-13.

REIS, M. J.; COLLARES, E. G.; REIS, F. M. D. Technological assessment of tailings from quartzite mining sites in Alpinópolis (Minas Gerais–Brazil) as aggregates in concrete block paving (CBP). **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2017.

RIBEIRO, D. V. et al. Performance and radiological implications of using residue from TiO<sub>2</sub> production as a component of coating mortars. **Construction and Building Materials**.

RIBEIRO, F. R. C. et al. Incorporação de resíduos de etileno acetato de vinila na produção de blocos intertravados de concreto para pavimentação. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, 2020.

RIGUETO, C. V. T. et al. Tannery wastes-derived gelatin and carbon nanotubes composite beads: adsorption and reuse studies using tartrazine yellow dye. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, 2022.

RODRIGUES, H. K. S. et al. Propriedades de um concreto leve estrutural com incorporação de argila expandida e resíduo de granito. **Matéria (Rio de Janeiro)**, 16 May 2022.

SADR, S. M. K. et al. A multi expert decision support tool for the evaluation of advanced wastewater treatment trains: A novel approach to improve urban sustainability. **Environmental Science & Policy**, December 2018. 1-10.

SAINI, R. et al. Valorization of coconut and banana wastes with petcoke and coal via steam gasification in a fluidized bed reactor. **Journal of Cleaner Production**, 1 January 2024.

SANTOS, K. S. et al. Photocatalytic removal of cyanide from cassava processing wastewater with simultaneous generation of H<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> using ni-modified TiO<sub>2</sub>. **Waste and Biomass Valorization**, 10 March 2023.

SELLITTO, M. A. et al. Barriers, drivers, and relationships in industrial symbiosis of a network of Brazilian manufacturing companies. **Sustainable Production and Consumption**, April 2021. 443-454.

SEMAD. Desastre Ambiental em Mariana e Recuperação do Rio Doce. **Meio Ambiente MG**, 2017. Disponível em:  
<<http://www.meioambiente.mg.gov.br/component/content/article/13-informativo/2879-desastre-ambiental-em-mariana-e-recuperacao-da-bacia-do-rio-doce>>.

SILVA, E. et al. Nutrient and Heavy Metals Release from Mixtures of Organic Residues and Food Wastes in Composting. **Water, Air, & Soil Pollution**, 02 June 2020.

SILVA, J. D. A. A. E. et al. Avaliação reológica de ligante modificado com Politereftalato de etileno (PET). **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, L. H. P. et al. Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement. **Journal of Building Engineering**, October 2021.

SINDIPETRO. Uma tragédia e muitas lições: 35 anos do incêndio da Vila Socó. **SINDIPETRO**, 25 Fevereiro 2019. Disponível em:  
<<https://www.sindipetrolp.org.br/noticias/26555/uma-tragedia-e-muitas-licoes-35-anos-do-incendio-da-vila-soco>>.

SIPERT, S.; COHIM, E.; NASCIMENTO, F. R. A. D. Identification and quantification of main anthropogenic stocks and flows of potassium in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 2020. 32579–32593.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil–cement bricks. **Journal of Environmental Management**, 15 December 2013.

SLOMSKI, V. et al. A disclosure of social and environmental results/economy resulting from the implementation of reverse logistics and final disposal of the post-consumption product: The case of computer peripherals industry. **Environmental Quality Management**, 23 April 2018.

SOBRINHO, N. M. B. D. A. et al. Metals phytoextraction by *Cordia africana* from soils contaminated with oil drilling waste. **Floresta e Ambiente**, 2020.

SOUZA, A. B. et al. Study on the feasibility of using agricultural waste in the production of concrete blocks. **Journal of Building Engineering**, October 2021.

SOUZA, A. C. M. et al. Economic analysis and development of the Nile Tilapia cultivated in the nursery using reject brine as water support. **Water, Air & Soil Pollution**, 24 December 2021.

SOUZA, A. L. M. et al. Water management applied to the processing of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in a fish cold storage warehouse in Rio de Janeiro, Brazil. **Animal Science and Technology and Inspection of Animal Products**, 2018.

SOUZA, J. M. D. et al. Mechanical and durability properties of compressed stabilized earth brick produced with cassava wastewater. **Journal of Building Engineering**, December 2021.

SOUZA, M. T. et al. Sustainable cement with Al-anodizing waste: Evaluating reactivity and feasibility as a shrinkage-compensating admixture. **Journal of Building Engineering**, July 2020.

SPATTI, A. C. et al. Métricas alternativas para avaliação da produção científica latino-americana: um estudo da rede scielo. **Informação & Informação**, 26, n. 2, abr./jun. 2021. 596-624.

TARIQ, S.; HU, Z.; ZAYED, T. Micro-electromechanical systems-based technologies for leak detection and localization in water supply networks: A bibliometric and systematic review. **Journal of Cleaner Production**, 20 March 2021.

TAVARES, J. C. et al. Use of banana leaf ash as partial replacement of Portland cement in eco-friendly concretes. **Construction and Building Materials**, 5 September 2022.

TEIXEIRA, L. B. et al. Obtaining biogenic silica from sugarcane bagasse and leaf ash. **Waste and Biomass Valorization**, 2021.

TORRES, C. M. M. E. et al. Dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to Portland cement clinker. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, 29 January 2020. 851-861.

VALE. Jamais esqueceremos Brumadinho. **Vale**, 2024. Disponível em: <<https://vale.com/pt/esg/brumadinho>>.