



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental  
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Williane Imaculada Lopes da Cruz**

Análise das práticas de Economia Circular em uma empresa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Um estudo de caso em uma empresa siderúrgica no estado de Minas Gerais.

Ouro Preto  
2025

Williane Imaculada Lopes da Cruz

Análise das práticas de Economia Circular em uma empresa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Um estudo de caso em uma empresa siderúrgica no estado de Minas Gerais.

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Resíduos Sólidos e Sustentabilidade.

Orientador: Prof.<sup>a</sup>. D.Sc Marina de Medeiros Machado – UFOP

Ouro Preto

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C957a Cruz, Williane Imaculada Lopes da.

Análise das práticas de economia circular em uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos [manuscrito]: um estudo de caso em uma empresa siderúrgica no estado de Minas Gerais.. / Williane Imaculada Lopes da Cruz. - 2025.

104 f.: il.: color., gráf., tab.. + Dashboard. + Fluxograma.

Orientadora: Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Sustentabilidade e meio ambiente. 2. Gestão integrada de resíduos sólidos. 3. Siderurgia. 4. Desenvolvimento sustentável- Economia. I. Machado, Marina de Medeiros. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Williane Imaculada Lopes da Cruz**

### **Análise das práticas de Economia Circular em uma empresa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Um estudo de caso em uma empresa siderúrgica no estado de Minas Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental

Aprovada em 09 de maio de 2025

#### Membros da banca

Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Me. Fernanda Rafaela Canuto Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Me. Matheus Miranda da Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Marina de Medeiros Machado, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/05/2025



Documento assinado eletronicamente por **Marina de Medeiros Machado, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/05/2025, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0913888** e o código CRC **FD53DA16**.

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Dirceu e Noeme, ao meu irmão Willian, ao  
meu esposo Carlos Henrique, minha família  
e a todos que contribuíram para a realização  
deste sonho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada. Foi ele quem guiou meus passos e me sustentou nos momentos de desafio, permitindo que eu concluísse mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pelo apoio inabalável e pelos ensinamentos que me moldaram como pessoa, sem vocês, essa conquista não seria possível. Ao meu irmão, por ser meu companheiro de vida, sempre disposto a me apoiar e acreditar no meu potencial.

Ao meu esposo, por estar ao meu lado em todos os momentos, celebrando as vitórias e me incentivando nos desafios, seu carinho e paciência foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Aos meus amigos, Carol Luan e Nayara que tornaram essa caminhada mais leve e especial, compartilhando comigo aprendizados, desafios e momentos inesquecíveis. A todos os amigos da Engenharia Ambiental pelo compartilhamento de experiências.

Ao PET Ambiental, por todo o conhecimento adquirido, pelas experiências enriquecedoras e pelos laços criados ao longo dessa trajetória. Ao GRUFOP, pelo apoio, troca de conhecimento e incentivo à pesquisa e ao crescimento acadêmico.

A minha querida orientadora Professora Dr<sup>a</sup> Marina de Medeiros Machado por sua dedicação, paciência e orientação ao longo deste trabalho. Sua experiência e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa, e sou imensamente grata por todo o conhecimento compartilhado. A todos os professores que contribuíram para minha formação ao longo da graduação, em especial Aníbal, Lia, Lívia, minha admiração e reconhecimento por todos os ensinamentos.

A Universidade Federal de Ouro Preto e a gloriosa Escola de Minas, pela oportunidade de formação de qualidade.

## RESUMO

A Economia Circular tem se destacado como uma estratégia essencial para a sustentabilidade, promovendo a reutilização de recursos e minimizando impactos ambientais. Em empresas siderúrgicas, a implementação de práticas circulares pode aperfeiçoar processos e reduzir desperdícios. Este trabalho tem como objetivo analisar as práticas de Economia Circular adotadas por uma empresa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos e pela siderúrgica que recebe seus serviços, abrangendo tanto a gestão de resíduos quanto a eficiência no uso de recursos. A pesquisa adotou uma abordagem quali-quantitativa, utilizando análise documental, entrevistas com colaboradores da empresa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos e a aplicação de indicadores ambientais que focam nos princípios da Economia Circular. Os resultados mostraram que a empresa siderúrgica implementa boas estratégias relacionadas aos princípios da Economia Circular do aço (4 RS), enquanto a empresa de Gestão e Gerenciamento de Resíduos apresenta taxas satisfatórias de reciclagem, circularidade e logística reversa. No entanto, enfrenta desafios significativos, como a destinação de uma parte considerável dos resíduos com potencial de reaproveitamento para aterros. A adoção de práticas de circularidade para esses resíduos poderia gerar ganhos ambientais e econômicos. Além disso, as entrevistas com os colaboradores revelaram a necessidade de maior divulgação do tema entre os funcionários da empresa em estudo, melhorias na infraestrutura dos locais de geração e triagem de resíduos, e educação ambiental sobre a segregação correta de resíduos. Como sugestão para estudos futuros, a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos resíduos gerados na siderurgia se mostra eficaz, pois permite quantificar as emissões, o consumo de recursos e os impactos ambientais em todas as etapas do ciclo produtivo.

Palavras-chaves: Economia Circular, Sustentabilidade, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Siderúrgica.

## **ABSTRACT**

The Circular Economy has emerged as an essential strategy for sustainability, promoting the reuse of resources and minimizing environmental impacts. In steel companies, the implementation of circular practices can improve processes and reduce waste. This study aims to analyze the Circular Economy practices adopted by a Solid Waste Management and Management Company and the steel company that receives its services, covering both waste management and resource efficiency. The research adopted a qualitative and quantitative approach, using document analysis, interviews with employees of the Solid Waste Management and Management Company, and the application of environmental indicators that focus on the principles of the Circular Economy. The results showed that the steel company implements good strategies related to the principles of the Circular Economy of steel (4 RS), while the Waste Management and Management company has satisfactory rates of recycling, circularity, and reverse logistics. However, it faces significant challenges, such as the disposal of a considerable portion of the waste with potential for reuse in landfills. The adoption of circularity practices for this waste could generate environmental and economic gains. Furthermore, interviews with employees revealed the need for greater dissemination of the topic among employees of the company under study, improvements in the infrastructure of waste generation and sorting sites, and environmental education on the correct segregation of waste. As a suggestion for future studies, the application of Life Cycle Assessment (LCA) of waste generated in the steel industry has proven to be effective, as it allows the quantification of emissions, resource consumption and environmental impacts at all stages of the production cycle.

**Keywords:** Circular Economy, Sustainability, Solid Waste Management and Administration, steel mill.

.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa Coleta Seletiva 2023. ....	8
Figura 2- Quantidade de RSU secos enviados para reciclagem no Brasil em 2023. ...	9
Figura 3 – Aterros Sanitários de 2023 em Municípios que possuem pelo menos um Aterro Sanitário. ....	12
Figura 4- Disposição final adequada <i>versus</i> disposição final inadequada no ano de 2023. ....	13
Figura 5- Diagrama de borboleta: Visualizando a Economia Circular. ....	16
Figura 6- 4 R's do Processo de Economia Circular.....	19
Figura 7- Indicadores de Desempenho Ambiental, Social e Econômico da Associação Global WSA (2021-2023). ....	21
Figura 8- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. ....	22
Figura 9 - Etapas do Desenvolvimento da Pesquisa. ....	25
Figura 10- Dados estimativos de emissão de CO <sub>2</sub> na destinação de resíduos do ano de 2023. ....	49
Figura 11 - Diferença de emissão de CO <sub>2</sub> para Diesel Comum e Biodiesel.....	50
Figura 12 - Dados sobre circularidade e aspectos econômicos da reciclagem de entulho da construção civil. ....	64
Figura 13 - Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Reciclagem de Embalagens Tetrapak.....	66
Figura 14- Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Reaproveitamento interno de Resíduos de solo não contaminado. ....	67
Figura 15- Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da instalação de ETEO. ....	68
Figura 16 - Dados de Circularidade e Aspectos Econômicos da Compostagem de Resíduos orgânicos.....	69
Figura 17 - Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Logística Reversa para embalagens de óleo lubrificante usada, IBC e tambor. ....	71
Figura 18 - Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Recuperação Energética de Resíduos de Madeira .....	72
Figura 19 - Dados econômicos e ambientais do beneficiamento para reciclagem de pallets.....	73

Figura 20 - Dados de Circularidade e Aspectos Econômicos da Reciclagem de Vidro quebrado. ....	74
------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantitativo de geração de resíduos sólidos e coprodutos, referente ao ano de 2023. ....	39
Gráfico 2- Tecnologias de destinação adotadas em 2023. ....	40
Gráfico 3 – Resíduos que foram reciclados pela unidade analisada em 2023. ....	41
Gráfico 4 – Resíduos sólidos/ coprodutos com princípios de logística reversa. ....	42
Gráfico 5 – Percentual de resíduos circulares. ....	43
Gráfico 6 – Produto final da circularidade de resíduos/coprodutos. ....	43
Gráfico 7 – Coprodutos Reciclados que geram diversos produtos na categoria “Outros” de produto final da circularidade de resíduos (Gráfico 6). ....	45
Gráfico 8 – Níveis de circularidade dos produtos finais para os resíduos circulados. ....	47
Gráfico 9 – Resíduos circulares aplicáveis à recuperação energética. ....	48
Gráfico 10 - Resíduos com Potencial de Aproveitamento Destinados a Aterros. ....	61
Gráfico 11 – Resíduos alinhados à proposta de circularidade: Sugestão de melhorias ....	62
Gráfico 12 - Tecnologias de destinação sugerida para a circularidade dos resíduos. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores Globais de Circularidade do Aço na empresa Siderúrgica no ano de 2023. ....	35
Tabela 2- Correlação dos indicadores ambientais com os ODS .....	51
Tabela 3: Respostas dos colaboradores sobre práticas que poderiam aprimorar o desenvolvimento das tarefas e contribuir para a economia circular. ....	54

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABREMA- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente  
ACV- Avaliação do Ciclo de Vida  
ANCAT- Associação Nacional dos Catadores de materiais recicláveis  
CNI- Confederação Nacional da Indústria  
EC – Economia Circular  
ESG- Environmental, Social, Governance  
GEE- Gases de Efeito Estufa  
IBC- Intermediate Bulk Container  
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change  
KPMG- Klynveld Peat Marwick Goerdeler  
MCI - Material Circularity Indicator  
NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada  
ODS– Objetivos do Desenvolvimento Sustentável  
ONU- Organização das Nações Unidas  
PEVs- Postos de Entrega Voluntária  
PGRS- Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos  
PNRS- Política Nacional de Resíduos Sólidos  
POPs- Poluentes Orgânicos Persistentes  
RSI-Resíduos Sólidos Industriais  
RSU- Resíduos Sólidos Urbanos  
SGA- Sistema de Gestão Ambiental  
WSA- World Steel Association

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>2</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1	GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	3
3.1.1	<b>Classificação e Tipos de Resíduos Sólidos .....</b>	<b>4</b>
3.1.2	<b>Tecnologias para Tratamento e Disposição Final de resíduos sólidos.....</b>	<b>6</b>
3.2	SUSTENTABILIDADE: ECONOMIA CIRCULAR, ESG, ODS.....	13
3.2.1	<b>Princípios da Economia Circular .....</b>	<b>13</b>
3.2.2	<b>Indicadores de Circularidade .....</b>	<b>16</b>
3.2.3	<b>Indicadores de Economia Circular no setor do aço.....</b>	<b>17</b>
3.2.4	<b>ESG e ODS: Desempenho Ambiental, Social e Econômico na EC da Siderúrgica.....</b>	<b>19</b>
3.3	APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA SIDERURGIA .....	22
<b>4</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
4.1	TIPOLOGIA E DESCRIÇÃO GERAL DOS MÉTODOS DE PESQUISA .....	25
4.2	ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.3	AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR.....	27
4.3.1	<b>Indicadores de Circularidade do aço (4R's) e sustentabilidade.....</b>	<b>27</b>
4.3.2	<b>Indicadores Relacionados à Geração de Resíduos e Tecnologias de Destinação .....</b>	<b>28</b>
4.4	PERCEPÇÃO E ENVOLVIMENTO DOS COLABORADORES.....	32
4.5	RECOMENDAÇÃO DE PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR.....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>

5.1	AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR NA PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE. ....	34
5.1.1	<b>Indicadores de economia circular do aço .....</b>	<b>34</b>
5.1.2	<b>Economia Circular na Gestão e Gerenciamento de Resíduos .....</b>	<b>37</b>
5.1.3	<b>Correlação dos indicadores ambientais com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) .....</b>	<b>50</b>
5.2	PERCEPÇÃO E ENVOLVIMENTO DOS COLABORADORES DA EMPRESA.....	53
5.2.1	<b>Conhecimento sobre Economia Circular .....</b>	<b>53</b>
5.2.2	<b>Participação nas Ações de Economia Circular.....</b>	<b>54</b>
5.2.3	<b>Sugestões para Melhorar as Ações de Economia Circular .....</b>	<b>54</b>
5.2.4	<b>Facilidade de Participação nas práticas de Economia Circular .....</b>	<b>54</b>
5.3	SUGESTÃO DE MELHORIAS.....	60
5.3.1	<b>Recomendações de Práticas de Economia Circular .....</b>	<b>60</b>
5.3.2	<b>Tecnologia de destinação sugerida.....</b>	<b>63</b>
5.4	DESAFIOS E LIMITAÇÕES NA IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR .....	74
6	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Geissdoerfer *et al.* (2017), a Economia Circular (EC) é vista como uma abordagem crucial para a transição em direção a um desenvolvimento sustentável, transformando resíduos sólidos em recursos, e promovendo a eficiência operacional. Murray *et al.* (2017) afirmam que a crescente pressão sobre os recursos naturais e as mudanças climáticas tornam a EC uma alternativa viável para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos.

O modelo econômico linear baseado em extrair, produzir e descartar está atingindo seu limite, uma vez que, em termos de negócios, apenas reduz custos a curto prazo e não prioriza serviços e produtos mais duráveis e de maior qualidade (Amaral *et al.* 2018). Portanto, estudos que envolvam a Economia Circular tem grande relevância, pois abordam soluções para os desafios ambientais e econômicos da atualidade.

A economia circular pode ser expressa como um modelo de gestão econômica que busca um aproveitamento e reaproveitamento de resíduos sólidos e coprodutos dos processos industriais, tanto bens duráveis quanto não duráveis (Abdalla e Sampaio 2018). Essa abordagem contribui para a mitigação dos impactos ambientais e oferece oportunidades para a inovação e a criação de valor nas cadeias de produção (Amaral *et al.* 2018).

Os modelos de negócio circulares representam uma estratégia para que a indústria alcance, de maneira lucrativa, um aumento na produtividade dos recursos utilizados (Linder e Williander, 2017). No entanto, a implementação da Economia Circular pode enfrentar desafios significativos. Bocken *et al.* (2016) destacam que os principais obstáculos à sua adoção incluem a falta de infraestrutura adequada, a resistência cultural e as preocupações relacionadas aos custos de implementação.

Segundo Akiama (2024), o ciclo de produção do aço é composto por diversas etapas que integram os princípios da Economia Circular. Essas etapas vão desde o design dos produtos, que atua como um facilitador para os processos de reciclagem e reutilização, até a substituição de matérias-primas, visando diminuir o consumo de recursos e reduzir a geração de resíduos. Durante a fase de utilização do aço, são implementadas estratégias para maximizar tanto sua vida útil quanto à funcionalidade dos produtos. Por fim, ao término de sua vida útil, os produtos são

reciclados e reutilizados, retornando como matéria-prima para a fabricação de novos itens de aço ou para outros processos industriais (Akiama, 2024).

Embora esse tema seja muito relevante em nosso cenário atual, até o momento não foram encontradas na literatura muitas revisões que discutam esse assunto sob o ponto de vista teórico e contextual específico para uma empresa de gerenciamento de resíduos industriais no setor siderúrgico. Linder e Williander (2017) afirmam que a literatura atual carece de estudos que conectem a teoria da Economia Circular com práticas específicas em setores industriais, como o siderúrgico.

Dessa maneira, realizar um estudo de caso focado nas práticas de economia circular em uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos no setor siderúrgico, preencheria uma lacuna importante. Portanto, o objetivo deste estudo é analisar as práticas de Economia Circular de uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos que atua em uma siderúrgica, para fins de avaliação da eficácia das práticas estabelecidas.

## **2 OBJETIVO GERAL**

O objetivo do presente trabalho é analisar as práticas de Economia Circular de uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos com atuação em uma empresa siderúrgica.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar a eficácia das práticas de Economia Circular na promoção da sustentabilidade adotadas tanto pela empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos quanto pela siderúrgica.
- Investigar a percepção e envolvimento dos colaboradores da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos em relação às práticas de Economia Circular;

- Propor recomendações para melhorias na aplicação das práticas de Economia Circular.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme destacado por Pereira (2019), a gestão inadequada de resíduos emergiu como um tema relevante em discussões globais sobre proteção ambiental, incentivando os países a criarem legislações voltadas à gestão adequada de resíduos sólidos. No Brasil, essa preocupação resultou na aprovação da Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS estabelece diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos no Brasil, enfatizando a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e sociedade. (Brasil, 2010).

Devido a diversas nomenclaturas relacionadas aos resíduos, como “lixo”, “resíduo”, “rejeito”, a legislação definiu resíduos sólidos e rejeitos, esclarecendo quais insumos devem ser direcionados para o aterro sanitário após a coleta. A Lei nº 12.305/2010, em seu artigo 3º, dispõe:

**Art. 3º** Para os efeitos desta Lei entende-se por:  
(...)

**XV - rejeitos:** resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

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

Os termos “gestão” e “gerenciamento” de resíduos sólidos estão interligados por um conjunto de ações complementares. A PNRS define a gestão integrada como um instrumento estratégico que estabelece objetivos, responsabilidades, planos e prazos a serem cumpridos. (Brasil, 2010). Por outro lado, o gerenciamento de resíduos sólidos envolve aspectos mais específicos, como a caracterização dos resíduos, a quantificação de geração, as tecnologias de tratamento aplicáveis e a disposição final, considerando as particularidades de cada empreendimento gerador. (Pereira, 2019).

### **3.1.1 Classificação e Tipos de Resíduos Sólidos**

A classificação dos resíduos sólidos no Brasil é regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme estabelecido pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). Essa norma define critérios específicos para categorizar os resíduos com base em sua origem e periculosidade, oferecendo orientações para a identificação e o manejo adequado de materiais que podem representar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente. A norma classifica os resíduos em:

- Classe I (resíduos perigosos): resíduos que, devido à sua composição ou características, apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

Classe II (resíduos não perigosos) que se subdividem em duas categorias:

- ✓ Classe II A (não inerte): resíduos que em contato com água apresentam características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- ✓ Classe II B (inerte): resíduos que não apresentam características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade quando submetidos a contato com a água.

Recentemente, a norma ABNT NBR 10.004 passou por processos de revisão. O primeiro projeto foi submetido à Consulta Nacional entre 18 de janeiro de 2024 e 18 de março de 2024, enquanto o segundo projeto foi submetido para consulta entre 24 de setembro de 2024 e 23 de outubro de 2024. As normas ABNT NBR 10004-1 e ABNT NBR 10004-2 cancelam e substituem a ABNT NBR 10004 (ABNT, 2024).

Essa atualização trouxe mudanças significativas no processo de classificação de resíduos, mantendo as categorias Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos). Além disso, a atualização introduziu uma Lista Geral de Resíduos (LGR), a avaliação da presença de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), a análise das propriedades físico-químicas que podem conferir periculosidade ao resíduo e a avaliação da toxicidade do resíduo.

Para permitir que as partes interessadas se adequem e atendam aos requisitos da nova versão, está previsto um período de transição com vigência até 31 de dezembro de 2026. Durante esse período, os conteúdos da ABNT NBR 10004:2004 e de normas correlatas ainda poderão ser aplicados (ABNT, 2024).

Além da classificação da ABNT, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio do seu artigo 13, também categoriza os resíduos sólidos com base em sua origem e periculosidade. Os resíduos são classificados da seguinte forma:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea "d" do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos,

podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) é uma ferramenta fundamental para o gerenciamento adequado de resíduos, pois se alinha às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), às normas técnicas da ABNT, como a NBR 10.004, e a outras regulamentações pertinentes (Brasil, 2014).

A elaboração e a implementação de um PGRS eficaz exigem a observância rigorosa dessas regulamentações, assegurando que os resíduos sejam gerenciados de maneira responsável e em conformidade com as normas vigentes. De acordo com o Art. 22 da Lei 12.305/2010, a elaboração, implementação, operação e monitoramento do PGRS devem ser realizados por um responsável técnico devidamente habilitado. Este profissional pode ser um engenheiro ambiental, biólogo ou engenheiro químico, desde que esteja registrado em seu respectivo conselho de classe. A legislação brasileira é flexível quanto à escolha do profissional, contanto que ele possua as qualificações exigidas. (Brasil, 2010).

### **3.1.2 Tecnologias para Tratamento e Disposição Final de resíduos sólidos**

Segundo Juca *et al.* (2014), o tratamento de resíduos sólidos urbanos é compreendido como uma série de procedimentos físicos químicos e biológicos que objetivam na diminuição da poluição do meio ambiente, redução dos impactos sanitários negativos do homem e a valorização econômica dos resíduos. O autor também sugere que, após a etapa de coleta e transporte de resíduos, existem quatro sistemas básicos de tratamento e disposição de RSU que se baseiam na triagem, tratamentos biológicos, incineração e aterros sanitários.

#### **3.1.2.1 Triagem**

As unidades de triagem contribuem na cadeia produtiva da reciclagem de resíduos como uma etapa intermediária entre a coleta seletiva e a reciclagem, fornecendo às indústrias recicladoras um resíduo segregado, limpo e beneficiado, aumentando a eficiência dos processos de reciclagem e na comercialização (Jucá *et al.* 2014).

Prado Filho e Sobreira (2007) relatam que, no Brasil, no início da década de 1980, houve uma intensa divulgação das unidades de triagem e compostagem como sistemas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, junto às administrações municipais. Muitos municípios passaram a experimentar essa técnica como uma solução definitiva para os problemas ambientais e sanitários decorrentes do aumento na produção de resíduos.

### 3.1.2.2 Coleta Seletiva

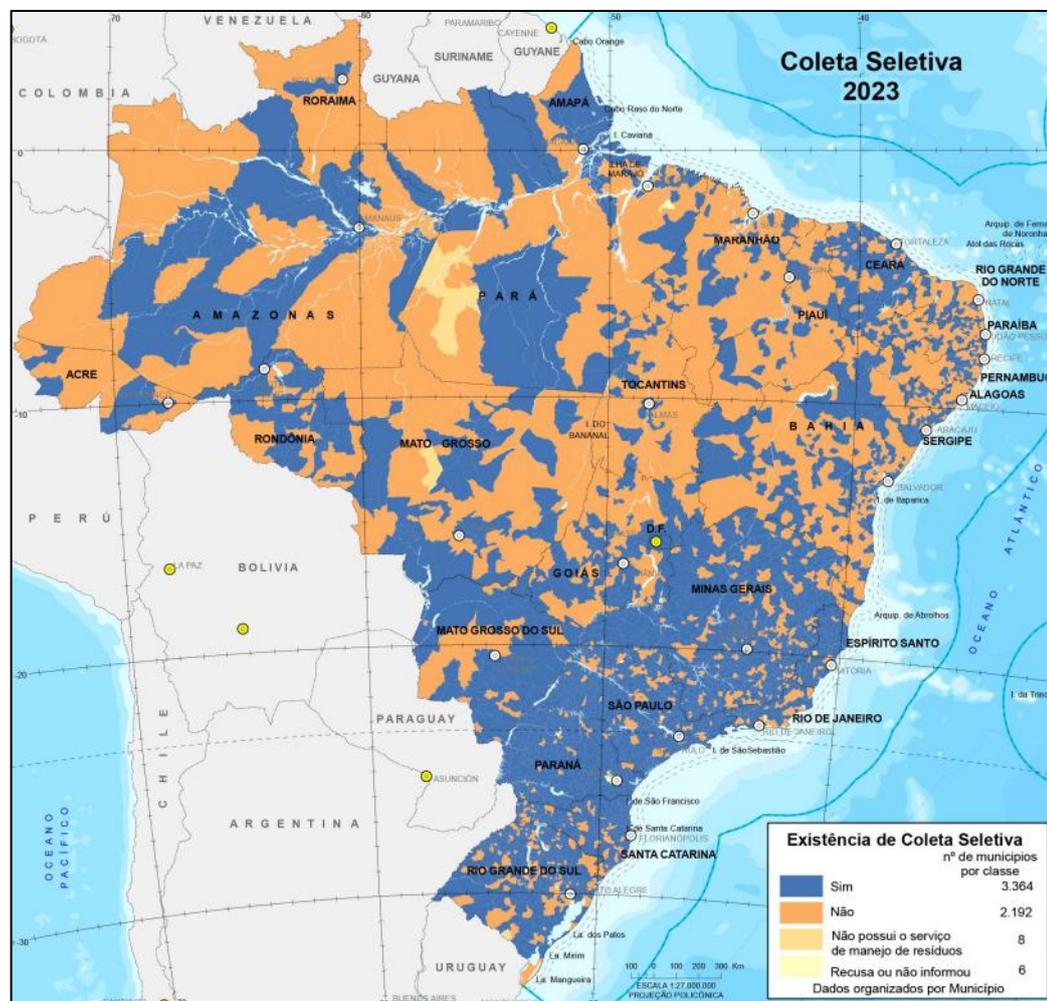
A coleta seletiva diz respeito à coleta de resíduos que possuem potencial para valorização, visando à sua segregação na origem. O objetivo é que esses materiais sejam reutilizados, reciclados ou recuperados. Segundo Bringhenti (2004), essa coleta pode ser realizada de diferentes formas: de porta em porta, onde veículos específicos percorrem as ruas para coletar resíduos em cada domicílio; em Postos de Entrega Voluntária (PEVs), que são locais designados onde a população pode levar seus materiais recicláveis; ou por meio de trabalhadores autônomos, frequentemente apoiados por organizações sociais, que recolhem materiais recicláveis de vias públicas, residências, comércios, serviços e indústrias, independentemente de estarem segregados ou não.

A responsabilidade pela implantação da coleta seletiva no Brasil é compartilhada entre o poder público, a iniciativa privada e a sociedade civil. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), cabe aos municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos, incluindo a implementação de sistemas de coleta seletiva. Além disso, o artigo 10 da mesma lei atribui aos órgãos federais e estaduais a responsabilidade pela fiscalização (Brasil, 2010).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), em 2023, a coleta seletiva estava presente em 60,5% dos municípios brasileiros, abrangendo 3.364 cidades. O método de coleta porta a porta se destacou como o mais utilizado, enquanto os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), também conhecidos como Ecopontos, e outras formas alternativas desempenharam um papel significativo no sistema de coleta seletiva no país naquele ano. Regionalmente, a Região Sul liderou, com 81,9% dos municípios oferecendo esse serviço, seguida pela Região Sudeste, que apresentou 80,6%. As Regiões Norte e

Nordeste registraram os menores índices, com 33,5% e 37%, respectivamente. A Figura 1 ilustra os municípios que implementaram a coleta seletiva em 2023.

Figura 1- Mapa Coleta Seletiva 2023.



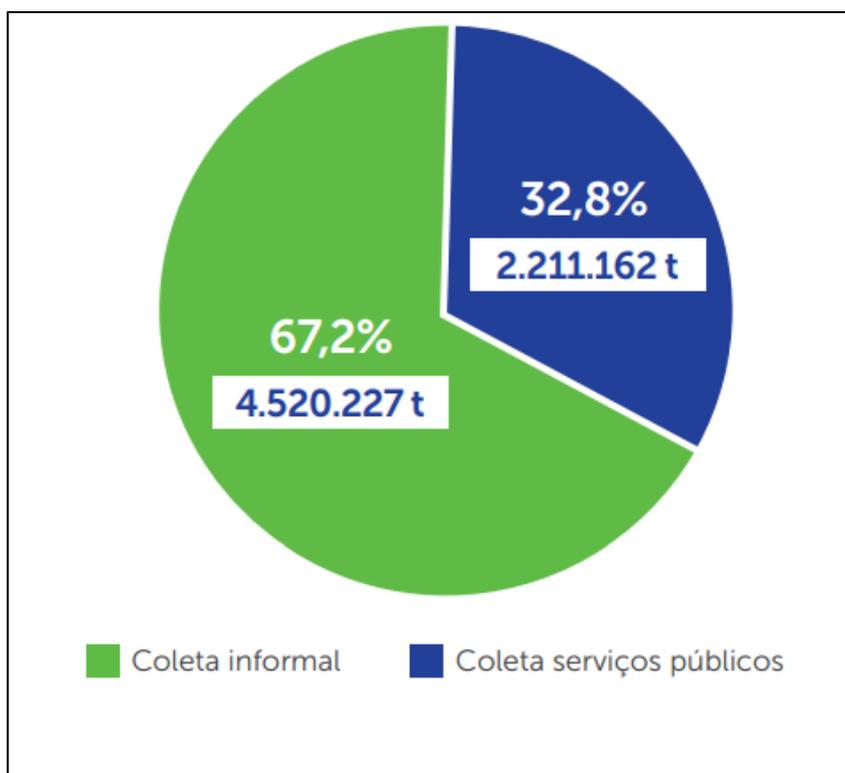
Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2023 e Diretoria de Geociências, Coordenação de Geografia.

### 3.1.2.3 Reciclagem

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), a reciclagem é um procedimento que envolve a transformação de resíduos sólidos que não seriam aproveitados, alterando seu estado físico, físico-químico ou biológico, com o intuito de conferir características que permitam que esses materiais se tornem, novamente, matéria-prima ou produtos.

De acordo com a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema, 2024), no ano de 2023 aproximadamente 6,7 milhões de resíduos secos foram enviados para reciclagem. Os resíduos recicláveis tiveram a origem de coletas via serviços públicos e a coleta informal (trabalhadores autônomos). A Figura 2 ilustra o percentual de resíduos recicláveis por tipo de coleta.

Figura 2- Quantidade de RSU secos enviados para reciclagem no Brasil em 2023.



Fonte: ABREMA - Associação Brasileira de resíduos e meio ambiente (2024).

Em relação aos gargalos nos processos de reciclagem no Brasil, a Associação Nacional dos Catadores de materiais recicláveis (ANCAT, 2022), aponta que a composição dos produtos pode influenciar o preço e o interesse pelo material. Isso ocorre porque alguns materiais têm um valor agregado baixo, o que torna o custo do transporte elevado e inviabiliza a reciclagem, a menos que haja uma indústria recicladora na região ou em uma distância logística favorável. Além disso, a exigência de um lote mínimo para viabilizar o transporte e o beneficiamento também

é um fator limitante, dificultando a eficiência do processo de reciclagem em algumas áreas.

#### 3.1.2.4 Compostagem

A compostagem é um processo biológico de decomposição aeróbia da matéria orgânica contida em resíduos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto que pode ser aplicado no solo para melhorar suas características de produtividade, sem ocasionar riscos ao meio ambiente (Jucá, et al. 2014).

A compostagem pode ser realizada de duas maneiras: natural ou acelerada. No processo natural, os resíduos são empilhados ou organizados em leiras, que devem ser viradas, seja manualmente ou com o auxílio de máquinas, para garantir a circulação de ar e fornecer o oxigênio necessário para a decomposição biológica. Já no processo acelerado, os resíduos são colocados em reatores rotativos ou sobre sistemas de tubulações perfuradas, onde a aeração é intensificada artificialmente (Costa et al. 2015).

O artigo 36º da PNRS (2010) orienta os municípios a implementarem sistemas de compostagem para resíduos orgânicos. Além disso, o artigo também destaca a importância de envolver os agentes econômicos e sociais na utilização do composto produzido, promovendo a integração de diferentes setores para a destinação sustentável dos resíduos.

De acordo com o IBGE (2024), em 2023, a implantação de unidades de compostagem de resíduos orgânicos foi mais prevalente na região Sul, com uma participação de 18,4%, o que indica uma maior capacidade de aproveitamento desses resíduos. O Sudeste também apresentou uma porcentagem significativa, com 12,6%, enquanto as regiões Norte (4,1%), Nordeste (5,4%) e Centro-Oeste (5,3%) mostraram índices de implementação mais baixos. Além disso, os municípios com população superior a 500.000 habitantes foram os que mais investiram em unidades de compostagem, alcançando 47,5%. Isso demonstra que cidades mais populosas tendem a adotar práticas mais avançadas de gestão de resíduos.

### 3.1.2.5 Incineração

A incineração é uma técnica térmica utilizada para eliminar resíduos sólidos, especialmente aqueles considerados perigosos, por meio da queima em altas temperaturas. Durante esse processo, o oxigênio interage com os materiais combustíveis presentes nos resíduos, resultando na conversão da energia química em calor (Silva *et al.* 2020). O objetivo principal da incineração de RSU é reduzir seu volume e peso, além de capturar ou destruir substâncias potencialmente prejudiciais, ao mesmo tempo em que possibilita a recuperação de energia ou dos componentes químicos e/ou minerais dos resíduos (Margallo *et al.* 2012).

A utilização de unidades de tratamento por incineração tem sido bastante limitada em todo o país, com apenas 3,0% dos municípios relatando a adoção dessa tecnologia em 2023. As regiões Nordeste (3,4%) e Norte (3,2%) apresentaram os maiores índices de uso, embora essa prática continue a ser menos comum em todas as regiões (IBGE, 2024). Essa limitação pode ser explicada pela necessidade de sistemas eficazes para o tratamento e controle de gases nas plantas de incineração; os custos envolvidos nesse processo costumam ser mais altos, o que torna sua implementação mais desafiadora, especialmente em países em desenvolvimento (Ferrari, 2021).

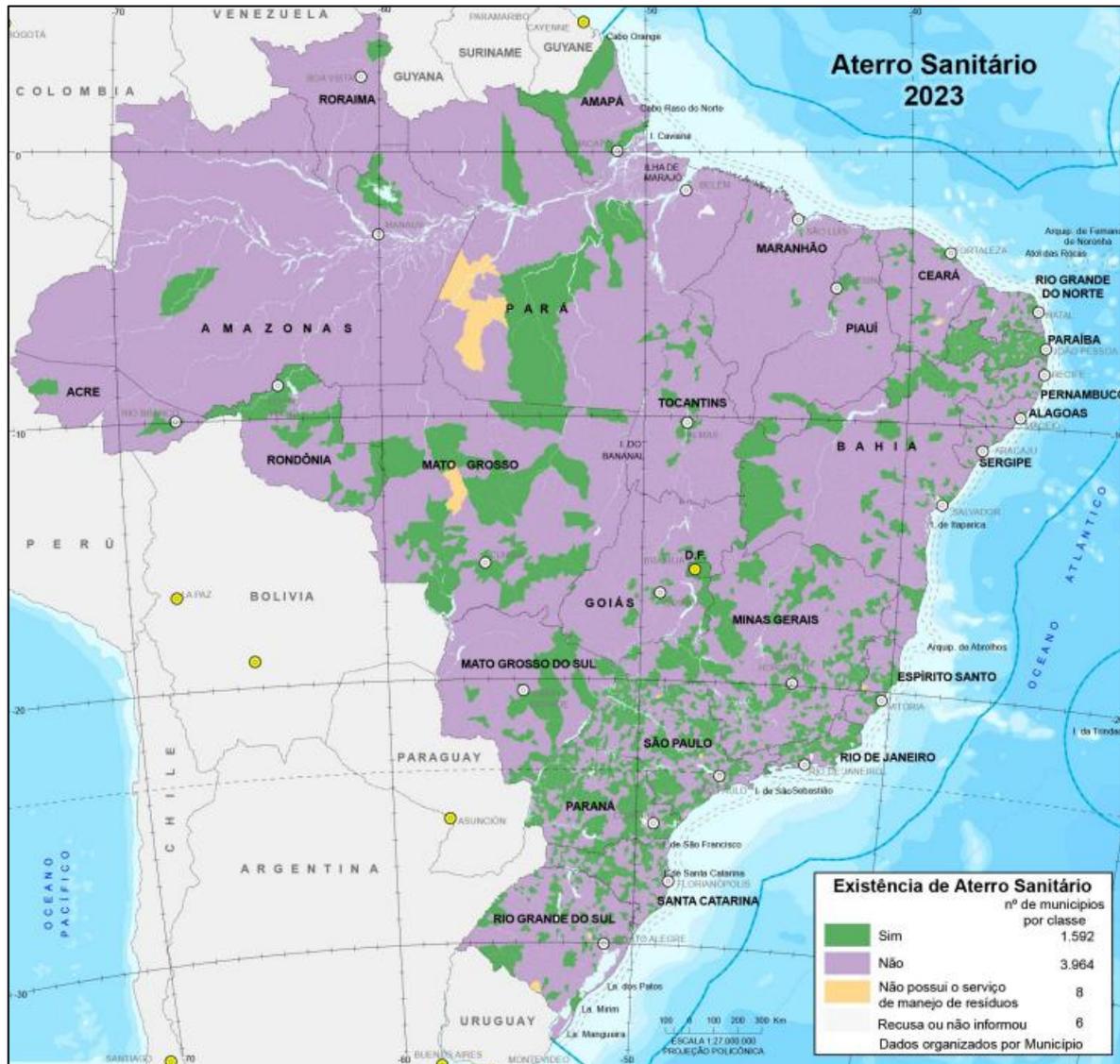
### 3.1.2.6 Aterro Sanitário

De acordo com a PNRS (2010), a destinação em aterros sanitários deve ser reservada exclusivamente para rejeitos, ou seja, RSU cuja possibilidade de reutilização, reciclagem ou tratamento já foi esgotada.

Segundo Juca *et al.* (2014), diversos elementos devem ser considerados no planejamento e na construção de um aterro sanitário, com base em critérios de engenharia. Esses elementos incluem sistemas de impermeabilização da base, drenagem de águas pluviais, manejo de líquidos e gases gerados pela decomposição dos resíduos, cobertura adequada e unidades de tratamento de lixiviados. Esses sistemas têm como objetivo garantir a segurança operacional do aterro, controlar efluentes líquidos, reduzir emissões gasosas e minimizar riscos à saúde pública, assegurando o manejo correto dos resíduos e diminuindo os

impactos ambientais. A Figura 3 ilustra os municípios brasileiros que, segundo o IBGE, possuíam pelo menos um aterro sanitário em 2023.

Figura 3 – Aterros Sanitários de 2023 em Municípios que possuem pelo menos um Aterro Sanitário.

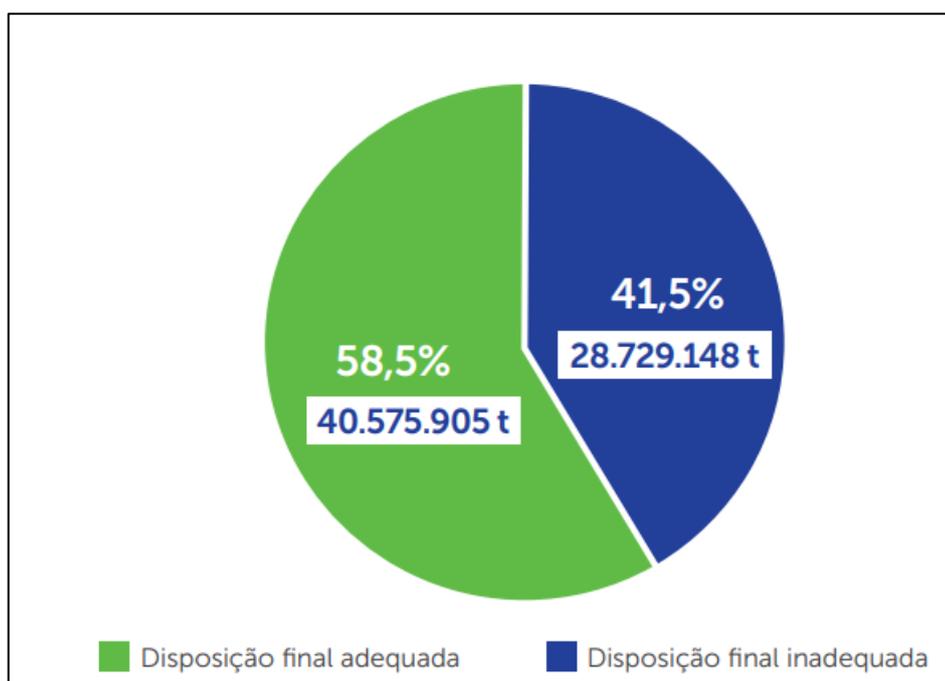


Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2023 e Diretoria de Geociências, Coordenação de Geografia.

No Brasil, estima-se que cerca de 69,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos tenham sido encaminhadas para disposição final em 2023, o que corresponde a 85,6% dos RSU gerados no ano. (Abrema, 2024), embora ainda

exista no país uma quantidade significativa de lixões, mesmo após ser proibido em lei. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) determinou que os municípios desativassem os lixões, substituindo-os por alternativas ambientalmente adequadas, como aterros sanitários. A Figura 4 ilustra o percentual de resíduos encaminhados à destinação final de forma adequada em aterros sanitários e de forma inadequada, como lixões ou aterros controlados.

Figura 4- Disposição final adequada *versus* disposição final inadequada no ano de 2023.



Fonte: Abrema (2024).

## 3.2 SUSTENTABILIDADE: ECONOMIA CIRCULAR, ESG, ODS

### 3.2.1 Princípios da Economia Circular

Os princípios da economia circular apresentam um modelo econômico alternativo ao sistema linear tradicional, vigente desde a Revolução Industrial. Este modelo linear, caracterizado pelo ciclo de extração, produção e descarte, promove a poluição, degrada os ecossistemas naturais e agrava desafios globais, como as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade (Ellen MacArthur Foundation, 2023).

A crescente falta de matérias-primas e as degradações ambientais tornam esse modelo cada vez mais insustentável (Gonçalves; Barroso, 2019). Para enfrentar esses desafios, Bocken *et al.* (2016) destacam a necessidade de adotar estratégias de design e modelos de negócios que promovam a circularidade dos materiais e produtos, buscando, assim, reduzir os impactos negativos no meio ambiente.

De Oliveira (2019) descreve a economia circular como um modelo econômico sustentável que harmoniza a atividade humana com a natureza, reintegrando matérias-primas aos ciclos biológicos ou técnicos. O sistema reduz resíduos, otimiza recursos como água e energia, preserva o capital natural e promove benefícios sociais, ecológicos e econômicos, com produtos projetados para prolongar sua vida útil e reaproveitar materiais em novos ciclos de produção.

Com base na norma ABNT NBR ISO 59004:2024, os princípios fundamentais da economia circular orientam as organizações a adotarem práticas sustentáveis e regenerativas em suas operações. Esses princípios incluem:

1. **Pensamento Sistêmico:** Incentiva as organizações a considerarem o ciclo de vida completo de produtos e serviços, adotando uma abordagem de longo prazo que avalie os impactos ambientais, sociais e econômicos de suas atividades.
2. **Geração de Valor:** Foca na recuperação, retenção ou adição de valor por meio de soluções eficazes que contribuam para o valor socioeconômico e ambiental, utilizando os recursos de forma eficiente.
3. **Compartilhamento de Valor:** Promove a colaboração inclusiva e equitativa com as partes interessadas ao longo da cadeia ou rede de valor, visando o benefício e bem-estar da sociedade ao compartilhar o valor gerado.
4. **Gerenciamento de Recursos:** Envolve o gerenciamento sustentável de estoques e fluxos de recursos, buscando fechar, desacelerar e estreitar os fluxos para garantir a acessibilidade e disponibilidade contínuas de recursos para as gerações atuais e futuras, reduzindo a dependência de recursos virgens.
5. **Rastreabilidade de Recursos:** Requer que as organizações coletem e mantenham dados que permitam o rastreamento de recursos ao longo

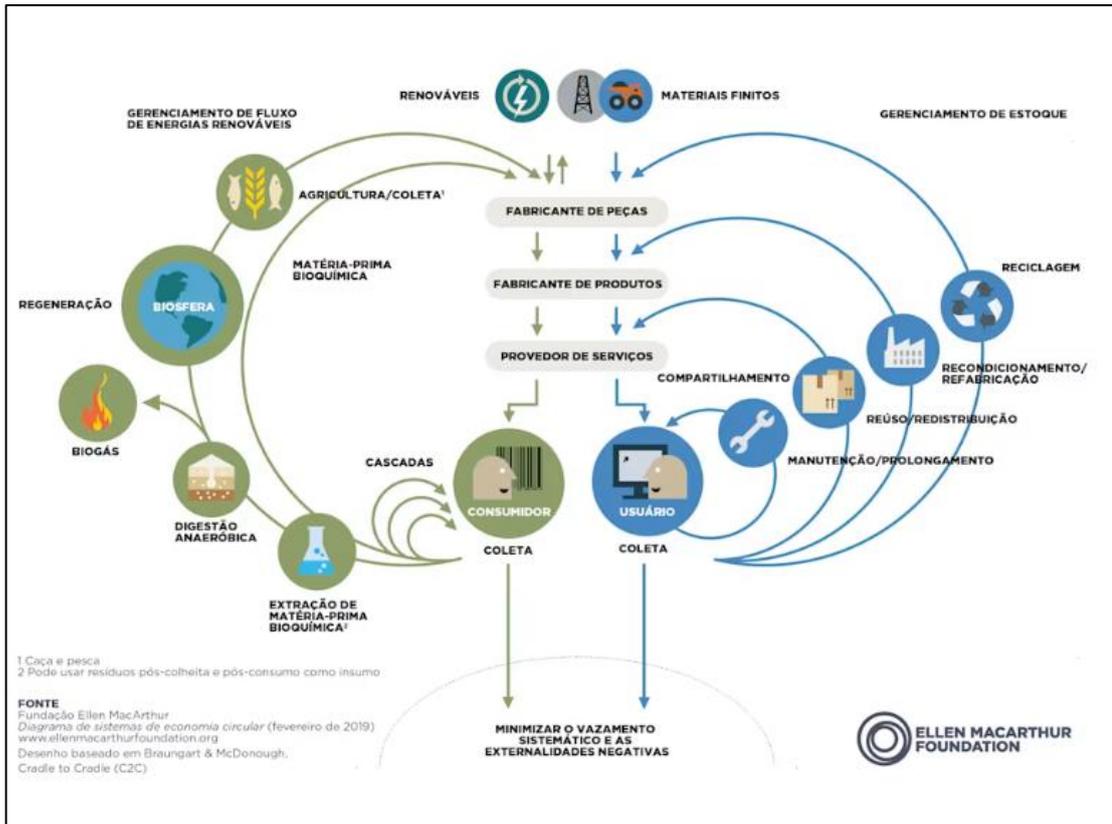
de suas cadeias de valor, sendo responsáveis por compartilhar informações relevantes com as partes interessadas.

6. Resiliência dos Ecossistemas: Encoraja o desenvolvimento e a implementação de práticas e estratégias que protejam e contribuam para a resiliência e regeneração dos ecossistemas e sua biodiversidade, considerando os limites do planeta.
7. A adoção desses princípios permite que as organizações alinhem suas operações com os objetivos da economia circular, promovendo a sustentabilidade e a regeneração dos sistemas naturais.

A Fundação Ellen MacArthur (2022) elaborou ciclos e princípios que desdobram a economia circular. São dois ciclos: o técnico e o biológico, além de três princípios que visam integrar a preservação ambiental, a otimização de rendimentos por meio da maximização da utilidade dos produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida, e a garantia da efetividade do sistema, revelando e excluindo as externalidades negativas.

A Figura 5 apresenta uma representação do funcionamento dos ciclos. À esquerda, observa-se o ciclo biológico, que abrange produtos consumíveis, como alimentos e outros materiais orgânicos. À direita, encontra-se o ciclo técnico, que se referem aos produtos, materiais e componentes, assim como suas respectivas estratégias de tratamento circular. Os princípios estão dispostos na parte superior da imagem, representando as principais atividades que visam à preservação do capital humano. No centro, são apresentadas as atividades que promovem a máxima utilização de produtos, insumos e materiais em todos os setores produtivos. Por fim, na parte inferior, destaca-se a necessidade de desenvolver um sistema que minimize perdas e externalidades negativas.

Figura 5- Diagrama de borboleta: Visualizando a Economia Circular.



Fonte: Fundação Ellen MacArthur (2022).

### 3.2.2 Indicadores de Circularidade

Os indicadores de circularidade são ferramentas fundamentais para avaliar a eficácia de um modelo econômico baseado na economia circular. Eles possibilitam a mensuração do progresso de uma empresa ou sistema em direção a uma gestão mais sustentável dos recursos e à diminuição dos impactos ambientais.

A ABNT NBR ISO 59020 estabelece uma estrutura abrangente para mensurar e avaliar o desempenho em economia circular, com foco na coleta e no cálculo de dados por meio de indicadores de circularidade. Essa mensuração deve incluir o estabelecimento de limites do sistema e a seleção de indicadores relevantes, permitindo que as organizações interpretem e processem os dados de maneira consistente e reproduzível (ABNT, 2024).

Corona *et al.* (2019) classificam as métricas presentes na literatura em dois grupos, ambos voltados para medir a aplicação dos princípios da economia circular:

- Índice de Medição de Circularidade: utilizado para avaliar o nível de circularidade de um sistema. Este índice é calculado com base na porcentagem de materiais reciculados em um produto, representando o grau de circularidade alcançado.
- Ferramentas de Avaliação de Circularidade: focadas em analisar como as estratégias de circularidade contribuem para o sistema. Essa análise considera os impactos ambientais e econômicos, avaliando a influência das práticas circulares na sociedade.

No entanto, Sanchez-Ortiz *et al.* (2020) destacam a dificuldade de identificar indicadores específicos de economia circular tanto na literatura quanto no mercado, uma vez que muitos deles se assemelham aos utilizados para medir a sustentabilidade. Apesar disso, os autores mencionam a necessidade de alinhar os indicadores à estratégia da empresa e aos princípios da economia circular. Esse alinhamento é crucial para mensurar, de forma efetiva, o progresso da circularidade na organização e o impacto das ações nos objetivos estratégicos.

### **3.2.3 Indicadores de Economia Circular no setor do aço**

De acordo com a ABNT 59020 (ABNT, 2024), os indicadores de economia circular são definidos como medidas quantitativas ou qualitativas que avaliam aspectos de circularidade dentro de um sistema econômico. Esses indicadores são aplicáveis a todas as fases do ciclo de vida de um produto, desde o design até a produção, uso e recuperação. A norma estabelece critérios específicos para a elaboração de indicadores, incluindo a definição clara do aspecto de circularidade a ser mensurado, o nível do sistema em que o indicador se aplica e os requisitos de dados necessários para sua mensuração. Além disso, destaca a importância da escolha de indicadores que reflitam as metas e ações circulares das organizações, possibilitando a mensuração do impacto dessas iniciativas em termos de fluxos de recursos e valor agregado.

Nesse contexto, a economia circular se apresenta como uma estratégia essencial para prolongar a vida útil dos recursos no ciclo produtivo, conforme destaca Davi Bomtempo, gerente executivo de Meio Ambiente e Sustentabilidade da

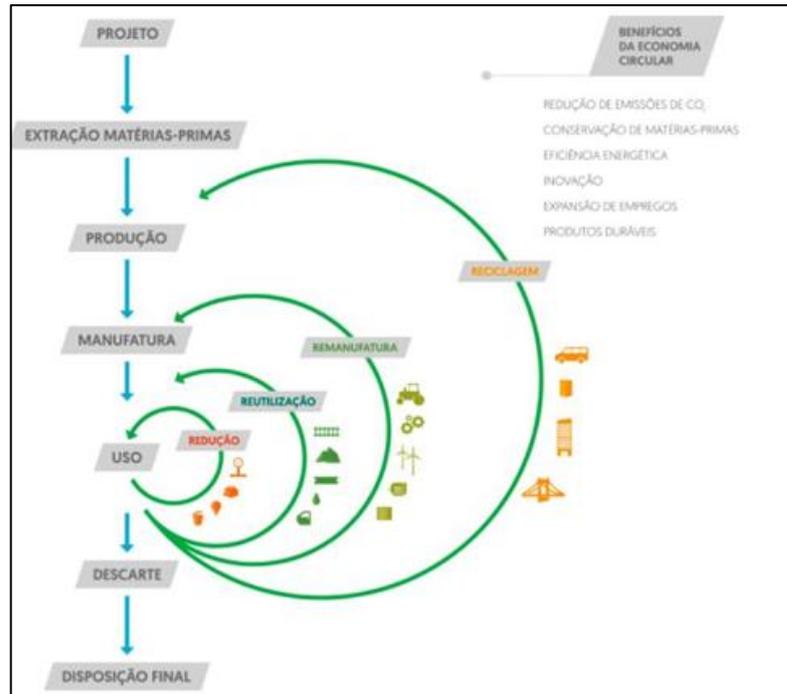
Confederação Nacional da Indústria (CNI), ao enfatizar a importância de práticas como reciclagem, reuso e remanufatura (Exame, 2022). Na indústria do aço, esses princípios são sistematizados pelo World Steel Association (2020) nos chamados 4 R's:

**Redução:** Consiste em minimizar o uso de materiais, energia e outros recursos durante o processo de fabricação do aço, além de buscar formas de diminuir o peso do aço nos produtos finais, tornando-os mais eficientes.

- **Reutilização:** Envolve o reaproveitamento de objetos ou materiais para sua função original ou uma semelhante, sem que sua estrutura física sofra mudanças significativas.
- **Remanufatura:** Trata-se do processo de recuperar e restaurar produtos de aço usados, devolvendo-lhes condições adequadas para prolongar sua vida útil, como se fossem novos.
- **Reciclagem:** Refere-se à transformação de produtos de aço no fim de sua vida útil em novos materiais. Durante esse processo, a forma física do objeto de aço é modificada.

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2024), o aço é o material mais reciclado do mundo. O relatório relata que em 2023 foram reciclados cerca de 7,7 milhões de toneladas de sucatas de aço. A Figura 6 apresenta os conceitos que foram fortemente incorporados à agenda da indústria do aço: os 4 R's da economia circular.

Figura 6- 4 R's do Processo de Economia Circular



Fonte: Instituto Aço Brasil (2024).

### 3.2.4 ESG e ODS: Desempenho Ambiental, Social e Econômico na EC da Siderúrgica.

A integração dos conceitos de ESG (Environmental, Social and Governance) e dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) à economia circular reforça a importância de alinhar práticas empresariais aos princípios de sustentabilidade global.

No ano de 2004, durante a conferência promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), denominada Who Cares Wins (Quem se Importa Vence, em tradução livre), a sigla ESG foi incorporada às discussões globais. O evento reuniu diplomatas, acadêmicos e representantes de instituições financeiras para debater temas relacionados à responsabilidade ambiental, social e governança corporativa. (Lima, 2022).

O ESG destaca três pilares fundamentais: o ambiental, que foca na preservação dos recursos naturais e na redução de impactos ambientais; o social, que promove o bem-estar das comunidades e condições justas de trabalho; e a governança, que assegura transparência e responsabilidade nos processos

decisórios. Os parâmetros representados pela sigla ESG têm exercido uma influência significativa nas práticas operacionais de empresas e instituições financeiras, impulsionando a implementação de ações voltadas para a sustentabilidade (Borsatto, 2023).

As organizações que adotam os critérios ESG buscam resultados econômicos, mas também promovem políticas responsáveis voltadas para o bem-estar social e o equilíbrio ecológico. Assim, o ESG tem grande impacto na tomada de decisões, incentivando empresas a considerar tanto os aspectos financeiros quanto os sociais e ambientais de suas atividades. (De Oliveira e Silva, 2023).

Segundo *World Steel Association- WSA* (2023), no âmbito global, medir os principais aspectos do desempenho econômico, ambiental e social da indústria siderúrgica e relatar essas informações globalmente, de forma anual, é um dos esforços mais antigos e importantes do setor para gerenciar seu desempenho, evidenciar seu compromisso com a sustentabilidade e promover maior transparência. De acordo com a WSA (2024), em 2023, 93 empresas e associações siderúrgicas participaram da coleta de dados, representando um total de 956,1 milhões de toneladas, equivalente a 51% da produção global de aço bruto.

Dentre essas organizações, 74 relataram voluntariamente um ou mais dos oito indicadores de sustentabilidade, sendo que 36 delas forneceram informações completas sobre todos os indicadores. A Figura 7 apresenta os indicadores de desempenho ambiental, social e econômico no período de 2021 a 2023.

Figura 7- Indicadores de Desempenho Ambiental, Social e Econômico da Associação Global WSA (2021-2023).

INDICADORES*	UNIDADE	2021	2022	2023	
<b>DESEMPENHO AMBIENTAL</b>					
1.	<b>Intensidade das emissões de CO<sub>2</sub></b>	toneladas de CO <sub>2</sub> por tonelada de aço bruto fundido	1,91	1,92	1,92**
2.	<b>Intensidade energética</b>	GJ por tonelada de aço bruto fundido	21,04	21,01	21,27**
3.	<b>Eficiência do material</b>	%	97,47	97,59	98,15
4.	<b>Sistema de gestão ambiental</b>	%	95,62	97,19	94,81
<b>DESEMPENHO SOCIAL</b>					
5.	<b>Taxa de frequência de lesões com perda de tempo</b>	lesões por milhão de horas trabalhadas	0,85	0,85	0,76
6.	<b>Treinamento de funcionários</b>	dias de treinamento por funcionário	7,62	8,22	8,90
<b>DESEMPENHO ECONÔMICO</b>					
7.	<b>Investimento em novos processos e produtos</b>	%	6,34	6,37	7,25
8.	<b>Valor econômico distribuído</b>	%	92,80	96,57	98,82

Fonte: World Steel Association (2024).

Essas iniciativas também estão profundamente alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, evidenciando o compromisso do setor em responder as crescentes expectativas da sociedade e em assumir a responsabilidade conjunta por um futuro mais sustentável (World Steel Association, 2024).

Os ODS abordam os principais desafios e fragilidades que a sociedade enfrenta, com o objetivo de erradicar a pobreza, preservar o meio ambiente e o clima, e assegurar que todas as pessoas, em qualquer lugar, possam viver com paz e prosperidade. (Lima, 2022). Esses objetivos, estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, devem ser alcançados para viabilizar a Agenda 2030, que é composta por 17 ODS. A Figura 8 mostra os objetivos que compõem a agenda 2030.

Figura 8- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: Organização das Nações Unidas (ONU, 2014)

Schroeder *et al.* (2019), por meio de uma revisão de literatura, analisaram a conexão entre as práticas de Economia Circular (EC) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os autores concluíram que as iniciativas relacionadas à EC têm o potencial de contribuir significativamente para o alcance de várias metas dos ODS, como água limpa e saneamento (ODS 6), energia acessível e limpa (ODS 7), trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8), consumo e produção responsáveis (ODS 12) e vida terrestre (ODS 15). No entanto, os pesquisadores também reforçaram a necessidade de mais estudos empíricos para identificar formas específicas de implementar essas práticas no contexto dos ODS.

### 3.3 APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA SIDERURGIA

Atualmente, as empresas brasileiras estão desenvolvendo sistemas para reciclar os resíduos sólidos gerados nos processos produtivos, reduzindo gastos e gerando receita por meio do reaproveitamento ou venda desses materiais. (Quintaneiro, 2014). De acordo com o estudo de Andrade (2022), os principais resíduos sólidos industriais (RSI) do processo siderúrgico classificam-se em escórias

de alto forno e de aciaria, pós de alto forno e de aciaria, lamas de alto forno e aciaria, carepa, finos de carvão vegetal e finos de minério.

O setor do aço desempenha um papel fundamental na economia e no desenvolvimento de um país devido à sua múltipla aplicação em distintas indústrias (Instituto Aço Brasil, 2023). Esse setor no Brasil enfrenta mudanças significativas impulsionadas por fatores políticos e econômicos, que enfatizam a importância da integração de práticas sustentáveis. Segundo a Klynveld Peat Marwick Goerdeler (KPMG, 2024), a indústria do aço é responsável por aproximadamente 7% a 9% das emissões globais de CO<sub>2</sub> provenientes da queima de combustíveis fósseis. Com a demanda por aço projetada para crescer em até 30% até 2050, a transição para práticas mais sustentáveis torna-se essencial.

Segundo Akiama (2024), por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), o governo brasileiro assumiu o compromisso de implementar estudos para o financiamento de medidas de baixo carbono na siderurgia. As estratégias incluem aumentar a reciclagem na rota do forno elétrico a arco e substituir o carvão mineral por carvão vegetal. Além disso, a aplicação da reciclagem e a reutilização de sucata de aço são fundamentais. Para compreender as tendências da economia circular no setor siderúrgico, a autora define o ciclo de produção do aço da seguinte forma:

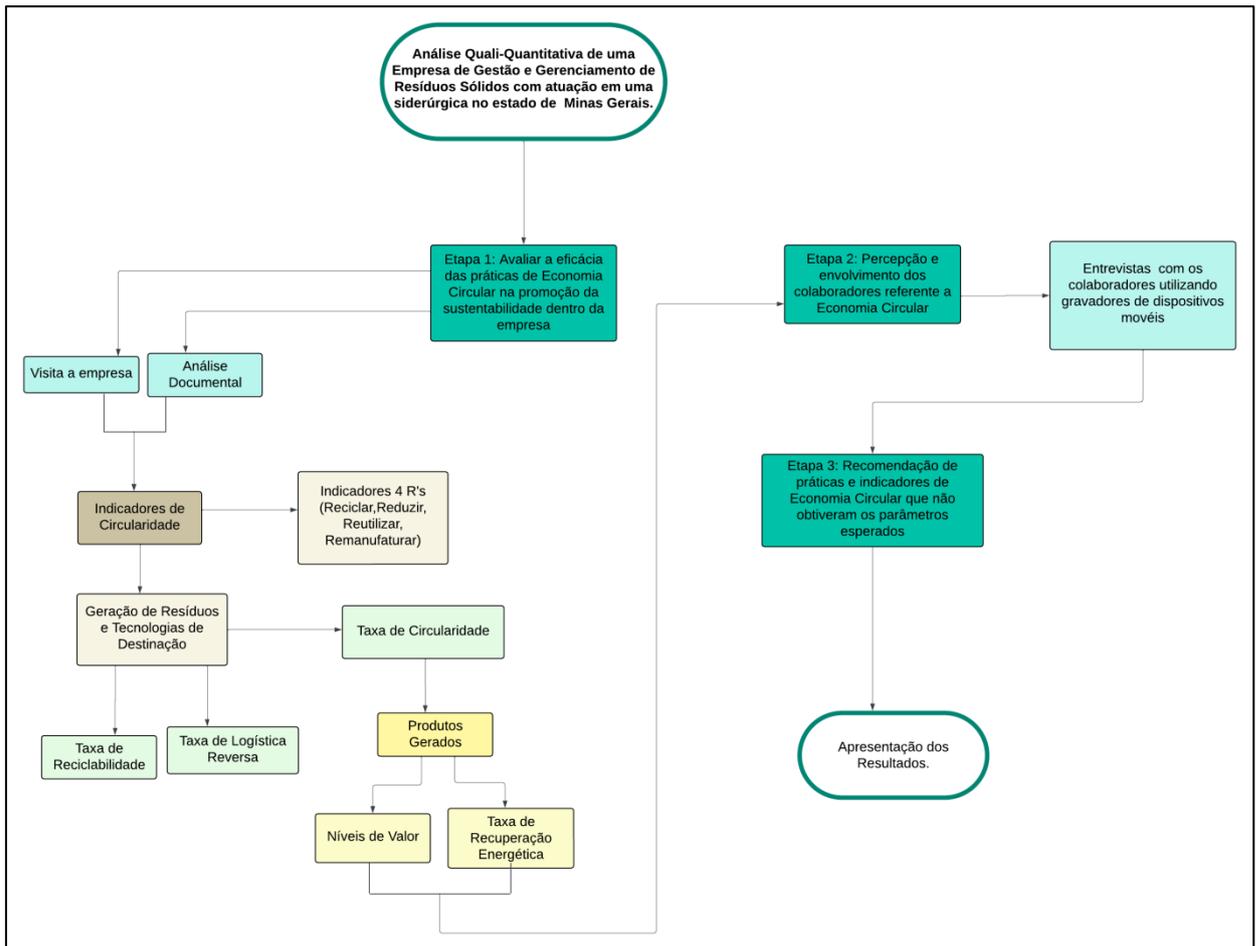
- 1) Extração de matérias-primas ou mineração: a etapa inicial do ciclo de produção do aço envolve a extração de minérios de ferro, carvão e outros materiais necessários;
- 2) Redução do ferro: o minério de ferro é processado para produzir ferro gusa. Devido à alta temperatura necessária (1400-1600 °C) e ao uso de carvão como fonte de energia, essa é a etapa mais intensiva em emissões de CO<sub>2</sub> em toda a cadeia de produção;
- 3) Produção do aço ou refino: o ferro gusa é processado em altas temperaturas com a adição de outros elementos, como o carbono, para produzir o aço. As altas temperaturas e o uso de energia também contribuem para as emissões de CO<sub>2</sub>;
- 4) Processamento do aço ou fabricação: o aço é transformado em diferentes formatos e tamanhos, como chapas, perfis, barras e tubos. A energia utilizada nessa etapa também contribui para as emissões de CO<sub>2</sub>;
- 5) Manufatura de produtos: o aço é utilizado nas indústrias como matéria-prima para a fabricação de produtos;
- 6) Uso: corresponde ao período em que o produto é utilizado para sua finalidade. Durante essa etapa, há um grande consumo de energia, gerando emissões de CO<sub>2</sub>—tendo em vista um ciclo fechado, o aço que compõe o produto é considerado como parte do estoque. O final desse período é o final de sua vida útil; e
- 7) Gestão de resíduos e reciclagem: no final de sua vida útil, os produtos derivados do aço, especialmente a sucata, podem ser descartados ou reciclados, voltando a fazer parte da cadeia.

A sucata é gerada do processo de manufatura, reciclagem e das estratégias de EC, nas diversas fases do ciclo do aço. (Tomas e Birat, 2023). De acordo com Akiama (2024), a reciclagem e reutilização da sucata de aço são práticas essenciais que não apenas reduzem o consumo de energia, mas também diminuem a dependência de recursos primários, contribuindo para a sustentabilidade do setor siderúrgico. Além disso, a autora enfatiza que a economia circular é uma abordagem fundamental para o setor, destacando a importância de políticas públicas que apoiem a formalização e estruturação do mercado de sucata.

## **4 MÉTODOS**

Nesta seção serão abordados todos os aspectos metodológicos da pesquisa realizada, descrevendo os procedimentos necessários e úteis para analisar as práticas de Economia Circular de uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos com atuação em uma siderúrgica do estado de Minas Gerais. A Figura 9 representa a distribuição das etapas que foram desenvolvidas nesta pesquisa de natureza básica, uma vez que gera conhecimento, focando na melhoria de teorias científicas já existentes.

Figura 9 - Etapas do Desenvolvimento da Pesquisa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

#### 4.1 TIPOLOGIA E DESCRIÇÃO GERAL DOS MÉTODOS DE PESQUISA

Para alcançar os objetivos propostos e proporcionar uma melhor apreciação deste trabalho, foi adotada uma abordagem quali-quantitativa. Em uma pesquisa de método misto, há uma integração entre a pesquisa quantitativa e qualitativa, onde os dados coletados na primeira fase influenciam a coleta de dados na fase posterior (Santos, *et al.* 2017).

Com intuito de conhecer a problemática sobre a área de estudo, foi realizada uma pesquisa descritiva, assegurando a precisão na análise das informações coletadas. Segundo Gil (2015), a aplicação de técnicas padronizadas de coleta de dados, através de questionários e observação sistemática caracteriza-se a pesquisa descritiva.

Para obtenção dos dados necessários, foram utilizadas pesquisas documentais, pesquisas de campo e estudo de caso.

## 4.2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa especializada na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos com atuação em uma siderúrgica. A empresa desenvolve soluções voltadas para o setor privado, oferecendo serviços de coleta, transporte, destinação final e reciclagem de resíduos, ao longo dos seus mais de 20 anos de atuação no mercado.

A matriz localizada em São Paulo, conta com uma equipe composta por diretores responsáveis por áreas estratégicas da empresa. Além disso, possui diversas filiais disponíveis no país, como Minas Gerais, Bahia, Pará, São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Pernambuco, Espírito Santo, etc. No local onde os serviços são prestados, a empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos industriais conta com uma equipe operacional formada por supervisor, coordenador, profissionais administrativos, técnico de segurança do trabalho, motoristas de caminhão e operadores de equipamentos (como empilhadeiras e prensas), além de agentes ambientais, fiscais e ajudantes práticos.

A empresa pode gerar impactos que variam conforme o tipo de resíduo tratado, os métodos de gestão adotados e o cumprimento das normas ambientais vigentes. Esses impactos incluem poluição do solo, contaminação da água, poluição atmosférica, problemas a saúde pública, entre outros. Por esse motivo, a empresa se empenha na adoção de uma gestão ambiental responsável, visando minimizar esses impactos.

A escolha de concentrar a pesquisa em uma siderúrgica do estado de Minas Gerais foi motivada pela identificação de desafios significativos na gestão de materiais. Conforme destaca o Instituto Aço Brasil (2023), a indústria siderúrgica é essencial para a economia brasileira, uma vez que produzem aço e ferro, insumos indispensáveis para a construção civil e outros setores industriais. No entanto, essa indústria enfrenta o desafio de gerenciar uma quantidade significativa de resíduos que se não forem tratados de forma adequada, podem causar impactos negativos

tanto no meio ambiente quanto na saúde das comunidades que os cercam (Pasin, 2024).

Os principais impactos ambientais associados à indústria siderúrgica incluem a geração de resíduos sólidos, como escórias, poeiras de alto-forno e lamas; as emissões atmosféricas, com a liberação de CO<sub>2</sub>, material particulado e gases poluentes; o elevado consumo de recursos naturais, (água e energia) e a geração de efluentes. Ao abordar a gestão de resíduos na siderurgia, estamos explorando um tema que pode gerar impactos reais e positivos.

A implementação de práticas de Economia Circular ajuda a mitigar os efeitos ambientais da produção de aço e possibilita a transformação de resíduos em recursos valiosos (Instituto Aço Brasil, 2023). Essa abordagem nos permite explorar essas questões, identificando estratégias que promovam a eficiência e a inovação, fortalecendo o compromisso do setor com a sustentabilidade.

### 4.3 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR

A avaliação da eficácia das práticas de economia circular foi conduzida por meio de uma abordagem quali-quantitativa com ênfase na análise documental de relatórios de sustentabilidade e registros operacionais relacionados à geração e destinação de resíduos.

A organização e o registro dos dados foram realizados utilizando pastas, cadernos e canetas. Além disso, foram aplicados indicadores ambientais para a avaliação dos resultados obtidos. Os dados coletados foram organizados, classificados e interpretados pelo autor. O uso do Power BI permitiu uma visualização mais clara e detalhada dos resultados, tornando a análise mais eficiente. Para a apresentação dos resultados nas reuniões, foi empregado um projetor e uma tela, garantindo uma exibição clara e objetiva das informações aos colaboradores da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.

#### 4.3.1 Indicadores de Circularidade do aço (4R's) e sustentabilidade

A partir da análise dos dados disponíveis no Relatório de Sustentabilidade da empresa siderúrgica, foi realizada uma categorização das informações com base

nos pilares do ESG: ambiental, social e governança. Dentro de cada um desses pilares, identificaram-se os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) mais relevantes, estabelecendo conexões entre as práticas descritas e as metas globais de sustentabilidade. Essa categorização considerou tanto o desempenho global da empresa, que possui diversas unidades operacionais, quanto o desempenho específico da unidade localizada em Minas Gerais, objeto deste estudo.

Seguindo a abordagem proposta pela World Steel Association (2020), também foi realizada uma análise qualitativa dos indicadores de economia circular, com foco nos 4 R's: reciclagem, redução, reutilização e remanufatura. Essa análise utilizou como base os dados disponíveis no relatório de sustentabilidade de 2023, levando em conta, tanto as práticas corporativas adotadas pela empresa em nível nacional quanto àquelas implementadas na unidade mineira. Ressalta-se que não foram realizados cálculos quantitativos para validação dos dados, uma vez que o objetivo foi interpretar qualitativamente as práticas adotadas pela empresa com base nos princípios da economia circular.

#### **4.3.2 Indicadores Relacionados à Geração de Resíduos e Tecnologias de Destinação**

No que diz respeito às tecnologias de destinação, foram investigadas as soluções disponíveis para o manejo adequado dos resíduos identificados. Entre os métodos analisados estão a reciclagem, a blendagem para coprocessamento, a disposição em aterros sanitários, dentre outros. A avaliação dessas tecnologias foi conduzida com base em critérios como eficiência operacional, impacto ambiental e viabilidade econômica.

Os indicadores de Economia Circular apresentados neste trabalho foram desenvolvidos com base nas estratégias da empresa estudada, alinhando suas práticas e objetivos ao conceito de circularidade. (Sánchez-Ortiz *et al.* 2020). A proposta combina indicadores existentes na literatura com novas métricas criadas pelo autor, visando preencher lacunas na avaliação da circularidade na empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Esta abordagem adapta os conceitos e indicadores de acordo com as normas ABNT 59020 e 59004. Além disso, segue as propostas da Ellen MacArthur Foundation (2020) e de Corona *et al.* (2019),

ressaltando a importância de monitorar e mensurar o desempenho das empresas durante a transição para um modelo mais circular."

A taxa de reciclagem é uma métrica que indica a proporção de resíduos reciclados em relação ao total de resíduos gerados. Conforme definido pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2022), essa taxa é calculada dividindo a quantidade de resíduos reciclados pela quantidade total de resíduos gerados, expressando-se geralmente em porcentagem. Para o cálculo, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de reciclagem (\%)} = \left( \frac{\text{Resíduos Reciclados}}{\text{Total de Resíduos Gerados}} \right) \cdot 100$$

De acordo com a Comissão Europeia (2024), a taxa de circularidade corresponde à proporção de materiais que, após o uso, são reintegrados ao ciclo produtivo como materiais secundários, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens e minimizando impactos ambientais. Quanto maior essa taxa, maior a eficiência na reutilização de recursos, reduzindo impactos ambientais associados à extração de novos materiais.

Este indicador é conhecido como “taxa de utilização circular de materiais” ou “taxa de circularidade” e mede o contributo dos materiais reciclados para a utilização global de materiais. (SUSTENTIX, 2023). Dessa forma, a análise considerará a comparação entre os materiais gerados pela empresa em estudo e aqueles que foram recirculados. Para o cálculo dessa taxa, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de circularidade (\%)} = \left( \frac{\text{Resíduos Circulados}}{\text{Total de Resíduos Gerados}} \right) \cdot 100$$

A logística reversa desempenha um papel fundamental na Economia Circular, ao viabilizar o retorno de materiais ao ciclo produtivo e reduzir os impactos ambientais do descarte. Leite (2009) destaca que essa prática envolve um sistema estruturado de coleta, triagem e reaproveitamento, podendo ser avaliada por meio de indicadores, como a Taxa de Logística Reversa. Essa métrica permite mensurar o percentual de resíduos reintegrados ao processo, funcionando como um indicador da circularidade em setores industriais, como a siderurgia. Para o cálculo dessa taxa proposto pela pesquisa, foi utilizada a seguinte fórmula:

*Taxa de Logística Reversa (%)*

$$= \left( \frac{\text{Resíduos reintegrados por meio de logística reversa}}{\text{Total de Resíduos Gerados}} \right) \cdot 100$$

No tópico de recuperação energética, proposto pela pesquisa analisaram-se os resíduos circulares gerados em 2023 que foram convertidos em energia por meio das tecnologias de blendagem para coprocessamento na indústria de cimento e biomassa. A taxa de recuperação energética foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de Recuperação energética (\%)} = \left( \frac{\text{Resíduos que geraram energia}}{\text{Resíduos Circulados}} \right) \cdot 100$$

Além disso, foram identificados os principais produtos gerados a partir da aplicação dos princípios de circularidade aos resíduos sólidos. Para avaliar o grau de circularidade desses produtos e mensurar os ganhos econômicos associados, foi elaborada uma classificação em escala de 0 a 3, conforme os níveis de retenção, geração, recuperação ou compartilhamento de valor. A escala proposta tem como objetivo quantificar, de forma detalhada, o valor agregado resultante da circularidade dos resíduos na empresa estudada. Os níveis são definidos da seguinte forma:

- **Nível 0:** Não há retenção, geração, recuperação ou compartilhamento de valor, não estando alinhado aos princípios da economia circular;
- **Nível 1:** Há retenção, geração, recuperação ou compartilhamento de **menor valor**, resultando em um produto final com qualidade inferior ao material original;
- **Nível 2:** Há retenção, geração, recuperação ou compartilhamento de **valor equivalente**, com o produto final mantendo a mesma qualidade do material original;
- **Nível 3:** Há retenção, geração, recuperação ou compartilhamento de **maior valor**, com o produto final apresentando qualidade superior ao material original.

A metodologia adotada contemplou a análise das formas de destinação dos resíduos, considerando o valor agregado aos produtos finais obtidos nesses processos. Essa abordagem permitiu avaliar o impacto econômico da circularidade,

com base na premissa de que a economia circular visa maximizar o valor dos materiais por meio de ciclos fechados, reduzindo o desperdício e promovendo a regeneração dos recursos (Lima *et al.*, 2022).

O indicador relacionado ao fator de emissão de CO<sub>2</sub> associado ao transporte de resíduos para a destinação final proposto nessa pesquisa foi analisado com base em normas e boas práticas reconhecidas internacionalmente, como a ISO 14001, além de cases de sucesso no setor logístico. Um exemplo notável é a empresa DHL, que implementou estratégias para redução de emissões de CO<sub>2</sub> por meio da otimização de rotas e do uso de veículos mais eficientes (DHL, 2021). A aplicação de metodologias como o método Defra para o cálculo das emissões, bem como a adoção de combustíveis alternativos, como o biodiesel representam ações relevantes que contribuem para a sustentabilidade no transporte de resíduos.

Para determinar a distância total percorrida foi utilizado o sistema Google Maps, que fornece a quilometragem entre o local de geração dos resíduos e sua destinação final. Além disso, foi considerado o peso bruto transportado em toneladas e o número de fretes realizados.

Os veículos utilizados neste estudo foram carretas de 3 eixos, com capacidade de carga por eixo de até 41,5 t, geralmente empregadas no transporte de resíduos até a destinação final. Como os dados de consumo de combustível dos veículos que transportaram os resíduos até a destinação final não foram analisados e considerando que as rodovias estão em bom estado, este estudo utilizou estimativas de fatores de emissão de Gases de efeito estufa (GEE) para veículos pesados da Europa. Esses fatores indicam um consumo médio de 3,3 km/l de diesel (Alvares *et al.* 2001).

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014), os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para caminhões pesados acima de 44 t que utilizam diesel comum (S-500) são de 2,69 kg CO<sub>2</sub>/litro, enquanto para o biodiesel S-10, esse valor é de 2,43 kg CO<sub>2</sub>/litro.

De acordo com Simão *et al.* (2022), as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser estimadas por meio do método Defra, que se destaca por sua simplicidade, pois requer poucos dados para aplicação. A Figura 10 representa o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de combustível em caminhões pesados. O processo consistiu na multiplicação do consumo de combustível utilizado, pelo fator de

emissão específico de cada tipo de combustível ( $EF_d$ ), que indica a quantidade de  $CO_2$  liberada por litro consumido. No caso do diesel S-500, o fator de emissão considerado foi de 2,69 kg  $CO_2$ /litro, enquanto para o biodiesel S-10, esse valor foi de 2,43 kg  $CO_2$ /litro.

$$Emissão\ de\ CO_2 = Consumo\ de\ combustível * EF_d$$

Os dados apresentados e analisados foram organizados, classificados e interpretados pelo autor, com o auxílio do Power BI foi possível uma melhor visualização dos resultados. Além disso, será utilizado um projetor e tela para reuniões, permitindo a apresentação clara e objetiva dos resultados aos colaboradores da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, garantindo uma abordagem estruturada e alinhada aos objetivos do estudo.

#### 4.4 PERCEPÇÃO E ENVOLVIMENTO DOS COLABORADORES

Foram realizadas entrevistas com 13 colaboradores de diferentes cargos operacionais da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo Agente Ambiental, Ajudante Prático, Fiscal, Motorista de Veículos Pesados, Operador de Movimentação de Carga, Técnico de Segurança do Trabalho, Encarregado, Supervisor e Coordenador. As entrevistas, gravadas por meio de um dispositivo móvel, tiveram como foco a abordagem da Economia Circular em dois setores específicos: Unidade de Triagem de Resíduos e Depósito de Coprodutos. O objetivo foi compreender a percepção e o nível de envolvimento dos colaboradores com as práticas de Economia Circular, além de coletar sugestões para aprimorar o processo. As perguntas formuladas para as entrevistas foram:

1. Você já ouviu falar sobre Economia Circular? Se sim, como você entende esse conceito?
2. Você acha que está participando das ações da empresa sobre Economia Circular? Se sim, como?
3. Você acha que a empresa poderia fazer mais coisas ligadas à Economia Circular? Se sim, o que poderia ser feito?

4. O que você acha que poderia ser feito para tornar mais fácil sua participação nas práticas de Economia Circular?

As respostas foram apresentadas de forma transcrita indiretamente.

A tabulação das respostas obtidas nas entrevistas foi realizada por meio da organização das informações em uma tabela, categorizando os cargos, suas respectivas responsabilidades e as práticas sugeridas para aprimorar a Economia Circular nas atividades operacionais. Essa sistematização permitiu identificar padrões e desafios recorrentes, além de fornecer uma visão estruturada das percepções dos colaboradores sobre a gestão de resíduos e a circularidade dentro da siderurgia.

#### 4.5 RECOMENDAÇÃO DE PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR

Dentro das diversas práticas avaliadas no contexto da EC, foram propostas novas abordagens que facilitem a implementação dessas práticas. É importante ressaltar que as sugestões foram direcionadas aos indicadores que não alcançaram os parâmetros esperados, assegurando que as intervenções sejam eficazes e relevantes.

As sugestões de práticas de EC foram elaboradas com base em legislações, normas técnicas e diretrizes ambientais que regulam tanto a gestão de resíduos quanto os princípios da circularidade. Destaca-se, entre elas, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e define uma hierarquia na gestão dos resíduos, priorizando a não geração, seguida pela reutilização, reciclagem e, por fim, o tratamento ambientalmente adequado (BRASIL, 2010).

Além disso, foram consideradas normas como a ISO 59020 e a ISO 59004, que tratam especificamente de métricas e orientações para implementação da Economia Circular. Também foram incluídas certificações relevantes, como a ISO 14001:2015, que estabelece os requisitos para a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

O cálculo do *saving* mensal da siderúrgica, por tipo de resíduo, considerou tanto a redução de custos nas etapas de transporte e destinação final quanto à receita obtida com a venda de determinados materiais. Os resíduos foram

classificados conforme a sua periculosidade: Classe I (perigosos) e Classe II (não perigosos), aplicando-se valores específicos para cada categoria. Para a realização da análise, foram utilizados como referência a estimativa do número de fretes mensais, seus respectivos custos unitários, e os valores praticados por tonelada nos serviços de tratamento e disposição final, conforme o tipo de resíduo gerado. A geração mensal foi estimada com base na média histórica dos volumes registrados.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR NA PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE.**

A empresa siderúrgica é responsável pela produção de diversos coprodutos, como sucata metálica, óxido de ferro, escórias, argila de alto-forno, além de outros resíduos sólidos, incluindo papel, plástico, madeira, pilhas, baterias e lâmpadas usadas. Seu principal objetivo é reduzir a dependência de matéria-prima virgem e minimizar os impactos ambientais decorrentes da produção siderúrgica.

Por outro lado, a empresa de gestão e gerenciamento de resíduos é encarregada de gerenciar os resíduos e coprodutos gerados pela siderúrgica. Para otimizar a destinação desses materiais, adota tecnologias e estratégias como blendagem para coprocessamento, recuperação energética e reaproveitamento de resíduos industriais. Essa empresa também trabalha constantemente para aprimorar os processos de destinação, propondo projetos à siderúrgica que visam reduzir a quantidade de resíduos enviados a aterros.

A análise de indicadores, como a taxa de reciclagem, a taxa de circularidade dos resíduos e a eficiência dos processos de logística reversa, permite avaliar a eficácia das práticas de economia circular implementadas, identificar áreas para melhoria e potencializar a contribuição das empresas para a sustentabilidade.

#### **5.1.1 Indicadores de economia circular do aço**

De acordo com a World Steel Association (2020), os princípios de circularidade aplicados ao setor do aço são baseados nos 4R's. Esses princípios

foram incorporados pela empresa siderúrgica em sua atuação global, incluindo a unidade analisada. As práticas correspondentes aos 4R's implementadas no ano de 2023 estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores Globais de Circularidade do Aço na empresa Siderúrgica no ano de 2023.

Indicador de Circularidade	Dados da empresa
Reciclar	70% do aço produzido pela siderurgia foram feitos com sucata ferrosa.
Reduzir	250 mil hectares de base florestal, sendo 90 mil destinados à conservação e o restante para a produção sustentável de carvão vegetal.
	66% da eletricidade vêm de fontes renováveis ou de baixa emissão de CO <sub>2</sub> .
Reutilizar	98% da água usada na produção são reaproveitadas, evidenciando o uso eficiente de recursos; 93% de reaproveitamento de coprodutos para aplicação em outras cadeias produtivas.
Remanufaturar	Produtos como torres eólicas, módulos solares e veículos elétricos são desenvolvidos para aplicações de baixo carbono, destacando o uso de aço em soluções sustentáveis.

Fonte: Dados obtidos do relatório de sustentabilidade da empresa siderúrgica (2024), adaptados pela autora.

A siderúrgica em questão se destaca pelo aproveitamento de sucata na produção de aço, sendo de 70%. Enquanto outras siderúrgicas, como a Usiminas, incorporaram aproximadamente 14% de sucata ferrosa em sua produção nacional de aço bruto em 2023, a Arcelormittal utiliza entre 65% e 70% de sucata ferrosa em suas plantas de aços longos no Brasil (Usiminas, 2024; ArcelorMittal, 2024). Esses dados ressaltam a posição de liderança da empresa em estudo na reciclagem de sucata ferrosa no setor siderúrgico nacional. Além disso, estudos indicam que, até 2050, a reciclagem de sucata ferrosa será responsável por 38% da produção de aço, destacando a importância crescente dessa prática para a descarbonização da indústria siderúrgica (Figueiredo, 2022).

O Brasil é o único país do mundo que utiliza carvão vegetal na produção de ferro-gusa, aço e ferroligas. Entre 2005 e 2016, aproximadamente 25% do ferro-gusa brasileiro foi fabricado com carvão vegetal, enquanto, no restante do mundo, a siderurgia utilizou predominantemente carvão mineral, de origem fóssil (PNUD Brasil, 2018). Essa prática reflete o compromisso da empresa com a sustentabilidade, uma vez que o carvão vegetal é produzido a partir de florestas plantadas de eucalipto, uma fonte renovável. Ademais, a empresa destina parte de sua base florestal para a produção de carvão vegetal e outra porcentagem para a conservação, demonstrando seu empenho na preservação ambiental. (Relatório de Sustentabilidade da empresa siderúrgica de 2023).

Em 2023, a empresa em estudo registrou que 66% de sua eletricidade provieram de fontes renováveis ou de baixa emissão de CO<sub>2</sub>. Esse índice supera o da Aperam, siderúrgica especializada na produção de aços planos inoxidáveis e elétricos, que alcançou 52% de uso de energia renovável em suas operações no mesmo ano. (Aperam, 2024). Esses dados indicam que, apesar de um desempenho superior em relação à Aperam, a empresa analisada ainda possui oportunidades para aprimorar suas tecnologias e práticas. Em 2023, a média nacional, segundo o Ministério de Minas e Energia (2024), foi de aproximadamente 93,1% da geração de energia elétrica no Brasil proveniente de fontes renováveis, como hidrelétricas, fotovoltaicas e eólicas, contribuindo para uma matriz elétrica mais limpa.

A produção de aço, que é uma grande consumidora de água, tem alcançado avanços significativos na redução de seu impacto sobre as bacias hidrográficas. A ArcelorMittal, que se consolida como referência em gestão de recursos hídricos,

alcançou em 2024 índices superiores a 98% de reuso (ArcelorMittal, 2024). Isso comprova que a siderúrgica do estudo de caso obteve um excelente resultado de reuso de água em 2023, em comparação com outras indústrias do mesmo setor.

O reaproveitamento de resíduos industriais é uma prática consolidada no setor siderúrgico brasileiro, com diversas empresas adotando estratégias para transformar coprodutos em insumos valiosos para outras indústrias. A empresa siderúrgica desse estudo relata que em 2023, 93% dos coprodutos foram reaproveitados. Em comparação com outra empresa siderúrgica do mesmo setor, a ArcelorMittal Pecém, consegue atingir um índice de reaproveitamento de resíduos de 99,7% dos resíduos sólidos gerados, incluindo reciclagens internas e externas, coprocessamento e estocagem interna. (Siderurgia Brasil, 2023). Essas iniciativas demonstram o compromisso das siderúrgicas brasileiras com a gestão eficiente de resíduos.

A remanufatura de produtos que utilizam aço em suas soluções sustentáveis tem se mostrado uma estratégia eficaz para reduzir o consumo de recursos naturais e minimizar impactos ambientais. Um exemplo disso é a Stellantis, uma das principais fabricantes de automóveis, que apresentou na Rematec o SUSTAINERA, uma linha de peças remanufaturadas que promove a economia circular e a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Essa iniciativa está alinhada com a meta da empresa de se tornar carbono neutro até 2038. A oferta de peças REMAN SUSTAINERA resulta em uma diminuição da utilização de matérias-primas que varia entre 60% e 95%, dependendo do componente, e reduz as emissões de CO<sub>2</sub> em até 80% quando comparada à produção de peças novas (Stellantis, 2023).

Os indicadores dos 4R's demonstram que a empresa está comprometida com uma produção de aço mais sustentável. No entanto, foi identificada a necessidade de avanços para atingir a média nacional de fontes renováveis de energia, o que ressalta áreas para melhoria contínua no alinhamento às metas globais de sustentabilidade.

### **5.1.2 Economia Circular na Gestão e Gerenciamento de Resíduos**

Os resultados desta pesquisa proporcionam uma análise detalhada das práticas de economia circular em uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos com atuação na empresa siderúrgica mineira. A investigação

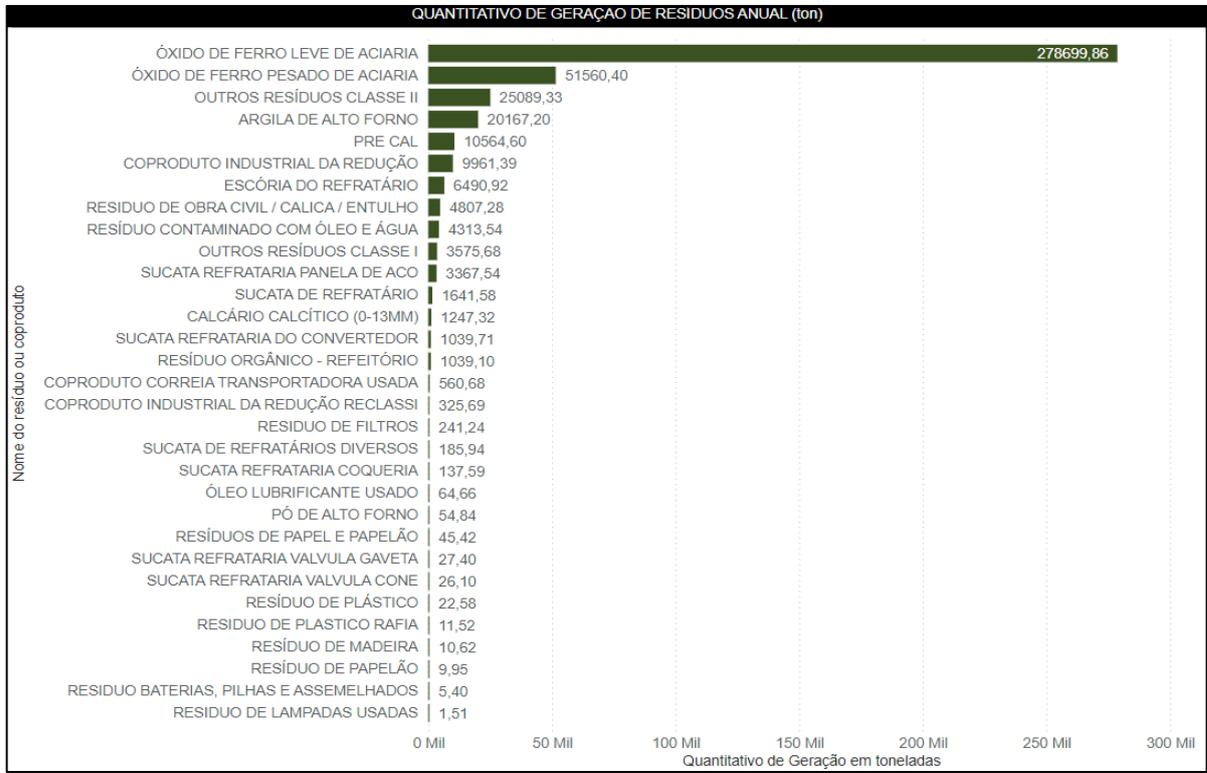
apontou que, ao longo de 2023, a empresa destinou cerca de 425,3 mil toneladas de resíduos sólidos. Dentre os principais resíduos gerados, destacam-se o óxido de ferro leve e pesado provenientes da aciaria, resíduos classe II (majoritariamente compostos por solo não contaminado e destinados de forma conjunta) e a argila de alto-forno. Esses materiais representaram a maior parcela dos resíduos gerados no período analisado.

Em comparação com os dados globais da empresa siderúrgica, observa-se que, em 2023, foram geradas 6.250.777,05 toneladas de resíduos sólidos, das quais 431.303,62 toneladas (cerca de 6,9%) foram destinadas à disposição final sem reaproveitamento. Isso indica que aproximadamente 93,1% dos resíduos foram reaproveitados por meio de estratégias de circularidade e destinação adequada.

Quando comparados aos dados da Usiminas, outra importante siderúrgica brasileira nota-se uma diferença significativa tanto em volume total quanto em eficiência de reaproveitamento. A Usiminas gerou, no mesmo período, 25.513,33 toneladas de resíduos, das quais 23.842,36 toneladas foram reaproveitadas (aproximadamente 94,45%) , e 1.670,96 toneladas (aproximadamente 6,55%) foram dispostas em aterro, (Usiminas, 2024).

Essa análise comparativa revela que, apesar da empresa siderúrgica ter gerado um volume absoluto de resíduos mais de duas vezes superior ao da Usiminas, sua taxa de reaproveitamento é apenas ligeiramente inferior (93,1% contra 93,45%). A diferença é mínima e não compromete o elevado índice de reaproveitamento, que continua a refletir um forte compromisso com os princípios da economia circular. O Gráfico 1 ilustra a quantidade de resíduos gerados por tipo (em toneladas) na unidade siderúrgica mineira, objeto dessa pesquisa.

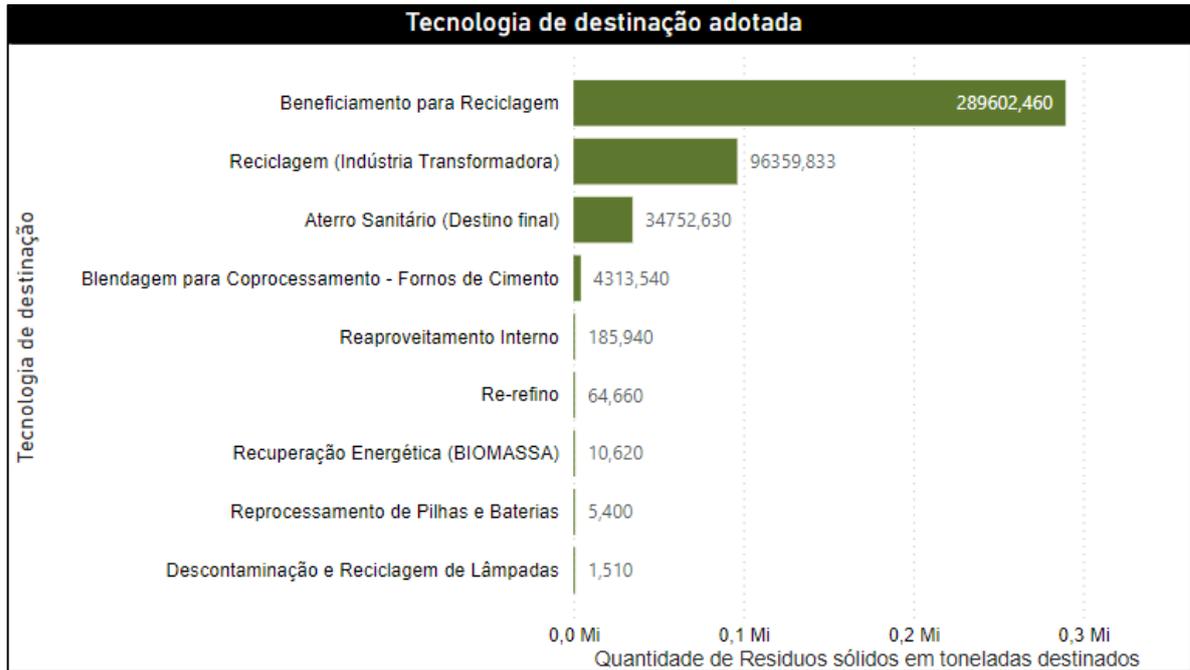
Gráfico 1 – Quantitativo de geração de resíduos sólidos e coprodutos, referente ao ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 2 apresenta a distribuição das tecnologias de destinação adotadas para os resíduos sólidos analisados. Observa-se que a maior parte dos resíduos é destinada ao beneficiamento para reciclagem, totalizando aproximadamente 289.602 toneladas, seguido pela reciclagem em indústrias transformadoras, com cerca de 96.359 toneladas. Em terceiro lugar, a disposição em aterros representa 34.752 toneladas. Tecnologias como blendagem para coprocessamento em fornos de cimento, reaproveitamento interno e re-refino demonstram menor representatividade, porém são essenciais para a diversificação das estratégias de economia circular na gestão de resíduos sólidos.

Gráfico 2- Tecnologias de destinação adotadas em 2023.



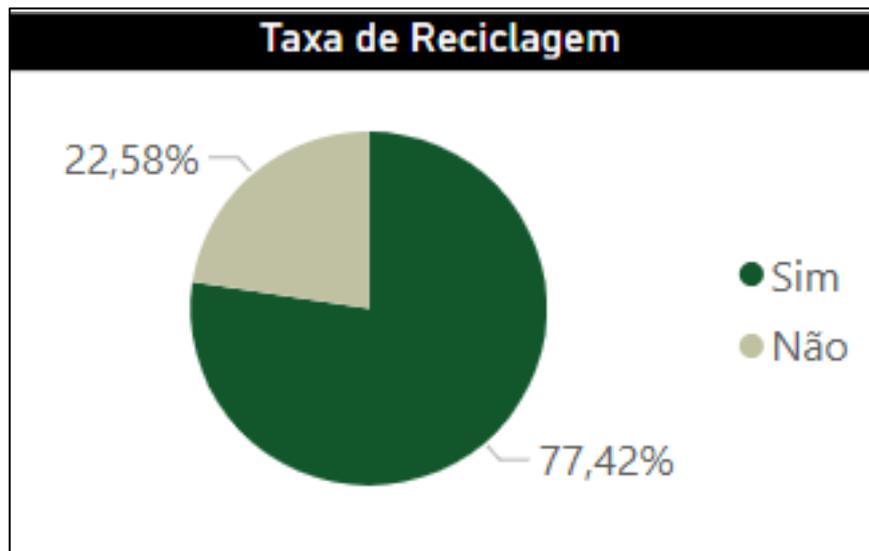
Fonte: Elaboração própria (2025)

A destinação adequada dos resíduos contribui para a redução de impactos ambientais e reflete o empenho da empresa em otimizar o uso de recursos e minimizar desperdícios. Para isso, são promovidas semanalmente ações de educação ambiental, com foco na coleta seletiva e na redução da geração de resíduos nas áreas da siderurgia, reforçando a importância de boas práticas ambientais no ambiente industrial. Além disso, os dados indicam uma crescente adoção de tecnologias inovadoras, como a reciclagem, reaproveitamento interno e a recuperação energética, como parte da estratégia para aprimorar sua performance no processo de economia circular. Contudo, os resíduos destinados a aterros exigem maior atenção, pois indicam uma área onde ainda há espaço para melhorias na gestão e nas tecnologias de destinação mais sustentáveis.

A taxa de reciclagem dos resíduos gerados pela unidade analisada da empresa foi de 77,42%, enquanto 22,58% não foram reciclados, conforme ilustrado no Gráfico 3. Em nível global, no entanto, a empresa siderúrgica apresentou um desempenho superior, com 93,1% dos resíduos reciclados em 2023. Esse índice

global também supera a taxa registrada pela siderúrgica Aperam no mesmo ano, que reciclou 84,27% de seus resíduos (Aperam, 2024).

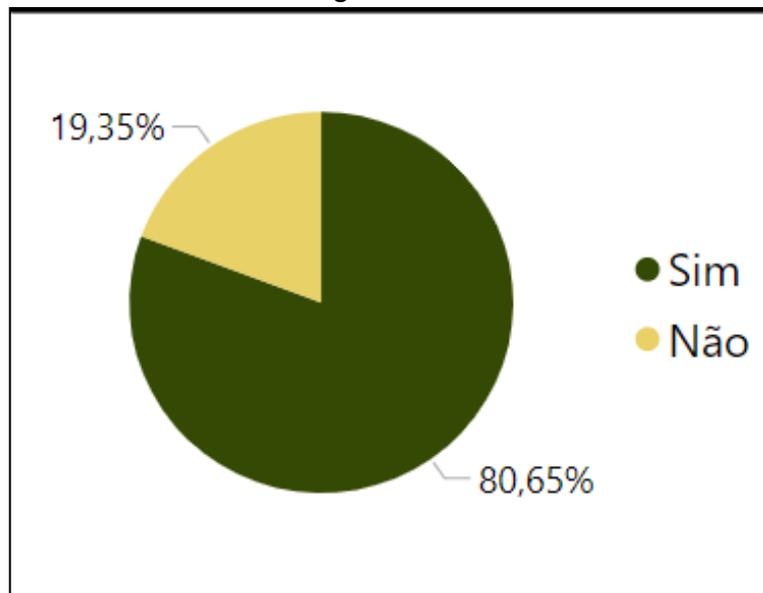
Gráfico 3 – Resíduos que foram reciclados pela unidade analisada em 2023.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A taxa de logística reversa revelou que 80,65% dos materiais retornam ao ciclo produtivo por meio de processos estruturados de reaproveitamento ou reciclagem, enquanto 19,35% dos resíduos não são contemplados por esse mecanismo (Gráfico 4). Esses dados demonstram um bom desempenho da empresa na gestão de resíduos dentro dos parâmetros da logística reversa.

Gráfico 4 – Resíduos sólidos/ coprodutos com princípios de logística reversa.



Fonte: Elaboração própria (2025).

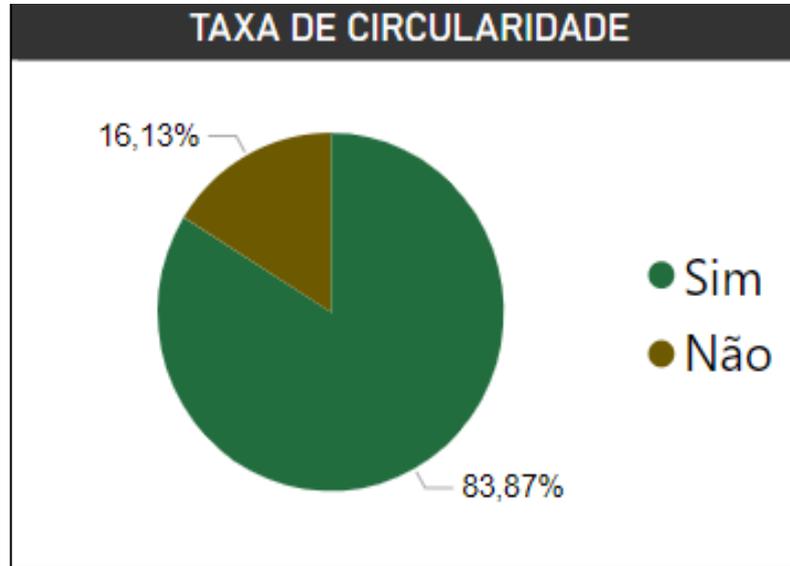
A taxa de circularidade (Gráfico 5) apurada revelou que 83,87% dos materiais gerados pela empresa siderúrgica mineira são reintegrados ao ciclo produtivo, enquanto 16,13% permanecem fora desse fluxo, conforme demonstrado no Gráfico 5. Entre os resíduos que ainda não são reciclosados destacam-se: solo não contaminado, entulho da construção civil, pallets, vidro quebrado, embalagens Tetra Pak, tambores metálicos de 200 litros, recipientes Intermediate Bulk Container (IBC) de 1000 litros e embalagens vazias de óleo lubrificante.

Quando comparado ao desempenho global da própria empresa, que em 2023 apresentou uma taxa de 93,1% de circularidade observa-se que a unidade mineira contribui de forma significativa para a consolidação desse indicador em nível corporativo. Além disso, ao se comparar com outra empresa do mesmo setor, como a Usiminas, que em 2023 alcançou 93,45% dos resíduos gerados nos processos teve destino diferente de aterro sanitário. (Usiminas, 2024), é possível identificar oportunidades de aprimoramento nas práticas locais, visando o alinhamento com os padrões mais elevados do setor.

Segundo Geissdoerfer *et al.* (2017), a economia circular desempenha um papel fundamental ao permitir que as empresas identifiquem oportunidades de

melhoria em seus processos produtivos, promovendo sistemas mais eficientes e regenerativos.

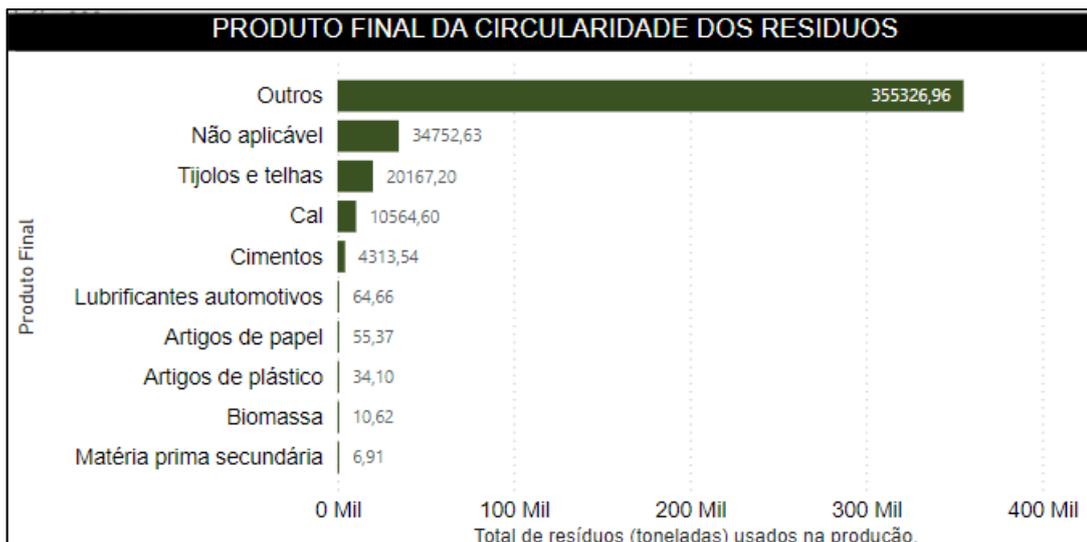
Gráfico 5 – Percentual de resíduos circulares.



Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 6 ilustra o produto final da circularidade dos resíduos, mostrando como os materiais retornam ao processo produtivo e as formas em que são utilizados, como novos produtos ou matérias-primas para outras indústrias.

Gráfico 6 – Produto final da circularidade de resíduos/coprodutos.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os produtos finais, tais como artigos de papel, plástico, biomassa e matéria-prima secundária, são viabilizados por meio da coleta seletiva realizada pelos colaboradores da siderurgia. Esses produtos originam-se de resíduos como papel, papelão, plástico, madeira, lâmpadas, pilhas e baterias. No caso das últimas três categorias, após a realização de processos adequados de descontaminação, estes resíduos podem ser reciclados, o que possibilita a recuperação de materiais de interesse, os quais retornam ao ciclo produtivo (Inovar Ambiental, 2025).

A fabricação de lubrificantes automotivos inclui o processo de re-refino, amplamente reconhecido no Brasil como uma das práticas mais eficazes do ponto de vista ambiental. Trata-se de um processo químico-industrial que permite a recuperação de até 80% dos óleos lubrificantes usados, transformando-os em óleo-base com propriedades equivalentes às dos produtos obtidos por meio do refino primário (Ministério de Minas e Energia, 2023).

Na fabricação de cimento, o processo de blendagem para coprocessamento pode desempenhar um papel significativo. Nesse processo, resíduos sólidos são triturados e misturados com efluentes contaminados por água e óleo, formando um *blend* de alto poder calorífico. Este *blend* é então utilizado no coprocessamento como substituto do carvão mineral em fornos industriais, como os das cimenteiras. Segundo o Panorama de Coprocessamento (2024), em 2023, foram coprocessadas 3,258 milhões de toneladas de resíduos, das quais 3,132 milhões de toneladas correspondem a combustíveis alternativos e biomassas, e 126 mil toneladas a matérias-primas alternativas. Esses dados evidenciam o crescimento da tecnologia de coprocessamento para a transformação de energia e matérias-primas utilizadas pela indústria do cimento.

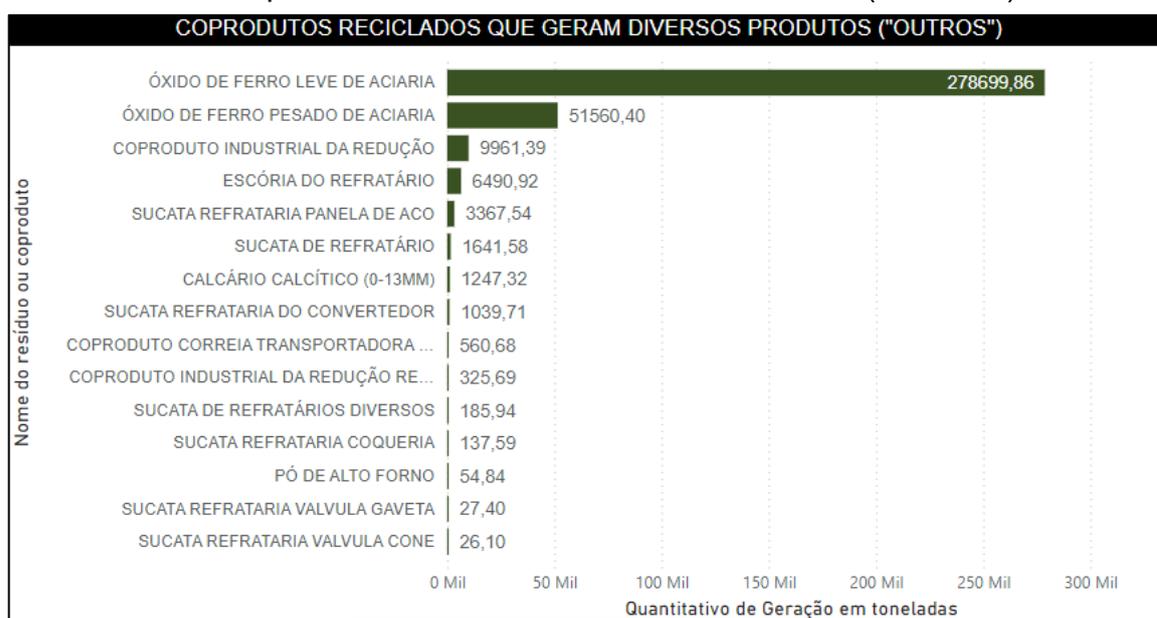
A categoria "não aplicável" representa o percentual de 16,13% dos resíduos não circulares, destinados aos aterros sanitários. Este resultado revela uma lacuna significativa no reaproveitamento de materiais. Muitos desses resíduos como os orgânicos, poderiam ser redirecionados para aplicações mais sustentáveis, como a produção de fertilizantes.

No setor de construção civil, resíduos como pré-cal, argila de alto forno são utilizados para a fabricação de materiais de construção (tijolos, telhas e cal). A argila de alto-forno, um resíduo da produção de ferro-gusa, pode ser incorporada em massas cerâmicas para a produção de cerâmica vermelha, como tijolos e telhas.

Estudos indicam que a adição de até 20% de argila de alto-forno em massas cerâmicas pode reduzir o custo energético durante a queima e melhorar a eficiência do processo (Mothé, 2008).

A categoria “Outros”, que representa uma parcela significativa do produto final derivado da circularidade dos resíduos, totaliza aproximadamente 355 mil toneladas de materiais reciclados. Essa categoria abrange uma diversidade de produtos que podem ser reaproveitados, reciclados em artigos metálicos e, em alguns casos, reutilizados como matéria-prima na siderurgia e outras indústrias. Esses materiais são resultantes da circularidade dos coprodutos gerados no processo para fabricação do aço. O Gráfico 7 apresenta a relação dos coprodutos que, após o processo de circularidade, integram o produto final dessa categoria.

Gráfico 7 – Coprodutos Reciclados que geram diversos produtos na categoria “Outros” de produto final da circularidade de resíduos (Gráfico 6).



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os níveis de circularidade dos produtos gerados a partir de resíduos, apresentados no Gráfico 8 foram classificados em uma escala de 0 a 3, conforme descrito a seguir:

- O Nível 2, que representa produtos com valor econômico equivalente ao resíduo original, domina o processo de circularidade. Exemplos incluem materiais como plástico, papel e lubrificante automotivo,

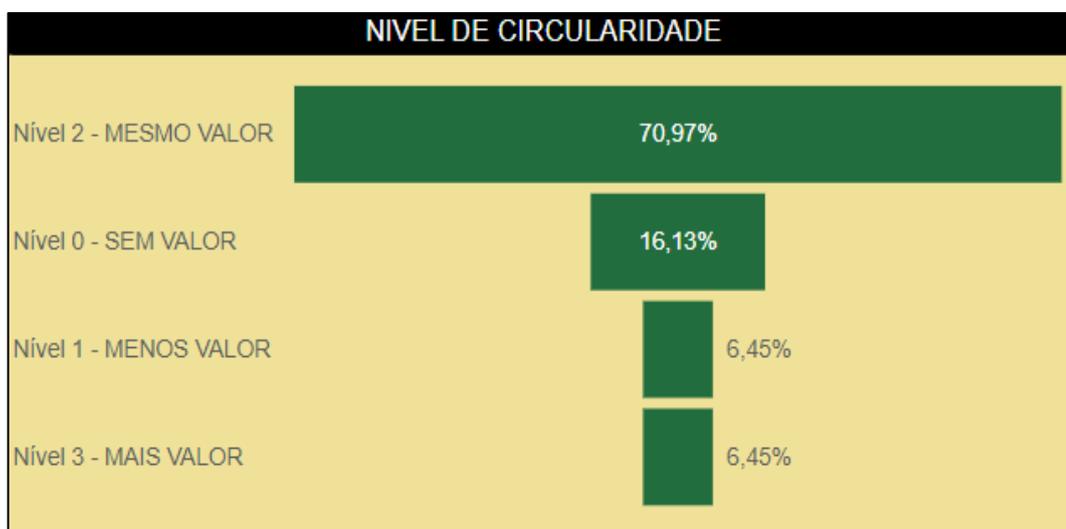
coprodutos da fabricação do aço que retornam ao ciclo produtivo em sua forma original ou equivalente.

- O Nível 0, que representa 16,13% dos resíduos, é composto por materiais que atualmente não possuem valor econômico e são destinados diretamente a aterros sanitários.
- Os produtos classificados no Nível 3, que possuem maior valor econômico do que os resíduos originais, representam apenas 6,45% do total. Esse nível evidencia o potencial de agregar valor por meio de inovações, como a transformação de resíduos em produtos de maior valor, incluindo tijolos, telhas e outros materiais de construção.
- O Nível 1, também com 6,45%, refere-se a produtos que, embora reaproveitados, têm um valor econômico inferior ao do resíduo inicial. A utilização de resíduos como fonte de energia como a biomassa de madeira e o coprocessamento é uma prática comum, mas apresenta limitações em relação ao ganho de valor.

Os dados do gráfico revelam um panorama positivo, com grande parte dos resíduos circulados sendo reutilizados com valor econômico equivalente (Nível 2). No entanto, o percentual expressivo de resíduos destinados a aterros (Nível 0) e a baixa proporção de produtos de maior valor agregado (Nível 3) destacam áreas críticas para avanços.

Alcançar níveis mais elevados de circularidade exige investimentos em tecnologias, políticas públicas, e mudanças nos processos produtivos que priorizem a valorização dos resíduos. De acordo com o Material Circularity Indicator (MCI), níveis mais altos de circularidade são alcançados quando materiais e resíduos permanecem no ciclo produtivo por mais tempo, com menor dependência de materiais virgens e maior geração de valor agregado no reaproveitamento (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

Gráfico 8 – Níveis de circularidade dos produtos finais para os resíduos circulados.



Fonte: Elaboração própria (2025)

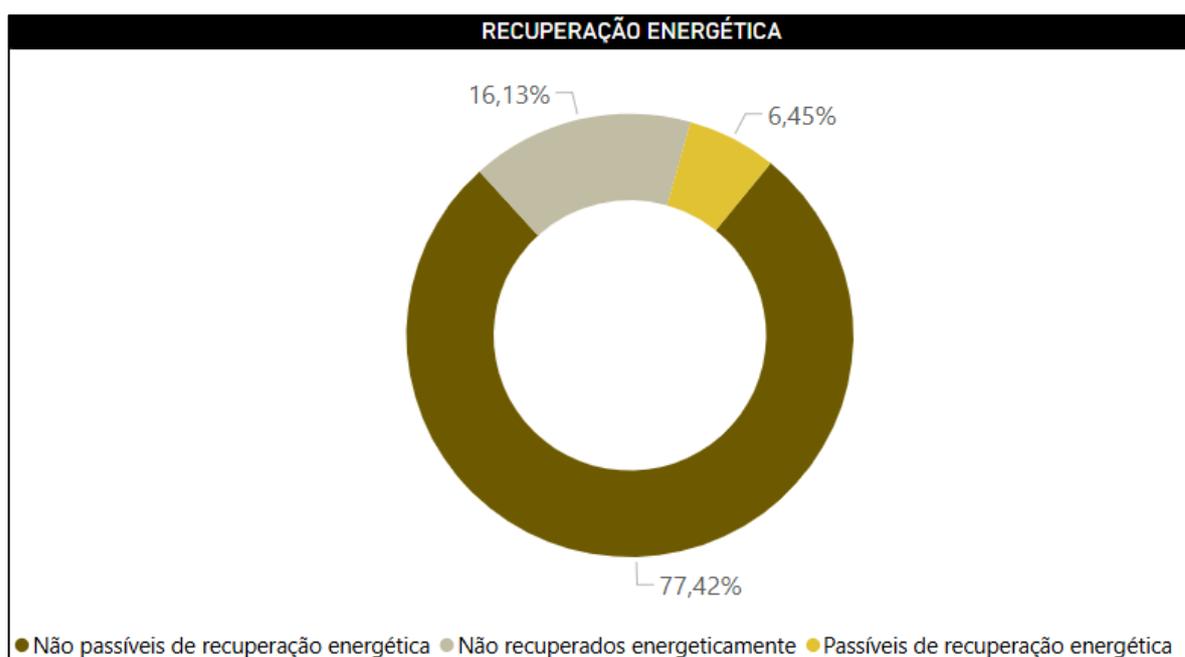
A classificação de recuperação energética está relacionada à circularidade de resíduos que podem ser aproveitados para a geração de energia, conforme ilustrado no Gráfico 9 e descrito a seguir:

- Não passíveis de recuperação energética: Representando 77,42%, resíduos que não possuem características adequadas para recuperação energética.
- Não recuperados energeticamente: Representando 16,13%, resíduos destinados diretamente a aterros sanitários como forma de destinação final.
- Passíveis de recuperação energética: Resíduos com potencial para recuperação energética, como resíduos contaminados com óleo e água e resíduos de madeira. O percentual de 6,45% de recuperação energética está relacionado à significativa geração de resíduos de água e óleo, totalizando aproximadamente 4314 toneladas mensais. Esses resíduos são processados por meio da tecnologia de blendagem para coprocessamento.

Embora o percentual de recuperação energética não seja expressivo, a prática é reconhecida como ambientalmente adequada e viável para a destinação

final de resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei n.º 12.305/2010, prevê que tecnologias voltadas à recuperação energética dos resíduos sólidos podem ser utilizadas, desde que sua viabilidade técnica e ambiental seja comprovada, e que seja implantado um programa de monitoramento de emissões de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental responsável.

Gráfico 9 – Resíduos circulares aplicáveis à recuperação energética.



Fonte: Elaboração própria (2025).

O indicador de emissões de CO<sub>2</sub> é um dos parâmetros essenciais para avaliar a circularidade em processos produtivos e de gestão de resíduos, uma vez que a EC contribui significativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Ellen MacArthur Foundation (2019).

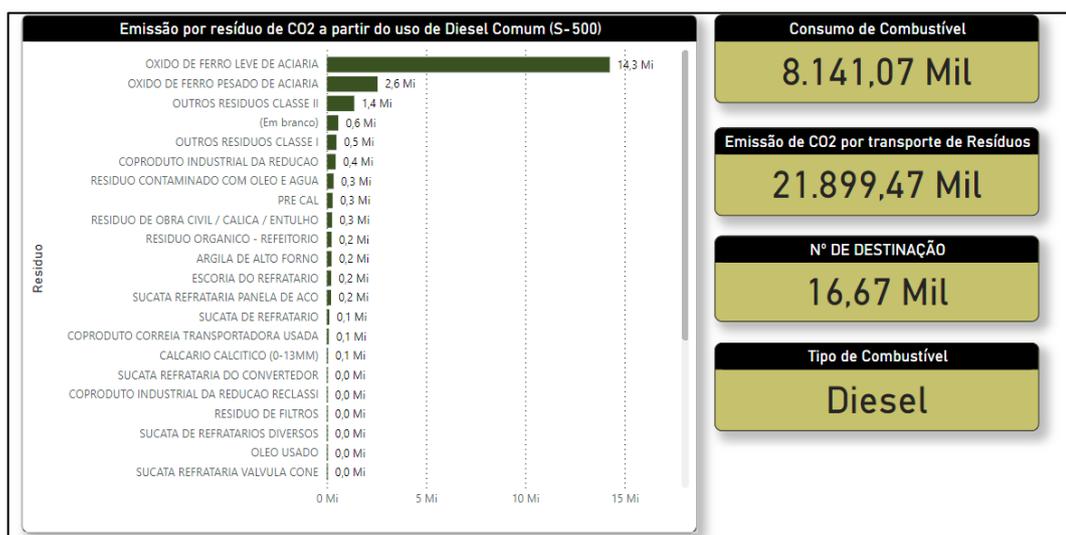
Uma alternativa para implementar esse controle seria atribuir aos colaboradores responsáveis pela fiscalização, que já monitoram a entrada e saída de resíduos, a tarefa de registrar a quilometragem mensal relacionada a destinação de cada tipo de resíduo. Essa ação poderia ser realizada utilizando o *software* de gerenciamento de resíduo já adotado pela empresa, facilitando o monitoramento e a consolidação dos dados.

Com esse controle, seria possível calcular as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao transporte e à destinação dos resíduos, o que, além de contribuir para a análise de

circularidade, abriria a oportunidade para a empresa obter créditos de carbono, agregando valor ambiental e econômico às suas operações.

A Figura 10 apresenta os dados estimados de emissões de CO<sub>2</sub> referentes ao ano de 2023. É importante destacar que esses valores são baseados em estimativas, uma vez que a quilometragem considerada foi obtida através do Google Maps, sem levar em conta as condições reais das rodovias. Para uma avaliação mais precisa, seria fundamental inserir o controle diário da quilometragem percorrida. Essa ação permitiria obter dados mais exatos e confiáveis, contribuindo para uma análise mais detalhada e alinhada aos objetivos de monitoramento ambiental da empresa.

Figura 10- Dados estimativos de emissão de CO<sub>2</sub> na destinação de resíduos do ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria (2025),

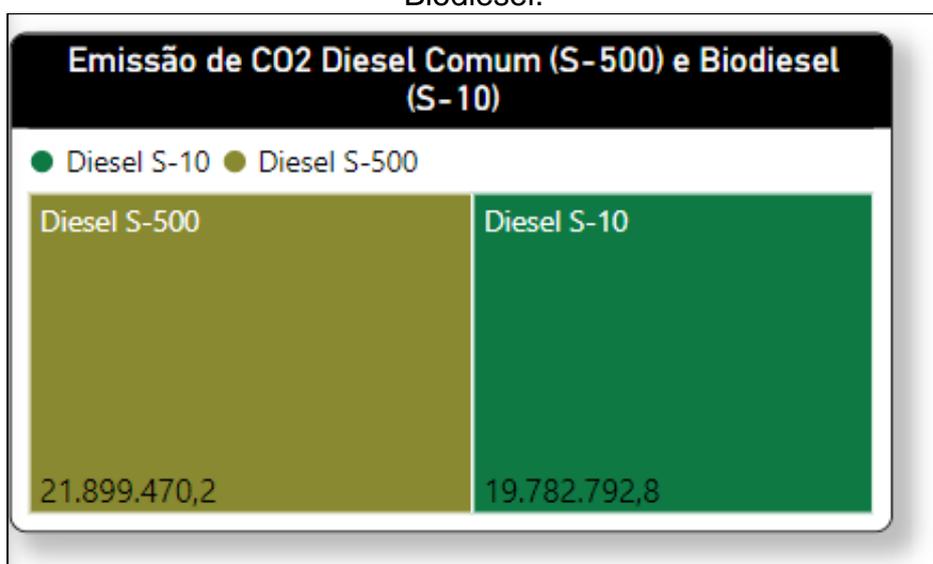
Seguindo a metodologia empregada por Simão et al. (2022), realizamos o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> utilizando a mesma fórmula. Ao substituir o diesel S500 por biodiesel (S10), constatamos uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, como pode ser observado na Figura 11, apresentando um resultado semelhante ao encontrado pelos autores.

A análise realizada neste estudo se concentra no diesel S500, combustível predominante nas frotas de destinação de resíduos. No entanto, os resultados

obtidos indicam a viabilidade da substituição desse combustível por alternativas mais sustentáveis, como o biodiesel.

Outro aspecto que pode contribuir para a redução das emissões incluem a otimização das rotas de transporte, a fim de minimizar a distância percorrida e o consumo de combustível.

Figura 11 - Diferença de emissão de CO<sub>2</sub> para Diesel Comum e Biodiesel.



Fonte: Elaboração própria (2025).

### 5.1.3 Correlação dos indicadores ambientais com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A análise das práticas de economia circular na empresa revelou impactos positivos nos pilares ambiental, econômico e social da sustentabilidade, alinhando-se aos princípios de ESG e contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Ao comparar os resultados com o estudo de Schroeder et al. (2019), foi possível corroborar alguns dos ODS destacados por eles, como o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). No entanto, outros objetivos também foram interpretados nas vertentes ambiental, social e de governança do ESG neste com base no relatório de sustentabilidade da siderúrgica e nos dados de geração e destinação de resíduos da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos,

referente ao ano de 2023, apresentados na Tabela 2. Essas informações fornecem uma visão abrangente das práticas de ambas as empresas em relação à gestão ambiental, responsabilidade social e governança corporativa.

Tabela 2- Correlação dos indicadores ambientais com os ODS

Eixo da Sustentabilidade	ODS	Práticas da empresa
Ambiental	ODS 7 - Energia Acessível e Limpas	O uso de fontes de energia renovável, aliado à meta de reduzir a dependência de combustíveis fósseis por meio de práticas como destinação para blendagem para coprocessamento e a utilização de carvão vegetal, está diretamente alinhado a este objetivo, que busca assegurar o acesso a uma energia confiável, sustentável e moderna para todos.
	ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura	As práticas de remanufatura de peças e o uso de aço em soluções sustentáveis, como torres eólicas e veículos elétricos, promovem inovação tecnológica e fortalecem a indústria verde, contribuindo para a construção de infraestruturas mais sustentáveis.
	ODS 12 - Produção e Consumos Responsáveis	A reciclagem de sucata ferrosa e o reaproveitamento de água e coprodutos refletem as práticas de produção responsável, visando otimizar recursos e reduzir desperdícios.
	ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima	A redução das emissões de CO <sub>2</sub> por meio de tecnologias como o uso de carvão vegetal e a blendagem para coprocessamento, além da transição para fontes de energia de baixo carbono, está diretamente alinhada com as metas de combate às mudanças climáticas.

	ODS 15 - Vida Terrestre	A conservação das florestas, com a destinação de áreas para preservação ambiental e o uso de florestas plantadas para a produção de carvão vegetal, contribui para a proteção da biodiversidade e a manutenção dos ecossistemas terrestres.
Social	ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico	Embora a empresa não mantenha um vínculo direto com associações ou cooperativas, suas práticas de comercialização de resíduos recicláveis impactam positivamente o mercado de reciclagem. Esse modelo de negócios gera oportunidades econômicas e contribui para a criação de empregos, impulsionando o crescimento econômico nas cadeias de valor ligadas à gestão de resíduos.
	ODS 10 - Redução das Desigualdades	A comercialização de resíduos recicláveis por empresas, mesmo sem parcerias formais com cooperativas de catadores, desempenha um papel significativo na promoção da inclusão social e na redução das desigualdades. Esse modelo de negócios cria oportunidades econômicas valiosas para comunidades vulneráveis, ao gerar renda e fomentar a participação ativa de trabalhadores e suas famílias na cadeia produtiva.
Governança	ODS 12 - Produção e Consumos Responsáveis	A governança de uma empresa que implementa ações como o reaproveitamento de resíduos, a utilização de sucata ferrosa na produção de aço e a adoção de soluções sustentáveis, como torres eólicas e veículos elétricos, demonstra um forte comprometimento com a gestão eficiente dos recursos naturais e a redução dos

		impactos ambientais. Essas práticas refletem um modelo de governança que prioriza a transparência, a responsabilidade ambiental e a inovação, visando mitigar os efeitos negativos sobre o meio ambiente e promover uma cadeia produtiva mais sustentável.
	ODS 16 - Paz, Justiça e Instituições Eficazes	A siderúrgica por meio de políticas institucionais voltadas à promoção da paz, justiça e instituições eficazes, implementa programas de integridade que visam prevenir condutas inadequadas, que incluem a promoção de instituições responsáveis. Além disso, adota processos para reparar impactos negativos, implantando práticas sustentáveis e fortalecendo mecanismos de governança que asseguram a responsabilização e a transparência.

## 5.2 PERCEPÇÃO E ENVOLVIMENTO DOS COLABORADORES DA EMPRESA

As entrevistas realizadas com 13 colaboradores de diferentes cargos foram focadas em entender o grau de conhecimento, envolvimento e sugestões sobre as práticas de Economia Circular nas unidades de Triagem de Resíduos e Depósito de Resíduos Industriais. A seguir, são apresentados os resultados principais com base nas respostas obtidas, de forma transcrita indiretamente.

### 5.2.1 Conhecimento sobre Economia Circular

Cerca de 61,5% dos colaboradores não possuía conhecimento prévio sobre o conceito de Economia Circular. Após uma breve explicação, muitos passaram a associá-lo à reutilização de materiais e à redução de desperdícios. Observou-se que os colaboradores em cargos de liderança, como encarregado, técnico de segurança do trabalho, supervisor e coordenador, demonstravam maior familiaridade com o

tema, e relataram ter recebido treinamentos específicos sobre o assunto. Em contrapartida, os colaboradores em cargos operacionais de níveis inferiores apresentaram menor domínio sobre o conceito.

### **5.2.2 Participação nas Ações de Economia Circular**

A maioria dos entrevistados indicou que participa das práticas de Economia Circular de forma indireta, através de suas atividades diárias, como a atenção na execução dos processos operacionais e a disseminação de informações aos geradores de resíduos da siderurgia sobre a segregação correta dos materiais.

### **5.2.3 Sugestões para Melhorar as Ações de Economia Circular**

Os colaboradores sugeriram que a empresa poderia promover mais ações educativas, como treinamentos e *workshops*, para que se sentissem mais capacitados para contribuir efetivamente com as iniciativas da empresa.

### **5.2.4 Facilidade de Participação nas práticas de Economia Circular**

As sugestões para facilitar a participação incluíram a melhoria da comunicação interna. Além disso, os colaboradores propuseram medidas específicas que poderiam ser adotadas para facilitar a implementação da Economia Circular nas atividades operacionais. A Tabela 3 apresenta as respostas dos colaboradores sobre as práticas que poderiam facilitar a execução de suas tarefas e contribuir para a economia circular.

Tabela 3: Respostas dos colaboradores sobre práticas que poderiam aprimorar o desenvolvimento das tarefas e contribuir para a economia circular.

CARGO	RESPONSABILIDADES DO CARGO	PRÁTICAS PARA APRIMORAR A ECONOMIA CIRCULAR NAS
-------	----------------------------	-------------------------------------------------

		ATIVIDADES OPERACIONAIS
<p>AGENTE AMBIENTAL/AJUDANTE PRÁTICO</p>	<p>Auxiliar nas atividades de recebimento de resíduos nas instalações da siderurgia, mantendo os locais limpos e organizados. Auxiliar a prensagem, estocagem e segregação dos resíduos. Coletar os resíduos sólidos nos pontos de descarte.</p>	<p>Os geradores precisam aprimorar o processo de segregação de resíduos, pois a mistura excessiva dos materiais dificulta a reciclagem. Ex: vidros soltos nos coletores, plásticos nos coletores de papel, etc.</p>
<p>FISCAL OPERACIONAL PÁTIO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS</p>	<p>Inspeções em toda área física do Pátio, identificar e relatar as não conformidades de disposição de resíduos, bem como descumprimento de procedimentos internos.</p>	<p>Observa-se o uso excessivo de papel entre os colaboradores, sendo que a digitalização de algumas informações poderia ser bastante útil. Muitos geradores ainda descartam materiais no pátio sem seguir os procedimentos estabelecidos, e é comum a chegada de materiais contaminados, o que impossibilita o recebimento do resíduo. Exemplos incluem materiais</p>

		refratários e madeira contaminados com plástico. Nesses casos, é emitida a recusa tarefa e solicita-se que o material seja adequado antes do descarte.
FISCAL OPERACIONAL PÁTIO DE RECICLÁVEIS	Responsável pela fiscalização do descarte de resíduos no pátio de recicláveis.	Os geradores deverão melhorar a segregação dos resíduos.
MOTORISTA DE VEÍCULOS PESADOS	Responsável pela logística interna dos resíduos. Realizando a retirada dos resíduos nos pontos de coleta seletiva e orgânicos, além de resíduos classe II.	Melhorar as condições de acesso aos pontos de coleta que tem excesso de buracos. Evitar que se tenham carros estacionados próximos dos pontos de coleta, dificultando na manobra do caminhão acarretando muitas vezes na necessidade de emitir recusa tarefa.
OPERADOR DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS	Realizar a organização e movimentação de cargas na central de resíduos e áreas internas da siderurgia.	É necessário melhorar as condições das áreas internas da siderurgia e da central de resíduos, que apresentam excesso de buracos, podendo resultar em

		<p>acidentes. Além disso, os pallets utilizados para apoiar e armazenar os resíduos devem estar em boas condições, e os tambores precisam ser corretamente amarrados aos pallets, a fim de facilitar o manuseio com a empilhadeira.</p>
<p>TÉCNICO DE SEGURANÇA DO TRABALHO</p>	<p>Orientar e coordenar o sistema de segurança do trabalho. Inspeccionar locais, instalações e equipamentos da empresa e determinar fatores de riscos de acidentes.</p>	<p>Realizar a sinalização adequada nas áreas de descarte de resíduos.</p> <p>Todos os colaboradores que forem realizar o descarte devem seguir um procedimento específico, o que implica que devem ser treinados para executar a atividade corretamente. Fazer uma maior divulgação do tema de economia circular para os colaboradores.</p>
<p>ENCARREGADO OPERACIONAL</p>	<p>Liderar os colaboradores, aplicar DDS, serviços</p>	<p>Deveria compartilhar com os colaboradores</p>

	administrativos em geral.	sob minha liderança os conceitos de Economia Circular, cobrar a implementação das práticas e incentivar a disseminação dessas informações. Além disso, os geradores precisam se envolver mais ativamente na Economia Circular, segregando corretamente os resíduos para facilitar o processo. Quanto ao uso excessivo de papel, uma solução sugerida foi utilizá-lo como rascunho.
SUPERVISOR OPERACIONAL	Responsável tecnicamente pelos trabalhos desenvolvidos na siderurgia, visando manter o perfeito cumprimento das cláusulas contratuais e promovendo o aperfeiçoamento dos serviços prestados.	Os geradores precisam receber educação ambiental sobre a geração e segregação de resíduos. Foi relatado que um alto percentual de resíduos recicláveis é destinado ao aterro devido à má segregação e à contaminação dos materiais.

<p>COORDENADOR OPERACIONAL</p>	<p>Responsável por coordenar a empresa de gerenciamento de resíduos sólidos.</p>	<p>É necessário intensificar a educação ambiental para os geradores da siderurgia, uma área que ainda apresenta falhas e que pode ser significativamente aprimorada. Além disso, é importante apresentar mais projetos relacionados à circularidade de resíduos a Siderurgia.</p>
--------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Elaboração própria (2025).

As respostas dos colaboradores destacam áreas que necessitam de aprimoramento. A principal crítica que emerge dessas respostas diz respeito à segregação inadequada dos resíduos, o que dificulta o processo de reciclagem e aumenta o volume de material destinado a aterros. Colaboradores como o Agente Ambiental, Fiscais Operacionais e Supervisor Operacional apontam que a má segregação e a contaminação dos materiais recicláveis são desafios recorrentes. Além disso, práticas como o descarte de materiais contaminados, a presença de resíduos em locais inadequados e o uso excessivo de papel, conforme mencionado por vários colaboradores, também são questões relevantes.

Outra área importante para melhoria relaciona-se às condições operacionais e logísticas, conforme destacado nas respostas do Motorista de Veículos Pesados e do Operador de Movimentação de Cargas. As dificuldades de acesso aos pontos de coleta e as condições das áreas de armazenamento de resíduos, que apresentam buracos e pallets inadequados, evidenciam a necessidade de aprimorar a infraestrutura. Isso pode otimizar a eficiência e a segurança no manejo de resíduos.

Diante do número considerável de colaboradores da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos que não possuem conhecimento sobre o conceito de economia circular, a implementação de um treinamento semestral torna-se imprescindível. Esse treinamento permitirá uma comunicação contínua sobre os avanços tecnológicos na economia circular, capacitando os colaboradores a disseminar essas informações a todos os geradores que destinam resíduos nos pátios de segregação de resíduos recicláveis e industriais.

Considerando a alta rotatividade de funcionários na siderurgia, é fundamental incluir um programa de integração aos novos colaboradores que aborde questões ambientais, com ênfase na coleta seletiva e na segregação correta de resíduos, além de promover a redução da geração de resíduos. Conforme enfatizado nas respostas do Técnico de Segurança do Trabalho, Encarregado Operacional e Coordenador Operacional é igualmente importante reforçar as ações de educação ambiental nas áreas geradoras de resíduos, práticas que já são realizadas pela empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. A falta de conscientização sobre a economia circular e a necessidade de mais projetos relacionados à circularidade de resíduos também são identificadas como áreas de melhoria.

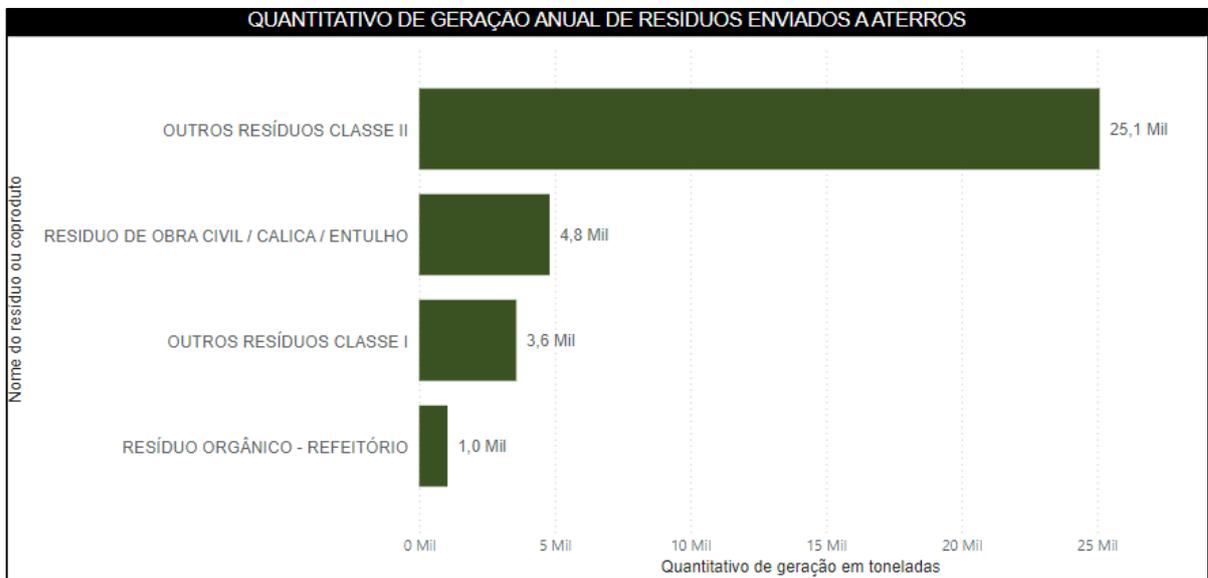
Assim, ao focar na capacitação dos geradores de resíduos, haverá uma contribuição significativa na efetivação da economia circular, especialmente em relação a itens que ainda não atingiram os parâmetros esperados. Essas questões estão diretamente ligadas aos princípios da economia circular, que devem ser consideradas para impulsionar uma maior circularidade dos resíduos.

### 5.3 SUGESTÃO DE MELHORIAS

#### 5.3.1 Recomendações de Práticas de Economia Circular

O Gráfico 10 ilustra os resíduos que atualmente são encaminhados a aterros e que necessitam de um melhor aproveitamento.

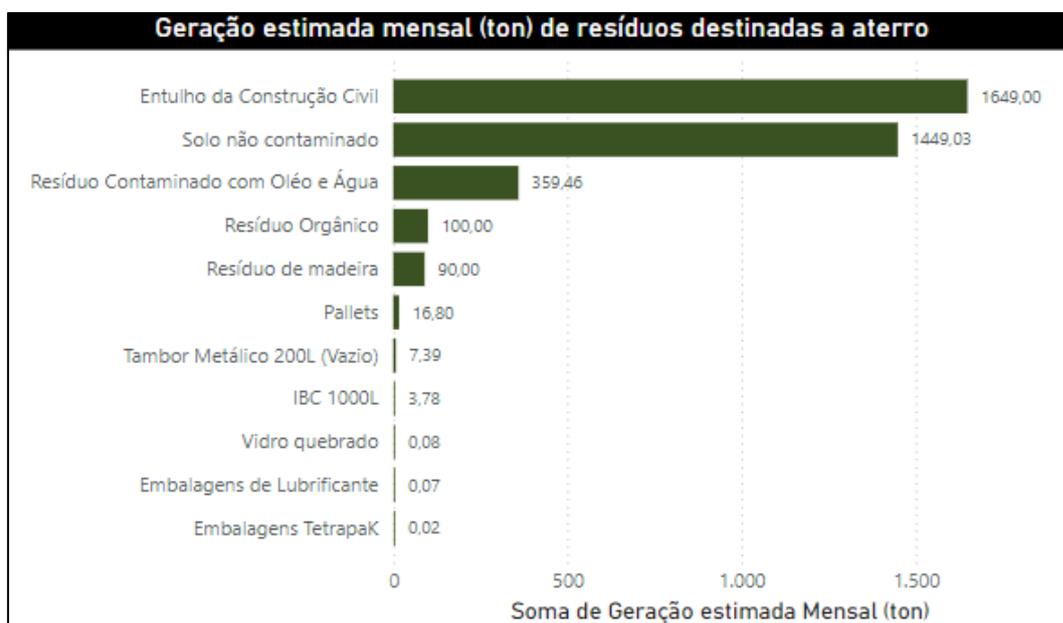
Gráfico 10 - Resíduos com Potencial de Aproveitamento Destinados a Aterros



Fonte: Elaboração própria (2025).

A classificação dos resíduos em classe I e classe II na empresa identificam materiais que estão misturados e são destinados conjuntamente. A caracterização dos resíduos que possuem potencial para circularidade, está detalhada no Gráfico 11.

Gráfico 11 – Resíduos alinhados à proposta de circularidade: Sugestão de melhorias



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resíduos classificados como “Outros Resíduos Classe 2” incluem entulho de construção civil, solo não contaminado, pallets, vidro quebrado e embalagens Tetra Pak. Além disso, outros resíduos dessa classe, como resíduos orgânicos e resíduos de madeira, são destinados de forma separada.

Já os resíduos classificados como “Outros Resíduos Classe 1” referem-se a tambores metálicos de 200L, IBCs de 1000L e embalagens de óleo lubrificante vazias. Ademais, resíduos contaminados com óleo e água, são destinados de forma separada.

Embora os resíduos de madeira e os resíduos contaminados com óleo e água tenham sido destinados à recuperação energética em 2023, eles apresentam um passivo de geração considerável. Por esse motivo, foi sugerido o uso de tecnologias alternativas de reaproveitamento, visando aperfeiçoar sua gestão.

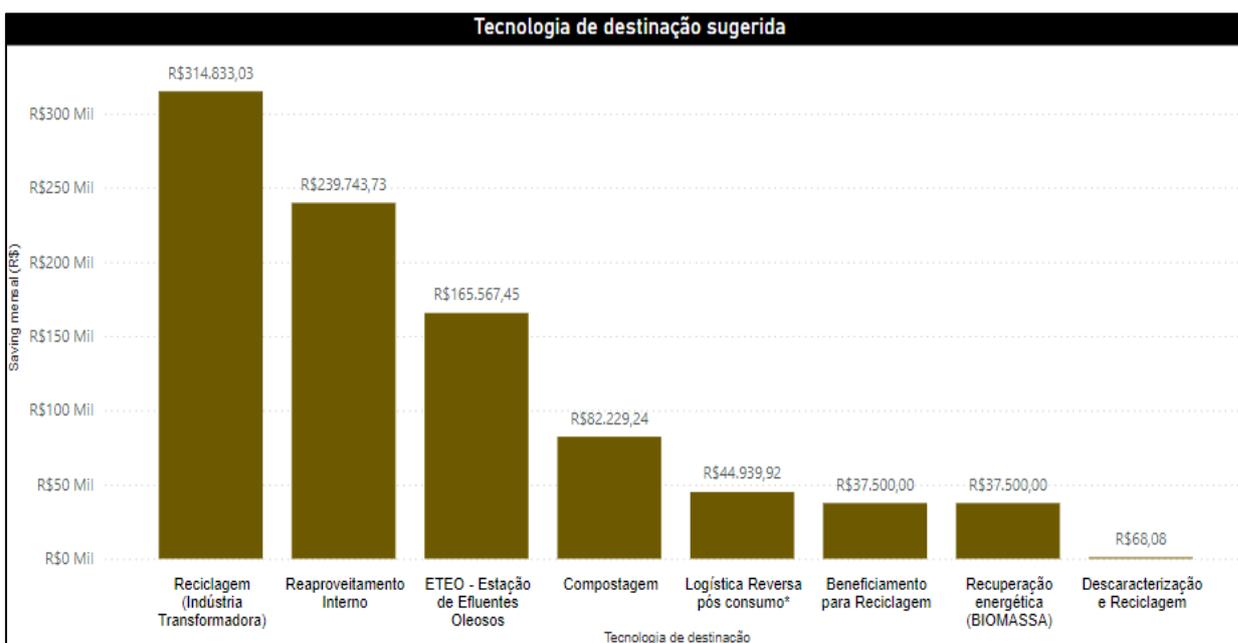
A geração mensal estimada de resíduos a serem circulados é de aproximadamente 3.675,63 toneladas. No contexto ambiental, é necessário melhorar a destinação dos resíduos, que atualmente estão sendo encaminhados para aterros. Não só isso, mas existe um aspecto econômico relevante: a siderurgia apresenta um

saldo mensal de redução de custos com transporte, destinação e receita proveniente da venda de alguns resíduos, totalizando cerca de R\$ 922 mil. No entanto, é fundamental destacar que esse valor não leva em consideração os custos de investimento associados à implementação dos projetos.

### 5.3.2 Tecnologia de destinação sugerida

As tecnologias de destinação propostas e o saving mensal que a empresa siderúrgica poderia obter com a implantação dos projetos de melhorias de destinação de resíduos estão ilustrados no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Tecnologias de destinação sugerida para a circularidade dos resíduos.



Fonte: Elaboração própria (2025).

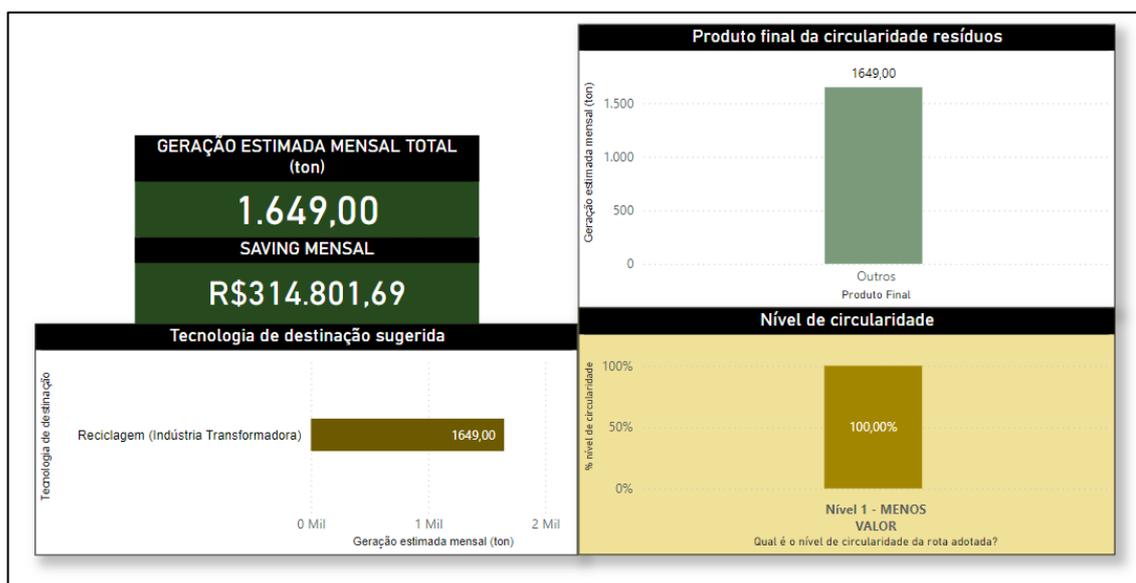
Um dos resíduos que compõe a tecnologia de reciclagem é o entulho da construção civil, que poderá ser inserido na siderurgia, uma recicladora de resíduos de construção civil. O produto final gerado poderá ser reutilizado nas obras da siderurgia, que está em constante expansão.

A caracterização do produto final é classificada como 'outros', devido à diversidade de produtos gerados. Embora o nível de circularidade seja classificado como nível 1, indicando um valor menor, o desenvolvimento desse projeto é

promissor. Isso se deve à estimativa de alta geração mensal destinada do resíduo, que é de aproximadamente 1.649 toneladas. Essa quantidade resultará em uma economia mensal significativa com transporte e destinação final do material, estimada em cerca de R\$ 315 mil.

De acordo com Faria (2019), a construção civil é responsável por grande parte dos resíduos sólidos gerados no Brasil, sendo que 98% desses resíduos podem ser reciclados, mas apenas 21% recebem o tratamento adequado. Conforme destacado por Júnior (2022), os resíduos provenientes da construção civil, incluindo entulhos, representam um desafio ambiental significativo e devem ser classificados e descartados de maneira adequada, a fim de evitar desperdício e impactos negativos ao meio ambiente. Portanto, mesmo que o investimento inicial do projeto possa ser considerável, os ganhos futuros justificam esse gasto. A Figura 12 apresenta os dados de circularidade e econômicos com a reciclagem do entulho de construção civil.

Figura 12 - Dados sobre circularidade e aspectos econômicos da reciclagem de entulho da construção civil.



Fonte: Elaboração própria (2025).

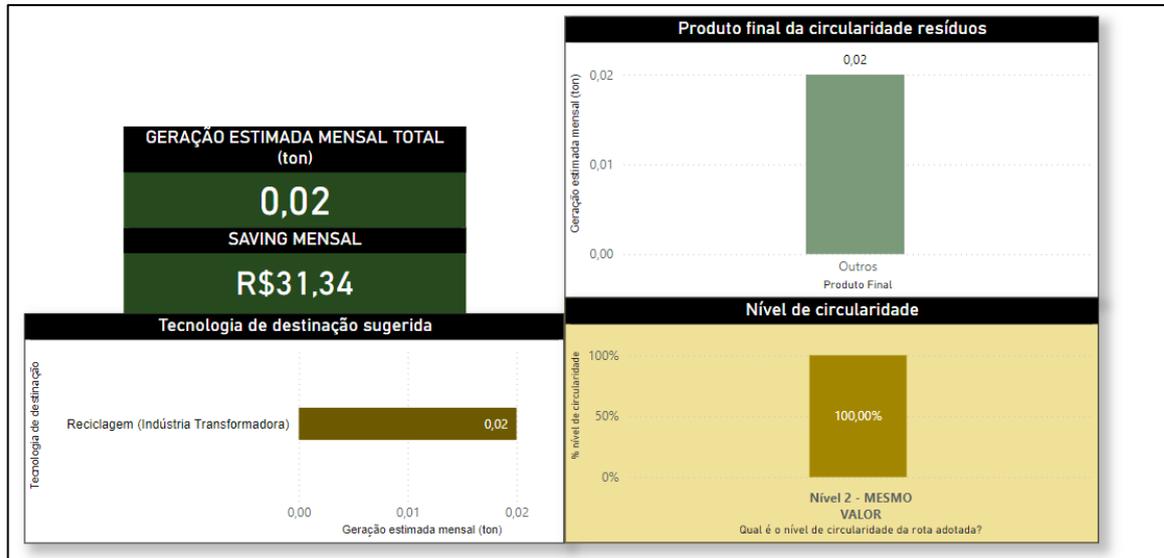
Outro resíduo presente nesta categoria são as embalagens Tetra Pak, que poderão ser vendidas à mesma empresa responsável pela compra de resíduos de

papel e papelão. Para isso, os geradores deverão ser treinados sobre a forma correta de segregação dessas embalagens, a fim de facilitar o processo de reciclagem.

O processo envolve esgotar o líquido residual da embalagem, armazená-la separadamente em uma sacola azul e, quando a sacola estiver cheia, destinar as embalagens aos pontos de coleta ou à unidade de segregação de resíduos, identificando corretamente o material. Vale ressaltar que as embalagens não devem ter contato com a umidade. Quando o galpão de triagem de resíduos acumulare uma quantidade significativa de embalagens, a empresa recicladora poderá pesar e adquirir o material, mantendo contato direto com os responsáveis dos coprodutos da siderurgia.

Embora a geração desse material seja reduzida, sua reciclagem é fundamental. Nas sessões de educação ambiental na siderurgia, a reciclagem desse material era um tema frequentemente questionado. A Figura 13 apresenta os dados de circularidade relacionados à reciclagem das embalagens Tetra Pak. O produto final é classificado como "outros", devido à variedade de componentes recicláveis presentes nas embalagens. O nível de circularidade é 2, indicando um valor equivalente.

Figura 13 - Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Reciclagem de Embalagens Tetrapak.

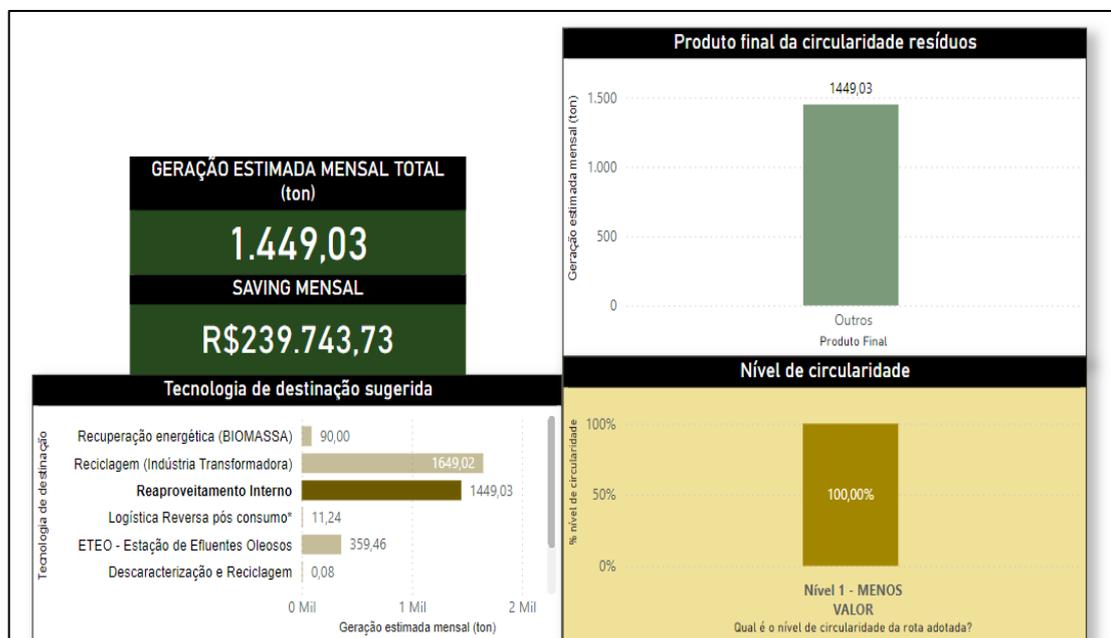


Fonte: Elaboração própria (2025).

De acordo com a CETESB (2018), o solo fora das plumas de contaminação pode ser classificado como resíduo da construção civil Classe A e destinado a aterros de inertes licenciados para operar com esses materiais. No entanto, o solo não contaminado também pode ser eficientemente reutilizado internamente nas obras da siderurgia, desempenhando funções como nivelamento de terrenos, preenchimento de áreas e construção de estruturas temporárias. Essa prática é particularmente vantajosa devido aos elevados custos associados ao transporte e destinação desses resíduos na área em estudo.

Embora os dados de circularidade classifiquem o produto final do reaproveitamento do solo não contaminado como pertencente a um nível de menor valor (nível 1), sua reutilização é essencial, tanto pela alta geração de resíduos quanto pelos benefícios econômicos significativos. Com uma geração mensal estimada em 1.449 toneladas, o reaproveitamento desse material permite uma economia mensal de aproximadamente R\$ 240 mil em custos de transporte e destinação, conforme ilustrado na Figura 14. Esses resultados destacam a eficiência do projeto e seu alinhamento com práticas de sustentabilidade e economia circular, promovendo uma gestão mais responsável dos recursos disponíveis.

Figura 14- Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Reaproveitamento interno de Resíduos de solo não contaminado.

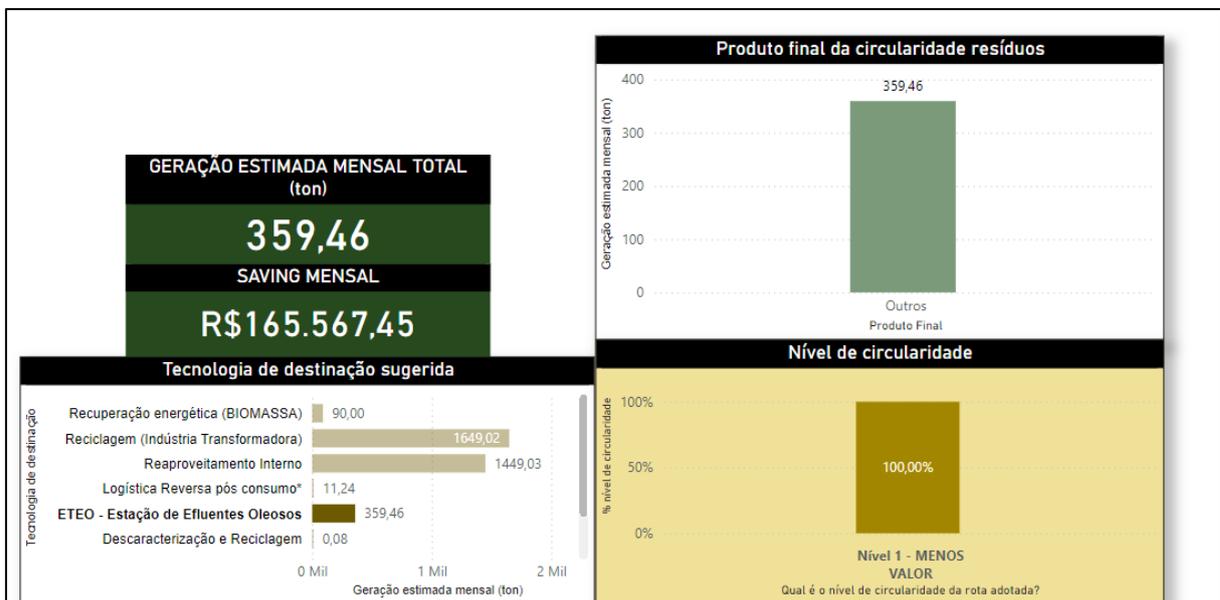


Fonte: Elaboração própria (2025).

Embora a empresa já conte com tecnologia para a destinação de efluentes óleo e água, como a blendagem para coprocessamento, a implantação de uma Estação de Tratamento de Efluentes Oleosos (ETEO) se apresenta como uma solução ainda mais eficiente. Essa tecnologia possibilita o tratamento da água contaminada por resíduos oleosos, que poderá ser reutilizada nas operações da siderurgia (Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2016).

A elevada geração de efluentes, que totaliza 359,49 toneladas mensais, demanda transporte e destinação diários, resultando em custos expressivos, estimados em aproximadamente R\$ 166 mil mensais ou quase R\$ 2 milhões anuais. Nesse contexto, o investimento em uma ETEO se torna economicamente viável, uma vez que pode ser rapidamente amortizado. A Figura 15 apresenta os benefícios econômicos e ambientais associados à implementação dessa tecnologia.

Figura 15- Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da instalação de ETEO.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A compostagem é uma solução eficaz para os resíduos orgânicos gerados diariamente, entre as tecnologias disponíveis, uma alternativa viável é a implementação de um projeto de compostagem na empresa, que contemple ações de educação ambiental direcionadas aos restaurantes responsáveis pelo manejo desses resíduos. Outra possibilidade é a inclusão de uma composteira automática industrial.

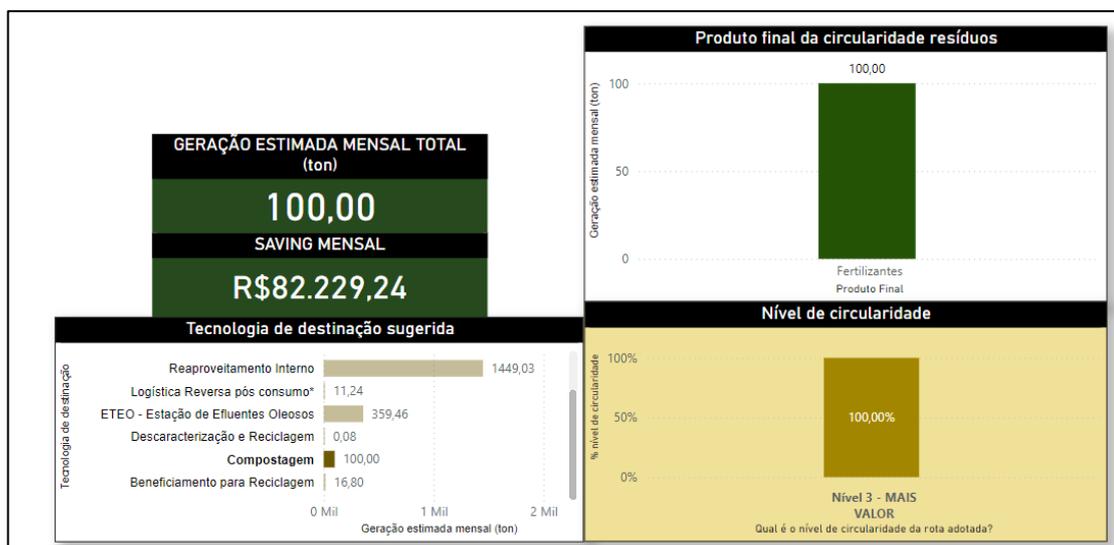
Segundo a 123 Ecos (2024), as máquinas de compostagem automática oferecem uma alternativa eficiente para o tratamento de resíduos orgânicos, utilizando tecnologias modernas, como controle de temperatura, ventilação e adição de enzimas em alguns modelos, para acelerar o processo de decomposição e produzir adubo em poucos dias ou até horas. O composto gerado poderia ser aproveitado em hortas já existentes em alguns restaurantes da siderurgia.

Adicionalmente, considerando que a siderurgia já investe em reflorestamento, é possível incorporar o adubo produzido às mudas utilizadas nesses projetos, com potencial para ampliar os benefícios ambientais por meio da doação dessas mudas à comunidade local.

Embora o investimento inicial de ambos os projetos seja elevado, os custos associados ao transporte e à destinação de resíduos tornam-se compensáveis a médio e longo prazo, proporcionando benefícios econômicos significativos e, sobretudo, ambientais.

A Figura 16 apresenta os dados econômicos e ambientais relacionados à aplicação da compostagem. O produto final, classificado como nível 3 devido ao seu elevado valor agregado, evidencia a compostagem como uma solução eficiente para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, que são gerados em grande quantidade diariamente. A viabilidade econômica do projeto é demonstrada pelo saldo mensal estimado em aproximadamente R\$ 82.230,00, totalizando quase R\$ 1.000.000,00 anualmente, sem considerar o investimento inicial. Esse desempenho financeiro reforça a compostagem como uma solução ambientalmente sustentável e uma estratégia economicamente vantajosa.

Figura 16 - Dados de Circularidade e Aspectos Econômicos da Compostagem de Resíduos orgânicos.



Fonte: Elaboração própria (2025).

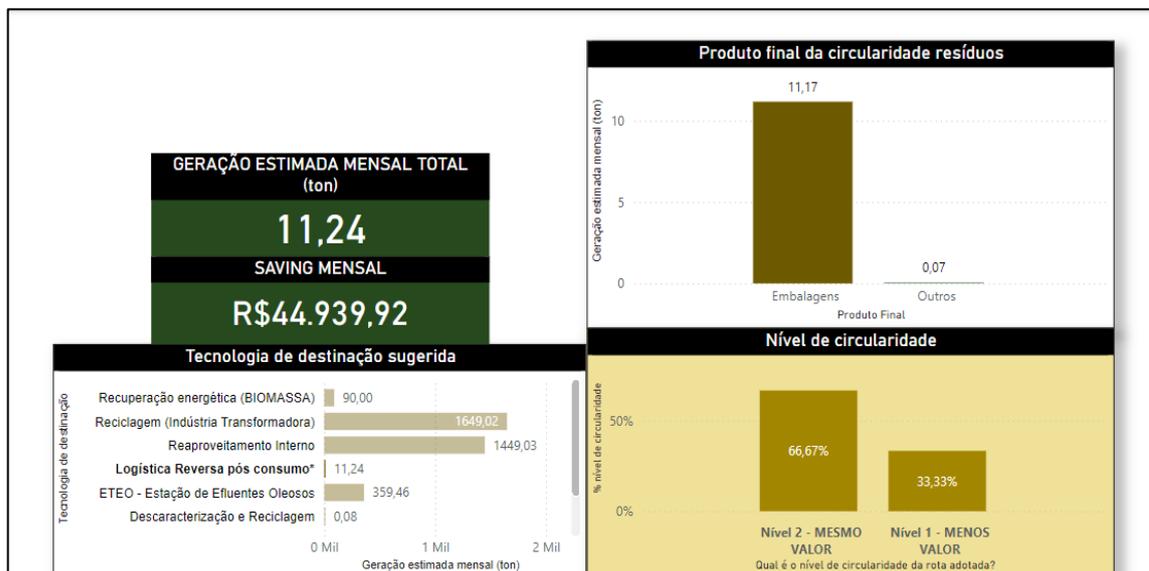
As embalagens de óleo lubrificante, as quais são passíveis de logística reversa, podem ser destinadas ao Instituto Jogue Limpo, uma organização sem fins lucrativos que promove a logística reversa e a destinação ambientalmente adequada de embalagens plásticas usadas. Por meio de parcerias com fabricantes,

revendedores e consumidores, o Instituto assegura que esses resíduos sejam coletados, tratados e reciclados, contribuindo para a preservação ambiental e a economia circular (Jogue Limpo, 2023).

Os *Intermediate Bulk Container* (IBC) são embalagens composta por um recipiente rígido, geralmente feito de plástico ou metal, com capacidade de até 1.500 litros. Esses containers são montados sobre uma estrutura metálica, conhecida como gaiola, que facilita o manuseio e transporte, permitindo o uso de empilhadeiras e outros equipamentos. (Igles Embalagens, 2025). Os IBCs, assim como os tambores podem ser vendidos para uma empresa que demonstrou interesse na compra do material e que realiza a logística reversa desses itens. A siderurgia teria uma economia mensal com a doação e venda do material, pois não incorreria em custos de transporte, tendo um saldo mensal de aproximadamente R\$ 45 mil. Além disso, essa prática aumentaria o percentual de logística reversa, alinhando-se aos interesses da siderurgia em melhorar sua sustentabilidade.

A Figura 17 apresenta os dados de circularidade e os aspectos econômicos relacionados à implementação da logística reversa. A categoria "Outros" refere-se às embalagens de óleo lubrificante, que, em sua maioria, são trituradas e reutilizadas como matéria-prima na fabricação de novos produtos. Já a categoria "Embalagens" abrange os IBCs e tambores, que são completamente recuperados, sendo classificados como produtos de nível 2, ou seja, de mesmo valor agregado ao original.

Figura 17 - Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Logística Reversa para embalagens de óleo lubrificante usada, IBC e tambor.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A madeira já é um resíduo destinado à recuperação energética. Atualmente, a siderurgia doa esse material para reduzir passivos, mas ainda arca com os custos de transporte. Devido ao alto índice de geração e ao grande volume estocado na unidade, sugere-se a inclusão de um picotador de madeira na siderurgia. Esse equipamento permitiria a produção de cavacos com dimensões de 5 mm, atendendo às especificações industriais.

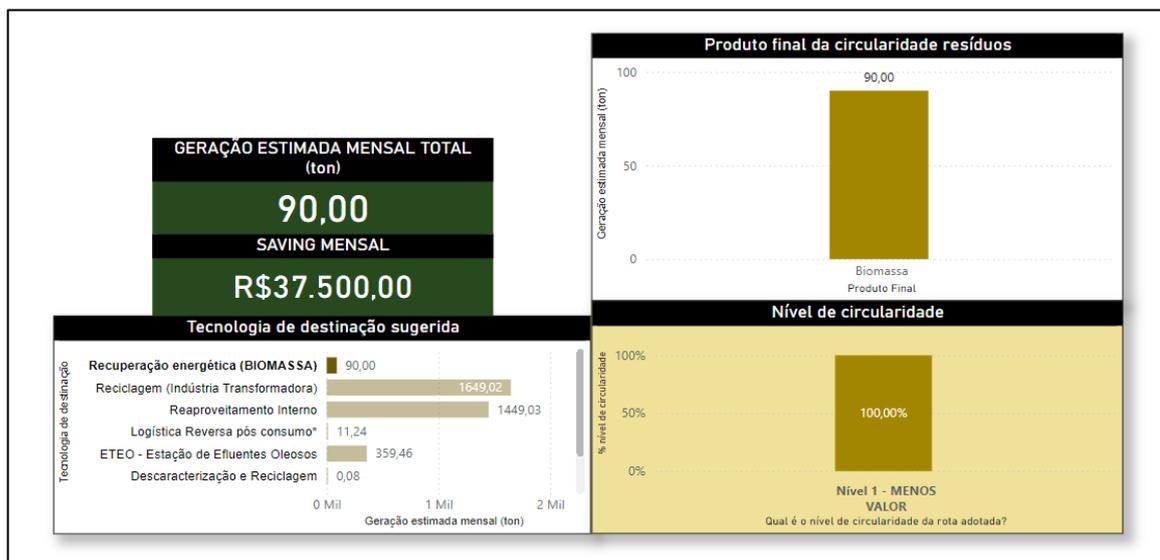
Estudos indicam que cavacos menores (5 mm) apresentam maior densidade de carga, com 411,11 kg/m<sup>3</sup>, enquanto cavacos maiores (33 mm) possuem densidade de 365,19 kg/m<sup>3</sup>. Essa diferença impacta diretamente a eficiência no transporte e armazenamento (Ceragioli, 2013). O material gerado poderia ser vendido para a indústria de cimento localizada nas proximidades, que já demonstrou interesse em adquirir o produto.

Na análise da circularidade, este projeto resultaria em biomassa como produto final, posicionando-se no nível 1, que indica um menor valor agregado, mas que aumentaria o percentual de recuperação energética. Além disso, essa iniciativa poderia gerar uma economia mensal significativa, considerando o custo atual de transporte para a destinação da madeira, estimado em R\$ 37.500. É importante

destacar que esse valor não inclui o investimento na aquisição do picotador, o treinamento do operador para o manuseio da máquina, o salário do operador e o potencial de venda dos cavacos.

A implementação do projeto resultaria em benefícios ambientais e econômicos, ao otimizar o uso dos resíduos de madeira e garantir conformidade com a legislação de transporte rodoviário, como a Resolução CONTRAN nº 210/2006, que estabelece limites de peso bruto e dimensões para veículos. A Figura 18 apresenta os dados econômicos e ambientais relacionados à implementação do projeto.

Figura 18 - Dados sobre Circularidade e Aspectos Econômicos da Tecnologia de Recuperação Energética de Resíduos de Madeira



.Fonte: Elaboração própria (2025).

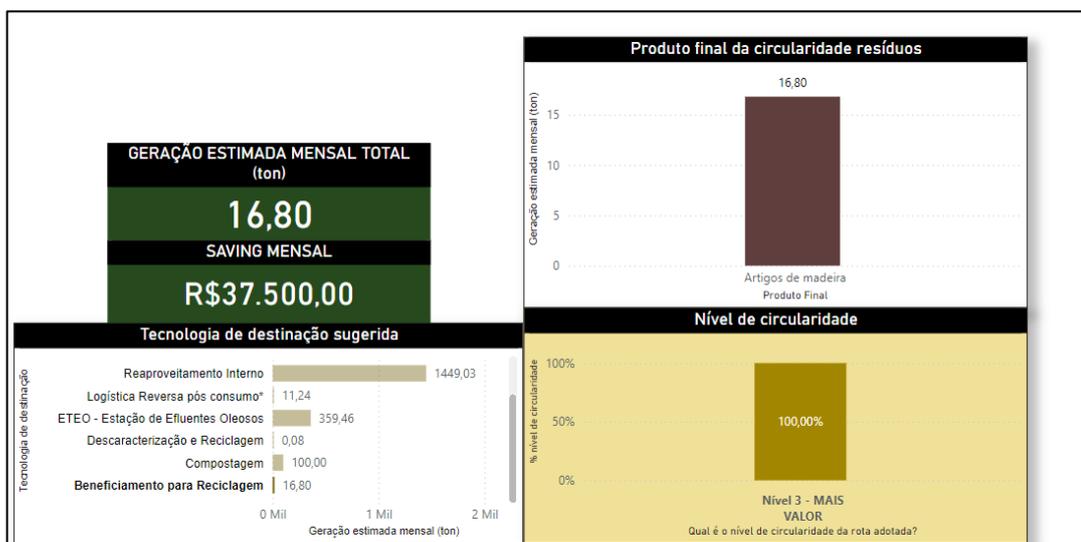
Uma alternativa eficiente para o manejo de pallets em bom estado é a sua comercialização para empresas que realizam beneficiamento para reciclagem ou a transformação em artigos de madeira, como móveis. Considerando que a geração mensal desse resíduo é significativa e que já existe um passivo estocado, é recomendável apresentar essa possibilidade à equipe responsável pelos coprodutos da empresa. A separação dos pallets em bom estado dos demais resíduos de madeira, que podem ser destinados à produção de biomassa por meio do

picotamento, permite agregar valor ao material e explorar um mercado em crescimento.

No mercado, há diversas empresas interessadas na aquisição de pallets, o que reforça o potencial econômico dessa iniciativa. Além disso, ao destinar os pallets para venda em vez de doá-los juntamente com outros resíduos de madeira, elimina-se o custo de transporte atualmente associado à doação.

A Figura 19 apresenta os dados econômicos e ambientais relacionados à reciclagem de pallets. Esse material foi classificado com nível de circularidade 3, indicando o maior valor agregado dentro da escala de circularidade. A comercialização dos pallets gera um saldo mensal estimado em R\$ 37.500,00 (sem considerar a receita com a venda do material), o que representa um avanço significativo em termos econômicos e contribui para a redução de custos e a promoção da sustentabilidade no gerenciamento de resíduos.

Figura 19 - Dados econômicos e ambientais do beneficiamento para reciclagem de pallets.



Fonte: Elaboração própria (2025).

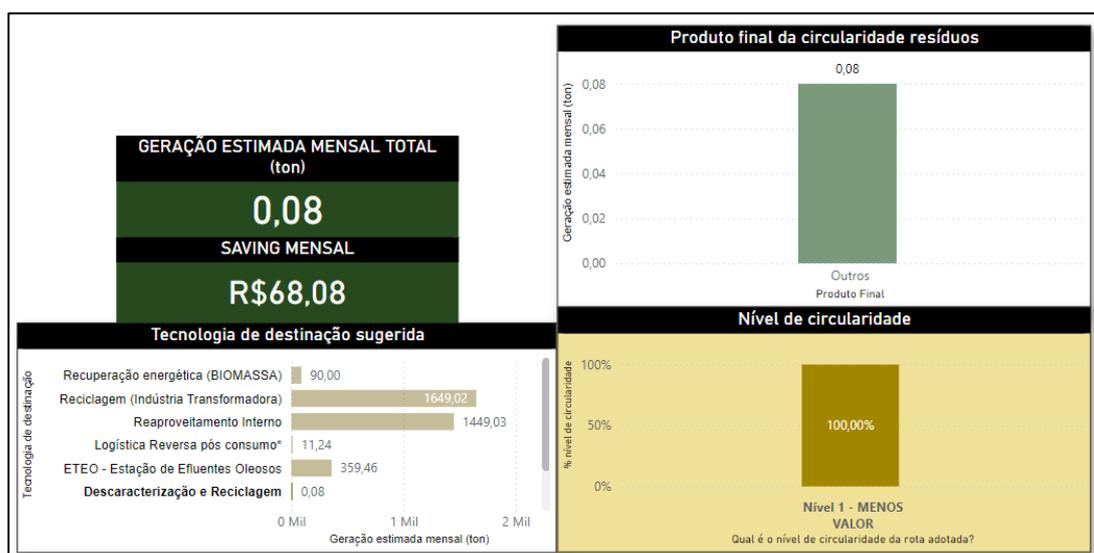
A descaracterização e reciclagem referem-se aos resíduos de vidro quebrado, que poderão ser doados a uma associação de catadores próxima à siderurgia. Esses catadores destinarão o material a empresas recicladoras de vidro. Embora a geração mensal de resíduos de vidro seja baixa, é interessante acumular uma

quantidade significativa e encaminhá-la para a reciclagem, focando nos vidros que são passíveis de reciclabilidade.

Segundo o estudo de Melo et al (2023), o desenvolvimento de embalagens fabricadas com materiais que favoreçam a reutilização ou a reciclagem, aliado à criação de tecnologias viáveis para ampliar a aplicação e a diversidade de produtos reciclados no mercado, é apontado como um dos principais desafios na inovação da gestão da reciclagem de materiais vítreos. Entretanto o projeto reforça sua capacidade de transformar o vidro quebrado, antes descartado, em um recurso valioso para a cadeia produtiva, contribuindo com a economia circular.

A Figura 20 apresenta os dados de circularidade relacionados à implementação dessa tecnologia. Embora seja classificada como pertencente ao nível de menor valor agregado, a reciclagem do material é uma forma eficaz de ser introduzido como matéria-prima na fabricação de novos itens de vidro.

Figura 20 - Dados de Circularidade e Aspectos Econômicos da Reciclagem de Vidro quebrado.



Fonte: Elaboração própria (2025)

#### 5.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES NA IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR

A adoção da Economia Circular (EC) na empresa estudada, inserida no setor siderúrgico, enfrenta diversos obstáculos que dificultam a transição do modelo linear para um modelo circular de produção e gestão de resíduos. Apesar de práticas como a reciclagem e o reaproveitamento já fazerem parte da rotina empresarial, ainda há uma quantidade considerável de resíduos potencialmente reaproveitáveis sendo destinados a aterros sanitários. Essa situação evidencia um descompasso entre a capacidade técnica existente e a aplicação efetiva da circularidade.

Entre os desafios identificados, destaca-se a infraestrutura inadequada nos pontos de geração e triagem de resíduos, bem como a má segregação por parte dos geradores da siderúrgica. A resistência cultural e a ausência de conscientização são fatores limitantes, conforme apontado por Bocken *et al.* (2016), que também destacam barreiras econômicas e estruturais. Esses elementos dificultam a participação ativa dos trabalhadores nas iniciativas circulares promovidas pela empresa.

A escassez de tecnologias viáveis e com custo acessível para o reaproveitamento de determinados resíduos configura-se como uma importante limitação. No caso analisado, ainda que existam possibilidades técnicas para a valorização desses materiais, a falta de alternativas economicamente sustentáveis inviabiliza o reaproveitamento de uma parcela significativa dos resíduos gerados.

Outro ponto crítico é a integração fragilizada da cadeia de valor. Segundo Leite (2009), a falta de articulação entre fornecedores, operadores logísticos e consumidores compromete a logística reversa, o que também foi identificado na empresa, onde os esforços para a reinserção de materiais esbarram em gargalos externos. A ausência de indicadores adaptados à economia circular da empresa também dificulta o monitoramento do progresso circular, como reforçam Sánchez-Ortiz *et al.* (2020).

Por fim, as entrevistas realizadas evidenciaram a necessidade de capacitação dos colaboradores, um aspecto igualmente discutido por Rizos *et al.* (2015), que destacam a escassez de profissionais e fornecedores qualificados como uma barreira significativa à implementação da Economia Circular. Kirchherr *et al.* (2018) ressaltam que a baixa percepção de valor e o limitado engajamento representam entraves culturais relevantes nesse processo. Além disso, Dos Reis (2021) aponta a dificuldade de articulação com fornecedores que compartilhem os princípios da

circularidade, bem como a inexistência de mecanismos de mercado que favoreçam a recuperação de resíduos. Akiama (2024) reforça a importância da estruturação de um mercado de sucata eficiente e da substituição de matérias-primas virgens por insumos reciclados, embora reconheça que essa transição ainda enfrenta barreiras legais, operacionais e econômicas. Dessa forma, a superação desses desafios é fundamental para consolidar a circularidade dos recursos na empresa estudada.

## 6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo principal analisar as práticas de Economia Circular adotadas por uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos em uma empresa siderúrgica do estado de Minas Gerais, buscando compreender sua eficácia na promoção da sustentabilidade. A pesquisa, de natureza quali-quantitativa, permitiu uma avaliação abrangente por meio da aplicação de indicadores de Economia Circular, análise documental do relatório de sustentabilidade da siderúrgica e dos relatórios de geração e gerenciamento de resíduos, ambos referentes ao ano de 2023.

Os resultados demonstraram que a empresa adota iniciativas alinhadas aos princípios da Economia Circular, incluindo a aplicação de tecnologias como reciclagem, reaproveitamento, blendagem para coprocessamento e recuperação energética. A aplicação dos indicadores propostos, como a taxa de circularidade e a taxa de logística reversa, revelou que uma parte significativa dos resíduos foi valorizada e reintegrada ao ciclo produtivo, enquanto outros resíduos contribuíram para a geração de energia por meio da taxa de recuperação energética. Esses resultados indicam que as práticas da empresa não apenas valorizam os resíduos, mas também contribuem para a sustentabilidade energética.

Entretanto, o estudo também identificou desafios importantes, como a destinação de resíduos com potencial de reaproveitamento para aterros sanitários, o que representa uma lacuna na circularidade e uma oportunidade de melhoria. Além disso, as entrevistas com os colaboradores da empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos evidenciaram a necessidade de maior capacitação e sensibilização da equipe em relação aos conceitos de Economia Circular, bem como melhorias na infraestrutura dos processos de triagem e nos locais de acondicionamento de resíduos, além de melhorias na segregação de resíduos das áreas geradoras.

As sugestões apresentadas neste trabalho, embasadas em legislações ambientais, normas técnicas (como as ISO 59004, 59020 e 14001), visam ampliar o aproveitamento de materiais e reduzir os impactos ambientais, contribuindo também para ganhos econômicos. Dessa forma, o estudo contribui para o preenchimento de uma lacuna na literatura ao aplicar os princípios da Economia Circular em um

contexto real e específico de uma empresa de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos em uma siderúrgica, integrando teoria, prática e análise crítica. Reforça-se, assim, a importância de estratégias circulares como ferramenta essencial na busca pelo equilíbrio ambiental na indústria.

Como recomendação para estudos futuros, destaca-se a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos resíduos gerados, a fim de possibilitar uma quantificação mais precisa dos impactos ambientais em todas as etapas do ciclo produtivo.

Este trabalho evidencia que, apesar dos avanços já alcançados, a transição de um modelo linear para um modelo circular exige um esforço contínuo e colaborativo. Tal transição requer comprometimento constante, investimentos em inovação e ações voltadas à capacitação. Nesse sentido, a Economia Circular ultrapassa o campo das soluções técnicas, representando uma verdadeira mudança de mentalidade, indispensável para a construção de um futuro mais equilibrado, resiliente e sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

123ECOS. **Máquinas de compostagem automática**. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/maquinas-de-compostagem-automatica/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ABDALLA, Fernando Antônio; SAMPAIO, Antônio Carlos Freire. **Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular**. Entorno Geográfico, n. 15, p. 82-102, 2018.

ABREMA, PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/12/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2024.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2025.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). *Relatório Final de EIMR*. Disponível em: [https://apambiente.pt/sites/default/files/Residuos/FluxosEspecificosResiduos/ERE/Relatorio\\_Final\\_EIMR.pdf?utm\\_source](https://apambiente.pt/sites/default/files/Residuos/FluxosEspecificosResiduos/ERE/Relatorio_Final_EIMR.pdf?utm_source). Acesso em 18 mar.2025.

AKIAMA, S., & SPERS, R. G. (2024). **Circular Economy in the Steel Brazilian Industry: Trends and Future Challenges**. Journal of Sustainable Competitive Intelligence, 14, e0449. <https://doi.org/10.24883/eagleSustainable.v14i.449>

AKIAMA, S.; SPERS, R. G. **Economia Circular no setor do aço: Tendências e desafios para o futuro**. Revista Inteligência Competitiva, v. 14, e0449, 2024.

ÁLVARES JR, O. de M.; LINKE, Renato Ricardo Antônio. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, v. 182, 2001.

AMARAL, Daniel; ESPOSTO, Kleber; DUPIM, Daiane et al. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília: Confederação Nacional da Indústria – CNI, 2018.

ANDRADE, Douglas Henrique de. **Gestão de resíduos sólidos siderúrgicos estudo de caso: Gerdau Aços Longos SA unidade Barão de Cocais MG**. 2022.

APERAM. *Relatório de Sustentabilidade 2023*. Aperam Brasil, 2021. Disponível em: <https://brasil.aperam.com/sustentabilidade/fundamentos/relatorio-sustentabilidade/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

ARCELOMITTAL. **Projetos de reaproveitamento de água alcançam índices acima de 98% de reuso**. 2023. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/sala-imprensa/noticias/brasil/projetos-de-reaproveitamento-de-agua-alcancam-indices-acima-de-98-de-reuso>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ARCELORMITTAL BRASIL. Relatório de Sustentabilidade 2023. *ArcelorMittal Brasil, 2023*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/relatorio-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

ARCELORMITTAL. Dia Mundial da Reciclagem e Sustentabilidade na ArcelorMittal. *Conexão ArcelorMittal*, 17 maio 2024. Disponível em: <https://conexao.arcelormittal.com.br/industria/noticias/dia-mundial-da-reciclagem-e-sustentabilidade-na-arcelormittal>. Acesso em: 14 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ABEPRO). Título do trabalho. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2023**, Salvador. Anais [...]. Salvador: ABEPRO, 2023. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_226\\_323\\_29312.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_226_323_29312.pdf). Acesso em: 15 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004. 2004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 59020:2024 – Economia circular – Mensuração e avaliação do desempenho de circularidade. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 59004:2024 – Economia circular – Vocabulário, princípios e orientações para implementação. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14001:2015. Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14044:2006. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004-2: Resíduos sólidos — Classificação. Parte 2: Sistema Geral de Classificação de Resíduos (SGCR)**. 1. ed. 27 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO AÇO. Sustentabilidade na indústria do aço. 2023. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wpcontent/uploads/2021/09/AcoBrasil\\_SUSTENTABILIDADE\\_2023.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wpcontent/uploads/2021/09/AcoBrasil_SUSTENTABILIDADE_2023.pdf).

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (ANCAT). **Atlas Brasileiro da Reciclagem**. 1. ed. [S.l.]: ANCAT, 2022. Disponível em: [https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/static/media/ABR\\_ebook-rev.1.98669f5c.pdf](https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/static/media/ABR_ebook-rev.1.98669f5c.pdf). Acesso em: 20 jan. 2025.

BLOMSMA, Fenna; BRENNAN, Geraldine. **The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity**. Journal of industrial ecology, v. 21, n. 3, p. 603-614, 2017.

BOCKEN, NANCY & SHORT, SAMUEL & RANA, P. & EVANS, STEVE. (2014). **A literature and practice review to develop sustainable business model**

BOCKEN, Nancy M. P.; DE PAUW, Ingrid; BAKKER, Conny; VAN DER GRINTEN, Bram. **Estratégias de design de produto e modelo de negócios para uma economia circular**. Journal of Industrial and Production Engineering, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124.

BORSATTO, Ana Luisa, et al (2023). **Conceitos e Definições do ESG no Contexto Evolutivo da Sustentabilidade**. São Paulo: Revista Desenvolvimento em Questão. 2023. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br>. Acesso em: 21 jan.2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm) Acesso em: 14 jan. 2025.

BRASIL. Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS: Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública. Disponível em: [https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/proteger/biblioteca/PlanodeGerenciamentodeResduosSlidos\\_InstrumentodeResponsabilidadeSocioambientalnaAdministraoPblica.pdf](https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/proteger/biblioteca/PlanodeGerenciamentodeResduosSlidos_InstrumentodeResponsabilidadeSocioambientalnaAdministraoPblica.pdf). Acesso em: 16 jan. 2025.

BRINGHENTI, Jacqueline Rogeria. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população.** São Paulo, 2004.

CERAGIOLI, N. S. **Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos.** 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.

CETESB. **CETESB orienta sobre destinação sustentável de solo limpo.** SindusCon-SP, 2018. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/cetesb-orienta-sobre-destinacao-sustentavel-de-solo-limpo/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

CORONA, B. et al. **Towards sustainable development through the circular economy — A review and critical assessment on current circularity metrics.** Resources, Conservation & Recycling (2020). Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Acesso em 23 jan.2025.

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

DE OLIVEIRA, Pedro Paulo; DE OLIVEIRA SILVA, Reidene. **ESG NO IMPACTO SOCIAL DAS COOPERATIVAS.** REVICOOP, v. 4, 2023.

DE OLIVEIRA, UZIEL NUNES. **ECONOMIA CIRCULAR: UMA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. 2019. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ.

DEFRA. Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations. [London: DEFRA], 2015.

DHL. Sustainability Report 2021. Disponível em: <https://www.dhl.com>. Acesso em: 18 mar. 2025.

DOS REIS, Nicola Gomes. **Desafios, Benefícios e o impacto na Performance na implementação dos princípios da Economia Circular-Casos de boas práticas nas Pequenas e Médias Empresas Portuguesas**. 2021. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Leiria (Portugal).

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, **Completando a figura: como a economia circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas** (2019).

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Material Circularity Indicator: Methodology Guide**. Ellen MacArthur Foundation, 2020. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em: 21 jan.2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. O que é Economia Linear. 2023 Ellen MacArthur Foundation. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-que-e-economia-linear>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The biological cycle of the butterfly diagram. 2022**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/the-biological-cycle-of-the-butterfly-diagram>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL: Uma abordagem exploratória inicial**. 2017. Disponível em: <[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil\\_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf)>. Acesso em: 22 jan 2025.

EXAME. **Economia circular está diretamente relacionada à competitividade.**

Disponível em: <https://exame.com/negocios/economia-circular-diretamente-relacionada-competitividade/>. Acesso em: 21 jan. 2025.

FARIA, V. (2019). **Brasil pode reciclar 98% dos resíduos da Construção Civil, mas só consegue dar conta de 21%.** Gazeta do Povo. Disponível em:

<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/sustentabilidade/brasil-pode-reciclar-98-dos-residuos-da-construcao-civil-mas-so-consegue-dar-conta-de-21/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

FERRARI, Renata Andressa. **Incineração de resíduos sólidos para recuperação de energia e seus impactos ambientais: um estudo de revisão no Brasil.** 2021.

FIGUEIREDO, Marcus. **Reciclagem de sucata ferrosa será responsável por 38% do aço produzido em 2050.** Manufatura Digital, 30 jun. 2022. Disponível em: <https://www.manufaturadigital.com/reciclagem-de-sucata-ferrosa-2050/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

GEISSDOERFER, Martin; SAVAGET, Paulo; BOCKEN, Nancy M. P.; HULTINK, Erik Jan. **The Circular Economy – A new sustainability paradigm?** Journal of Cleaner Production, v. 143, p. 757-768, 2017.

GIL, ANTONIO CARLOS. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

GONÇALVES, Taynara Martins; BARROSO, Ana Flavia da Fonseca. **A economia circular como alternativa à economia linear.** Anais do XI SIMPROD, 2019.

IBGE. **Gestão do saneamento básico no Brasil: diagnóstico 2024.**

**Brasília, DF: IBGE, 2024.** Disponível em:

<https://static.poder360.com.br/2024/11/ibge-gestao-saneamento-28-nov-2024.pdf>.

Acesso em: 20 jan. 2025.

IGLES EMBALAGENS. O que é container IBC? Disponível em:

[https://www.iglesembalagens.com.br/o-que-e-container-ibc/?utm\\_source](https://www.iglesembalagens.com.br/o-que-e-container-ibc/?utm_source).

Acesso em: 19 mar. 2025.

INOVAR AMBIENTAL. **Lâmpadas, pilhas e baterias**. Disponível em: <https://inovarambiental.com.br/residuos/lampadas-pilhas-e-baterias/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <http://ar5-syr.ipcc.ch/>. Acesso em: 23 jan.2025.

JOGUE LIMPO. **Sobre o Jogue Limpo**. Disponível em: <https://www.joguelimpo.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2025.

JUCÁ, JOSÉ FERNANDO & LIMA, JOSÉ & LIMA, DANUZA & MARIANO, MARIA & LUCENA, LUCIANA & FIRMO, ALESSANDRA. (2014). **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. 10.13140/2.1.3547.8082.

JÚNIOR, E.B.S; DOS SANTOS, T.N.; ARAÚJO, A.S. **Sustentabilidade na construção civil: impactos e perspectivas**. Revista Teccen. 2022 Jan./jun.; 15 (1): 51-58.

KIRCHHERR, J., PISCICELLI, L., BOUR, R., SMIT, E.K., MULLER, J., TRUIJENS, A.H., HEKKERT, M. (2018). **Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union** Elsevier, 150, 264-272  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>

KPMG. **Indústria do aço: transição para o desenvolvimento mais sustentável**. 2024. Disponível em: <https://kpmg.com/br/pt/home/insights/2024/10/industria-aco-sustentavel-transicao-desenvolvimento-mais-sustentavel.html>. Acesso em: 22 jan. 2025.

LEITE, Paulo Roberto. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. In: Logística reversa: meio ambiente e competitividade. 2009. p. 240-240.

LIMA, Carolina Pedrosa de et al. **Indicadores ambientais do desenvolvimento da indústria do aço: avaliação ESG—“Environmental, Social and Governance”**. 2022.

LIMA, Uedja Tatyane Guimarães Medeiros; DA SILVA, Gilson Lima; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. **DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS À ECONOMIA CIRCULAR: MAXIMIZANDO O VALOR DO RESÍDUO.**

LINDER, Martin; WILLIANDER, Magnus. **Inovação do modelo de negócios circular: incertezas inerentes.** Business Strategy and the Environment, v. 26, p. 182-196, 2017. DOI: 10.1002/bse.1906.

MARGALLO, M.; ALDACO, R.; BALA, A.; FULLANA, P.; IRABIEN, Á. **Best available techniques in municipal solid waste incineration: State of the art in Spain and Portugal.** Chemical Engineering Transactions, v. 29, p. 1345–1350, 2012.

MELO, Verônica Viviane de; DINIZ, Ravena Glicéria Noll; LIMA, Selma Clara de; LEMOS, Carlos Fernando. **Análise da dificuldade de reciclagem do vidro no Brasil e a logística reversa como alternativa para minimizar os impactos ambientais.** Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.II-005>. Acesso em: 11 jan. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Fontes renováveis responderam por 93,1% da geração de energia elétrica em 2023.** Ministério de Minas e Energia, 12 jan. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/fontes-renovaveis-responderam-por-93-1-da-geracao-de-energia-eletrica-em-2023> . Acesso em: 13 jan. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Coleta e recuperação de óleos lubrificantes no Brasil é exemplo de responsabilidade social e proteção ambiental.** Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/coleta-e-recuperacao-de-oleos-lubrificantes-no-brasil-e-exemplo-de-responsabilidade-social-e-protecao-ambiental>. Acesso em: 07 jan. 2025.

MOTHÉ, A. V. **Utilização da lama de alto-forno em cerâmica vermelha. 2008. 109 f.** 2008. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) –Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. **The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global**

**Context.** Journal of Business Ethics, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017. DOI: 10.1007/s10551-015-2693-2.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Siderurgia sustentável desenvolve cadeia de produção com baixa emissão de poluentes.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/81394-siderurgia-sustentavel-desenvolve-cadeia-de-producao-com-baixa-emissao-de-poluentes>. Acesso em: 14 jan. 2025.

PANORAMA DO COPROCESSAMENTO. **Panorama do Coprocessamento 2024: Ano Base 2023.** Disponível em: [https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Panorama\\_Coprocessamento\\_2024\\_Ano\\_Base\\_2023.pdf](https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Panorama_Coprocessamento_2024_Ano_Base_2023.pdf). Acesso em: 14 jan. 2025.

PASIN, Maria Valentina Antúnez. **Avaliação do aproveitamento de coprodutos de uma indústria siderúrgica.** 2024.

PEREIRA, Eduardo Vinícius. **Resíduos sólidos.** Editora Senac São Paulo, 2019.

PEREIRA, L. F. A. .; FIRMO, W. da C. A. .; COUTINHO, D. F. . **The importance of reusing waste from the food industry: the case of fruit processing.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 12, p. e38111234089, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i12.34089. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34089>. Acesso em: 14 jan. 2025.

PNUD BRASIL. **Siderurgia Sustentável estimula economia de baixo carbono.** Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/news/siderurgia-sustentavel-estimula-economia-de-baixo-carbono>. Acesso em: 23 jan. 2025.

PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. **Desempenho Operacional e Ambiental de Unidades de Reciclagem e Disposição Final de Resíduos Sólidos Domésticos Financiadas pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 1, p. 52-61, 2007.

QUINTANEIRO, D. A. A. **Contribuições da logística reversa de resíduos na geração de ganhos competitivos: um estudo de caso em uma empresa siderúrgica brasileira.** Belo Horizonte: FNH, 2014. 101p.

RESOLUÇÃO CONTRAN Nº 210, DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006. **Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências.** Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/concurso-2021/resolucoes/R210-06>. Acesso em: 23 jan. 2025.

RIZOS, V., ET AL., 2015. **The circular economy: barriers and opportunities for SMEs.** Available at: <https://www.ceps.eu/system/files/WD412GreenEconetSMEsCircularEconomy.pdf>. Acesso em: 23 jan.25.

SÁNCHEZ-ORTIZ, J. et al. **Indicators to Measure Efficiency in Circular Economies.** Sustainability 2020, 12. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4483>. Acesso em: 23 jan.2025.

SANTOS, José Luís Guedes dos et al. **Integração entre dados quantitativos e qualitativos em uma pesquisa de métodos mistos.** Texto & Contexto-Enfermagem, v. 26, n. 3, p. e1590016, 2017.

SCHROEDER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. **The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals.** Journal of Industrial Ecology, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12732>. Acesso em: 21/01/2025.

**SIDERURGIA BRASIL.** ArcelorMittal Pecém e a sustentabilidade. *Portal Siderurgia Brasil*, 28 jul. 2023. Disponível em: <https://siderurgiabrasil.com.br/2023/07/28/arcelormittal-pecem-e-a-sustentabilidade/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

**SIDERURGIA BRASIL.** **Expansão das exportações de sucata ferrosa.** Disponível em: <https://siderurgiabrasil.com.br/2023/09/15/expansao-das-exportacoes-de-sucata-ferrosa/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SILVA, L. J. DE V. B. DA; SANTOS, I. F. S. DOS; MENSAH, J. H. R.; GONÇALVES, A. T. T.; BARROS, R. M. **Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential.** Renewable Energy, v. 149, p. 1386–1394, 2020.

SIMÃO, Luiz Eduardo; SCARIOT, Gêssica Luiza; CEZNE, Marcos Antonio. **TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: COMO SELECIONAR UM MÉTODO PARA CÁLCULO DE EMISSÃO DE CO2 DA SUA FROTA?**. Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, v. 15, p. 97-122, 2022.

STELLANTIS. **Stellantis apresenta na Rematec o SUSTAINera e a sua ampla estratégia de remanufatura para suportar a meta de se tornar carbono neutro até 2038**. 2023. Disponível em: <https://www.media.stellantis.com/br-pt/corporate-communications/press/stellantis-apresenta-na-rematec-o-sustainera-e-a-sua-ampla-estrategia-de-remanufatura-para-suportar-a-meta-de-se-tornar-carbono-neutro-ate-2038?> . Acesso em: 13 jan. 2025.

SUSTENTIX. *Quase 12% dos materiais da UE provêm de reciclagem*. 2023. Disponível em: <https://sustentix.sapo.pt/quase-12-dos-materiais-da-eu-provem-de-reciclagem/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

THOMAS, J.-S.; BIRAT, J.-P. **Methodologies to measure the sustainability of materials—focus on recycling aspects**. Revue de Métallurgie, v. 110, n. 1, p. 3-16, 2013.

USIMINAS. Relatório de Sustentabilidade 2023. *Usiminas*, abr. 2024. Disponível em: [https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2024/04/USIMINAS\\_RELATORIO-DE-SUSTENTABILIDADE-2023\\_PORTUGUES.pdf](https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2024/04/USIMINAS_RELATORIO-DE-SUSTENTABILIDADE-2023_PORTUGUES.pdf). Acesso em: 14 abr. 2025.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **STEEL – The permanente material in the circular economy**. Disponível em: <<https://circulareconomy.worldsteel.org>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2025.