

# RESÍDUOS SIDERÚRGICOS: UMA ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE DESTINAÇÃO EVIDENCIADAS PELAS EMPRESAS LISTADAS NA B3

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem crescido a pressão dos *stakeholders*, para que as empresas adotem práticas mais sustentáveis, o que tem refletido também no setor siderúrgico (SIDERURGIA BRASIL, 2024). A nível internacional, a indústria siderúrgica produziu 1.891.994 toneladas/ano de aço, gerando cerca de 1.135.196 toneladas de resíduos (IABr, 2023; WORLDSTEEL, 2023). A indústria brasileira foi responsável por 1,7% dessa produção, ocupando a 9ª posição no ranking, liderado pela China com 53,9% da produção mundial. Na América Latina, o Brasil é o maior produtor com 54,6% do aço produzido (IABr, 2023).

A produção do aço gera resíduos, que podem ser classificados em dois grupos: Classe I (Perigosos) e Classe II (não perigosos). Os resíduos perigosos são subclassificados de acordo com a: Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade e Patogenicidade. E os não perigosos são classificados em: não inertes e inertes. Os não inertes podem possuir biodegradabilidade, combustibilidade, ou solubilidade em água; e os inertes, em contato com a água, não alteram a sua potabilidade (ABNT, 2004).

No contexto siderúrgico, esses resíduos podem ser considerados coprodutos, que são os materiais que permitem sua utilização de forma ambientalmente adequada, como matéria-prima ou fonte de energia, na própria atividade geradora ou por terceiros. Exemplos desses coprodutos e resíduos são: escória de alto-forno e aciaria, pós e lamas oriundos de sistemas de controle atmosférico, além de outros gases (IABr, 2017).

Em relação ao reuso e reciclagem desses materiais, o aço é considerado um material permanente, que pode ser reciclado infinitamente, sem perda de qualidade. A sua origem decorre do Ferro (Fe), o quarto elemento mais abundante (5%) na crosta terrestre. Acerca da aplicação do aço, há mais de 3.500 tipos diferentes de graus com propriedades físicas e químicas específicas (WORLDSTEEL, 2024).

A utilização de resíduos como escórias, pó e gases são apontados pela literatura como alternativas para substituir o uso de recursos naturais (SEBBAR et al., 2020). O marco regulatório brasileiro da reutilização de resíduos, é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Essa, dentre outras demandas ambientais, têm direcionado as práticas e os investimentos da indústria siderúrgica, com objetivos que incluem a gestão dos impactos dos projetos desenvolvidos e financiados a partir das dimensões econômica, social e ambiental (IABr, 2017).

Portanto, diante do exposto tem-se o seguinte questionamento: Quais as práticas evidenciadas pelas siderúrgicas em relação a destinação dos resíduos industriais? Para tal, o presente estudo é de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e a análise de conteúdo. Os dados foram coletados a partir dos relatórios de sustentabilidade das empresas do setor de siderurgia listadas na Brasil, Bolsa, Balcão (B3), referentes ao ano de 2023. A amostra foi composta por Gerdau, Ferbasa, CSN e Usiminas. A B3 é a bolsa de valores brasileira, regulada pela Comissão de Valores Mobiliários.

A pesquisa justifica-se tendo em vista que a identificação de alternativas para utilização de resíduos propicia uma solução para gestão dos impactos ambientais, com reflexos inclusive em outros setores (IABr, 2017). Por fim, os resultados podem contribuir com a academia e o mercado, ao identificar os aspectos associados a destinação de resíduos siderúrgicos. Andrade et al. (2023) afirmam que esse setor pode ser um dos motores da transição, ao reduzir o consumo de matérias-primas e energia, além da redução das emissões de gases de efeito estufa, podendo aumentar ainda a rentabilidade, ao proporcionar a criação de valor sustentável.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo está pautado principalmente na literatura acerca do contexto do setor siderúrgico, principalmente acerca do processo siderúrgico de produção, e ainda as possibilidades de destinação dos resíduos gerados por esse processo, como coprodutos.

### 2.1 CONTEXTO DO SETOR SIDERÚRGICO

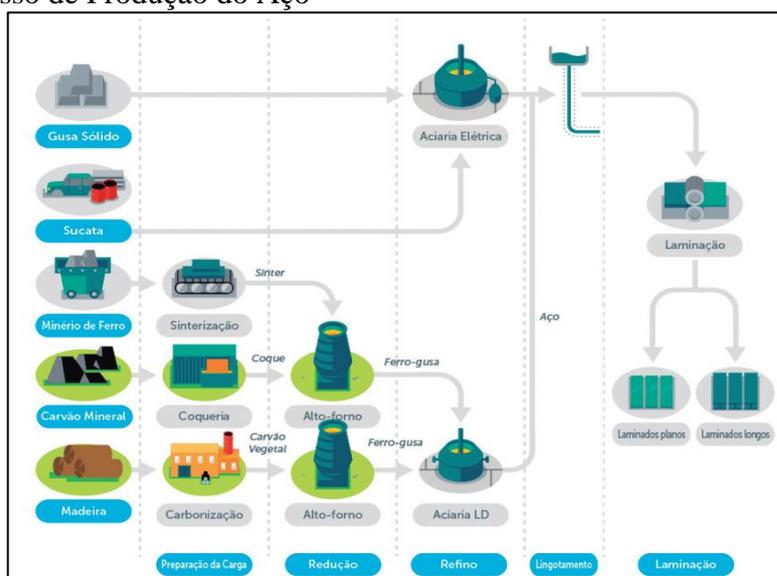
A produção do aço é realizada a partir de duas rotas tecnológicas, com algumas possíveis variações e combinações: 1) produção de aço usando, majoritariamente, minério de ferro e 2) uma pequena proporção de sucata metálica (usinas integradas) e produção de aço que utiliza basicamente a sucata (usinas semi-integradas) (IABr, 2017, p.15). As usinas integradas e semi-integradas podem ser definidas como:

As **usinas integradas** são aquelas que produzem aço a partir do minério de ferro, usando o carvão (mineral ou vegetal) como agente redutor nos altos fornos para obtenção do ferro metálico.

As **usinas semi-integradas** não possuem a etapa de redução, pois utilizam sucata de aço e ferro gusa para alimentar as aciarias elétricas. As usinas semi-integradas operam apenas as fases de refino (via forno elétrico a arco – EAF) e laminação. (IABr, 2017, p. 15)

A nível internacional, cerca de 70% da produção de aço é realizada via usinas integrada, o restante cerca de 30% é produzido pelas usinas semi-integrada. No contexto brasileiro, está um pouco acima ao registrar cerca de 78% da produção do aço a partir de usinas integradas e 21% semi-integrada. Os dados registram ainda que cerca de 11% da produção de aço via usina integrada utiliza carvão vegetal em substituição ao carvão mineral (coque) (IABr, 2017). Em relação ao processo siderúrgico, a Figura 1 apresenta o processo de produção do aço.

Figura 1 - Processo de Produção do Aço



Fonte: Instituto Aço Brasil (2017, p.16).

Em relação ao processo de produção do aço, O' Connor *et al.* (2021) afirmam que a escória é um resíduo produzido pela indústria siderúrgica, utilizada principalmente como agregados no processo de concretagem e construção de estradas. A utilização da escória como coproduto tem potencial para contribuir com o crescimento econômico e a sustentabilidade. Em relação aos resíduos, múltiplos coprodutos como escórias, cinzas, sílica fumos, são apontados

por estudos pela capacidade de serem utilizados como substitutos de recursos naturais em outros processos industriais (SEBBAR *et al.*, 2020).

A indústria siderúrgica gerou um total de coprodutos e resíduos diretos de 19,8 milhões de toneladas em 2015 e 18,3 milhões de toneladas em 2016, o que resulta em aproximadamente 600 kg desses materiais por tonelada de aço bruto produzido. Em relação a destinação desses resíduos, 65% são comercializados predominantemente para a produção de cimento, ou ainda para o uso como base de construção de rodovias (IABr, 2017).

## 2.2 ESTUDOS CORRELATOS

No contexto internacional, Gobetti, Cornacchia e Ramorino (2021) avaliaram o reaproveitamento de escória de EAF como carga em diferentes matrizes poliméricas: termoplástica (polipropileno), termofixa (resina epóxi), elastomérica (borracha de nitrila butadieno) e borracha reciclada de pneus em fim de vida. Os resultados obtidos mostram boa viabilidade técnica desta aplicação de escória, podendo abrir caminho a uma nova simbiose industrial entre setores dissimilares, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

Sebbar *et al.* (2020) analisaram o uso de "solo-escória" na engenharia rodoviária, de acordo com os autores a construção de estradas é uma das atividades que mais consomem recursos, gerando emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Uma das alternativas a este impacto é a reutilização de materiais. Os resultados revelaram que a adição de escórias finas em diferentes percentagens, aumentou a capacidade de suporte do solo, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>, com benefícios econômicos e ambientais.

Lupu *et al.* (2021) apresentam as possibilidades de capitalização de resíduos siderúrgicos ferrosos pequenos e pulverulentos, transformando-os em subprodutos na forma de aglomerado. O resultado do estudo destacou que além da escória metalúrgica, diversas quantidades de lamas provenientes da siderurgia, obtém-se um subproduto contendo ferro, o que permite a recuperação desses elementos.

O estudo de O' Connor *et al.* (2021) examinou os processos de geração de escória em usinas siderúrgicas, a partir das suas características físico-químicas em relação à utilização benéfica como corretivo de solo, implicações ambientais e avaliação de risco em solos agrícolas. Os achados revelam que embora não existam ameaças diretas do uso de escória para a saúde humana, os riscos associados incluem a potencial contaminação por metais pesados, a contaminação por lixiviados e a bioacumulação de metais pesados nas plantas, atingindo assim a cadeia alimentar.

Na literatura nacional, os estudos também abordam a utilização de coproduto do processo siderúrgico em solos. Guimarães *et al.* (2023) avaliaram o efeito da aplicação de fertilizante na produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes no capim Panicum maximumcv. BRS Zuri. O experimento ocorreu a partir do manejo de vasos com vegetação no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, tratados com doses de Agrosilício. Foram realizados dois cultivos com cortes aos 45 e 90 dias após a semeadura, sendo quantificada a produção de massa seca da parte aérea e o acúmulo de nutrientes nas plantas. Os resultados apontaram que não houve diferença entre as doses avaliadas, bem como para o acúmulo da maioria dos nutrientes nos tecidos de capim BRS Zuri nos dois cultivos.

Andrade *et al.* (2023) realizaram um estudo de caso em uma indústria siderúrgica, identificando os impactos na sustentabilidade. A pesquisa de campo consistiu em observação direta e análise de documentos, além entrevistas com os gestores. A análise ocorreu a partir de dados sobre as emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de energia, utilização de matérias-primas e reciclagem de resíduos. Os achados indicam que os impactos positivos, com a redução das emissões de GEE em aproximadamente 50% em relação à média global, além da redução de

8,90% na energia do processo de produção do aço de 2019 a 2020, apesar da produção ter aumentado 5,53% no ano.

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo é de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e como procedimentos de análise dos dados adotou-se a análise de conteúdo. Os dados foram coletados a partir dos relatórios de sustentabilidade das empresas do setor de siderurgia, os relatórios analisados referem-se ao ano de 2023. Para tal, a amostra foi definida pelas empresas listadas na Bolsa, Brasil e Balcão (B<sup>3</sup>): Gerdau; Ferbasa; CSN e Usiminas.

### 4 RESULTADOS

A análise dos dados compreendeu a leitura dos relatórios de sustentabilidade das empresas a partir da análise de conteúdo. Foram analisados os relatórios das quatro empresas, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Apresentação dos Dados

Empresa	Descrição	Tipos	Destinação	Efeitos Financeiros
Gerdau	Os coprodutos não são matéria-prima nem produto para outra etapa da cadeia no processo industrial de produção de aço, mas têm alto valor agregado, por meio de recuperação, reúso, remanufatura e reciclagem dos materiais.	Resíduos perigosos (classe I) Resíduos não perigosos (classe II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaproveitamento - 93%</li> <li>• escória gerada no alto-forno: destinada majoritariamente para cimenteiras;</li> <li>• carepa de ferro: aplicações em processos metalúrgicos;</li> <li>• agregado siderúrgico: pavimentação; primária de ruas, rodovias, estradas e estacionamentos.</li> </ul>	aumentando a utilização do coproduto gerado, preservando recursos naturais, economizando energia, reduzindo ou eliminando a necessidade de descarte de materiais em aterro e podendo gerar receita.
Ferbasa	Não identificado	Resíduos perigosos (classe I) Resíduos não perigosos (classe II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaproveitamento - cerca de 100%</li> <li>• manejo da escória de ferrocromo alto carbono, na construção civil.</li> <li>• resíduos de ferrocromo baixo carbono: aproveitamento futuro como coproduto.</li> </ul>	Não identificado
CSN	Não identificado	Resíduos perigosos (classe I) Resíduos não perigosos (classe II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaproveitamento de sucatas metálicas, cobre e outros materiais na aciaria Finos de calcário aproveitados na produção de clínquer.</li> <li>• Outro exemplo é o spinoff da Circula+, que estimula a economia circular ao promover a valorização de coprodutos e inservíveis em outras cadeias produtivas.</li> </ul>	Apenas no último ano, com dez clientes ativos, a plataforma transacionou cerca de R\$ 4,5 milhões.  Receitas geradas por vendas especiais de resíduos e coprodutos 203,6 milhões.
Usiminas	Não identificado	Não identificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 98% dos resíduos gerados nos processos são destinados, seguindo as diretrizes da economia circular da sustentabilidade.</li> </ul>	Sempre que há viabilidade econômica (o que pode variar de uma unidade para outra), os resíduos são destinados para reciclagem.

Fonte: elaborado pelos autores.

De forma geral, observou-se que o conceito de coproduto evidenciado nos relatórios diverge da literatura, ao declarar que os coprodutos não são considerados matéria-prima nem produto para outra etapa da cadeia industrial de produção de aço. No entanto, as empresas reconhecem o alto valor agregado a partir da sua destinação como recuperação, e ainda apresentam atividades de reuso, remanufatura e reciclagem.

Cabe destacar que as empresas apresentam em seus relatórios a classificação dos resíduos em perigosos e não perigosos. Dentre os perigosos foram apresentados: cloreto ferroso, alguns resíduos de cal, óleos e graxas, pó de aciaria elétrica, borra e cinza de chumbo e pó da câmara de combustão. E dentre os não perigosos: escória de alto-forno, agregado de forno-panela, agregado siderúrgico, finos de minério, óxido de ferro de aciaria e laminações, moinha de biorredutor e finos, sucata não ferrosa, resíduo do pátio de sucata, pós de despoejamento do alto-forno, da sinterização e aciaria, resíduo industrial da redução, calcário calcítico, sucata de refratário, carepa, resíduo do shredder e borra e cinza de zinco.

Em relação à destinação desses resíduos, de forma geral as empresas declararam um reaproveitamento de 90 a 100% dos resíduos gerados pelo processo siderúrgico como coprodutos em sua cadeia produtiva. Dentre os exemplos de destinação foram apresentados exemplos de coprodutos principalmente de escória gerada no alto-forno, que é destinada majoritariamente para cimenteiras direcionadas à construção civil, além de carepa de ferro com diversas aplicações em processos metalúrgicos, e o agregado siderúrgico produzido nos fornos elétricos a arco e aciarias, para a pavimentação de ruas, rodovias, estradas e estacionamentos. Há também indicação de destinação de resíduos para produção de energia. Esses achados corroboram com a literatura ao apresentar as possibilidades de destinação dos resíduos siderúrgicos. No entanto, os relatórios são limitados ao descrever como ocorre esse processo e quais os efeitos secundários dessa destinação.

## 5 CONCLUSÃO

Apesar de serem declaradas práticas em prol da sustentabilidade, os coprodutos são uma fonte de receita como apresentado por uma das empresas “esses desenvolvimentos geram benefícios não apenas ambientais, mas também financeiros, aumentando a utilização do coproduto gerado, preservando recursos naturais, economizando energia, reduzindo ou eliminando a necessidade de descarte de materiais em aterro e podendo gerar receita com determinadas destinações ou aplicações”. Em termos financeiros, uma das empresas relatou que “apenas no último ano, com dez clientes ativos, a plataforma transacionou cerca de R\$ 4,5 milhões” em coprodutos. E que a venda de resíduos como coprodutos gerou no ano de 2023 um total de 203,6 milhões. Ou seja, a destinação desses resíduos passa a ser vista não apenas como uma preocupação ambiental, mas também como uma fonte alternativa para redução de custos e obtenção de receitas.

Por fim, a presente pesquisa reforça para a necessidade do desenvolvimento de padrões para a evidenciação das informações acerca do gerenciamento de resíduos siderúrgicos, assim como a apresentação das quantidades geradas, destinadas e qual a finalidade da destinação, e os valores em termos monetários dessas atividades. A conversão de resíduos em coprodutos com valor agregado não é, por definição, economia circular, apesar de ser uma ação que aumente a sustentabilidade econômica e reduza o impacto ambiental. Cabe destacar ainda, que o uso de coprodutos precisa ser monitorado para que sejam mensurados os efeitos e impactos ambientais secundários.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de**

**Resíduos Sólidos.** Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 05 Mai de 2024.

IABr. Instituto Aço Brasil. A indústria do aço no Brasil: Instituto Aço Brasil, 2017. Disponível em: [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/04/a2/04a2a7ac-4a9f-4505-84a5-f4c54242ead7/aco\\_brasil.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/04/a2/04a2a7ac-4a9f-4505-84a5-f4c54242ead7/aco_brasil.pdf). Acesso em: 05 Mai de 2024.

IABr. Instituto Aço Brasil. Mercado Brasileiro do Aço: Instituto Aço Brasil, 2023. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2024/04/Estatistica-da-Siderurgia\\_4o\\_TRI\\_2023.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2024/04/Estatistica-da-Siderurgia_4o_TRI_2023.pdf). Acesso em: 10 Mai de 2024.

LUPU, O.; ARDELEAN, M.; SOCALICI, A.; ARDELEAN, E. Research Regarding The Capitalization Of The Waste Resulted From The Steel Industry. **Bull., Series B**, [S. l.], vol. 83, no. 1, 2021.

O'CONNOR, J.; NGUYEN, T. B. T.; HONEYANDS, T.; MONAGHAN, B.; O'DEA, D.; RINKLEBE, J.; VINU, A.; HOANG, S. A.; SINGH, G.; KIRKHAM, M. B.; BOLAN, N. Production, characterisation, utilisation, and beneficial soil application of steel slag: A review. **Journal of Hazardous Materials**, [S.l.], vol. 419, 5 Oct. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126478>.

SEBBAR, N.; LAHMILI, A.; BAHI, L.; OUADIF, L. Treatment of clay soils with steel slag, in road engineering. **E3S Web of Conferences 150**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20>. Acesso em: 10 Mai de 2024.

SENA DE ANDRADE, C.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; DE AMORIM, E. S.; GIRLÂNDIA DE MORAIS SAMPAIO, G. de M. S.; DIOGO CAVALCANTI OLIVEIRA, D. C. O.; ROCHA, J. H. A. Economia Circular do Aço na Construção Civil: Estudo de Caso de Siderúrgica: Steel Circular Economy in the Civil Construction: A Study Case of Steel Industry. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 51–63, 2023. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.51-63. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/6102>. Acesso em: 21 set. 2024.

SIDERURGIA BRASIL. **Anuário Brasileiro de Siderurgia**, 2024. Disponível em: [https://siderurgiabrasil.com.br/wp-content/uploads/2024/03/gc2024\\_site.pdf](https://siderurgiabrasil.com.br/wp-content/uploads/2024/03/gc2024_site.pdf). Acesso em: 12 Mai de 2024.

WORLDSTEEL ASSOCIATION. Steel Facts. Disponível em: <https://worldsteel.org/about-steel/steel-facts/>. Acesso em: 8 Mai de 2024.