



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia



Gestão de coprodutos siderúrgicos

Antonio Gabriel Santos de Sousa Silva

Trabalho de conclusão de curso

Orientadora: Profa. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

Ouro Preto
Fevereiro/2025

Antonio Gabriel Santos de Sousa Silva

GESTÃO DE COPRODUTOS SIDERURGICOS

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção de grau em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.a. Dra. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

OURO PRETO

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586g Silva, Antonio Gabriel Santos de Sousa.
Gestão de coprodutos siderúrgicos. [manuscrito] / Antonio Gabriel Santos de Sousa Silva. - 2025.
45 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Resíduos industriais. 2. Siderurgia. 3. Sustentabilidade e meio ambiente. I. Flausino, Bruna de Fátima Pedrosa Guedes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Cristiane Maria da Silva - CRB6-3046



FOLHA DE APROVAÇÃO

Antônio Gabriel Santos de Sousa e Silva

Gestão de coprodutos siderúrgicos

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

Aprovada em 25 de fevereiro de 2025

Membros da banca

[DSc] - Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

[DSc] - Magno Silvério Campos - (Universidade Federal de Ouro Preto)

[DSc] - Cristiano Luís Turbino de França e Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/02/2025



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/02/2025, 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](#).



Documento assinado eletronicamente por **Magno Silverio Campos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/02/2025, às 18:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Luis Turbino de Franca e Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/02/2025, às 18:47, 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, informando o código verificador **0866783** e o código CRC **FAC5540F**.

RESUMO

A indústria siderúrgica desempenha um papel fundamental na economia global, sendo responsável pela produção de materiais essenciais para diversos setores. No entanto, essa atividade também gera um grande volume de coprodutos e resíduos, cuja gestão eficiente é essencial para minimizar impactos ambientais e promover a sustentabilidade. Este trabalho tem como objetivo analisar a gestão de coprodutos na siderurgia, destacando os desafios e oportunidades para a reutilização e destinação adequada desses materiais. Para isso, é apresentado um estudo de caso comparativo entre duas grandes empresas do setor, com base em seus relatórios e informações públicas de sustentabilidade. São analisados dados sobre a geração, reaproveitamento e disposição de coprodutos, bem como a aderência dessas práticas às diretrizes ambientais e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Além disso, discute-se a influência das tecnologias disponíveis, da regulação ambiental e dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento na busca por uma gestão mais eficiente. Os resultados indicam que, embora haja avanços na valorização de coprodutos, ainda existem desafios significativos, como a falta de diferenciação clara entre resíduos e coprodutos, a predominância da disposição externa sobre o reaproveitamento interno e a necessidade de maior investimento em tecnologias sustentáveis. No estudo de caso desenvolvido os índices de reaproveitamento em relação a geração da ArcelorMittal e Gerdau no ano de 2022 são, respectivamente, 90% e 89%, e no ano de 2023 são, em sua ordem e respectivamente, 95% e 93%. A relação de disposição em relação a geração da ArcelorMittal e Gerdau no ano de 2023 são, respectivamente, 5% e 15%. Nota-se que a disponibilização de informações é desestruturada, com pouca clareza e com muita margem para dúvidas e questões em relação a dados de geração, reaproveitamento, entre outros. Conclui-se que a adoção de estratégias mais inovadoras e alinhadas aos princípios da economia circular pode não apenas reduzir impactos ambientais, mas também gerar benefícios econômicos e competitivos para as empresas siderúrgicas.

Palavras-chave: Coprodutos. Siderurgia. Sustentabilidade. Resíduos Industriais. Economia Circular.

ABSTRACT

The steel industry plays a fundamental role in the global economy, being responsible for the production of essential materials for several sectors. However, this activity also generates a large volume of by-products and waste, whose efficient management is essential to minimize environmental impacts and promote sustainability. This paper aims to analyze the management of by-products in the steel industry, highlighting the challenges and opportunities for the reuse and proper disposal of these materials. To this end, a comparative case study is presented between two large companies in the sector, based on their reports and public sustainability information. Data on the generation, reuse and provision of by-products are analyzed, as well as the adherence of these practices to environmental guidelines and the UN Sustainable Development Goals (SDGs). In addition, the influence of available technologies, environmental regulation and investments in research and development in the search for more efficient management is discussed. The results indicate that, although there has been progress in the valorization of co-products, there are still significant challenges, such as the lack of clear differentiation between waste and co-products, the predominance of external disposal over internal reuse, and the need for greater investment in sustainable technologies. In the case study developed, the reuse rates in relation to ArcelorMittal and Gerdau's generation in 2022 are, respectively, 90% and 89%, and in 2023 they are, in order and respectively, 95% and 93%. The provision ratio in relation to ArcelorMittal and Gerdau's generation in 2023 are, respectively, 5% and 15%. It should be noted that the provision of information is unstructured, with little clarity and with much room for doubts and questions regarding generation data, reuse, among others. It is concluded that the adoption of more innovative strategies aligned with the principles of the circular economy can not only reduce environmental impacts, but also generate economic and competitive benefits for steel companies.

Keywords: Co-product Management, Steel Industry, Sustainability, Industrial Waste, Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma simplificado do processo siderúrgico	17
Figura 2: Ranking dos 10 países com maior produção de aço em 2022 e 2023.....	18
Figura 3: Ranking dos estados com maior produção de aço no Brasil.....	19
Figura 4: Parque Siderúrgico Brasileiro	20
Figura 5: Corpo principal do alto forno.....	22
Figura 6: Fluxograma esquemático da etapa do refino do aço	22
Figura 7: Produção mundial de aço por processos de aciaria em 2023	24
Figura 8: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ONU	29
Figura 9: Geração do pó de aciaria.....	48
Figura 10: Geração da Lama de Aciaria.....	51
Figura 11: Trilha da Lama de Aciaria	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição da produção por processo de aciaria no Brasil em 2023.....	23
Tabela 2: Coprodutos ArcelorMittal João Monlevade/MG.....	33
Tabela 3: Coprodutos ArcelorMittal Juiz de Fora/MG	35
Tabela 4: Coprodutos ArcelorMittal Barra Mansa/MG	36
Tabela 5: Coprodutos ArcelorMittal Piracicaba/SP	36
Tabela 6: Coprodutos ArcelorMittal Resende/RJ.....	38
Tabela 7: Coprodutos ArcelorMittal Iracemápolis/SP	38
Tabela 8: Total de resíduos gerados em 2021, 2022 e 2023.....	40
Tabela 9: Total de resíduos não destinados para disposição final em 2022 e 2023	40
Tabela 10: Total de resíduos destinados para disposição final em 2022 e 2023	41
Tabela 11: Geração de resíduos e suas classificações em 2021, 2022 e 2023	43
Tabela 12: Resíduos não destinados para disposição final em 2021, 2022 e 2023	44
Tabela 13: Resíduos destinados a disposição final em 2021, 2022 e 2023.....	45
Tabela 14: Relação entre geração e disposição da Gerdau e ArcelorMittal em 2023.....	47
Tabela 15: Custo de disposição dos resíduos para a Gerdau e a ArcelorMittal em 2023	47
Tabela 16: Composição química do pó de aciaria.....	49
Tabela 17: Faixa de composição química de pós de aciaria elétrica para usinas produtoras de aço carbono e de aço inoxidável.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de reaproveitamento, disposição e utilidades dos coprodutos em comum entre Gerdau e ArcelorMittal.....	46
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo principal.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.2.3 Metodologia.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 A siderurgia	16
2.2 A importância do aço no Brasil	17
2.3 Os processos nos altos-fornos e aciarias	21
2.4 Os coprodutos	25
2.4.1 Gestão de coprodutos na siderurgia.....	26
2.5 A questão da sustentabilidade.....	28
3. ESTUDO DE CASO	32
3.1 ArcelorMittal	32
3.2 Gerdau.....	42
3.3 Os coprodutos presentes nas duas empresas estudadas.....	45
3.4 Os Desafios do pó de aciaria	48
4. CONCLUSÃO	53
5. REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A siderurgia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e industrial do Brasil, sendo um setor estratégico que impacta diretamente diversos segmentos da economia nacional. A sua história é marcada por transformações significativas, desde suas origens até os dias atuais, refletindo a evolução econômica do país e também as mudanças no cenário global.

O início da siderurgia no Brasil remonta ao século XIX, com os primeiros esforços para a produção de ferro e aço. No entanto, foi durante o século XX que a indústria siderúrgica brasileira experimentou um notável crescimento e consolidação. O processo de industrialização impulsionado a partir da década de 1930, com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) por Getúlio Vargas em 09 de abril 1941 - marco inicial da expansão da produção siderúrgica no país (CSN, 2024).

Durante as décadas seguintes, o setor passou por períodos de expansão e desafios, moldados por fatores como a urbanização acelerada, o aumento da demanda por materiais de construção e o desenvolvimento de setores-chave da economia. A década de 1970 viu um novo impulso com a criação da Companhia Vale do Rio Doce (atual Vale) e a construção da Usina Siderúrgica de Tubarão, fortalecendo a posição do Brasil como um dos importantes produtores de aço no cenário mundial.

No século XXI, a siderurgia brasileira enfrentou desafios e oportunidades em um contexto global dinâmico. A economia do país passou por transformações significativas, influenciando diretamente a demanda por aço. A busca por eficiência operacional, inovação tecnológica e a necessidade de atender às demandas sustentáveis tornaram-se imperativos para a indústria siderúrgica brasileira.

Contudo, superados os desafios e barreiras, hoje, o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores de aço do mundo, com diversas empresas atuando no setor. A produção de aço bruto, a diversificação de produtos siderúrgicos e a participação ativa no comércio internacional são características marcantes. A internacionalização das empresas brasileiras de siderurgia reflete a busca por novos mercados e parcerias estratégicas.

A produção siderúrgica, além de gerar os principais produtos como o aço, também resulta em uma variedade de coprodutos que, se gerenciados de maneira eficiente, podem tornar-se uma fonte significativa de retorno financeiro para as empresas do setor. A gestão adequada dos coprodutos não apenas contribui para a rentabilidade econômica, mas também está alinhada

com princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental, assuntos os quais serão tratados no decorrer deste trabalho.

Os coprodutos na siderurgia, por sua vez, são provenientes de etapas específicas dos processos de obtenção do aço, representando uma diversidade de materiais, como escórias, gases, poeiras e resíduos sólidos. Tradicionalmente, esses materiais eram muitas vezes considerados como resíduos indesejados, mas a evolução das práticas industriais e ambientais tem alterado essa percepção.

Apesar das oportunidades, a efetiva gestão dos coprodutos enfrenta desafios. Questões logísticas, tecnológicas e regulatórias precisam ser cuidadosamente abordadas. Além disso, a conscientização e o engajamento de toda a cadeia de produção são essenciais para assegurar a eficiência na coleta, processamento e comercialização desses materiais. Atualmente esse assunto tem grande importância, pois impacta diretamente nas questões ambientais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo principal

Realizar um estudo do gerenciamento dos coprodutos por meio de duas empresas representativas no cenário siderúrgico nacional, considerando a análise do tratamento, reaproveitamento interno e externo e a disposição final.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise geral do processo siderúrgico no Brasil, sua importância e representação no país;
- Identificar as atividades do setor siderúrgico nacional;
- Levantar os aspectos gerais de operações que ocorrem na siderurgia, a fim de identificar os coprodutos gerados;
- Verificar as possíveis ações sustentáveis associadas a gestão dos coprodutos;
- Apresentar estudo de caso baseado nas duas maiores siderúrgicas nacionais.

1.2.3 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho consiste em uma pesquisa exploratória, possível por meio da investigação de relatórios, dados empresariais, catálogos e outros acervos, utilizando dados qualitativos e quantitativos, permitindo uma análise contextualizada do setor siderúrgico nacional, com foco específico em duas grandes siderúrgicas. O estudo de caso utilizado destaca-se por sua capacidade de examinar um fenômeno em seu ambiente natural, levando em consideração sua complexidade e particularidades. Logo, a partir do estudo bibliográfico e da análise de artigos técnicos, relatórios de mercado, planos de negócios e relatórios do setor, realizou-se uma análise com foco no gerenciamento dos coprodutos siderúrgicos.

A coleta de dados segue uma combinação de fontes, como relatórios de sustentabilidade, catálogos de coprodutos, anuários empresariais, portais nacionais e internacionais sobre o tema em questão. A abordagem qualitativa permite capturar informações contextuais e percepções dos atores envolvidos, enriquecendo a compreensão sobre o gerenciamento de coprodutos. O estudo de caso não apenas descreve o gerenciamento de coprodutos, mas também analisa os índices de reaproveitamento e disposição, lucro, custos e visão geral. Os resultados obtidos são

contextualizados no cenário mais amplo do setor siderúrgico nacional, contribuindo para uma análise mais abrangente, bem como a compreensão dos desafios e das oportunidades enfrentados pelo setor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A siderurgia

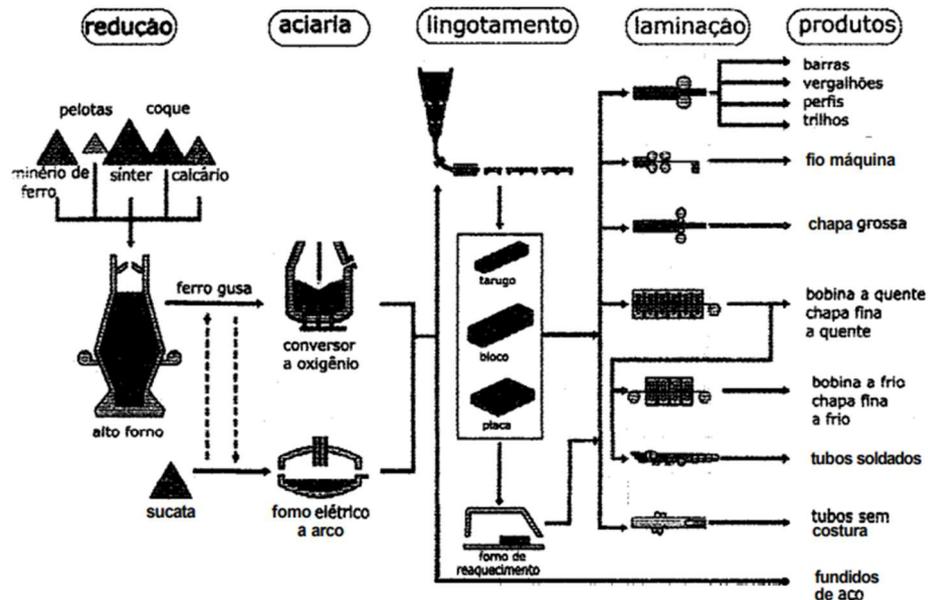
O processo siderúrgico é uma série complexa e interconectada de operações industriais dedicadas à produção de aço, um material crucial em diversas aplicações. Este processo geralmente envolve a transformação de minérios de ferro em ferro-gusa, que é posteriormente refinado para obter o aço desejado. Em termos de configuração, as usinas siderúrgicas são divididas em dois grupos: usinas integradas e usinas elétricas. As usinas integradas são aquelas em que a matéria-prima é o próprio minério de ferro, sendo necessário o carvão coque para reduzir o minério dentro dos altos-fornos. Já as usinas chamadas elétricas utilizam como matéria-prima o ferro secundário, como a sucata de aço, dessa forma como não há a necessidade da redução do minério de ferro, se faz possível a utilização de fornos elétricos, usando eletricidade como fonte de alimentação (ABM, 2007).

A etapa inicial do processo ocorre nos altos-fornos, nos quais minérios de ferro, frequentemente na forma de hematita (Fe_2O_3) ou magnetita (Fe_3O_4), são aquecidos a altas temperaturas juntamente com coque. O coque atua como agente redutor, liberando monóxido de carbono, que reage com os minérios de ferro, resultando na obtenção de ferro-gusa, uma liga rica em ferro e carbono.

Posteriormente, o ferro-gusa passa por um processo de refino conhecido como aço carbono, no qual é removido o excesso de carbono, bem como outras impurezas, para alcançar as especificações desejadas de aço. Este estágio muitas vezes envolve a fusão do ferro-gusa em fornos a arco elétrico ou fornos de panela, onde são adicionados materiais de liga e corretivos para ajustar as propriedades finais do aço.

Uma alternativa sustentável ao coque é o carvão vegetal, que pode ser utilizado em altos-fornos específicos, como parte dos esforços para reduzir as emissões de carbono associadas à produção de aço. O uso de carvão vegetal nesse contexto está alinhado com iniciativas de sustentabilidade e práticas ambientalmente conscientes, contribuindo para uma abordagem mais ecologicamente equilibrada no setor siderúrgico. A Figura 1 apresenta o copilado geral do processo siderúrgico.

Figura 1: Fluxograma simplificado do processo siderúrgico



Fonte: ABM, 2007.

2.2 A importância do aço no Brasil

A produção de aço desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo um dos setores industriais mais importantes do país. A indústria siderúrgica, representada por empresas como a CSN e a Usiminas, são essenciais para o desenvolvimento e sustentabilidade desse setor. Uma das principais contribuições do aço é a geração de empregos, tanto diretos quanto indiretos, ao longo de toda a cadeia produtiva, desde a extração de minério de ferro até a produção final do material. Essa significativa oferta de empregos impacta positivamente nas comunidades onde se encontram empresas deste ramo.

O aço desempenha um papel fundamental na vida moderna, sendo a base para a construção de infraestrutura, habitações, transportes e uma ampla gama de bens de consumo. Sua versatilidade e durabilidade fazem dele um material indispensável para o desenvolvimento sustentável. Em 2022, o consumo per capita de aço foi de 105 kg no Brasil e 226 kg no mundo, segundo a Alacero (Associação Latino Americana do Aço), evidenciando sua presença em diversos setores essenciais. Desde edificações e pontes até eletrodomésticos e equipamentos médicos, o aço está presente em soluções que impulsionam a qualidade de vida, a inovação e o crescimento econômico, reforçando sua importância estratégica para a sociedade (Alacero, 2022).

No âmbito internacional, o Brasil exporta uma quantidade significativa de aço, contribuindo com a balança comercial. A competitividade da indústria siderúrgica brasileira é vital para manter e expandir esses mercados, e o crescimento desta área aumenta constantemente, segundo o Instituto Aço Brasil:

“A produção de aço bruto cresceu 14,8% em 2021, para 36,1 milhões de toneladas. Na comparação internacional, a indústria brasileira do aço foi responsável por 1,8% da produção mundial, mantendo-se na 9ª colocação no ranking mundial de produtores de aço. Já no ranking da América Latina, o Brasil se manteve na 1ª posição, com 55,8% da produção de aço da região”.

(Instituto Aço Brasil, 2022 pag. 8)

Além disso, a busca por processos mais eficientes na produção de aço e o desenvolvimento de ligas mais avançadas impulsionam a inovação e a tecnologia no setor industrial brasileiro, melhorando a qualidade do aço produzido e posicionando o país como um *player* relevante globalmente.

De acordo com o *Worldsteel Association*, entidade internacional que reúne 71 países produtores de aço em todo o mundo e representa mais de 85% da produção mundial, o Brasil no ano de 2023 se mantém ocupando a 9ª posição no ranking dos países com maior produção de aço, segue o ranking dos 10 países com a maior produção de aço em 2022 e 2023, conforme Figura 2.

Figura 2: Ranking dos 10 países com maior produção de aço em 2022 e 2023

País	2023		2022	
	Posição	Toneladas	Posição	Toneladas
China	1	1 019.1	1	1 019.1
Índia	2	140.8	2	125.4
Japão	3	87.0	3	89.2
Estados Unidos	4	81.4	4	80.5
Rússia	5	76.0	5	71.7
Coreia do Sul	6	66.7	6	65.8
Alemanha	7	35.4	7	36.9
Túrcia	8	33.7	8	35.1
Brasil	9	31.8	9	34.1
Irã	10	31.0	10	30.6

Fonte: Worldsteel Association, 2024.

No Brasil, a participação das usinas está distribuída geograficamente conforme Figura 3, a seguir. Nota-se a maior produção de aço bruto pelo estado de Minas Gerais.

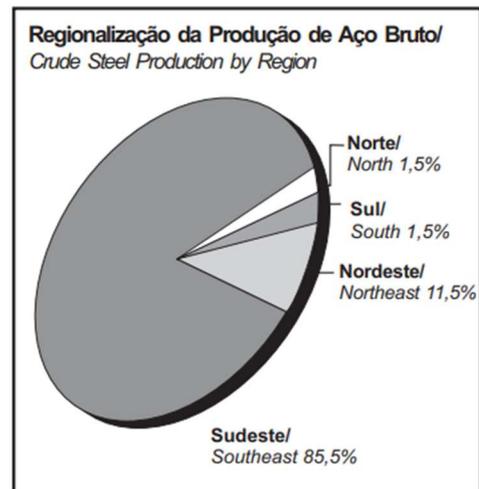
Figura 3: Ranking dos estados com maior produção de aço no Brasil

Distribuição Regional da Produção de Aço Bruto - 2023

Regional Distribution of Crude Steel Production - 2023

ESTADO/ STATE	10 ³ t	Participação/ Share (%)
Minas Gerais	9.346	29,2
Rio de Janeiro	8.627	26,9
Espírito Santo	7.049	22,0
Ceará	3.098	9,7
São Paulo	2.358	7,4
Pará	475	1,5
Maranhão	386	1,2
Rio Grande do Sul	363	1,1
Pernambuco	214	0,7
Paraná	114	0,4
BRASIL/ BRAZIL	32.030	100,0

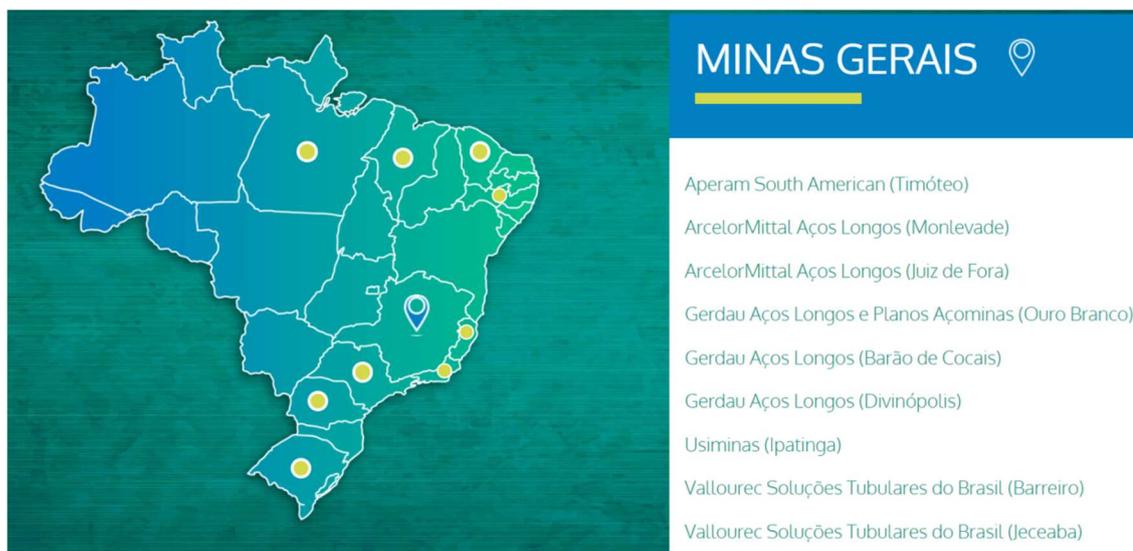
Fonte/Source: Aço Brasil



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2024(a).

Ainda segundo o Instituto Aço Brasil o “Parque Siderúrgico Brasileiro”, que é o conjunto de usinas siderúrgicas e infraestrutura associada dedicadas à transformação de minério de ferro em aço bruto e produtos siderúrgicos que compõem a indústria de produção de aço no Brasil, é representado por 15 empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais e operando 31 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, a indústria do aço no Brasil forma um robusto complexo siderúrgico pelo país. Os 10 estados que comportam usinas são os seguintes: Pará, Maranhão, Ceará, Pernambuco, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e por fim o estado com a maior concentração de usinas. Minas Gerais, que comporta 9 usinas por toda sua extensão, conforme destaque na Figura 4.

Figura 4: Parque Siderúrgico Brasileiro



Fonte: (Instituto Aço Brasil, 2024(b))

Conforme apresentado, Minas Gerais é um estado de importância crucial na produção de aço no Brasil. Seu destaque é atribuído a vários fatores interconectados. O estado abriga extensas reservas de minério de ferro, constituindo uma matéria-prima essencial para a fabricação de aço. Isso porque a grande maioria das siderúrgicas operam com alto forno a coque. Empresas siderúrgicas renomadas têm presença significativa em Minas Gerais, desempenhando papel fundamental na economia local e nacional.

A localização geográfica estratégica favorece a logística eficiente do transporte de minério de ferro para as instalações de produção de aço. A proximidade entre as minas e as plantas siderúrgicas reduz os custos logísticos e otimiza o fluxo de matérias-primas, Minas Gerais apresenta uma cadeia produtiva integrada, cobrindo desde a extração de minério de ferro até a produção final de aço. Essa integração contribui para a eficiência e competitividade do setor siderúrgico no estado. Além de fortalecer a balança comercial do Brasil por meio da exportação de produtos siderúrgicos, a indústria em Minas Gerais desempenha um papel vital no desenvolvimento regional. A geração de empregos diretos e indiretos e o estímulo ao crescimento de outras atividades econômicas contribuem para a infraestrutura e o progresso local.

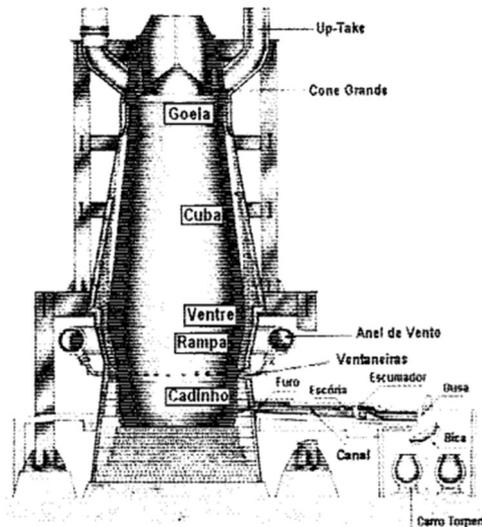
2.3 Os processos nos altos-fornos e aciarias

Os altos-fornos são equipamentos de extrema importância na siderurgia, responsáveis pela transformação do minério de ferro em ferro-gusa, a base para a produção de aço. Esse processo é essencial para a cadeia produtiva do setor, fornecendo o material primário para diversas aplicações industriais. A relevância dos altos-fornos não se limita à produção em larga escala, mas também está associada à eficiência do uso de recursos naturais, à qualidade do produto final e à integração de tecnologias que tornam a operação mais sustentável e competitiva. Como uma das etapas mais tradicionais e críticas da siderurgia, o funcionamento dos altos-fornos reflete diretamente a capacidade produtiva e a inovação no setor.

O alto-forno é um equipamento projetado para produzir ferro-gusa no estado líquido, atingindo temperaturas próximas a 1.500°C, com a qualidade e o volume adequados para assegurar o andamento eficiente dos processos produtivos seguintes. Para realizar essa operação, o alto-forno emprega como matérias-primas principais a carga metálica, composta por sinter, pelotas e minério granulado, além de combustível sólido, como coque ou carvão vegetal. Também são utilizados fundentes e injeções auxiliares, como gás natural e carvão pulverizado, para otimizar o processo (ABM, 2007).

Os altos-fornos são estruturas robustas e complexas, compostas por diversos componentes que operam de forma integrada para realizar a produção de ferro-gusa. Cada elemento tem uma função específica no processo, garantindo eficiência e continuidade operacional. Para facilitar a compreensão de sua estrutura, é apresentada na Figura 5 uma imagem ilustrativa do corpo principal de um alto-forno, destacando suas partes mais importantes.

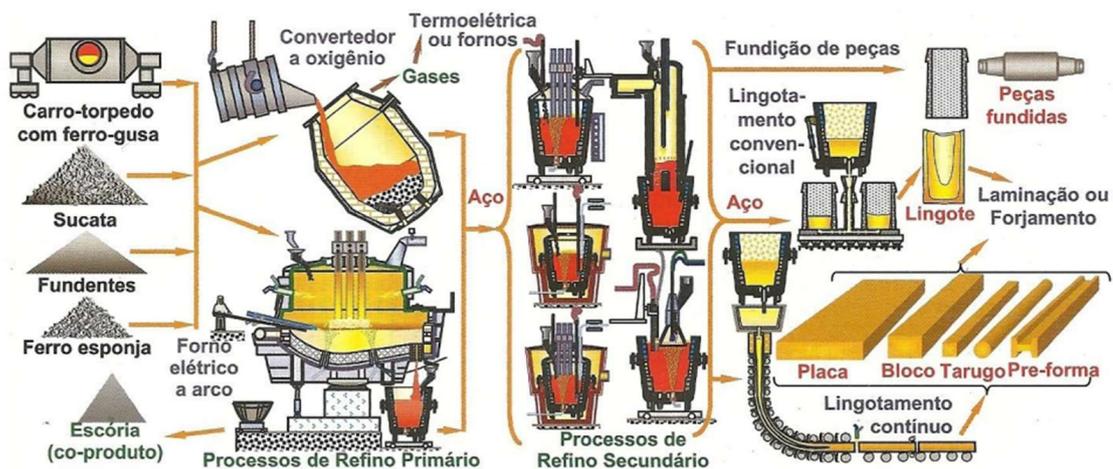
Figura 5: Corpo principal do alto forno



Fonte: ABM, 2007.

As aciarias desempenham um papel crucial na produção de aço, um material fundamental em diversas indústrias, incluindo construção, automotiva, eletrônica e muitas outras (vide fluxograma da Figura 6). A eficiência e precisão no processo de aciaria são essenciais para garantir a qualidade do aço produzido e atender às exigências específicas de cada aplicação.

Figura 6: Fluxograma esquemático da etapa do refino do aço



Fonte: RIZZO, 2006.

Uma aciaria é uma instalação industrial especializada na produção de aço a partir de matéria-prima bruta, como ferro-gusa ou sucata de metal. O processo realizado na aciaria é conhecido

como refino secundário, no qual o ferro-gusa é refinado para obter o aço com as características desejadas. Esse refinamento envolve a remoção de impurezas e ajuste da composição química para atender aos requisitos específicos de aplicação do aço.

O processo muitas vezes inicia com a carga do ferro-gusa em um forno de panela, também conhecido como conversor. Existem dois tipos principais de fornos de panela: o conversor a oxigênio, no qual oxigênio puro é injetado no ferro-gusa fundido para oxidar as impurezas, e o conversor a ar, onde o ar atmosférico é utilizado. Durante o processo de conversão, impurezas como carbono, silício e manganês são removidas. O controle preciso da composição química é essencial para garantir que o aço atenda aos padrões específicos de qualidade e aplicação. Dependendo da aplicação final do aço, podem ser adicionados elementos de liga para conferir propriedades específicas, como resistência à corrosão, dureza, tenacidade, entre outras.

Após o refinamento na aciaria, o aço pode ser moldado de várias maneiras. O lingotamento contínuo é um método eficiente e comum em que o aço é solidificado em formatos como placas, tarugos ou perfis diretamente, sem a necessidade de moldes. O lingotamento descontínuo, por outro lado, envolve o despejo do aço fundido em moldes para formar lingotes sólidos. O aço pode passar por tratamentos térmicos, como recozimento e têmpera para melhorar suas propriedades mecânicas. Além disso, processos de acabamento, como laminação a quente ou a frio, podem ser aplicados para obter a forma e as dimensões finais desejadas. De acordo com dados do Instituto Aço Brasil, a produção brasileira de aço bruto no ano de 2023 foi de 32 milhões de toneladas, seguindo a distribuição perante as modalidades de processamento, conforme Tabela 1.

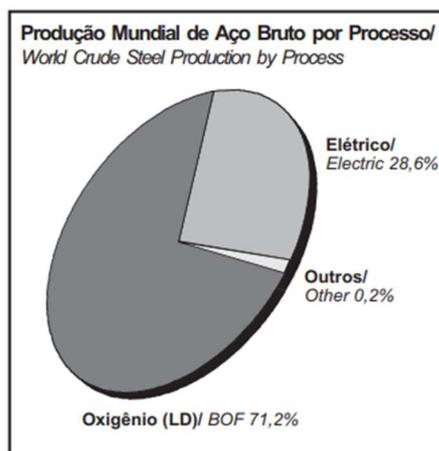
Tabela 1: Distribuição da produção por processo de aciaria no Brasil em 2023

Processo de Aciaria	10³t	Participação (%)
Oxigênio (LD)/BOF	24.327	76,0
Elétrico	7.290	22,9
EOF	413	1,3
Total	32.030	100,0

Fonte: Instituto Aço Brasil, 2024(b).

Em relação à produção mundial, em 2023, houve a seguinte distribuição pelos processos oxigênio (LD)/BOF, elétrico e outros (Figura 7):

Figura 7: Produção mundial de aço por processos de aciaria em 2023



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2024(a).

A produção de aço é uma das atividades industriais mais significativas e essenciais para a economia global. O aço é amplamente utilizado na construção civil, na fabricação de veículos, na produção de eletrodomésticos, na infraestrutura de transporte e em uma infinidade de outros setores. Atualmente, a produção de aço é um processo altamente sofisticado e tecnologicamente avançado, que combina métodos tradicionais com inovações de ponta para atender à crescente demanda por este material crucial. Neste contexto, este texto explora os principais aspectos da produção de aço, desde as matérias-primas e os métodos de produção até as tendências e os desafios enfrentados pela indústria siderúrgica nos dias de hoje. Representada por 15 empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais e operando 31 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, a indústria do aço no Brasil foi responsável pela produção, em 2022, de 34,1 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a 9ª posição no *ranking* da produção mundial (Instituto Aço Brasil, 2022c).

Atualmente, diante do cenário em que se encontra o setor, percebe-se que o mercado do aço nacional se encontra em uma realidade difícil. O aço importado conquistou o mercado brasileiro devido seu baixo custo em relação ao produto nacional, por conta de não haver taxaço nas importações. Logo, o aço internacional disputa o mercado com a vantagem de um baixo preço, e isso o torna muito atrativo para as empresas nacionais. A queda da produção e a consequente

expansão das importações pelo Brasil representam um desafio significativo para a indústria siderúrgica do país. Fatores como a falta de investimento em modernização de infraestrutura, altos custos de produção e a concorrência desleal de produtos estrangeiros têm contribuído para esse cenário. Soma-se a isso, a busca pela sustentabilidade que as empresas do setor siderúrgico precisam para enquadrarem-se da melhor forma possível à realidade das mudanças climáticas.

A dependência crescente do aço importado não apenas enfraquece a autonomia econômica nacional, mas também coloca em risco a segurança industrial e a capacidade de competitividade do setor siderúrgico brasileiro. Para reverter essa tendência preocupante, são necessários investimentos em tecnologia, políticas de incentivo à produção nacional e medidas que promovam a equidade no comércio internacional.

2.4 Os coprodutos

Com o passar do tempo, as pressões a respeito da preservação dos recursos naturais cresceram, levando a uma maior pesquisa sobre a questão do reaproveitamento de resíduos que, inclusive, passaram a ser tratados sob a ótica da produção mais limpa e eficiente. E, na indústria siderúrgica não foi diferente.

Os resíduos resultantes dos processos da fabricação do aço recebem, hoje, duas possíveis classificações: resíduos, quando não podem ser reproveitados ou comercializados (considerando, obviamente, o estado atual da tecnologia), tendo como solução a disposição em aterros específicos, respeitando a legislação ambiental vigente e os coprodutos que podem ser reaproveitados e utilizados minimizando assim a extração de recursos. Nesse sentido, os coprodutos, como são chamados pela siderurgia, não deixam de ser um tipo de produto, que é gerado por uma indústria e pode ser utilizado dentro e/ou fora das instalações industriais onde foi gerado, agregando economia e sustentabilidade em outros outros segmentos industriais como fonte de matérias-primas.

Esse entendimento é importante pois vai ao encontro do que preconiza a legislação brasileira sobre resíduos. Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, em sua norma 10004:2004, são definidos como sendo resíduos sólidos ou semi-sólidos aqueles resultantes das atividades industriais, comerciais, hospitalares ou agrícolas. A norma também classifica os resíduos sólidos com base na sua origem, tipo, composição e características, o que é fundamental para definir a destinação adequada e avaliar os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, conforme descrito a seguir.

- Classe I - Perigosos: incluem resíduos que apresentam propriedades perigosas, como corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade e inflamabilidade, podendo oferecer riscos significativos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente. São resíduos originados de diversas fontes, desde processos industriais até líquidos e gases. Há uma legislação específica para comercialização

desses resíduos. (ABNT, 2004).

- Classe II - Não Perigosos, que são subdivididos em:

- Classe II A - Não Inertes: resíduos que não se enquadram na classe I, mas que podem ter características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade, apresentando algum impacto potencial, embora menor, ao meio ambiente.

- Classe II B - Inertes: resíduos que, quando submetidos a testes de solubilidade, não liberam contaminantes em concentrações que possam prejudicar a saúde humana e o meio ambiente.

A partir da classificação dos coprodutos é definido quais os requisitos obrigatórios para sua comercialização, reaproveitamento ou disposição. Os coprodutos classe I requerem licenciamentos e documentações específicas para seu manejo, tornando seu gerenciamento moroso e rigoroso. Os coprodutos classe II tem maior facilidade, pois não requer muitas especificações.

Vigente também no país, desde 2010, está a Lei nº 12.305 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, onde se encontra a seguinte definição:

“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 técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

2.4.1 Gestão de coprodutos na siderurgia

Com o crescimento do interesse em desempenho sustentável, os coprodutos passaram a representar uma parte importante dos negócios da indústria siderúrgica. Distintos dos produtos principais, os coprodutos desempenham papéis significativos em várias aplicações industriais e comerciais e podem incluir uma variedade de subprodutos e resíduos que surgem durante as

diversas etapas do processo siderúrgico, desde a extração de matérias-primas até a produção final do metal. Esses materiais muitas vezes possuem valor econômico e podem ser reaproveitados dentro e fora da siderurgia, em diversas outras indústrias, contribuindo para uma maior eficiência ambiental e econômica. A compreensão da natureza, do uso e gerenciamento dos coprodutos da siderurgia é fundamental tanto para a própria indústria quanto para outros setores industriais e contribui para o desenvolvimento sustentável.

Diversas empresas, alinhadas com a proposta de economia circular e sustentabilidade, concentram esforços no desenvolvimento de novas tecnologias que permitem a reintegração desses materiais em suas próprias instalações ou em outros processos produtivos de outros setores econômicos, visando reduzir a necessidade de disposição final dos mesmos. Tais iniciativas não só têm impacto positivo no meio ambiente, preservando os recursos naturais, economizando energia, mas também trazem benefícios financeiros, gerando receita com determinados usos (internos e externos) dos coprodutos.

Normalmente, a gestão de coprodutos é realizada pelas equipes dedicadas a essas questões e conta com o apoio da equipe de Meio Ambiente. Participam também dessa gestão as áreas operacionais geradoras de coprodutos. Quanto às funções, a equipe de coprodutos tem a atribuição comercial (venda, doação, destinações) e de pesquisa e desenvolvimento dos coprodutos; a equipe de Meio Ambiente coordena o tratamento e destinação correta e a fiscalização das licenças ambientais e todos os requisitos necessários para prosseguir com o uso dos coprodutos; por fim as áreas operacionais realizam o manejo e o armazenamento interno dos mesmos, antes de serem encaminhados para reaproveitamento ou disposição final.

A disposição em aterro é a destinação mais problemática para as empresas, pois além do custo ser alto, pode acabar gerando um passivo ambiental. Por isso, é importante desenvolver pesquisas para obter outras alternativas de reaproveitamento, considerando que podem existir potenciais formas de reaproveitamento sustentável desses materiais que ainda não foram descobertas.

O cenário perfeito para as empresas é que os coprodutos sejam usados internamente, retornando ao processo como fonte coadjuvante na maioria dos casos. Quando isso não é possível, a segunda alternativa é o desenvolvimento de clientes e posterior venda do material, o que se classifica como destinação correta quando o cliente é apto a receber o material, além da geração de receita para a empresa.

Uma forma de controle é por meio da realização de auditorias internas, que constituem uma importante ferramenta de fiscalização dos processos produtivos, bem como de auditorias externas nos locais receptores de coprodutos, onde os mesmos devem receber adequado tratamento, garantindo a conformidade com as normas ambientais vigentes.

2.5 A questão da sustentabilidade

A primeira vez que se pensou em uma forma de desenvolvimento com a inserção da questão ambiental aliada a humana e econômica aconteceu no início dos anos 1970 com a criação do conceito de “ecodesenvolvimento”, proposto por Maurice Strong. Nele havia cinco dimensões de sustentabilidade (social, econômica, ecológica, cultural e espacial/geográfica). Em 1987, outro conceito foi criado como forma de promover o desenvolvimento das nações. Tratava-se do “desenvolvimento sustentável”, cunhado pela comissão Brundtland no documento conhecido mundialmente como relatório “Nosso Futuro Comum” (PHILIPPI Jr. et al, 2013).

A disseminação do desenvolvimento sustentável ocorreu na Conferência das Nações Unidas para Desenvolvimento Sustentável, em 1992, no Rio de Janeiro (Rio 92), em que foram produzidos importantes documentos como a Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas, Convenção Quadro sobre Biodiversidade, a carta do Rio e Agenda 21. A partir de então, a sustentabilidade ganhou espaço nas discussões das agendas de várias nações, trazendo a questão do crescimento econômico frente às novas demandas socioambientais (PHILIPPI Jr. et al, 2013).

A sustentabilidade é um conceito central que orienta nossas interações com o meio ambiente e com a sociedade. Essencialmente, trata-se de um compromisso em equilibrar as necessidades do presente com as necessidades das gerações futuras, visando a preservação dos recursos naturais, a proteção do meio ambiente e o bem-estar social, ao mesmo tempo em que promove o desenvolvimento econômico de forma responsável.

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Esse conjunto de 17 objetivos e 169 metas foi desenvolvido para enfrentar desafios globais urgentes, como a erradicação da pobreza, a proteção do meio ambiente e a promoção da prosperidade para todos. Os ODS foram criados para dar continuidade aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), ampliando seu escopo e incorporando de forma mais integrada as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável. Desde então, as nações,

empresas e setores produtivos vêm buscando formas de alinhar suas atividades a essas diretrizes, incluindo a indústria siderúrgica, que desempenha um papel crucial na transição para um modelo mais sustentável de produção e consumo.

A gestão de coprodutos, quando alinhada a esses ODS, contribui significativamente para questões como a promoção de consumo e produção responsáveis, a mitigação de impactos ambientais, a inovação em processos industriais e o combate às mudanças climáticas. Assim, este capítulo destaca os ODS mais relevantes para a temática, conectando suas metas com as práticas do setor siderúrgico e o papel essencial das empresas no avanço da sustentabilidade global.

Foram estabelecidos um total de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são fundamentados em princípios de produção e consumo sustentáveis, preservação ambiental e promoção do bem-estar social e econômico. Nesta seção, serão apresentados todos os 17 objetivos (Figura 8), com destaque especial para aqueles que estão diretamente alinhados à gestão sustentável de coprodutos. Essa abordagem permitirá evidenciar as conexões entre as metas globais propostas na Agenda 2030 e as práticas do setor siderúrgico, ressaltando a contribuição desse tema para o avanço da sustentabilidade.

Figura 8: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ONU



Fonte: ONU, 2024.

Dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, quatro foram selecionados neste trabalho por apresentarem ligação direta com a gestão sustentável de coprodutos: Saúde

e Bem-Estar (ODS 3), Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11), Consumo e Produção Sustentáveis (ODS 12) e Vida Terrestre (ODS 15).

- ODS 3 - Saúde e Bem-Estar: A gestão responsável de coprodutos reduz o descarte inadequado de resíduos e a poluição ambiental, minimizando os riscos à saúde pública, como a contaminação de água, solo e ar, e promovendo condições mais seguras para as comunidades próximas às operações industriais.
- ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis: A valorização de coprodutos contribui para a redução de resíduos em aterros sanitários, fomentando o uso eficiente de recursos e soluções urbanas mais sustentáveis, como o reaproveitamento de materiais em infraestruturas urbanas.
- ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis: A gestão sustentável de coprodutos está diretamente alinhada ao uso responsável de recursos naturais, à redução de desperdícios e ao estímulo de práticas industriais que promovam a reciclagem e a reutilização de materiais.
- ODS 15 - Vida Terrestre: A destinação adequada de coprodutos evita a degradação do solo e dos ecossistemas terrestres, preservando habitats naturais e reduzindo os impactos negativos da atividade industrial sobre a biodiversidade.

Esses quatro objetivos refletem a relevância da gestão de coprodutos para a construção de um futuro mais sustentável, integrando práticas responsáveis à conservação ambiental e ao bem-estar social.

Na siderurgia, uma indústria fundamental para a economia global, enfrenta-se desafios significativos em relação à sustentabilidade. As operações tradicionais ali desenvolvidas até a atualidade são conhecidas por gerarem grande quantidade de resíduos, o que afeta o meio ambiente, além de outras emissões de poluentes. Para enfrentar esses desafios, a siderurgia está passando por uma transformação em direção ao tema, o que envolve investimentos em eficiência energética, conservação de energia em seus processos produtivos e adoção de tecnologias mais limpas. Além disso, a redução de emissões atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE) é uma prioridade, com a implementação de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CAC) e a maior participação de fontes de energia renovável no atendimento às demandas energéticas do setor.

A reciclagem e reutilização de materiais, como o caso dos coprodutos, desempenham um papel importante na redução do impacto ambiental da siderurgia, diminuindo a demanda por recursos

naturais, além de gerar receita para as empresas. Soma-se, ainda, a inovação tecnológica na busca de uma produção mais limpa e eficiente.

A exemplo de sustentabilidade na siderurgia cita-se a Vallourec que iniciou o “Projeto Siderurgia Sustentável”, que tem como objetivo a utilização do coproduto moinha de carvão vegetal, que é gerado nos altos fornos, e pode ser utilizado como combustível renovável na pelletização do minério de ferro em substituição ao gás natural. O resultado do uso desse coproduto no processo evitou a emissão de 80 milhões de toneladas de CO₂ entre os anos de 2017 a 2019, representando uma economia de R\$ 52 milhões por conta da diferença de custo entre o gás natural e a moinha de carvão vegetal (resíduo). O projeto em questão foi reconhecido em 2020 como o projeto de maior impacto ambiental positivo dentre vários outros voltados para sustentabilidade desenvolvidos pela Vallourec nos últimos anos (Instituto Aço Brasil, 2020).

Em resumo, a sustentabilidade na siderurgia exige um compromisso contínuo com a eficiência, a inovação e a responsabilidade ambiental. Ao adotar práticas sustentáveis, as siderúrgicas não apenas reduzem seu impacto no meio ambiente, mas também fortalecem sua posição competitiva no mercado, atendendo às demandas crescentes por produtos responsáveis e ecologicamente corretos, além de criar oportunidade de redução de custos e aumento de receitas.

3. ESTUDO DE CASO

Como forma de melhorar a compreensão acerca da gestão sustentável de coprodutos siderúrgicos, o presente estudo aborda o caso de duas empresas siderúrgicas de grande relevância mundial e atuantes no Brasil: Gerdau e ArcelorMittal.

A análise foi elaborada com base em dados dos relatórios públicos divulgados por essas empresas, com destaque às informações pertinentes às práticas adotadas na gestão de coprodutos e resíduos. Além de apresentar as estratégias e ações de cada empresa, o estudo também traz comparações entre elas, considerando aspectos como a forma de definição de coprodutos, suas classificações segundo a ABNT, as normas legais aplicáveis, os índices de geração, os tipos de reaproveitamento e de disposição final, os custos e investimentos. O intuito é fornecer ao leitor a possibilidade de identificar semelhanças, diferenças, tendências e boas práticas no setor siderúrgico nacional, contribuindo para uma visão abrangente e crítica sobre como essas empresas estruturam suas políticas e enfrentam os desafios relacionados à sustentabilidade e à eficiência de seus processos produtivos.

3.1 ArcelorMittal

A ArcelorMittal é uma das maiores e mais importantes siderúrgicas do Brasil, destacando-se pela sua capacidade produtiva e impacto no setor. Com uma produção média anual de 15,5 milhões de toneladas de aço bruto, a empresa desempenha um papel crucial na indústria siderúrgica nacional. Contando com aproximadamente 20 mil empregados, a ArcelorMittal combina tecnologia avançada e *expertise* para atender às demandas do mercado. Em 2023, registrou uma receita líquida consolidada de R\$ 69,8 bilhões, reforçando sua relevância econômica e seu compromisso com a excelência e a sustentabilidade (ArcelorMittal, 2023).

A empresa disponibiliza catálogos de seus coprodutos gerados, dividindo essas informações por usinas. Logo, a partir destes catálogos é possível identificar quais e quantos coprodutos são gerados, bem como a compreensão de como os mesmos são gerenciados.

Segundo o Catálogo de Coprodutos da ArcelorMittal, publicado em 2021, a unidade de João Monlevade, Minas Gerais, desenvolveu a gestão de 40 coprodutos a partir de uma geração total de 64.266 toneladas de resíduos por mês. Deste volume, 12.139,5 toneladas foram recicladas internamente, enquanto 40.345 toneladas foram comercializadas. Além disso, 11.390 toneladas foram doadas para diversas finalidades, e apenas 391,5 toneladas tiveram como destino o aterro

sanitário, o que a empresa pontuou como maximização no reaproveitamento de materiais e contribuição ativa para a sustentabilidade do planeta.

A seguir, na Tabela 2, encontram-se os 44 coprodutos desenvolvidos, conforme dados Catálogo de coprodutos da ArcelorMittal de João Monlevade, juntamente com os respectivos locais de geração e seus potenciais aplicações.

Tabela 2: Coprodutos ArcelorMittal João Monlevade/MG

COPRODUTOS	LOCAL DE GERAÇÃO	POTENCIAIS APLICAÇÕES	GERAÇÃO POR MÊS
Pó do Precipitador 3º Campo	Sinterização	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	20 t
Finos Sinterização	Sinterização	Produção de sínter	700 t
Pó do Coque Breeze	Sinterização	Produção de sínter	2 t
Pó do Precipitador Eletrostático Principal	Sinterização	Produção de sínter	1.100 t
Pó do Precipitador Eletrostático Secundário	Sinterização	Produção de sínter	3.040 t
Lama de Alto Forno	Utilidades	Fabricação de cerâmicas, briquetes	170 t
Lama da Laminação	Utilidades	Briquetes metálicos Recuperação de metálicos	230 t
Lama da ERA	Utilidades	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	50 t
Lama da ETA Potável	Utilidades	Fabricação de cerâmicas	40 t
Lama de Limpeza de Tanques	Alto Forno	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	80 t
Lama de Aciaria	Utilidades	Briquete metálicos e refrigerantes	2.500 t
Escória Granulada de Alto Forno	Alto Forno	Fabricação de cimento	34.000 t
Refratários Moldáveis	Alto Forno	Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	100 t
Refratários Não Moldáveis	Alto Forno	Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	50 t
Escória Não Granulada de Dry Pit	Alto Forno	Recuperação de metálicos	80 t
Pó dos Sistemas de Despoeiramentos do Alto Forno	Alto Forno	Produção de sínter	350 t
Pó de Limpeza do Alto Forno	Alto Forno	Produção de sínter	1.150 t
Finos de Minério	Alto Forno	Fabricação de sínter	531 t
Refratário do Convertedor	Aciaria	Reutilização em aciaria elétrica Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	262 t
Refratário de Panela de Aço e Gusa	Aciaria	Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	320 t
Placa Deslizante, Placa Fixa e Coletor	Aciaria	Reciclagem de refratários	26 t
Carepas	Aciaria	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquetes metálicos	90 t

		Briquetes refrigerantes	
Pó Carro Torpedo.	Aciaria	Briquetes metálicos Recuperação de metálicos	9 t
Pó de Cal Contaminado	Aciaria	Ligante para briquetes	80 t
Pó Despoeiramento Secundário Aciaria	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	125 t
Pó da Dessulfuração ETG	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	5 t
Pó Forno Panela	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	10 t
Pó Diversos	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	20 t
Finos do Silo de Cal	Aciaria	Fabricação de sinter	550 t
Escória Bruta de Aciaria	Aciaria	Produção de aço Fundente aciaria	10.310 t
Escória Bruta de Dessulfuração	Aciaria	Produção de aço	3.250 t
Fundo de Baía	Aciaria	Produção de aço	50 t
Escória de Gusa com Finos Metálicos.	Planta de Beneficiamento de Escória	Recuperação de metálicos fabricação de contrapeso	3.022 t
Chumbinho	Planta de Beneficiamento de Escória	Recuperação de metálicos fabricação de contrapeso e baterias	386 t
Terra do Fundo de Baía	Planta de Beneficiamento de Escória	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	41,50 t
Agregado Siderúrgico	Planta de Beneficiamento de Escória	Pavimentação	8.430 t
Escória Recirculada.	Planta de Beneficiamento de Escória	Material refrigerante do convertedor	255 t
Metálicos Recuperado do Fundo de Baía	Planta de Beneficiamento de Escória	Produção de aço	8,5 t
Metálicos Recuperados da Escória de Aciaria	Planta de Beneficiamento de Escória	Produção de aço Fundente de aciaria	4.700 t
Metálicos Recuperados da Escória de Dessulfuração	Planta de Beneficiamento de Escória	Produção de aço	Não apresentado
Carepas	Laminação	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquete metálicos Briquetes refrigerantes	1.550 t
Limalha de Esmerilhadeira	GACAT Controle de Tarugos	Produção de sinter Produção de aço	220 t
Pó de Esmerilhadeira	GACAT Controle de Tarugos	Produção de sinter	3 t
Over Size do MPR	Planta MPR	Produção de ferro gusa	50 t

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2021.

Para a usina de Juiz de Fora, em 2022 ocorreu a gestão de 15 coprodutos (Tabela 3), contemplando uma geração total de 40.000 toneladas de resíduos por mês. Deste volume, 1.600

toneladas foram recicladas internamente, enquanto 20.100 toneladas foram comercializadas. Além disso, 9.900 toneladas foram doadas para diversas finalidades, e 8.400 toneladas tiveram como destino o aterro sanitário. Abaixo segue a tabela dos coprodutos disponibilizado pelo catálogo:

Tabela 3: Coprodutos ArcelorMittal Juiz de Fora/MG

COPRODUTOS	LOCAL DE GERAÇÃO	POTENCIAIS APLICAÇÕES	GERAÇÃO POR MÊS
Escória Granulada de Alto Forno	Alto Forno	Fabricação de Cimento	7.000 t
Pó de Balão	Alto Forno	Produção de Aço	450 t
Pó da Casa de Corrida	Alto Forno	Produção de Aço	800 t
Pó de Carvão	Alto Forno	Produção de Aço	180 t
Lama de Alto-Forno	Alto Forno	Fabricação de cerâmicas briquetes	500 t
Finos de Minério	Alto Forno	Produção de Aço	5.000 t
Moinha de Carvão	Alto Forno	Produção de Aço	5.700 t
Terra do Sheredder	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	3.500 t
Fluff	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	1.500 t
Carepa de Aciaria	Aciaria	Reciclagem de refratários	190 t
Escória FEA+FP - Agregado	Aciaria	Fabricação de Cimento	8.000 t
Pó de FEA	Aciaria	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso de aterro	700 t
Carepa de Laminação	Laminação, Trefilaria e Utilidades	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquete metálicos Briquete refrigerantes	650 t
Carepa de Trefilaria	Laminação, Trefilaria e Utilidades	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquete metálicos Briquete refrigerantes	75 t
Lama da UD	Laminação, Trefilaria e Utilidades	Projetos em desenvolvimento para eliminar o uso em aterro	75 t

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2022.

Em 2023, a usina de Barra Mansa desenvolveu a gestão de 10 coprodutos a partir de uma geração total de 15.870 toneladas de resíduos por mês, conforme Tabela 4. Deste volume, 1.800 toneladas foram recicladas internamente, enquanto 1.770 toneladas foram comercializadas. Além disso, 2.000 toneladas foram doadas para diversas finalidades, e 10.300 toneladas tiveram como destino o aterro sanitário.

Tabela 4: Coprodutos ArcelorMittal Barra Mansa/MG

COPRODUTOS	LOCAL DE GERAÇÃO	POTENCIAIS APLICAÇÕES	GERAÇÃO POR MÊS
Terra de Gusa	Pátio de Metálicos	Recuperação Metálica Fabricação de Cimento Fabricação de Cerâmicas	500 t
Impurezas do Shredder	Pátio de Metálicos	Recuperação Metálica	2.400 t
Terra de Sucata	Pátio de Metálicos	Recuperação de áreas degradadas Recuperação metálica Fabricação de cimento Fabricação de cerâmicas	3.000 t
Recuperado de Terra	Pátio de Metálicos	Recuperação metálica	1.800 t
Pó da Câmara de Combustão	Aciaria	Recuperação metálica Fabricação de briquetes	50 t
Pós de Despoeiramento	Aciaria	Recuperação de Zinco Recuperação de Metais Fabricação de briquetes	350 t
Cal	Aciaria	Reuso (Controle de odor e outros) Ligantes para briquetes Consumo na construção civil Reuso correção de PH	50 t
Carepa	Aciaria e Laminação	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquete metálicos Briquetes refrigerantes	700 t
Escória Bruta	Aciaria	Recuperação de metálicos	2.000 t
Refratários	Aciaria e Laminação	Fabricação de refratários Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	120 t

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2023a.

A unidade semi integrada de Piracicaba desenvolveu em 2023 a gestão de 18 coprodutos a partir de uma geração total de 15.870 toneladas de resíduos por mês, conforme Tabela 5. Contudo não foram informados os números de reaproveitamento e disposição.

Tabela 5: Coprodutos ArcelorMittal Piracicaba/SP

COPRODUTOS	LOCAL DE GERAÇÃO	POTENCIAIS APLICAÇÕES	GERAÇÃO POR MÊS
Terra de Sucata Processada	Pátio de Metálicos	Recuperação de áreas degradadas Recuperação metálica Fabricação de cerâmica	3.300 t
Terra de Gusa	Pátio de Metálicos	Recuperação metálica Fabricação de cerâmica	400 t
Metálicos Recuperados da Terra de Sucata	Pátio de Metálicos	Produção de aço	1.800 t
Pó do Despoeiramento do FEA	Aciaria	Recuperação de Zinco Blend para cimenteira	1.100 t

Pó da Câmara de Combustão	Aciaria	Recuperação metálica Fabricação de briquetes	100 t
Pó do Despoeiramento do Forno Panela	Aciaria	Recuperação de Zinco	20 t
Escória de Panela	Aciaria	Recuperação de metálicos Fabricação de agregado siderúrgico	1,4 t
Escória Bruta da Aciaria	Aciaria	Recuperação de metálicos Fabricação de agregado siderúrgico	11.500 t
Pó de Limpeza do Distribuidor	Aciaria	Fabricação de refratários Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	700 t
Refratário do Forno Elétrico a Arco	Aciaria	Fabricação de refratários Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	30 t
Placas Refratárias	Aciaria	Reciclagem de refratários	19 t
Refratários do Forno Panela	Aciaria	Recuperação de Zinco	10 t
Carepa	Laminação	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquete metálicos Briquetes refrigerantes	1.140 t
Refratário do Forno de Reaquecimento	Laminação	Fabricação de refratários Fabricação de massa refratária	270 t
Agregado siderúrgico	Planta de Beneficiamento de Escória	Sub-base asfáltica Fabricação de concreto Fabricação de artefatos de concreto	10.000 t
Metálicos Recuperados da Escória - Chumbinho	Planta de Beneficiamento de Escória	Recuperação de metálicos Produção de ligas Briquetes metálicos	180 t
Metálicos Recuperados da Escória - A	Planta de Beneficiamento de Escória	Recuperação de metálicos Produção de ligas Briquetes metálicos	100 t
Metálicos Recuperados da Escória - B	Planta de Beneficiamento de Escória	Recuperação de metálicos Produção de ligas Briquetes metálicos	100 t

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2023b.

Segundo o Catálogo de Coprodutos da ArcelorMittal de Resende/RJ, publicado em junho de 2023, a unidade desenvolveu a gestão de 11 coprodutos a partir de uma geração total de 24.670 toneladas de resíduos por mês. Deste volume, 10.400 toneladas foram recicladas internamente, enquanto 2.770 toneladas foram comercializadas. Além disso, 9.500 toneladas foram doadas para diversas finalidades, e 2.000 toneladas tiveram como destino os aterros sanitários, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Coprodutos ArcelorMittal Resende/RJ

COPRODUTOS	LOCAL DE GERAÇÃO	POTENCIAIS APLICAÇÕES	GERAÇÃO POR MÊS
Terra de Gusa	Pátio de Metálicos	Recuperação metálica Fabricação de cerâmica Fabricação cerâmica	500 t
Terra de Sucata	Pátio de Metálicos	Recuperação de áreas degradadas Recuperação metálica Fabricação de cimento Fabricação cerâmica	2.000 t
Metálicos Recuperados da Escória de Aciaria: Sucata C	Planta de Beneficiamento de Escória	Recuperação de metálicos	100 t
Agregado Siderúrgico	Planta de Beneficiamento de Escória	Reuso em vias vicinais Pavimentação Fabricação de artefatos de concreto	9.500 t
Pó da Câmara de Combustão	Aciaria	Recuperação metálica Fabricação de briquetes	100 t
Pós de Despoeiramento	Aciaria	Recuperação de Zinco Recuperação de metais Fabricação de briquetes	9000 t
Cal	Aciaria	Reuso (Controle de odor e outros) Ligantes para briquetes. Consumo na construção civil Reuso (Correção de PH)	100 t
Refratários	Aciaria e Laminação	Fabricação de refratários Fabricação de massa refratária Chamote para uso em aciaria como escória sintética	120 t
Carepa	Aciaria, Laminação e Trefilaria	Produção de ferro gusa Produção de aço Produção de ligas Briquete metálicos Briquetes refrigerantes	950 t

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2023c.

A ArcelorMittal de Iracemápolis, é a unidade de processamento de sucata metálica para abastecer, principalmente, as aciarias elétricas do Grupo no Brasil. Nesta planta é produzido somente dois coprodutos, porém a empresa não expôs seus números de reaproveitamento e disposição, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Coprodutos ArcelorMittal Iracemápolis/SP

COPRODUTOS	LOCAL DE GERAÇÃO	POTENCIAIS APLICAÇÕES	GERAÇÃO POR MÊS
Fluff	Planta de Beneficiamento	Produção de Aço	3.300 t
Terra de Processamento da Sucata	Planta de Beneficiamento	Produção de Aço	9.718 t

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2023d.

Embora a ArcelorMittal disponibilize sete catálogos de coprodutos em seu portal, permitindo acesso a informações relevantes sobre os materiais gerados em seu processo produtivo, percebe-se uma falta de clareza e padronização na apresentação desses dados. Um dos principais pontos críticos é a ausência de uma distinção bem definida entre "resíduos" e "coprodutos", o que pode gerar confusão na interpretação das informações. Essa indefinição compromete a transparência dos dados e dificulta a compreensão sobre quais materiais são efetivamente reaproveitados e quais são descartados.

Além disso, os números relacionados à geração, reaproveitamento, doação e disposição final desses materiais não estão apresentados de forma estruturada e objetiva, tornando difícil compreender exatamente quais itens compõem essas métricas. A falta de uma categorização precisa impacta diretamente a confiabilidade das informações, dificultando análises mais aprofundadas sobre a eficiência da gestão de coprodutos da empresa.

Percebe-se que, por se tratar de um tema relativamente novo, talvez ainda não exista uma *expertise* bem definida e consolidada para estruturar e apresentar essas informações de maneira clara e acessível. Essa falta de padronização pode tornar a interpretação dos números e definições mais desafiadora, tanto para especialistas quanto para o público interessado no tema. Dessa forma, percebe-se que ainda há um grande espaço para melhorias na organização e na comunicação desses dados, tornando-os mais acessíveis e confiáveis para estudos e tomadas de decisão, tanto dentro da empresa quanto para o público externo interessado na temática da gestão sustentável de coprodutos.

Os relatórios de sustentabilidade são documentos essenciais para compreender a gestão ambiental das empresas, apresentando dados detalhados sobre geração, reaproveitamento e disposição de resíduos e coprodutos. No caso da ArcelorMittal, esses relatórios são publicados anualmente, permitindo uma análise contínua das práticas adotadas pela empresa no contexto da economia circular e da sustentabilidade. Através dessas informações, é possível avaliar a eficiência das estratégias de mitigação de impactos ambientais, bem como identificar oportunidades de melhoria nos processos internos. A Tabela 8 apresenta os dados gerais da ArcelorMittal referentes à geração de resíduos, destacando as quantidades produzidas e sua destinação ao longo dos três últimos anos.

Tabela 8: Total de resíduos gerados em 2021, 2022 e 2023

Total de resíduos gerados, por composição (t) ^{1, 2} GRI 306-3			
	2021	2022	2023
Resíduos perigosos	145.588,72	249.535,21	215.252,72
Resíduos não-perigosos	6.519.975,04	7.978.730,95	9.454.548,63
Total	6.665.563,76	8.228.266,16	9.669.801,35

Fonte: ArcelorMittal, 2023.

Em um cenário onde a sustentabilidade é uma prioridade global, torna-se essencial a adoção de práticas mais eficientes, como a otimização do uso de matérias-primas, investimentos em tecnologias de produção mais limpas e a ampliação da reciclagem dentro da própria unidade industrial. A implementação de conceitos da Indústria 4.0, como automação e inteligência artificial, pode contribuir para uma gestão mais eficiente dos insumos, reduzindo a geração de resíduos desde a origem e promovendo um modelo de economia circular mais sólido e sustentável. Na Tabela 9, estão apresentados os dados de resíduos não destinados para disposição final nos anos de 2022 e 2023.

Tabela 9: Total de resíduos não destinados para disposição final em 2022 e 2023

Total de resíduos não destinados para disposição final, por operação de recuperação, em toneladas métricas ^{1, 2, 3} (t) GRI 306-4						
Resíduos não perigosos	2022			2023		
	Dentro da organização / Onsite (t)	Fora da organização / Offsite (t)	Total (t)	Dentro da organização / Onsite (t)	Fora da organização / Offsite (t)	Total (t)
Preparação para reutilização	0	194.137,83	194.137,83	0	518.938,11	518.938,11
Reciclagem	2.139.650,14	4.920.981,18	7.060.631,32	2.468.903,06	6.008.240,90	8.477.143,96
Total	2.139.650,14	5.115.119,01	7.254.769,15	2.468.903,06	6.527.179,01	8.996.082,07
Resíduos perigosos	Dentro da organização / Onsite (t)	Fora da organização / Offsite (t)	Total (t)	Dentro da organização / Onsite (t)	Fora da organização / Offsite (t)	Total (t)
Preparação para reutilização	0	372,72	372,72	0	12.329,62	12.329,62
Reciclagem	20.109,78	125.736,50	145.846,28	1.243,21	154.206,66	155.449,87
Total	20.109,78	126.109,22	146.219,00	1.243,21	166.536,28	167.779,49
Total de destinados para disposição final	2.159.759,92	5.241.228,23	7.400.988,15	2.470.146,27	6.693.715,29	9.163.861,56

Fonte: ArcelorMittal, 2023.

Observa-se que a maior parte desses materiais é reaproveitada fora da organização, enquanto o aproveitamento interno é significativamente menor. Idealmente, uma gestão sustentável de

coprodutos priorizaria o uso desses materiais dentro da própria cadeia produtiva, promovendo uma economia circular mais eficiente e reduzindo a dependência de recursos externos.

Essa limitação no reaproveitamento interno pode ser reflexo da falta de tecnologias mais avançadas para a reintegração desses materiais nos processos produtivos. A ausência de investimentos robustos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) voltados para o aprimoramento dessas soluções compromete a autossuficiência da empresa na gestão de seus resíduos. Enquanto não houver uma estratégia mais consolidada para ampliar o uso interno desses materiais, a empresa continuará desperdiçando oportunidades de otimização e sustentabilidade. Portanto, é fundamental que haja um maior foco em inovação para que os resíduos possam ser revalorizados internamente, fortalecendo a competitividade e a responsabilidade ambiental da organização.

Para o montante que foi destinado à disposição em aterros, a Tabela 10 apresenta a divisão entre resíduos perigosos e não perigosos.

Tabela 10: Total de resíduos destinados para disposição final em 2022 e 2023

Total de resíduos destinados para disposição final, por operação de recuperação, em toneladas métricas ¹ (t) GRI 306-5						
	2022			2023		
	Dentro da organização / Onsite (t)	Fora da organização / Offsite (t)	Total (t)	Dentro da organização / Onsite (t)	Fora da organização / Offsite (t)	Total (t)
Resíduos não perigosos						
Incineração com recuperação de energia	0	5.719,02	5.719,02	0	3.669,97	3.669,97
Incineração sem recuperação de energia	0	20,35	20,35	0	1,84	1,84
Aterro	29,07	717.873,40	717.902,47	26,50	454.768,26	454.794,76
Armazenamento temporário para disposição final	0	319,96	319,96	0	0	0
Total	29,07	723.932,73	723.961,80	26,50	458.440,07	458.466,57
Resíduos perigosos						
Incineração com recuperação de energia	0	1.968,64	1.968,64	0	2.100,39	2.100,39
Incineração sem recuperação de energia	0	480,02	480,02	0	161,27	161,27
Aterro	0	100.824,83	100.824,83	0	45.057,21	45.057,21
Armazenamento temporário para disposição final	0	42,72	42,72	0	154,36	154,36
Total	0	103.316,21	103.316,21	0	47.473,23	47.473,23
Total de resíduos destinados para disposição final	29,07	827.248,94	827.278,01	26,50	505.913,30	505.939,80

Fonte: ArcelorMittal, 2023.

Os dados de disposição final da ArcelorMittal em 2022 e 2023 revelam um volume expressivo de resíduos sendo descartados mostram que a maior parte da disposição ocorre fora das instalações da própria empresa. Essa dependência de soluções externas para a destinação final dos resíduos deve seguir o princípio do poluidor-pagador, uma vez que há a questão da gestão de passivos ambientais. O ideal seria que a empresa investisse em tecnologias e processos que

permitissem não apenas a redução da geração desses resíduos em questão, mas também sua reintegração na cadeia produtiva ou sua disposição de forma mais sustentável dentro de suas próprias instalações.

A disposição final em aterros possui uma menor sustentabilidade, além de gerar altos custos operacionais para a empresa, que precisa destinar grandes volumes de resíduos a terceiros, arcando com despesas logísticas, taxas de disposição e eventuais passivos ambientais. A falta de infraestrutura para a disposição interna reflete uma carência de investimentos em inovação e desenvolvimento de soluções ambientalmente adequadas, o que pode comprometer a competitividade e a sustentabilidade da empresa a longo prazo. Para estar alinhada às diretrizes globais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, a ArcelorMittal precisa avançar na implementação de estratégias que reduzam a dependência de terceiros para a destinação de seus resíduos, minimizem custos desnecessários e ampliem o reaproveitamento e a disposição responsável dentro de suas próprias operações.

3.2 Gerdau

A Gerdau, outra multinacional do ramo siderúrgico com grande relevância no Brasil, exprime seus dados por meio dos relatórios anuais. Em sua operação são gerados coprodutos, que também estão classificados como resíduos perigosos e não perigosos, e para o gerenciamento desses materiais todas as atividades são conduzidas conforme as regulamentações aplicáveis. Isso inclui a criação de fichas de segurança, caracterização ambiental dos resíduos e a ficha de caracterização físico-química de coprodutos. Equipes técnicas qualificadas, presentes nas unidades operacionais, realizam as emissões e verificações dos documentos, seguindo as diretrizes especificadas em nossos procedimentos de gestão específicos para cada operação.

A Gerdau expõe, desde de 2021, a lista de seus coprodutos em seus relatórios anuais, diferenciando-os conforme a classe I e classe II definidas na norma ABNT 10004/2004, conforme descrito a seguir.

Resíduos perigosos (classe I): cloreto ferroso, alguns resíduos de cal, óleos e graxas, pó de aciaria elétrica, borra e cinza de chumbo e pó da câmara de combustão.

Resíduos não perigosos (classe II): argila de alto-forno, 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, pó de balão, pó

de coletor, pós de despoeiramento do alto-forno, da sinterização e aciaria LD, degradado, coproduto industrial da redução, calcário calcítico 0-13 mm, sucata de refratário, carepa, resíduo do shredder (fluff e óxidos-metal) e borra e cinza de zinco. (GERDAU, 2023)

O relatório divulgado no ano de 2024 contempla todas as informações do ano de 2023. Neste documento é apresentada informações relevantes a respeito da geração, reaproveitamento e disposição dos resíduos, além disso é possível analisar a progressão destes números nos últimos 3 anos, conforme detalhado na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11: Geração de resíduos e suas classificações em 2021, 2022 e 2023

RESÍDUOS GERADOS GRI 306-3, SASB EM-MM-150a.4, SASB EM-MM-150a.7, SASB EM-IS-150a.1

Peso total dos resíduos gerados em toneladas métricas, e uma discriminação desse total por composição dos resíduos (em toneladas)	2021	2022	2023
Resíduos perigosos	288.896,37	213.293,83	207.034,38
Resíduos não perigosos	6.786.098,79	6.270.318,88	6.043.742,67
Peso total dos resíduos gerados	7.074.995,16	6.483.612,71	6.250.777,05

Fonte: GERDAU, 2023.

A partir destes dados, é possível perceber que houve diminuição considerável ano após ano, e também que a geração de resíduos perigosos é muito menor que a de resíduos não perigosos. Os dados envolvendo o reaproveitamento dos coprodutos é exposto neste relatório, tais dados promovem maior entendimento em relação as modalidades de reaproveitamento (Tabela 12).

Tabela 12: Resíduos não destinados para disposição final em 2021, 2022 e 2023

RESÍDUOS NÃO DESTINADOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL GRI 306-4, SASB EM-MM-150a.8			
Peso total dos resíduos não destinados para disposição e discriminação por composição dos resíduos (em toneladas)	2021	2022	2023
Resíduos perigosos – total (em toneladas)	225.924,84	199.019,00	202.914,93
Dentro da organização	101.358,73	22.055,55	15.685,67
Preparação para reutilização	6.664,00	0	0
Reciclagem	94.694,73	22.055,55	15.685,67
Outras operações de recuperação	0	0	0
Coprocessamento	0	0	0
Tratamento	0	0	0
Fora da organização	124.566,11	176.963,45	187.229,26
Preparação para reutilização	0	0	0
Reciclagem	96.401,54	164.627,29	174.256,43
Outras operações de recuperação	9.611,11	0	0
Coprocessamento	17.215,40	8.814,53	7.224,59
Tratamento	1.338,06	3.521,63	5.748,23
Resíduos não perigosos – total (em toneladas)	6.115.193,38	5.564.911,54	5.615.554,69
Dentro da organização	1.386.595,08	1.193.140,49	1.514.942,67
Preparação para reutilização	1.333.187,42	1.193.140,49	1.514.942,67
Reciclagem	53.407,66	0	0
Outras operações de recuperação	0	0	0
Coprocessamento	0	0	0
Tratamento	0	0	0
Fora da organização	4.728.598,30	4.371.771,05	4.100.612,02
Preparação para reutilização	0	0	0
Reciclagem	4.593.242,48	4.262.063,93	3.986.090,48
Outras operações de recuperação	90.224,32	0	0
Coprocessamento	45.120,03	94.702,35	92.317,37
Tratamento	11,47	15.004,77	22.204,17
Peso total dos resíduos gerados (em toneladas)	6.341.118,22	5.763.930,54	5.818.469,61

Fonte: GERDAU, 2023.

Por meio destes dados é notório o comprometimento da organização em gerir e destinar seus resíduos de forma adequada, mantendo o foco em formas de reutilização e mitigando os danos ao meio ambiente. O reaproveitamento fora da organização tem números muito altos, o que indica que a empresa consegue obter uma receita considerável com a venda desses coprodutos, além disso, parte das reutilizações externas são doações, como o do “Programa Agregar” proposto pela Gerdau, que tem como objetivo doar o agregado siderúrgico para que os municípios o utilizem em pavimentação de estradas, contribuindo com uma melhor qualidade de vida e melhor infraestrutura dos municípios.

Existem também os coprodutos que ainda não tem reutilização, contemplando aqueles materiais que, até o presente momento, não possuem tecnologias de destinação. Apesar disso, estes passam por estudos pelas equipes de P&D, para que em um futuro próximo haja destinação adequada sem impactar no meio ambiente. A forma atual de destinar esses tipos de resíduos é o envio aos aterros ou incineração, o que gera um custo alto. Dessa forma, como exposto anteriormente, as pesquisas focadas em destinações para esses materiais avançam, para que em

muito breve sejam descobertas formas de reutilização viáveis. A Tabela 13 apresenta a destinação a disposição final entre 2021 a 2023.

Tabela 13: Resíduos destinados a disposição final em 2021, 2022 e 2023

RESÍDUOS DESTINADOS A DISPOSIÇÃO FINAL GRI 306-5			
Resíduos destinados para disposição e discriminação por composição dos resíduos (em toneladas)	2021	2022	2023
Resíduos perigosos - total (em toneladas)	41.333,53	36.190,43	36.867,88
Dentro da organização	9.804,23	8.525,28	13.175,27
Incineração (com recuperação de energia)	0	0	0
Incineração (sem recuperação de energia)	0	0	0
Aterramento	9.804,23	8.525,28	13.175,27
Outras operações de disposição	0	0	0
Fora da organização	31.529,30	27.665,15	23.692,61
Incineração (com recuperação de energia)	0	0	0
Incineração (sem recuperação de energia)	303,76	210,09	290,32
Aterramento	25.537,25	24.668,38	21.274,19
Outras operações de disposição	5.688,29	2.786,68	2.128,11
Resíduos não perigosos - total (em toneladas)	1.123.307,59	1.009.566,55	925.080,33
Dentro da organização	432.980,51	429.513,27	359.133,96
Incineração (com recuperação de energia)	0	0	0
Incineração (sem recuperação de energia)	0	0	0
Aterramento	432.980,51	429.513,27	359.133,96
Outras operações de disposição	0	0	0
Fora da organização	690.327,08	580.053,28	565.946,37
Incineração (com recuperação de energia)	6.786,66	145,06	29,83
Incineração (sem recuperação de energia)	0	0	0
Aterramento	663.842,32	577.379,92	563.353,44
Outras operações de disposição	19.698,10	2.528,30	2.563,10
Peso total dos resíduos gerados (em toneladas)	1.164.641,12	1.045.756,98	961.948,22

Fonte: GERDAU, 2023.

Um exemplo de coproduto ainda sem viabilidade de reutilização sustentável é o “pó de aciaria”, um coproduto seco e de baixa densidade gerado dentro das aciarias, que hoje é enviado para aterro, que será abordado na seção 3.4.

3.3 Os coprodutos presentes nas duas empresas estudadas

Como apresentado, a Gerdau e a ArcelorMittal possuem diversos coprodutos, cada um gerado em seu processo específico. Isso se mantém de empresa para empresa, mesmo que haja diferenças nas definições dos nomes, pois os coprodutos são os mesmos, já que o processo siderúrgico, em sua essência, é igual na produção do aço em todo o mundo. Dessa forma, nesta seção, serão selecionados os coprodutos em comum entre as duas empresas e definidas questões relacionadas ao reaproveitamento interno e externo, utilidades e disposição final, com o objetivo de proporcionar maior clareza (Quadro 1).

Quadro 1: Tipos de reaproveitamento, disposição e utilidades dos coprodutos em comum entre Gerdau e ArcelorMittal

COPRODUTOS	APROVEITAMENTO INTERO	APROVEITAMENTO EXTERNO	UTILIDADES	DISPOSIÇÃO FINAL
pó de aciaria (Despoeiramento)			Sem utilidade até o momento	x
Cal	x	x	Correção de solo Uso nos processos da aciaria	
Pó da Câmara de Combustão		x	Reaproveitamento do zinco	
Argila/Lama de Alto Forno		x	Fabricação de cerâmicas	
Escória de Alto Forno		x	Fabricação de cimento	
Agregado Siderúrgico	x	x	Base e sub base em pavimentações	
Finos de Minério	x	x	Uso para enriquecimento na sinterização	
Óxido de Ferro de Aciaria e Laminação	x	x	Uso para enriquecimento na sinterização	
Moinha e Finos de Biorredutor	x	x	Energia calorífica	
Sucata Não Ferrosa		x	Uso em outras frentes (cobre, alumínio etc.)	
Resíduo do Pátio de Sucata		x	Uso em outras frentes (cobre, alumínio etc)	
Pó de Balão		x	Fabricação de cerâmicas	
Pó de Despoeiramento de Alto Forno	x	x	Uso para enriquecimento na sinterização	
Sucata de Refratário		x	Venda para uso externo	
Carepa	x	x	Produção de briquetes	
Resíduo do Shredder			Sem utilidade	x
Borra e Cinza de Zinco		x	Reaproveitamento do zinco	
Fluff			Sem utilidade	x
Escória Bruta	x		Processamento para produção do agregado	

Fonte: Elaboração própria.

Como apresentado no Quadro 1, fica visível que a maior parte dos coprodutos têm formas de reaproveitamento, tanto internamente quanto externamente, embora ainda existam coprodutos sem tecnologia de destinação.

O volume dos coprodutos que são dispostos nos aterros é pequeno, porém, mesmo assim, o custo de envio é elevado, devido ao valor de processamento do material ser caro, além desta atividade ser crítica aos caixas das empresas. Por exemplo, em uma empresa situada em MG, chamada Essencis, cuja atividade principal é o tratamento e destinação final de resíduos sólidos industriais e urbanos por meio de tecnologias sustentáveis, cobra, em média, para o processamento e aterro de uma tonelada do resíduo classe I (Perigoso), R\$ 375,00, e para resíduo classe II (Não perigoso), R\$ 150,00. A diferença nos valores deve-se ao fato do processamento do resíduo classe I exigir especificações mais qualificadas para o correto descarte.

Considerando os dados expostos nos relatórios da Gerdau e ArcelorMittal do ano de 2023, é possível aferir qual foi a porcentagem do total de resíduos enviados ao aterro em relação ao total gerado, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Relação entre geração e disposição da Gerdau e ArcelorMittal em 2023.

2023	Geração Total (t)	Disposição Final (t)	Relação %
Gerdau	6250777,05	961948,22	15%
ArcelorMittal	9669801,35	505939,80	5%

Fonte: Elaboração própria.

A seguir, apresenta-se na Tabela 15 o custo de disposição dos resíduos para a Gerdau e a ArcelorMittal em 2023, com base no valor cotado pela empresa Essencis. Está sendo considerado o valor total de disposição interna e externa, porque nestes dois estilos há custos e, também, por ser um processo consolidado utilizou-se como base o custo cotado.

Tabela 15: Custo de disposição dos resíduos para a Gerdau e a ArcelorMittal em 2023

2023	Classe I (t)	Custo classe I	Classe II (t)	Custo classe II	Total
Gerdau	36.867,88	R\$ 13.825.455,00	925.080,30	R\$ 138.762.049,50	R\$ 152.587.504,50
ArcelorMittal	47.473,23	R\$ 17.802.461,25	458.466,60	R\$ 68.769.985,50	R\$ 86.572.446,75

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a partir desta análise, é visível o custo extremamente alto que as empresas têm todos os anos para destinar resíduos ainda sem tecnologias de reaproveitamento. Coprodutos como o

pó de aciaria, Fluff e Resíduo do Sheredder estão dentro dos campos de estudo para definição de novas formas de reaproveitamento.

Para fins de comparação, a Gerdau e ArcelorMittal destinaram em investimentos sociais, no ano de 2023, respectivamente, R\$ 59.600.000,00 e R\$ 51.000.000,00, o que demonstra que o gasto com disposição de resíduos é excessivamente maior que os investimentos realizados nas comunidades (ArcelorMittal; GERDAU, 2023).

3.4 Os Desafios do pó de aciaria

O pó de aciaria é um coproduto gerado nos processos siderúrgicos, tanto em usinas integradas quanto em usinas que utilizam fornos elétricos. Apesar de sua origem comum, esse material apresenta características distintas em função do processo de produção envolvido. Nas usinas integradas, o pó de aciaria é composto por uma mistura de óxidos metálicos, carbono, cinzas e outros elementos, sendo sua reutilização um desafio devido à ausência de uma característica predominante que favoreça seu reaproveitamento em aplicações específicas. Já o pó gerado em usinas elétricas, devido ao uso de sucata metálica, possui altos teores de ferro e zinco, o que possibilita sua recuperação para reutilização em processos circulares de extração desses metais.

A geração do pó de aciaria pode ser ilustrada conforme fluxograma da Figura 9



Fonte: ArcelorMittal, 2021.

A geração que ocorre dentro do processo da aciaria é descrita da seguinte forma:

“Sua geração está relacionada com a turbulência gerada no processo de injeção de oxigênio no ferro-gusa líquido, ocasionando a formação de gases e escória. Esses gases arrastam partículas sólidas, que são succionadas pelo sistema de exaustão de gases

do Convertedor LD. As partículas são conduzidas e coletadas em um sistema de despoeiramento composto por filtro de mangas.”

(ArcelorMittal, 2021 pág. 48)

A composição química do material, explicitando quais componentes são majoritários neste coproduto, é apresentada na Tabela 16, a seguir.

Tabela 16: Composição química do pó de aciaria

Composição Química	
Componente	Concentração Aproximada (%)
CaO	15,25
CF	18,89
Cinzas	78,68
Fe	29,11
Zn	4,42
SiO ₂	4,96
Cr	0,08
K ₂ O	0,29
MgO	4,20
Mn	1,30
Na ₂ O	0,31
P	0,11
S	0,78
M.V.	5,24

Fonte: ArcelorMittal, 2021.

A partir dos dados fica claro que as cinzas são o componente majoritário no pó de aciaria. Quando um material apresenta um alto teor de cinzas em sua composição, seu reaproveitamento torna-se desafiador devido à presença de elementos inertes ou indesejáveis que não possuem valor agregado em processos industriais. Essas cinzas podem comprometer a eficiência e a qualidade do produto final, dificultando sua aplicação em ciclos produtivos ou exigindo tratamentos adicionais para separação e purificação dos componentes úteis. No caso do pó de aciaria gerado em usinas integradas, por exemplo, o elevado teor de cinzas é um dos fatores que limita suas possibilidades de reutilização, tornando a busca por soluções tecnológicas e sustentáveis ainda mais necessária.

No caso das usinas elétricas, a sucata galvanizada utilizada no processo contribui para a presença de zinco no pó. Estudos recentes, como os apresentados no XX Congresso de Engenharia Química, indicam que no caso do pó de aciaria elétrica, devido ao seu elevado teor de ferro e zinco, os processos de recuperação estão direcionados principalmente para esses dois metais. Globalmente, os esforços de reciclagem concentram-se na recuperação do zinco. Já no Brasil, onde o uso de sucata galvanizada na produção de aço ainda é limitado, as iniciativas de

reciclagem visam priorizar a recuperação do ferro presente no resíduo, possibilitando seu retorno ao processo siderúrgico na forma de pelotas, sinter ou briquetes. Contudo, a presença de zinco, mesmo em pequenas quantidades, inviabiliza a reutilização direta do resíduo, pois sua introdução no alto-forno pode levar à formação de crostas nas paredes do reator. Assim, para que o ferro possa ser recuperado de forma eficiente, é necessário que o zinco seja previamente removido (COBEQ, 2014).

Este mesmo estudo descreve a composição química do pó de aciaria proveniente de uma usina elétrica, conforme apresentado na Tabela 17.

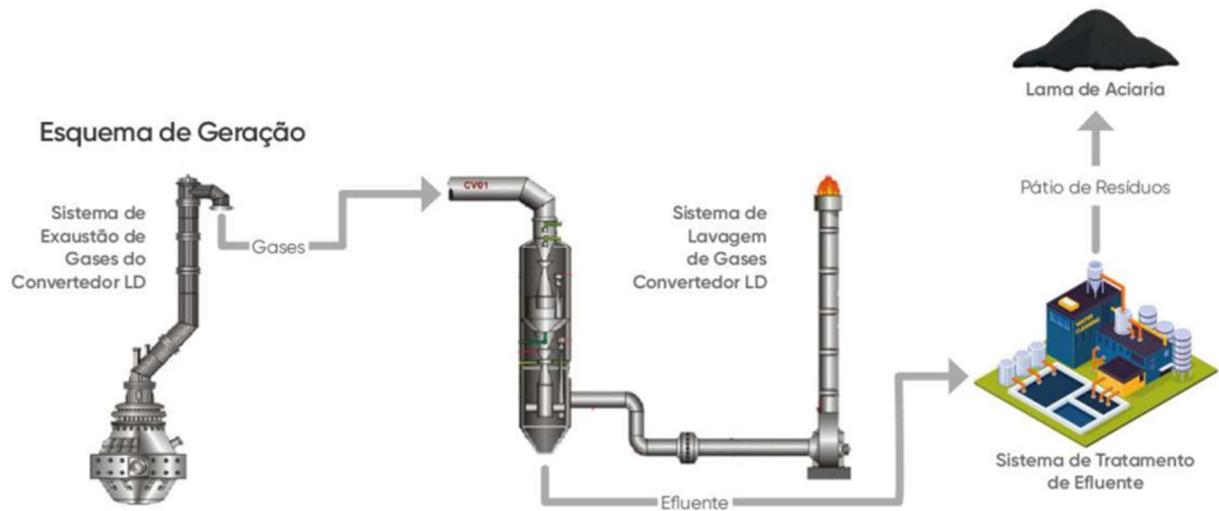
Tabela 17: Faixa de composição química de pós de aciaria elétrica para usinas produtoras de aço carbono e de aço inoxidável

Elementos (% em massa)	Pó de aciaria elétrica (aço carbono)	Pó de aciaria elétrica (aço inoxidável)
Fe (total)	25 - 47	22 - 36
Zn	11 - 27	1,8 - 6,2
Pb	1,0 - 3,8	0,2 - 0,8
Cd	0,03 - 0,15	0,006 - 1,790
Ni	< 0,6	2 - 10
Cr	< 0,1	0,2 - 3,3
Mo	< 0,1	0,4 - 1,5
Mn	2,4 - 4,6	2,4 - 4,6
Mg	0,8 - 2,9	1,7 - 4,7
Ca	1,8 - 10,0	1,8 - 7,0
Si	1,3 - 2,5	1,4 - 4,8
Cl	0,5 - 2,5	0,5 - 1,2
K	< 1,1	0,8 - 5,0
Na	0,3 - 2,3	0,5 - 4,6

Fonte: COBEQ, 2014.

Verifica-se que, majoritariamente, as maiores concentrações são de ferro total e zinco no pó de aciaria proveniente de usina elétrica. Por conta disso, como dito anteriormente, os estudos em P&D são concentrados nestes dois componentes, para um potencial reaproveitamento. Até o momento ainda não existem rotas consolidadas de reaproveitamento, sendo a disposição o destino usado pelas siderúrgicas que geram este material. A fins de comparação, a lama de aciaria, gerada pela mesma planta que gera o pó de aciaria, tem fins de reaproveitamento muito consolidados no mercado. Segue fluxograma de geração da lama de aciaria da ArcelorMittal (Figura 10).

Figura 10: Geração da Lama de Aciaria



Fonte: ArcelorMittal, 2021.

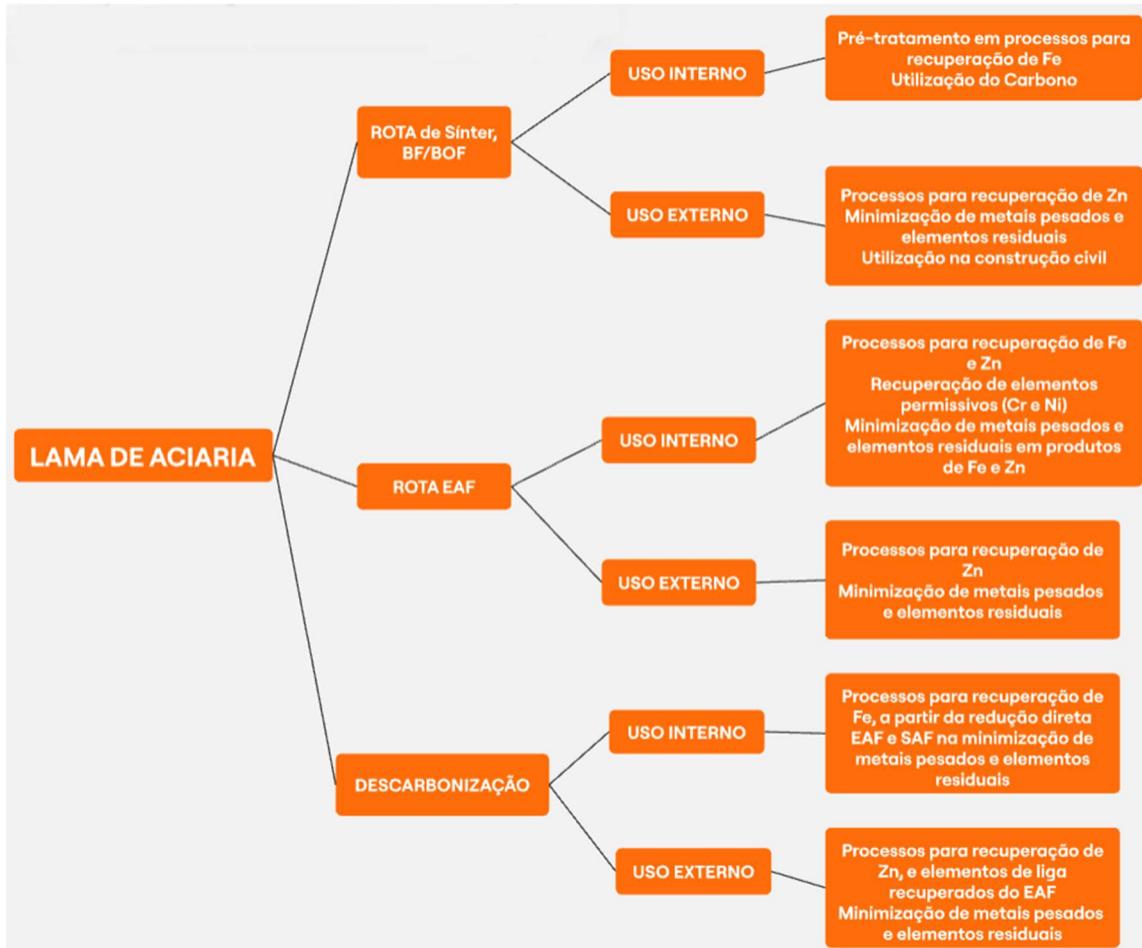
Sobre o processo que resulta na geração, temos os seguintes dados publicados no mesmo catálogo:

“A Lama de Aciaria é proveniente do tratamento do efluente gerado no sistema de lavagem úmida de gás do Convertedor LD. Durante a produção de aço, há a formação de gases e particulados oriundos das reações. Ao longo deste processo, estes particulados são carregados pelo sistema de exaustão de gases e, após passarem pelo sistema de lavagem a úmido, originam a Lama de Aciaria. Após lavado, o efluente líquido gerado é destinado para tratamento adequado de remoção dos sólidos suspensos. Concluído o tratamento, a lama gerada é retirada e armazenada. Devido às características de sua origem e seus principais constituintes, é comumente utilizado na produção de Briquetes Metálicos e Refrigerante. Além disso, possui potencial para desenvolvimento de aplicações para recuperação de Ferro e Cálcio e, também, potencial energético devido à presença de Carbono.”

(ArcelorMittal, 2021 pág. 24)

A lama de aciaria tem trilha de reaproveitamento consolidada no mercado. Em um artigo publicado em 2023, sobre reutilização e reciclagem dos coprodutos da siderurgia, exibe-se a trilha de reutilização e reciclagem desta lama, conforme Figura 11.

Figura 11: Trilha da Lama de Aciaria



Fonte: MDPI, 2023.

Como visto, esse coproduto é muito valioso para o meio siderúrgico, o grande potencial deste material nos processos de enriquecimento de outros elementos como ferro e zinco é de grande valia. Além disso, este material é muito visado nas sinterizações onde é o produzido o sinter, e também pelas empresas de briquetização para ser usado como matéria-prima do briquete, estes dois produtos tem grande importância nos altos fornos para produção do ferro gusa, ou seja, o coproduto tem uso circular na siderurgia.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou explorar de forma aprofundada o gerenciamento de coprodutos na siderurgia brasileira, com foco nas práticas de duas das mais relevantes siderúrgicas do país: ArcelorMittal e Gerdau. A análise realizada evidenciou o papel estratégico da gestão de coprodutos na promoção da sustentabilidade e na otimização dos recursos, além de sua contribuição para a redução de custos operacionais e a mitigação de impactos ambientais. Ficou evidente que uma gestão eficiente desses materiais não apenas reduz o desperdício de insumos valiosos, mas também abre novas possibilidades de reaproveitamento e comercialização, gerando valor econômico para as empresas. Além disso, a gestão de coprodutos pode fortalecer a imagem corporativa das siderúrgicas, demonstrando um compromisso mais sério com as boas práticas ambientais e a economia circular. Dessa forma, investir em processos mais estruturados e transparentes nesse setor se torna um fator fundamental para garantir a competitividade e a sustentabilidade da indústria siderúrgica a longo prazo.

Durante as pesquisas realizadas para a construção deste estudo, ficou evidente que o tema, gerenciamento de coprodutos, ainda não possui a visibilidade e a importância em proporções compatíveis com sua relevância para o setor siderúrgico e para a sustentabilidade. A escassez na disponibilização de artigos e estudos a respeito deste tema é estrondoso. A definição “coproduto” é muito pouco difundida, as pesquisas direcionam a maioria dos dados para o termo “resíduo”, assim dificultando ainda mais a disseminação sobre este assunto. Observou-se que a disponibilização de informações sobre o tema começou a ocorrer de forma mais estruturada apenas recentemente, o que reforça a necessidade de mais transparência, disseminação de dados e conscientização sobre o potencial econômico e ambiental desses materiais. Além disso, a ausência de padronização na forma como as informações são apresentadas pelas indústrias siderúrgicas compromete a comparação entre diferentes iniciativas, dificultando o estabelecimento de benchmarks e melhores práticas dentro do setor. Para que haja avanços significativos na gestão de coprodutos, é fundamental incentivar a criação de bancos de dados acessíveis e o compartilhamento de informações detalhadas sobre a geração e reaproveitamento desses materiais, possibilitando uma tomada de decisão mais informada e eficiente.

A ArcelorMittal e a Gerdau só passaram a apresentar informações e dados sobre os coprodutos a partir de 2021. Esse fato é bastante crítico, pois a geração de resíduos é uma realidade que acompanha a siderurgia desde os seus primórdios, visto que o processo siderúrgico em sua

essência se manteve o mesmo até atualmente. Nota-se que no passado não era proporcionada a devida importância ao assunto, e os coprodutos e resíduos gerados eram acumulados nas próprias empresas como um “passivo ambiental”, somente nos tempos recentes, quando os movimentos em prol da sustentabilidade ganharam força, que houve o início da gestão responsável dos coprodutos siderúrgicos, tratando e realizando o destino correto para estes materiais. A falta de divulgação dessas informações por tantos anos evidencia a pouca atenção dada ao tema e ressalta a necessidade de um maior compromisso com a transparência e a gestão eficiente desses materiais. Além disso, questiona-se se a divulgação tardia dessas informações não teria relação com possíveis dificuldades enfrentadas pelas empresas na adaptação de seus processos produtivos a um modelo mais sustentável. O atraso na implementação de práticas efetivas de gestão de coprodutos pode indicar uma cultura industrial tradicional resistente a mudanças ou, ainda, uma falta de incentivos regulatórios mais rigorosos para impulsionar essas transformações. Esse panorama reforça a necessidade de políticas públicas mais assertivas e da pressão de stakeholders para que as indústrias avancem na gestão de seus coprodutos de forma mais transparente e eficiente.

Uma das principais limitações encontradas nos dados e relatórios de sustentabilidade da ArcelorMittal e da Gerdau é a abordagem excessivamente generalista na apresentação dos dados. Ambas as empresas possuem diversas unidades espalhadas pelo Brasil, cada uma com características operacionais distintas, o que influencia diretamente na geração de resíduos e coprodutos. No entanto, esses relatórios não detalham os dados de cada unidade separadamente, tornando a análise pouco precisa e dificultando a compreensão sobre quais unidades são mais eficientes e quais demandam maior atenção. A falta dessa segmentação compromete a clareza e a transparência das informações, dificultando uma avaliação mais aprofundada dos índices de geração, reaproveitamento, doação e disposição. Para uma gestão mais eficiente e um planejamento estratégico mais assertivo, seria essencial que esses dados fossem apresentados de forma individualizada, permitindo uma compreensão mais minuciosa antes de se analisar os números gerais de cada empresa.

Ao longo da análise dos dados disponibilizados pela ArcelorMittal, percebeu-se uma falta de estruturação e clareza nas informações apresentadas nos catálogos e relatórios. A distinção entre resíduo e coproduto não é bem definida, o que compromete a compreensão dos números divulgados. Além disso, os valores referentes à geração, reaproveitamento, doação e disposição final não são apresentados de forma objetiva e padronizada, abrindo margem para dúvidas quanto à real destinação desses materiais. Essa falta de transparência e organização pode

dificultar a tomada de decisões estratégicas, além de impactar a confiabilidade dos dados perante órgãos reguladores, parceiros e a própria sociedade. Para uma gestão sustentável mais eficaz, é fundamental que a empresa estruture melhor suas informações, tornando-as mais acessíveis e compreensíveis, de modo a reforçar o compromisso com a sustentabilidade e a economia circular. Em alguns catálogos analisados, verificou-se que os números relacionados à geração, reaproveitamento e disposição de coprodutos não apresentam consistência quando submetidos a cálculos. Em diversas ocasiões, os valores informados para cada uma dessas categorias não somam corretamente o total indicado, gerando discrepâncias que levantam dúvidas sobre a precisão dos dados divulgados. Nota-se que, em alguns trechos, o total indicado como geração de determinado material não é suficiente para justificar os montantes informados de reaproveitamento e disposição. Essa inconsistência nos dados levanta dúvidas sobre a real origem desses materiais, sugerindo a possibilidade de que parte do volume contabilizado possa incluir passivos de períodos anteriores que estavam armazenados e, de alguma forma, foram incorporados aos números atuais. A falta de uma explicação clara sobre essa questão compromete a transparência das informações e dificulta a compreensão exata da gestão de coprodutos. Se materiais previamente estocados estão sendo considerados nos índices de reaproveitamento e disposição, essa distinção deveria ser explicitada, permitindo que os dados reflitam com precisão o que foi efetivamente gerado e tratado no período analisado.

Essa falta de coerência compromete a confiabilidade das informações e pode dificultar a análise da efetividade da gestão de coprodutos dentro da empresa. Além disso, na seção de potenciais aplicações de alguns coprodutos, identificaram-se descrições que não correspondem de forma lógica às características dos materiais listados. Algumas das aplicações sugeridas parecem tecnicamente inviáveis ou pouco fundamentadas, o que pode gerar interpretações equivocadas sobre a real utilidade desses coprodutos em outros processos industriais. Esse desalinhamento reforça a necessidade de uma revisão mais criteriosa das informações disponibilizadas, garantindo que sejam embasadas em estudos técnicos e em práticas efetivamente adotadas.

Diante desse cenário, surge um questionamento: seria a tardia disponibilização dos dados, juntamente com a falta de estruturação e clareza nas informações, um reflexo de que as empresas não realizam o gerenciamento desses coprodutos e resíduos de forma adequada? Será que essa lacuna de transparência indica um desalinhamento com os objetivos de sustentabilidade e um impasse na preservação ambiental? Esses pontos são cruciais para reflexão e futuros estudos.

A análise dos dados de geração, reaproveitamento, doações e disposição final de resíduos da ArcelorMittal e Gerdau revelou números expressivos, que merecem maior atenção no que diz respeito à eficiência dos processos produtivos. A elevada geração de coprodutos e resíduos indica oportunidades de otimização, com potencial para reduzir desperdícios e minimizar impactos ambientais. Os índices de reaproveitamento e doações são relevantes, mas ainda há espaço para melhorias, especialmente no que se refere à redução da destinação de materiais para aterros. Nesse sentido, um maior investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) pode ser essencial para aprimorar tecnologias de reaproveitamento interno, garantindo que mais coprodutos sejam reinseridos no processo produtivo, reduzindo custos operacionais e reforçando o compromisso com a sustentabilidade.

A gestão de coprodutos também se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, destacando-se como uma prática essencial para a construção de um setor siderúrgico mais responsável e comprometido com a preservação ambiental. A análise comparativa entre as duas empresas mostrou que, embora existam diferenças nas abordagens adotadas, ambas compartilham o compromisso com a economia circular e com a redução de resíduos destinados a aterros. Apesar das diversas falhas na disponibilização de dados, ArcelorMittal e a Gerdau ainda demonstram esforços para o reaproveitamento interno e externo de coprodutos, seja por meio de reintegração aos processos produtivos ou pelo desenvolvimento de novas aplicações industriais para esses materiais. No entanto, percebe-se que ainda há desafios a serem superados, como a necessidade de maior transparência nos dados, padronização das informações e investimentos mais robustos em pesquisa e desenvolvimento para ampliar as possibilidades de reutilização.

Um dos pontos positivos identificados na análise foi o "Programa Agregar" da Gerdau, uma iniciativa que demonstra como a gestão de coprodutos pode ir além da redução de resíduos e gerar impactos sociais positivos. Esse programa beneficente tem como foco as pequenas cidades próximas às usinas da empresa, promovendo a doação do coproduto Agregado Siderúrgico para a regularização de estradas vicinais. Esse material, derivado do processo siderúrgico, é utilizado para melhorar a infraestrutura viária dessas comunidades, proporcionando vias mais seguras e trafegáveis, especialmente em regiões onde o acesso a investimentos em infraestrutura é mais limitado. Além dos benefícios diretos para a mobilidade e qualidade de vida da população local, essa prática também reforça a economia circular ao dar uma destinação sustentável a um coproduto que poderia ser descartado. Iniciativas como essa demonstram como a gestão estratégica de coprodutos pode gerar valor para a sociedade, reduzir

impactos ambientais e fortalecer a imagem da empresa no mercado como uma organização socialmente responsável e comprometida com o desenvolvimento sustentável.

Diante dos estudos e análises desenvolvidos ao longo deste trabalho, foi possível atingir os objetivos propostos, proporcionando uma visão abrangente sobre a gestão de coprodutos no setor siderúrgico nacional. Através da análise do processo siderúrgico no cenário nacional, compreendeu-se sua importância econômica e industrial, além da identificação das principais atividades do setor e dos coprodutos gerados. Também foram investigadas ações sustentáveis voltadas para a gestão eficiente desses materiais, promovendo alternativas para reaproveitamento e destinação responsável. Por fim, a aplicação do estudo de caso, com base nos relatórios das duas maiores siderúrgicas do país, permitiu uma análise detalhada das práticas adotadas, evidenciando os desafios e oportunidades para um gerenciamento mais sustentável e eficiente dos coprodutos.

Por fim, este estudo contribui significativamente para o entendimento da importância estratégica da gestão de coprodutos na siderurgia brasileira, destacando sua relevância não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a eficiência operacional e a inovação no setor. Ao enfatizar a necessidade de ampliar a divulgação deste tema, fica claro que é fundamental promover a conscientização sobre como o gerenciamento eficaz dos coprodutos pode gerar valor agregado, transformar passivos em ativos e fortalecer a competitividade das empresas. Além disso, uma abordagem proativa em relação aos coprodutos pode ser um catalisador crucial para impulsionar a transição para uma economia mais sustentável e circular, onde os resíduos são minimizados e os recursos são utilizados de forma mais inteligente. Portanto, este trabalho não só evidencia a urgência de ações concretas nesse sentido, mas também serve como um convite à indústria siderúrgica para que adote práticas de gestão mais transparentes e inovadoras, contribuindo assim para um futuro mais responsável e alinhado com os desafios contemporâneos.

5. REFERÊNCIAS

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. *Histórico e Perfil Corporativo*. Disponível em: <https://ri.csn.com.br/a-companhia/historico-e-perfil-corporativo/>. Acesso em junho de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. *Introdução à Siderurgia*. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6078786/mod_resource/content/0/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20a%20Siderurgia%20-%20Mour%C3%A3o%2C%20MB.pdf. Acesso em junho de 2024.

ALACERO. *América Latina em Cifras*. Disponível em: https://cms.alacero.org/uploads/Alacero_America_latina_em_cifras_Portugues_8cbc86cef3.pdf. Acesso em junho de 2024.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Mercado Brasileiro do Aço. *Análise Setorial e Regional Séries Históricas até 2021*. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/08/MBA_Edi%C3%A7%C3%A3o_2022.pdf. Acesso em junho de 2024.

WORLDSTEEL ASSOCIATION. *Major steel-producing countries 2022 and 2023*. Disponível em: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/>. Acesso em junho de 2024

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Anuário Estatístico 2023*. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2024/07/Anuario_Completo_2024.pdf. Acesso em junho de 2024.

RIZZO, Ernandes Marques da Silveira. *Introdução aos Processos de Refino Secundário dos Aços*. São Paulo: ABM, 2006.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Parque Siderúrgico*. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/parque-siderurgico/>. Acesso em junho de 2024 (b).

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Notícias*. 05 de junho de 2020. Assessoria de Imprensa Vallourec. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/noticia/vallourec-projeto-siderurgia-sustentavel>. Acesso em janeiro de 2024.

ARCELORMITTAL. Coprodutos. *Catálogo de Coprodutos – Monlevade (2021)*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-monlevade>. Acesso em junho de 2024 (a).

ARCELORMITTAL. Coprodutos. *Catálogo de Coprodutos – Juiz de Fora (2022)*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-juiz-de-fora>. Acesso em junho de 2024.

ARCELORMITTAL. Coprodutos. *Catálogo de Coprodutos – Barra Mansa (2023a)*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-barra-mansa>. Acesso em junho de 2024.

ARCELORMITTAL. Coprodutos. *Catálogo de Coprodutos – Piracicaba (2023b)*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-piracicaba>. Acesso em junho de 2024.

ARCELORMITTAL. Coprodutos. *Catálogo de Coprodutos – Resende (2023c)*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-resende>. Acesso em junho de 2024.

ARCELORMITTAL. Coprodutos. *Catálogo de Coprodutos – Iracemápolis (2023d)*. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-iracemapolis>. Acesso em junho de 2024.

GERDAU. Relatório Anual 2023. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/wp-content/uploads/2024/07/gerdau-relatorio-anual-pt-2023.pdf>. Acesso em junho de 2024.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. *Levantamento de Possíveis Rotas Processuais para a Reutilização do pó de aciaria Elétrica*. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1097-21020-177755.pdf>. Acesso em junho de 2024.

MDPI. Metals. *Future Research and Developments on Reuse and Recycling of Steelmaking By-Products*. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/4/676>. Acesso em junho de 2024.

ONU. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em junho de 2024.

Arlindo Phillipi Jr., Gilda Collet Bruna, Marcelo de Andrade Roméro. *Curso de Gestão Ambiental*. 2 ed. São Paulo: USP/Manole, 2013.