

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* OURO BRANCO

BACHARELADO EM ENGENHARIA METALÚRGICA

Gislaine Aparecida Rezende Ângelo

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA
RECUPERAÇÃO DE SUCATA DE OBSOLESCÊNCIA EM UMA USINA
SIDERÚRGICA INTEGRADA**

Ouro Branco

2023

GISLAINE APARECIDA REZENDE ÂNGELO

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA
RECUPERAÇÃO DE SUCATA DE OBSOLESCÊNCIA EM UMA USINA
SIDERÚRGICA INTEGRADA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Metalúrgica do
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ouro
Branco para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Heric Henrique Souza e Silva.

Ouro Branco

2023

A584a Ângelo, Gislaine Aparecida Rezende.

Avaliação dos impactos econômicos e ambientais da recuperação de sucata de obsolescência em uma usina siderúrgica integrada [manuscrito] / Gislaine Aparecida Rezende Ângelo. – 2024.

51 f. : il.: color.

Orientador: Heric Henrique Souza e Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Branco, 2024.

1. Sucata de obsolescência. 2. Logística reversa. 3. Economia circular. I. Silva, Heric Henrique Souza e. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Branco. III. Título.

CDU 669.141.2

Catálogo: Rosângela Marques de Souza - CRB-6/2126

DOCUMENTO ÚNICO DE DEFESA DE TCC (ANEXO IV)

ATA DA DEFESA DE TCC

No dia 04/12/2023, às 21:00 horas, o aluno Gislaine Aparecida Rezende Ângelo do curso de ENG. METALÚRGICA turma 2018 do IFMG – Campus Ouro Branco defendeu o () TCC I (X) TCC II e foi APROVADA (aprovado/reprovado) com a nota 100%, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC. Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações e no formato solicitado em 19/12/2023.

O aluno está ciente de que, caso não cumpra os procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, sua nota será considerada **zero e a sua defesa será anulada**. Também está ciente de que o trabalho de conclusão de seu curso poderá ser divulgado pela Instituição através dos seus meios de comunicação.

Observações pertinentes da defesa:

DECLARAÇÃO ANTI-PLÁGIO

Eu, Gislaine Aparecida Rezende Ângelo, estudante do curso Bacharelado em Eng. Metalúrgica do IFMG – Campus Ouro Branco, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto ao IFMG – Campus Ouro Branco, que, **sob as penalidades previstas no art. 299 do Código Penal Brasileiro**, que é de minha criação o trabalho de conclusão de curso que ora apresento.

Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que dispõe sobre o crime de Falsidade Ideológica:

"Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia estar escrita, com o fim de prejudicar direito, criar obrigação ou alterar verdade sobre fato juridicamente relevante: Pena — reclusão, de 1 (um) a 5 (cinco) anos, e multa, se o documento é público, e reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa, se o documento é particular.

Parágrafo único. Se o agente é funcionário público, e comete o crime prevalecendo-se do cargo, ou se a falsificação ou alteração é de assentamento de registro civil, aumenta-se a pena de sexta parte." Este crime engloba plágio e compra fraudulenta de documentos científicos.

Por ser verdade, e por ter ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

Assinatura do aluno: Gislaine Aparecida Rezende Ângelo

NOME COMPLETO E ASSINATURA DOS COMPONENTES DA BANCA E DO ORIENTADO

Orientador(a): Nome: Meric Demétrio Souza e Silva Assinatura: Meric

Membro 2: Nome: Guilherme Liziero Ruggio da Silva Assinatura: Guilherme

Membro 3: Nome: Antonio Marlon Barros Silva Assinatura: Antonio

Membro 4: Nome: _____ Assinatura: _____

Membro 5: Nome: _____ Assinatura: _____

Aluno: Nome: Gislaine Aparecida Rezende Ângelo Assinatura: Gislaine

Dedico este trabalho a Deus, que sempre foi o autor da minha vida e do meu destino. Aos meus pais, Cláudia e José, e a minha irmã, Juliana, que estiveram sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e por me permitir superar todos os obstáculos encontrados ao longo da minha trajetória profissional.

À minha mãe, Cláudia Rezende, por estar sempre presente em minha vida, me apoiando e instruindo em minhas decisões. Ao meu pai, José Ângelo, pelo companheirismo. À minha irmã, Juliana Ângelo, pela amizade incondicional.

Agradeço ao meu professor e orientador, Heric Silva, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiou meu aprendizado ao longo do curso e da execução deste trabalho.

À professora Tainan Muniz e à professora Letícia Cheloni, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho durante a elaboração deste texto.

Por fim, agradeço ao IFMG – *Campus* Ouro Branco e todo seu corpo docente pela disponibilidade de atendimento e monitorias, salas e laboratórios e por todo aprendizado a mim concedido durante a realização do curso de Bacharelado em Engenharia Metalúrgica.

RESUMO

A geração de sucatas é uma consequência dos processos siderúrgicos e se torna uma valiosa matéria-prima utilizada nas usinas integradas, por isso a importância de sua recuperação. A utilização de sucatas é a garantia de aproveitamento de materiais considerados como resíduos por meio da implantação da logística reversa, processando e transformando as sucatas em insumo para fabricação do aço. Dentro deste cenário, este estudo apresenta a logística reversa, incorporada na economia circular, como instrumento para recuperação de sucatas de aço de obsolescência dispersas em uma usina siderúrgica integrada para consumo na aciaria. Estes materiais foram gerados devido a desativação de grandes áreas operacionais e mapeados no sistema de gestão integrado da usina, porém não receberam a destinação adequada, gerando acúmulo de resíduos sólidos nas áreas. Para promover a recuperação das sucatas, foi realizado um estudo de caso e executadas ações para garantir a efetividade do projeto. Para auxiliar na aplicação da logística reversa de forma a garantir a recuperação do material, foram utilizadas ferramentas de gestão, como diagramas de causa e efeito e Pareto. Com a execução do estudo de caso no período de doze meses, mais de 12 mil toneladas de sucatas foram recuperadas, totalizando um ganho econômico superior a quatro milhões de reais para a siderúrgica e evitando o consumo de, aproximadamente, 17 kt de minério de ferro, 9 kt de carvão, 1,5 kt de calcário e 18 kt de emissões de CO₂. Os impactos econômicos e ambientais da utilização das sucatas de obsolescência recuperadas foram avaliados e considerados favoráveis para a siderúrgica integrada. Com os resultados obtidos, observou-se que a logística reversa possibilitou a coleta e reciclagem continuada de sucatas de obsolescência, promovendo redução dos custos operacionais e transformando os resultados em ganhos financeiros e ambientais para a empresa.

Palavras chave: Sucata de obsolescência. Logística reversa. Economia circular.

ABSTRACT

The generation of scrap is a consequence of steelmaking processes and becomes a valuable raw material used in integrated mills, hence the importance of its recovery. The use of scrap is the guarantee of using materials considered as waste through the implementation of reverse logistics, processing and transforming scrap into raw material for the manufacture of steel. Within this scenario, this study presents reverse logistics, incorporated in the circular economy, as a tool for recovering obsolete steel scrap dispersed in an integrated steel plant for consumption in the melt shop. These materials were generated due to the deactivation of large operational areas and mapped by the plant's integrated management system since they were not properly disposed, there was an accumulation of solid waste in the areas. To promote the recovery of scrap, a case study was carried out and actions were taken to ensure the effectiveness of the project. To assist in the application of reverse logistics to ensure material recovery, management tools were used, such as Ishikawa and Pareto diagrams. With the execution of the case study over a period of twelve months, more than 12 thousand tons of scrap were recovered, adding an economic earning of more than four million reais for the steel company and avoiding the consumption of approximately 17 kt of iron ore, 9 kt of coal, 1.5 kt of limestone and 18 kt of CO₂ emissions. The economic and environmental impacts of using recovered obsolescence scrap were evaluated and considered favorable for the steel company. With the results obtained, it was observed that reverse logistics enabled the continuous collection and recycling of obsolescence scrap, promoting a reduction in operational costs and transforming the results into financial and environmental gains for the company.

Keywords: Obsolescence scrap. Reverse logistics. Circular economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rotas de produção do aço: usina integrada e semi-integrada.	5
Figura 2. Operação do convertedor LD.	6
Figura 3. Exemplo de classificação de sucatas.	8
Figura 4. Geração de sucata de aço por tipo.	9
Figura 5. Taxa global estimada para recuperação de aço em fim de vida útil por setor.	10
Figura 6. Sucata de obsolescência estocada em pátio de uma siderúrgica.	10
Figura 7. Carregamento de canaleta com sucatas em conversor.	11
Figura 8. Ferro gusa sólido, também denominado "pão de gusa".	12
Figura 9. Comparação entre a economia linear e circular.	13
Figura 10. Benefícios da economia circular.	14
Figura 11. Estrutura da logística direta e reversa.	16
Figura 12. Sucatas dispersas na Área 1.	24
Figura 13. Sucatas dispersas nos pátios externos da Área 1.	24
Figura 14. Sucatas dispersas na Área 2.	24
Figura 15. Sucatas dispersas na Área 3.	25
Figura 16. Sucatas dispersas na Área 4.	25
Figura 17. Massa de sucata e percentual acumulado considerando a dispersão por local.	26
Figura 18. Massa de sucata e percentual acumulado considerando os motivos da geração de sucata de obsolescência na siderúrgica.	27
Figura 19. Diagrama de Causa e Efeito adaptado para identificar as causas raízes da ocorrência de sucatas dispersas.	29
Figura 20. Plano de ação para recuperação das sucatas dispersas.	30
Figura 21. Quantitativo de sucata recuperada e entregue no pátio.	32
Figura 22. Custo anual estimado da empresa consumindo sucata de obsolescência de aço e gusa sólido.	37
Figura 23. Recursos naturais preservados e emissões de CO ₂ evitadas devido a transformação de sucata de obsolescência em novo aço.	40
Figura 24. Pátio externo da Área 1 após retirada das sucatas.	41
Figura 25. Área 2 isenta de sucatas.	42
Figura 26. Área 3 limpa e sem sucatas alocadas.	42
Figura 27. Pátio da Área 4 após coleta da sucata dispersa.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Bancos virtuais utilizados para consultas bibliográficas.	20
Tabela 2. Sucatas recebidas no pátio nos doze meses antes do projeto de recuperação.	28
Tabela 3. Quantitativo aproximado de sucata de aço de obsolescência recebida no pátio de preparação de sucatas.	34
Tabela 4. Relação entre o consumo de sucata de obsolescência e de gusa sólido equivalente.	35
Tabela 5. Preço da sucata de aço de obsolescência e do ferro gusa sólido.	36
Tabela 6. Impacto econômico da utilização de sucata de obsolescência de aço.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Processo produtivo de aços	4
3.1.1 Aciaria a oxigênio	6
3.2 Sucatas de aço.....	7
3.2.1 <i>Comparativo entre ferro gusa sólido e sucatas de aço</i>	11
3.3 Economia circular.....	12
3.3.1 <i>Logística direta e logística reversa</i>	15
3.3.2 <i>A logística reversa e o gerenciamento de resíduos sólidos</i>	16
3.4 Impactos econômicos e ambientais da utilização de sucatas.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Universo e amostragem	20
4.2 Coleta dos dados.....	21
4.3 Análise dos dados obtidos	21
4.4 Plano de ação para recuperação das sucatas	22
4.5 Análise ambiental e econômica promovida pela recuperação das sucatas.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1 Estudo de caso	23
5.1.1 <i>Identificação do problema</i>	23
5.1.2 <i>Observação</i>	25
5.1.3 <i>Análise</i>	28
5.1.4 <i>Plano de ação</i>	29
5.1.5 <i>Ações</i>	30

5.1.6	<i>Verificação</i>	31
5.1.7	<i>Padronização</i>	33
5.1.8	<i>Conclusão do Estudo de Caso</i>	33
5.2	<i>Avaliação dos impactos da recuperação de sucata de obsolescência</i>	34
5.2.1	<i>Avaliação do impacto econômico</i>	35
5.2.2	<i>Avaliação do impacto ambiental</i>	38
6.	CONCLUSÕES	44
	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A – Fluxograma da metodologia de estudo	51

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Worldsteel Association (2021), sucata de aço é um termo utilizado para descrever o aço que atingiu o fim da sua via útil. O termo também abrange os resíduos gerados na fabricação de produtos siderúrgicos, como despontes em linhas de laminações e lingotamentos contínuos. É uma valiosa matéria-prima utilizada nos processos siderúrgicos em usinas integradas, atuando como fonte de ferro para a produção de aço e como agente refrigerante, absorvendo o excesso de calor do processo exotérmico de decarbonização do aço (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). O consumo de sucata no setor de aço caracteriza-se tradicionalmente por ser constituído pela sucata gerada internamente nas usinas siderúrgicas e pela sucata comprada no mercado (LEITE, 2009).

Segundo Rizzo (2005), a proporção de ferro gusa líquido utilizada na carga metálica de um convertedor a oxigênio para refino primário de aço depende de fatores como composição química e temperatura do gusa. Também depende de fatores relacionados a especificação do aço a ser produzido, da pureza de carga sólida e da disponibilidade de sucata. Normalmente, a carga líquida de gusa varia entre 75 a 85% da fonte ferrosa e, para completar o balanço da carga metálica, são utilizadas sucatas (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). Produtos como gusa sólido e ferro esponja podem ser utilizados em substituição a sucata, porém, a sucata é mais vantajosa devido possuir menor custo, favorecendo a estabilidade do custo operacional para produção do aço. Este último é um fator que possibilita a empresa se manter mais competitiva no mercado mundial de aço.

A utilização de sucatas é a garantia de aproveitamento de materiais considerados como resíduos por meio da implantação da logística reversa, processando e transformando as sucatas em matérias-primas para fabricação do aço nas usinas. Minoves *et al.* (2015) descreveram que a logística reversa da sucata metálica gera um novo sistema produtivo por meio da coleta, preparação e negociação de sucata ferrosa oriunda do pós-consumo. A sucata externa e a sucata gerada na própria usina retornam ao processo siderúrgico e se transformam em novo aço. Esse processo reduz a utilização de minérios de ferro, carvão e energia necessários para a produção de ferro gusa e, conseqüentemente, o aço (MINOVES *et al.*, 2015).

De acordo com Leite (2009), a logística reversa objetiva tornar possível o retorno total ou parcial dos bens materiais ao ciclo produtivo ou de negócios. Desta forma, agrega valores econômicos e ecológicos mediante a reciclagem de sucatas ferrosas, garantindo,

também, o cumprimento legal relacionado à responsabilidade do gerador pelo resíduo gerado. No que tange a reciclagem, a logística reversa possui viés importante em relação à geração de receita para empresa, devido o material reciclado possuir características de matéria-prima, sendo novamente reintegrado ao processo com custo inferior ao da matéria-prima de origem (REIS, 2015).

Nota-se a diminuição da geração interna de sucata de retorno como consequência das melhorias de processos de laminação e lingotamentos. Desta forma, as usinas siderúrgicas necessitam recorrer ao mercado de sucata para obtenção dos materiais, visando manter a utilização de sucata metálica como matéria-prima nos convertedores das aciarias. Alternativamente, esta demanda pode ser suprida por meio da utilização de sucatas de obsolescência geradas dentro das próprias usinas mediante substituições e manutenções de máquinas e equipamentos e desmobilização de áreas industriais obsoletas para produção de aço.

As sucatas de obsolescência podem ser geradas dentro das próprias usinas e também pela sociedade, mediante descarte de bens materiais, como veículos, eletrodomésticos, desmonte de unidades industriais entre outros, e a importância de sua utilização vai além da necessidade de suprir a demanda por sucata nas siderúrgicas. A reciclagem de aço em fim de vida útil promove a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, mitigando o risco de poluição do solo e da água, ocasionado potencialmente pela alocação de sucatas em locais não preparados. Também proporciona a preservação de recursos naturais, devido evitar a extração de matérias-primas da natureza, garante a conservação de água e energia em processos industriais e reduz a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Desta forma, utilizar sucatas de obsolescência gera benefícios tanto para a empresa quanto para a sociedade.

Dentro deste cenário, este estudo apresenta a logística reversa como instrumento para recuperação de sucatas de obsolescência de aço dispersas em áreas de produção de uma usina siderúrgica integrada localizada em Minas Gerais. O objetivo é promover a destinação, de forma adequada, dessas sucatas para o pátio de metálicos da siderúrgica onde, posteriormente, serão classificadas e preparadas para consumo na aciaria equipada com conversores à oxigênio, denominada aciaria LD. A recuperação faz-se necessária visto que o reaproveitamento dessas sucatas poderia gerar a minimização de custos para a empresa e a sustentabilidade ambiental. Avalia-se, também neste estudo, os impactos econômicos e ambientais da utilização das sucatas recuperadas, com intuito de potencializar o reaproveitamento de sucatas de obsolescência dispersas na siderúrgica em estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a utilização da logística reversa para recuperação de sucatas de obsolescência de aço dispersas em uma usina siderúrgica, mediante utilização de ferramentas de gestão, bem como avaliar os impactos da utilização destes materiais em relação ao meio ambiente e custo operacional para produção do aço na siderúrgica.

2.2 Objetivos Específicos

- Compreender os fatores principais da logística reversa de sucatas ferrosas;
- Identificar a origem e geração das sucatas de obsolescência da siderúrgica em estudo;
- Compreender e analisar a gestão do material e o motivo de não destinação para o pátio de metálicos da usina;
- Identificar as possíveis formas de recuperação dessas sucatas dispersas em áreas da siderúrgica;
- Avaliar as possíveis oportunidades e os impactos no custo operacional e meio ambiente mediante utilização dessas sucatas nos convertedores da aciaria LD.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O avanço tecnológico industrial garantiu a alavancagem dos processos de produção, incluindo os processos siderúrgicos para a produção de aço. O desenvolvimento da tecnologia assegura maior velocidade de produção e redução dos gastos dos processos (AÇO BRASIL, 2023). Desta forma, o aumento significativo da produção de bens de consumo, como eletrodomésticos, eletroeletrônicos de variadas formas (celulares, *tablets*, computadores etc), veículos entre outros, acarretou o aumento dos descartes em velocidade elevada, já que em um curto período de tempo o consumidor se desfaz do produto antigo e adquire outro recém lançado no mercado (HEMPE, L. J.; HEMPE, C, 2015). Além disso, as trocas dos bens de consumo após sua vida útil ou por fatores que inviabilizem sua utilização por novos produtos também geram resíduos que podem não possuir o manejo correto após descarte (HEMPE, L. J.; HEMPE, C, 2015). A partir deste cenário, a logística reversa surge como uma ferramenta que dispõe a reintegração dos diversos resíduos gerados novamente ao ciclo produtivo, sendo reaproveitados como matéria-prima, de forma a promovê-los com o mínimo de impacto ambiental e econômico (ASIZ, 2016).

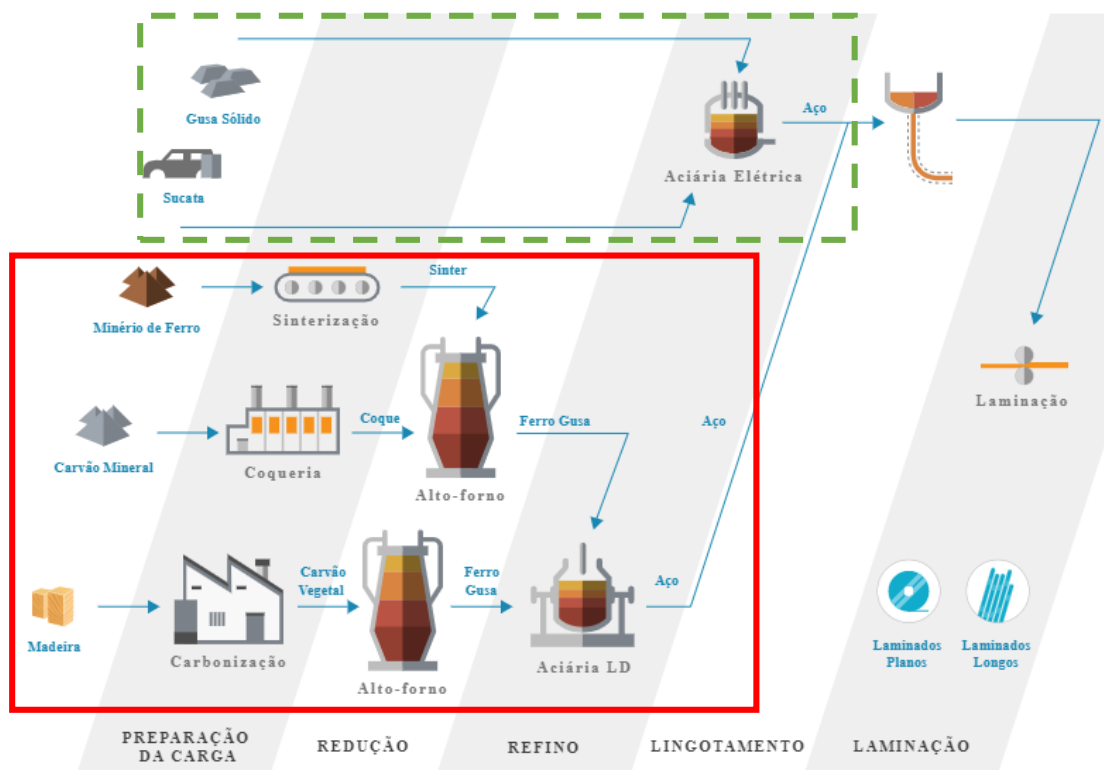
Esta forma de reaproveitamento dos resíduos também é aplicada nos setores siderúrgicos que visam reduzir os impactos da metalurgia extrativa para obtenção de novas matérias-primas, garantindo a utilização de sucatas em suas rotas de fabricação de aço. De acordo com WorldSteel Association (2021), a utilização de sucata como matéria-prima para fabricação de aço possui papel fundamental na supressão das emissões de gases das siderúrgicas e consumo de recursos (minério de ferro, carvão entre outros). Cada tonelada de sucata carregada para nova produção de aço evita a emissão de 1,5 t de CO₂ na atmosfera e o consumo de 1,4 t minério de ferro, 740 kg de carvão e 120 kg calcário (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021).

3.1 Processo produtivo de aços

De acordo com WorldSteel Association (2021), o aço é o material de engenharia e construção mais importante do mundo, sendo este uma liga metálica composta por ferro e carbono, contendo teor de carbono inferior a 2% em peso, elementos de liga e pequenas quantidades de impurezas oriundas do processo. Conforme definem Mourão *et al.* (2007), as usinas siderúrgicas podem ser divididas em dois grandes grupos: usinas integradas e semi-integradas (denominadas *mini-mills*). A principal diferença entre as rotas de produção são as

matérias-primas que são consumidas, conforme apresentado na Figura 1. As usinas integradas são aquelas que utilizam o ferro primário para produção de aço, ou seja, utiliza o minério de ferro para produção de ferro gusa nos altos fornos da empresa e posteriormente destina o gusa líquido para a aciaria, onde será convertido em aço, juntamente com sucata metálica, por meio do sopro de oxigênio nos conversores (MOURÃO *et al.*, 2007). A rota primária está destacada em cor vermelha e linha contínua na Figura 1. As usinas semi-integradas são caracterizadas pela obtenção de aço a partir do ferro secundário, isto é, utilizando sucata metálica sólida que receberá energia para se fundirem nos convertedores (MOURÃO *et al.*, 2007). A rota secundária está identificada em quadro verde e linha tracejada na Figura 1.

Figura 1. Rotas de produção do aço: usina integrada e semi-integrada.



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2020.

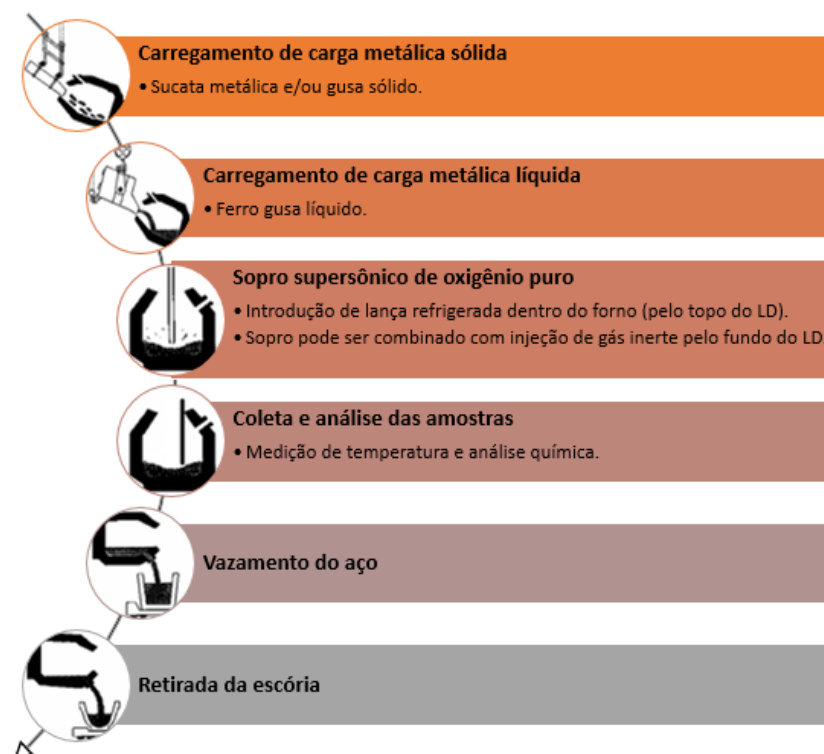
A rota produtiva das usinas integradas utiliza matérias-primas incluindo minério de ferro, carvão, calcário e aço reciclado. De acordo com WorldSteel Association (2023), em média, para a produção de 1.000 kg de aço produzido, são utilizadas 1.370 kg de minério de ferro, 780 kg de coque (carvão metalúrgico), 270 kg de calcário e 125 kg de sucata. Estes números variam entre as empresas de acordo com os balanços de massa e energia adotados para a produção de aço.

A maioria dos produtos fabricados a partir do aço permanece em uso por longos períodos antes de serem descartados e reciclados. Desta forma, não há aço em fim de vida útil suficiente para atender a demanda de produção de aço apenas utilizando a rota de obtenção a partir do ferro secundário (usinas semi-integradas). A demanda é suprida combinando as rotas com forno básico à oxigênio (BOF) e forno elétrico à arco (EAF), definidas respectivamente, pelas usinas integradas e semi-integradas (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). Este fator justifica a importância das usinas que utilizam o ferro primário para fabricação de aço no mercado mundial.

3.1.1 Aciaria a oxigênio

O processo de produção de aço, em escala industrial, mediante a injeção de oxigênio de alta pureza teve início na cidade de Linz, em paralelo com estudos realizados em Donawitz, e em 1952 tornou-se realidade. Desta forma, o processo LD leva o nome referente as duas cidades austríacas, Linz e Donawitz (MAGALHÃES, 2017). O processo de obtenção de aço no LD inicia-se com o carregamento da carga metálica, sopro de oxigênio puro (iniciando o refino primário do aço), amostragem e, posteriormente, vazamento do aço e escória separadamente, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Operação do convertedor LD.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Magalhães, 2017.

O refino primário no convertedor LD promove a redução do teor de carbono contido no ferro gusa líquido, bem como a redução ou eliminação de outros elementos presentes no banho metálico, como silício, fósforo, manganês, enxofre entre outros por meio de sua oxidação (MAGALHÃES, 2017). Grande parte do carbono retirado do ferro gusa é coletado na forma de gás CO e CO₂ e pela escória são retiradas as demais impurezas oxidadas (KURTZ, 2020). Desta forma, a composição do aço é ajustada para níveis previamente estipulados para o tipo de aço a ser produzido, mediante solicitação do cliente.

Conforme descrito pela WorldSteel Association (2012), o processo LD é rápido e permite converter uma carga de ferro gusa líquido de até 350 t em aço em torno de 40 minutos. Além da rapidez, o processo permite também a reciclagem de sucatas metálicas, sendo estas adicionadas com o gusa líquido, compondo a carga metálica utilizada no processo de fabricação do aço. Em um convertedor LD é possível utilizar até 25% de sucata metálica (carga sólida) (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2012).

3.2 Sucatas de aço

O termo sucata de aço é utilizado para definir o aço que chegou ao fim de sua vida útil ou que foram geradas durante os processos de fabricação dos produtos siderúrgicos (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). A sucata é uma valiosa matéria-prima utilizada nos processos siderúrgicos e possui papel fundamental, pois, além de fornecer ferro, ela é essencial para controle de temperatura do aço (atua como material refrigerante) e proteção do refratário do conversor LD (BARBOSA, 2019).

As sucatas metálicas ferrosas podem ser classificadas considerando a composição química (teor de ferro e impurezas), dimensões e densidade. As sucatas de aço podem ser classificadas em: primeira categoria, de segunda categoria e recuperada. A sucata de primeira categoria abrange os materiais de geração interna de linhas de laminações e lingotamentos contínuos, sendo esse tipo considerada sucata de retorno. É constituída de placas, blocos, tarugos, perfis, chapas grossas, chapas e bobinas laminadas a quente ou a frio e bobinas de fio máquina (RIZZO, 2005).

A sucata de aço de segunda categoria é obtida a partir do sucateamento de bens de consumo ou dos processos de fabricação (estampagem, usinagem, forjamento etc.), podendo conter parte de componentes mecânicos, não metálicos e não-ferrosos (RIZZO, 2005). Dentro desse grupo está a sucata de obsolescência, que pode ser de origem interna da própria usina

devido a manutenções nas áreas de produção ou adquirida no mercado externo. Sobre as sucatas de aço recuperadas, elas são obtidas através do beneficiamento de resíduos das usinas siderúrgicas, principalmente escória de aciaria (RIZZO, 2005). A Figura 3 exemplifica um modelo de classificação de sucatas e suas características.

Figura 3. Exemplo de classificação de sucatas.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Rizzo, 2005.

A sucata é gerada, não produzida, e todo material, antes de ser reaproveitado na produção siderúrgica, deve ser coletado e beneficiado para garantir que esteja em tamanho adequado para carregamento nos convertedores e isento de impurezas (TRINDADE JUNIOR, 2013). O aço que chegou ao fim de sua vida útil é denominado como sucata pós consumo e as sucatas que foram geradas durante os processos de fabricação dos produtos siderúrgicos são conhecidas como sucatas pré-consumo (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). As sucatas pré-consumo podem ser adicionadas ao ciclo do aço em menos de um ano após sua geração. Já as sucatas pós-consumo levam um prazo maior para serem coletadas e recicladas (NICHOLAS; BASIRAT, 2021).

O critério para maior utilização de sucata de obsolescência é a garantia de disponibilidade do material para consumo, fator este que depende de sua coleta e preparação

(etapa de classificação e beneficiamento). A Figura 4 apresenta os tipos de sucatas e sua classificação, bem como seu percentual de geração e tempo para reciclagem.

Figura 4. Geração de sucata de aço por tipo.

Definição	Classificação	Tempo para reciclagem	Estimativa de Geração (%)
Pré-consumo	Sucata de retorno	Poucos dias	20
	Sucata industrial de processos	Menos de um ano	30
Pós-consumo	Sucata de obsolescência (sucata em fim de vida)	Mais de um ano	50

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Nicholas e Basirat, 2021.

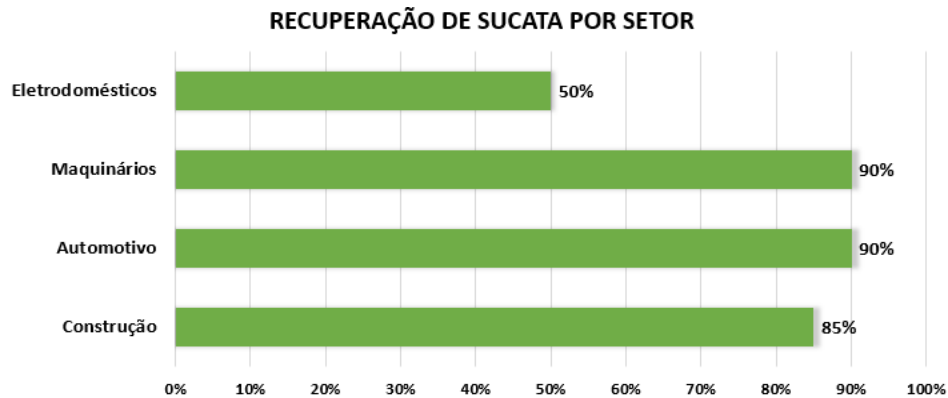
As sucatas de obsolescência, foco deste estudo, estão ligadas a quantidade de aço que foi produzida no passado, a vida útil dos produtos siderúrgicos e a eficácia dos processos de reciclagem (FERREIRA; RIBEIRO; COSTA, 2013). Este material provém do aço descartado pela sociedade após sua utilização, como veículos, eletrodomésticos, silos, tanques, máquinas, desmonte de unidades industriais entre outros (INESFA, 2012).

O uso desse tipo de sucata está associado com o grau de desenvolvimento: o forte ritmo de desenvolvimento alcançado pela população eleva as taxas de consumo, fazendo com que haja maior volume de produção de produtos e, conseqüentemente, aumento dos descartes (TRINDADE JUNIOR, 2013; HEMPE, L. J.; HEMPE, C, 2015). Com o reaproveitamento do aço sucateado, outros tipos de matérias-primas são evitados de serem utilizados, como exemplo, o ferro gusa sólido. Na siderúrgica que se ambienta este trabalho, a indisponibilidade de sucata de aço é suprida utilizando gusa sólido.

A vida útil média de um produto siderúrgico é de 40 anos, logo, há um atraso entre o aço que está sendo produzido e o disponível para reciclagem (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). Com o aumento da produção mundial de aço no início do século XXI, espera-se que a sucata de obsolescência aumente a partir do momento que esses materiais produzidos e aplicados em diversos setores, como construção e automotivo, comece a chegar ao fim de sua vida útil (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021).

Estima-se que, mundialmente, a sucata de obsolescência atingirá cerca de 600 Mt em 2030 e 900 Mt em 2050 (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021). A Figura 5 demonstra as taxas globais estimadas para recuperação de sucata de aço por setor, considerando um volume de 100% de todo material em desuso por cada setor listado. Observa-se que grande parte dos materiais sucateados no setor automotivo e de maquinários conseguem ser recuperados, caracterizando poucas perdas de metálicos como resíduos sólidos.

Figura 5. Taxa global estimada para recuperação de aço em fim de vida útil por setor.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Worldsteel Association, 2023.

A sucata de obsolescência é, normalmente, de difícil coleta, sem controle da composição química e baixa densidade. Devido ao diverso *mix* de composição, conforme pode ser observado na Figura 6, esse tipo de sucata pode conter contaminantes, o que implica em uma etapa mais criteriosa para classificação e preparação destes materiais antes de serem carregados nos convertedores (FERREIRA; RIBEIRO; COSTA, 2013; MIRANDA, 2019). Na unidade que ambienta este trabalho, a classificação ocorre mediante distribuição da carga no solo, com utilização de escavadeira hidráulica com implemento de garra ou eletroímã, e posterior segregação realizada pelo operador classificador de sucatas do pátio.

Figura 6. Sucata de obsolescência estocada em pátio de uma siderúrgica.



Fonte: Ideia Socioambiental, 2019.

Após separação dos materiais, a sucata adequada para consumo é destinada para as baias, alocadas por tipo, sendo disponibilizadas para carregamento em canaletas e posterior atendimento aos conversores da aciaria. A Figura 7 retrata o carregamento de sucatas no convertedor, via canaleta.

Figura 7. Carregamento de canaleta com sucatas em conversor.



Fonte: Dynapar Encoders, 2013.

O objetivo da classificação e preparação da carga é garantir a remoção de peças contaminantes devido aos riscos de reações (explosões) e desvio da composição química ideal. Segundo Rizzo (2005), para minimizar esses riscos, a sucata carregada não pode conter óleo, latas de tinta ou combustível cheias, elementos não ferrosos e não metálicos em geral, materiais que possam reter água (peças ocas), componentes hidráulicos e pneumáticos (como atuadores), amortecedores, tanques e demais peças vedadas, motores, compressores, materiais radioativos e explosivos. Também é fundamental separar as peças com dimensões incompatíveis para o carregamento, sendo necessário adequá-las para que seja permitida sua completa fusão, não causar estragos ao refratário do forno e evitar obstruções na boca do convertedor. Esse processamento normalmente é realizado por oxicorte, escavadeiras hidráulicas com implemento de tesoura ou prensas.

3.2.1 Comparativo entre ferro gusa sólido e sucatas de aço

Além das sucatas, as aciarias podem utilizar ferro gusa sólido para compor a carga metálica. Geralmente este material é utilizado como matéria-prima devido a indisponibilidade de sucata de aço para reciclagem. A vantagem do ferro gusa sólido em relação a sucata se deve ao fato de, mesmo no estado sólido, o ferro gusa apresenta menor ponto de fusão que a sucata de aço, fator que acelera o início do processo de fusão da carga metálica no convertedor (RIZZO, 2005).

Possui, também, maior densidade aparente, o que favorece a redução de volume ocupado na canaleta de sucata, permitindo carregar maiores quantidades de materiais. O teor de carbono também é mais elevado, podendo gerar uma energia adicional devido as reações exotérmicas de formação de CO e CO₂ (RIZZO, 2005). Comumente o ferro gusa sólido é fornecido em formato de “pão de gusa”, demonstrado na Figura 8 (RIZZO, 2005).

Figura 8. Ferro gusa sólido, também denominado "pão de gusa".



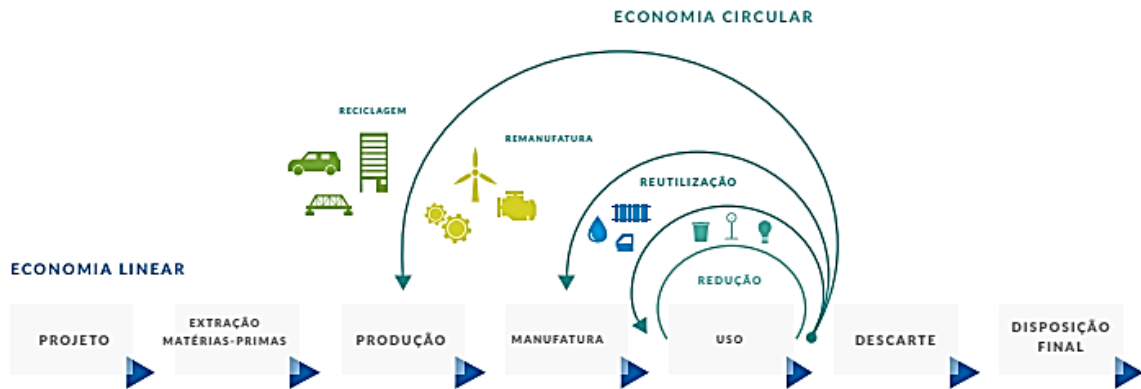
Fonte: Multilift, 2018.

As desvantagens da utilização do gusa sólido incluem, além do alto custo do material que eleva o valor da carga metálica, a necessidade de limitar o volume de ferro gusa sólido carregado. Esta restrição se faz necessária devido ao possível teor de enxofre e fósforo contido no material, pois, esses elementos residuais, mesmo em pequenas quantidades, possibilitam o risco de reduzir drasticamente as propriedades mecânicas dos aços. Outro motivo dessa restrição é em relação a velocidade de fusão do gusa, sendo esta inferior à do aço, fazendo com que sua utilização possa aumentar o tempo de refino nos conversores e a necessidade de utilização de fundentes, como a cal e dolomita (RIZZO, 2005).

3.3 Economia circular

A economia circular trata-se de um novo modelo de produção e consumo. Diferencia-se do princípio da economia linear, pois, desassocia o desenvolvimento econômico da utilização recorrente dos recursos naturais extraídos diretamente da natureza (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020). Segundo o modelo de economia linear, após retirada de matérias-primas, fabricação e utilização dos produtos, os mesmos eram descartados no fim de suas vidas úteis. No modelo circular, um design mais inteligente é proposto para reduzir, reusar, remanufaturar e reciclar os produtos (BROADBENT, 2015). Estão representados na Figura 9 os modelos de economia linear e circular.

Figura 9. Comparação entre a economia linear e circular.



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2020.

A eficiência ideal dos produtos é impulsionada pela economia circular, fundamentado na garantia de que os recursos serão alocados de forma eficaz para produção de novos produtos e serviços de forma a maximizar o bem-estar econômico, social e ambiental. Essa essência é fundamental para a concepção do tripé da sustentabilidade, sendo este baseado na interação entre o meio ambiente, os fatores econômicos e a sociedade (BROADBENT, 2015)

A redução da carga sobre a natureza para obtenção de recursos, fazendo com que eles permaneçam em uso pelo maior tempo possível caracteriza uma economia circular sustentável (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2023). Como material permanente, 100% reciclável sem qualquer perda de qualidade e presente em toda parte, o aço está no centro de um futuro sustentável, sendo fundamental para alavancar uma economia circular (BROADBENT, 2015; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020; WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2023).

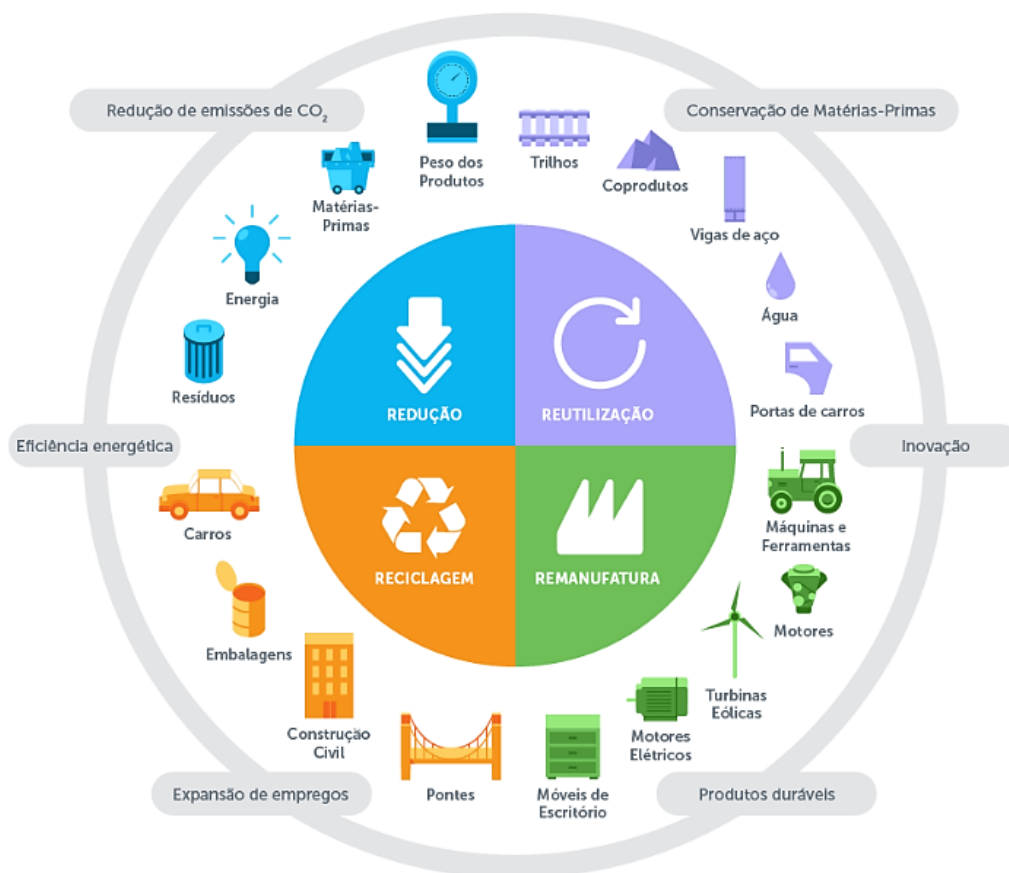
De acordo com a Worldsteel Association (2023), o princípio base da economia circular é caracterizado pela aplicação dos 4Rs: reduzir, reutilizar, remanufaturar e reciclar. Considerando os produtos fabricados em aço, estes itens podem ser descritos como:

- Redução: diminuir a quantidade de recursos utilizados para fabricar produtos siderúrgicos, como materiais e energia, e reduzir o peso do aço aplicado nos produtos;
- Reuso: reutilizar o material sem alterar sua forma física, podendo ser reutilizado para a finalidade original ou semelhante;
- Remanufatura: processo que garante a restauração dos bens de consumo à condição de produtos novos;

- Reciclagem: fundir os produtos de aço que alcançaram o fim de sua vida útil para produção de novos materiais, conferindo alterações nas geometrias para possibilitar nova aplicação do aço reciclado.

Os produtos fabricados em aço e seus componentes podem ser efetivamente reutilizados, remanufaturados ou reciclados, gerando empregos, produtos duradouros, eficiência e inovação, estimulação da reciclagem, conservação das matérias-primas não renováveis e redução das emissões de CO₂, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10. Benefícios da economia circular.



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2016.

Segundo o Instituto Aços Brasil (2020), a cada ano a indústria siderúrgica utiliza a inovação tecnológica e de processos para alavancar a economia circular. A maximização do uso de sucatas no processo produtivo do aço é uma das práticas englobadas no modelo circular que permite o reaproveitamento de insumos, a redução do uso de matéria-prima virgem e o descarte adequado de produtos metálicos ferrosos. A ideia da logística reversa da utilização de sucata em processos siderúrgicos está integrada no modelo circular de economia.

3.3.1 *Logística direta e logística reversa*

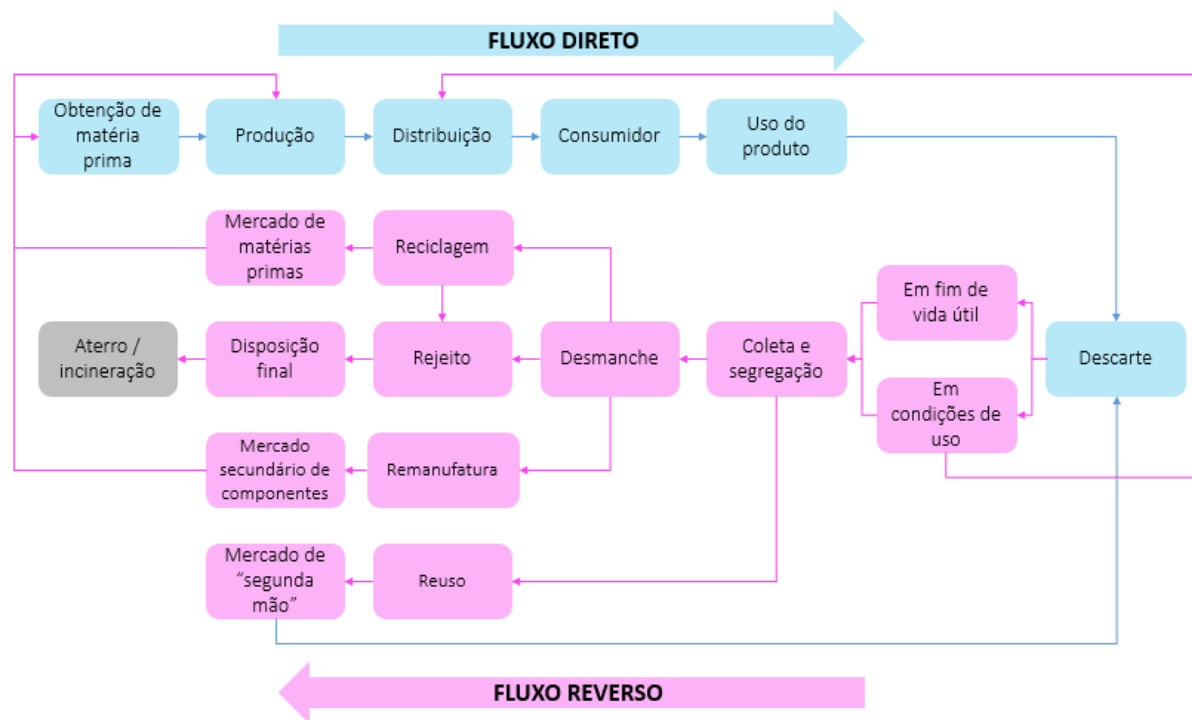
O avanço dos processos de fabricação, alavancados pelo aumento do consumo de bens e produtos, exigiu processos logísticos mais eficientes para conseguir destinar todos os produtos, porém também, originou demandas específicas para armazenamento dos resíduos gerados (MINOVES *et al.*, 2015). Dentro dos aspectos econômicos e ambientais, a logística reversa surgiu para potencializar e flexibilizar operacionalmente a redistribuição e retorno de materiais descartados para o processo. O fluxo reverso visa a redução de extração de materiais da natureza e a responsabilidade sobre as mercadorias eliminadas, bem como com a pretensão de favorecer o giro da economia com a aquisição de um novo bem de consumo recuperado (ASIZ, 2016; FERREIRA; GONÇALVES; SCHEFFELMEIER, 2019; MINOVES *et al.*, 2015).

De acordo com Rossés *et al.* (2015), a temática da logística direta e reversa tem sido de grande importância para as organizações. A logística direta está fundamentada em três pilares, sendo eles a companhia, os clientes e concorrentes. Desta forma, visa gerenciar recursos e proporcionar superioridade e competitividade para preferência dos consumidores. Já a logística reversa ganha destaque pela consciência de que os recursos primários do planeta não são infinitos, sendo necessárias práticas e políticas relacionados a sustentabilidade ambiental para preservação do planeta Terra (ROSSÉS *et al.*, 2015).

Para Leite (2009), a logística direta (fluxo direto) é constituída pelas etapas onde os bens de consumo são produzidos e comercializados até alcançar o consumidor final. A logística reversa (fluxo reverso) se preocupa em garantir que parcela desses produtos fabricados retornem ao ciclo produtivo ou de negócios (vendas), sendo por meio da reciclagem ou remanufatura do produto.

Enquanto na logística direta o fluxo é linear, da extração da matéria-prima virgem e fabricação dos insumos para consumo, na logística reversa o fluxo é circular, ampliando a cadeia de suprimentos formando ciclos que reintegram os materiais em desuso a etapas anteriores da cadeia para novo processamento, reciclagem ou reutilização (SANT'ANNA; MACHADO; BRITO, 2015). Conforme demonstrado na Figura 11, a logística direta tange o fluxo de materiais do ponto de aquisição até o ponto de consumo e a logística reversa refere-se ao fluxo de produtos do ponto de consumo (desuso) até retorno ao ponto de origem do ciclo produtivo (ROSSÉS *et al.*, 2015).

Figura 11. Estrutura da logística direta e reversa.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Sant'anna; Machado; Brito, 2015.

A logística reversa pode ser classificada em dois subtemas: pós consumo e pós-venda. O fluxo reverso pós consumo é constituído pelo retorno de uma parcela dos produtos em desuso ao ciclo produtivo, podendo ser pela reciclagem ou reutilização. O método pós-venda está ligado a devolução dos bens para o distribuidor, seja por avarias, erros de pedidos, baixa performance do produto entre outros (LEITE, 2009). Neste estudo, toma-se como base e referência a logística reversa pós consumo, pois, o trabalho retrata a recuperação e utilização de sucata ferrosa de obsolescência para fabricação de aço em convertedor LD.

3.3.2 A logística reversa e o gerenciamento de resíduos sólidos

Visando o foco em sustentabilidade nos processos produtivos e a possibilidade de reutilizar e reaproveitar materiais considerados como resíduos, o Ministério do Meio Ambiente instituiu no Brasil, em 02 de agosto de 2010, a Lei 12.305 que versa a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS/2010). Nesse documento, a logística reversa foi definida como:

“Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em

outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada aos resíduos sólidos” (BRASIL, 2010, Capítulo II, Art. 3, inciso XII).

Neste documento é apresentado o conceito de responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos sólidos e estimulado os métodos para prevenção e redução da geração de resíduos. A proposta abrangida é a prática de hábitos de consumo sustentáveis e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e reutilização dos resíduos e, também, a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, ou seja, do que não pode ser reaproveitado (ASIZ, 2016).

As sucatas ferrosas são consideradas como resíduos não perigosos, ou seja, oferecem baixo risco de danos ambientais, sendo abordados na alínea “b” do Art. 13 da PNRS/2010. As siderúrgicas, além de garantirem o cumprimento da Lei, passaram a usufruir dos benefícios da logística reversa, a reciclagem de sucata é um exemplo (HEMPE, L. J.; HEMPE, C, 2015). A sucata ferrosa é um importante insumo para a produção de aço e a própria siderúrgica gera esse resíduo sólido, posteriormente adequado em materiais-prima, através de sobras dos processos produtivos e dos produtos gerados. Logo, esse setor da indústria já se encontra inserido no conceito da logística reversa (TRINDADE JUNIOR, 2013).

Desta forma, considerou-se a oportunidade de aplicação do fluxo reverso para recuperação de sucatas de obsolescência geradas na siderúrgica abordada neste estudo. Estes materiais foram gerados por meio do desuso de máquinas, equipamentos e desmobilização de grandes áreas produtivas. Além da garantia do cumprimento da Lei, os descartes metálicos poderiam ser inseridos novamente nos conversores da aciaria, sendo reciclados e contribuindo para carga metálica utilizada na fabricação de um novo aço.

3.4 Impactos econômicos e ambientais da utilização de sucatas

A literatura descreve várias as vantagens da aplicação da logística reversa. Com este método, onde se recicla e utiliza sucatas metálicas ferrosas como matéria-prima para a produção do aço, pode-se dizer que insumos como minério de ferro, calcário e carvão mineral tendem a ser consumidos em menores quantidades, desta forma, reduzindo sua extração da natureza e tendendo a minimizar impactos ambientais, como rompimento de barragens de rejeitos. Também, haverá redução do consumo de água e conservação da energia, tendo em visto que a rota primária (minério de ferro) requer maior consumo energético e água nos processos de extração e redução para obtenção do ferro e posteriormente do aço, processo que

provoca exaustão dos recursos minerais limitados provenientes da natureza. (FERREIRA; GONÇALVES; SCHEFFELMEIER, 2019; MINOVES *et al.*, 2015).

A logística reversa também proporciona o descarte adequado dos resíduos, reduzindo a poluição ambiental. Durante a etapa de desmonte das peças sucata, óleos, fluidos e demais materiais que não podem ser reciclados e nem reaproveitados, são destinados de forma ambientalmente correta, reduzindo o risco de contaminação do solo e da água. A reciclagem também soluciona o problema de material abandonado e disposto em locais abertos, que geralmente representa riscos para a saúde devido a possibilidade dessas peças virarem criadouros de animais e insetos proliferadores de doenças, como mosquitos da dengue, ratos e animais peçonhentos (FERNANDES *et al.*, 2018; FERREIRA; GONÇALVES; SCHEFFELMEIER, 2019).

Além da questão ambiental, o fator socioeconômico está diretamente ligado a logística reversa. O favorecimento de ganhos para a empresa que aplica a logística reversa ocorre devido a reutilização de produtos, a venda de resíduos, a reciclagem e a redução de custos com matérias-primas de alto custo e a possibilidade de surgimento de novos segmentos de mercado (FERNANDES *et al.*, 2018). A geração de empregos e renda, devido a necessidade de um novo fluxo de trabalho para coleta, transporte e segregação dos insumos, proporciona ganhos sociais para os envolvidos direta e indiretamente nas atividades (HEMPE, L. J.; HEMPE, C, 2015).

Para a siderúrgica em análise, a utilização da sucata de obsolescência recuperada ocasionaria, salvo os motivos já mencionados anteriormente, a redução do consumo de ferro gusa sólido, material de alto valor adquirido devido a necessidade de suprir a falta de sucatas no pátio. No ano anterior à execução deste trabalho de recuperação das sucatas, a siderúrgica realizou a compra de 44.166,74 t de pão de gusa, elevando assim, o custo de aço bruto produzido. Outro benefício para a usina abordada é o recolhimento de materiais dispersos em área operacional, fator que causa poluição visual do ambiente corporativo e riscos diretamente ligados a saúde e integridade física dos colaboradores devido a possível presença de animais peçonhentos e transmissores de doenças no local de trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para elaboração e desenvolvimento deste estudo é a pesquisa exploratória. Segundo Gil (2002), essa classe de pesquisa visa entender melhor o problema com o objetivo de explicá-lo ou potencializar a formulação de hipóteses, permitindo um planejamento flexível que engloba vários aspectos. Geralmente essas pesquisas assumem a forma de pesquisa bibliográfica ou estudos de caso, envolvendo revisões de literatura, entrevistas com pessoas experientes e análise de exemplos que incentivem a compreensão (GIL, 2002).

Após realização das pesquisas bibliográficas, o presente trabalho constituiu-se em um estudo de caso sobre as sucatas de obsolescência dispersas na siderúrgica e as etapas de plano de ação para recuperar esses materiais. O objetivo é apresentar a logística reversa como uma ferramenta adequada para a destinação do material em fim de vida útil para o pátio de sucatas da aciaria. Em suma, a metodologia abordada neste estudo está representada pelo fluxograma apresentado no ANEXO A deste trabalho.

De acordo com Gil (2002) o estudo de caso é uma modalidade de pesquisa amplamente utilizada e que consiste em um estudo profundo de um ou pouco objetos, visando permitir seu conhecimento detalhado. É uma das ferramentas mais eficientes na realização de pesquisas exploratórias devido à grande flexibilidade, fator que proporciona a possibilidade de descobertas inicialmente não consideradas. Possui o intuito de explorar situações reais, descrever o contexto onde está englobada a pesquisa, desenvolver teorias e a concepção de hipóteses, e explicar as causas de situações complexas (GIL, 2002).

Todo material consultado foi de acesso nas linguagens português e inglês. A inclusão no texto se deu por meio da leitura e entendimento das obras e foram excluídos do trabalho as referências, parcial ou integral, que não foram compatíveis com os objetivos do estudo. Como exemplos que incentivam a compreensão do tema abordado, foram selecionados estudos acadêmicos, como a monografia de Renata Cristina de Asiz, abordando um estudo de campo com a aplicação da logística reversa de sucatas metálicas não ferrosas em uma indústria automobilística, realizado no ano de 2016; a monografia de Roberta Sales Muniz Miranda, sobre a avaliação da viabilidade econômica de adoção das reciclagem enquanto solução mitigadora dos impactos adversos da produção eletrônica, realizado em 2013; e o artigo de Jorge Sala Minoves *et al.*, descrevendo um estudo de caso em uma siderúrgica sobre logística direta e logística reversa na produção do aço, elaborado em 2015.

A base teórica para execução do estudo foi estruturada através da busca por artigos, monografias e teses, realizadas nos bancos virtuais do Google Acadêmico, SciELO (Science Electronic Library Online), repositórios institucionais de universidades e acervos técnicos de instituições e associações, como a Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM) e o Instituto Nacional das Empresas de Sucata de Ferro e Aço (INESFA). Também foram consultados relatórios e impressões de *sites* renomados sobre os assuntos abordados, como as publicações da Worldsteel Association e do Instituto Aço Brasil. Os *sites* para acesso dos principais bancos virtuais utilizados estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Bancos virtuais utilizados para consultas bibliográficas.

Banco virtual	Site para acesso
Google Acadêmico	https://scholar.google.com.br/
SciELO	https://www.scielo.br/
Repositórios da UFSC	https://repositorio.ufsc.br/
Repositórios da UFRJ	https://pantheon.ufrj.br/
Repositórios da UNICENTRO	http://repositorio.unicentro.br:8080/jspui/
Repositórios da UFF	https://app.uff.br/riuff/
Repositórios da Unisinos	http://www.repositorio.jesuita.org.br/
ABM	https://www.abmbrasil.com.br/acervo-tecnico
INESFA	https://www.inesfa.org.br/
Worldsteel Association	https://worldsteel.org/
Instituto Aço Brasil	https://acobrasil.org.br/site/

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.1 Universo e amostragem

O universo de pesquisa para realização do estudo de caso foi uma empresa siderúrgica integrada localizada em Minas Gerais. A amostragem sucedeu da análise de banco de dados da aciaria da siderúrgica. O período utilizado para coleta das informações para realização do estudo de caso foi de 12 meses (dez/2016 à dez/2017), constituindo uma base história conforme modelos adotados pela usina. Para avaliação do impacto ambiental e econômico, os dados foram coletados e agrupados por ano de análise (2018, 2019, 2020, 2021 e 2022).

4.2 Coleta dos dados

A coleta de dados foi realizada através de relatórios dos sistemas internos da siderúrgica e visitação nas áreas. Para obtenção de registros quantitativos de envio de sucatas de obsolescência para o pátio foi utilizado relatório do sistema de pesagens rodoviárias (peso de balança). Foi utilizado o sistema de gestão da empresa para coleta quantitativa de material em desuso, proveniente da desmobilização de áreas de produção.

Todo material sucateado após desmobilização de áreas ou manutenções programadas é registrado no sistema de gestão integrado da empresa e quantificado em toneladas. O material destinado para o pátio de sucatas, ao ser recebido, é pesado em balança rodoviária, registrando o peso em toneladas. Portanto, os dados quantitativos de sucatas dispersas pela usina e sucatas recebidas no pátio foram evidenciados em toneladas.

Para análise qualitativa do material sucateado, foi realizada visita nas áreas geradoras junto com os responsáveis pelo material. A identificação da geometria das sucatas de obsolescência possibilitou identificar as melhores formas para promover a recuperação e destinação desses resíduos para o pátio de sucatas da siderúrgica.

4.3 Análise dos dados obtidos

Os dados obtidos foram analisados por meio de ferramentas de gestão, como diagrama de Pareto e diagrama de causa e efeito. Essas ferramentas auxiliaram na aplicação da logística reversa para recuperar as sucatas dispersas.

Segundo Peinado e Graeml (2007), a análise de Pareto demonstra a importância de cada variável do problema identificado. Desta forma, indica o quanto, em percentual, cada variável representa em relação ao problema em geral, sendo a análise é realizada por meio de gráfico de barras. Quando existem várias causas, normalmente uma ou duas são responsáveis pela maior parte do problema, assim, devem ser realizadas intervenções para agir na causa principal, eliminando a maior parte do problema (PEINADO; GRAEML, 2007). Devido a esta utilidade, a ferramenta de análise de Pareto foi utilizada para identificar as principais áreas com sucata de obsolescência dispersa e os motivos pelo qual este material não foi destinado para o pátio de sucatas.

Após identificação e priorização das causas, foi utilizado o diagrama de causa e efeito para desdobramento dos problemas e seus motivadores. Esse diagrama, também

denominado de espinha de peixe ou Ishikawa, auxilia na identificação, exploração e apresentação das causas possíveis de um problema específico. Essas causas representam hipóteses que são analisadas para verificação de sua veracidade e o impacto sobre o problema em análise (PEINADO; GRAEML, 2007).

4.4 Plano de ação para recuperação das sucatas

Após análise de todos os dados e execução das etapas do estudo de caso, foi elaborado um plano de ação, utilizando matriz 5W1H, para propor ações que visam a recuperação das sucatas. Segundo Oliveira; Silva e Brandão (2022), a ferramenta 5W1H possui como principal objetivo o auxílio no planejamento de ações, pois permite que o plano de ação contemple todas as informações necessárias para estruturar e nortear o projeto. Essa ferramenta se trata de um quadro administrativo das atividades, indicando os prazos, as responsabilidades e os responsáveis por cada ação. Sua utilização define o que será feito, o porquê de ser feito, como e onde será realizado, quem fará e quando será executado (OLIVEIRA; SILVA; BRANDÃO, 2022).

4.5 Análise ambiental e econômica promovida pela recuperação das sucatas

As principais justificativas para aplicação da logística reversa em sucatas de aço pós-consumo são as questões ambientais e econômicas (FERNANDES *et al.*, 2018). Para avaliação dos impactos ambientais e econômicos ocasionados pela utilização da sucata de obsolescência, foi analisada a quantia de material recuperado pelo fluxo da logística reversa.

Para o impacto econômico, foi avaliado, em reais, o preço da tonelada da sucata de obsolescência interna, identificando a quantia economizada pela empresa, comparando com o consumo de ferro gusa sólido. Todo recurso mensurável utilizado foi deduzido do valor obtido da sucata recuperada, de forma a se obter o ganho econômico real. Os valores por tonelada de material foram obtidos com base em informações fornecidas pela empresa.

Para avaliação do impacto ambiental, foi contabilizada a quantidade de sucata recuperada, em toneladas, e comparado o peso reciclado com as informações da literatura, com objetivo de identificar quanto de matéria-prima virgem foi poupada de ser utilizada. Outro aspecto avaliado foi a limpeza das áreas onde o material estava alocado, descaracterizando a poluição visual e risco de contaminação do solo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estudo de caso

5.1.1 *Identificação do problema*

Na siderúrgica abordada neste estudo de caso, toda sucata gerada nos processos de lingotamento e conformação mecânica já possuem fluxo de destinação para o pátio de sucatas. Esses materiais são recebidos, separados e posteriormente carregados nas canaletas de sucatas para compor a carga metálica sólida dos convertedores. Essa destinação das sucatas de retorno para o pátio constitui um fluxo reverso na operação.

No período avaliado para esse estudo, a geração de sucata de retorno não foi suficiente para garantir o atendimento de toda carga solicitada para atendimento dos conversores. Desta forma, a empresa viu a necessidade de adquirir ferro gusa sólido para garantir o atendimento das confecções de canaletas de carga metálica. A tonelada de gusa sólido, adquirido no mercado externo, possui um custo mais elevado que o valor da tonelada de sucata de aço de retorno da siderúrgica. Assim, viu-se a necessidade da avaliação de outras possíveis fontes de material ferroso, disponível dentro da própria usina, para ser utilizado na aciaria.

Utilizando sistema de gestão, integrado em toda a empresa, foram identificadas sucatas de obsolescência que não haviam sido destinadas para o pátio de sucatas da aciaria. Estes materiais foram mapeados no sistema de gestão da usina, porém não receberam a destinação adequada, gerando acúmulo de resíduos sólidos nas áreas. Foram identificadas quatro áreas com sucatas a serem recuperadas, denominadas neste trabalho como Área 1, Área 2, Área 3 e Área 4. Posteriormente, foram realizadas visitas nos locais, com objetivo de identificar a disposição e geometria dos materiais.

A Figura 12 e a Figura 13 apresentam uma parte das sucatas identificadas na Área 1. Essas sucatas, conforme apresentado nas figuras, eram em sua maioria materiais que compunham as tampas de fornos de reaquecimento de lingotes, tubulações, chapas e trilhos ferroviários. A ocorrência de sucata de obsolescência nesta área foi devido a desativação do setor e encerramento das operações.

Figura 12. Sucatas dispersas na Área 1.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2017.

Figura 13. Sucatas dispersas nos pátios externos da Área 1.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2017.

A Figura 14 demonstra as sucatas da Área 2. Assim como a Área 1, esta área operacional também foi desmobilizada, gerando sucatas de carros de transferência de lingoteiras, blocos e trilhos ferroviários.

Figura 14. Sucatas dispersas na Área 2.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2017.

Conforme apresentado na Figura 15, as sucatas identificadas na Área 3 eram constituídas de tubulações, carcaças de equipamentos e estruturas de galpões. O abandono destes materiais se remete a troca e manutenção de grandes equipamentos, ocorridas nas campanhas de reparos preventivos, e alocados como rejeitos na área, sem destinação.

Figura 15. Sucatas dispersas na Área 3.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2017.

Na Área 4, foram identificadas sucatas de componentes estruturais, tubulações e rolos, conforme mostra Figura 16. Estes materiais foram alocados por outras áreas nesta região, não promovendo a destinação para o pátio de sucatas da siderúrgica.

Figura 16. Sucatas dispersas na Área 4.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2017.

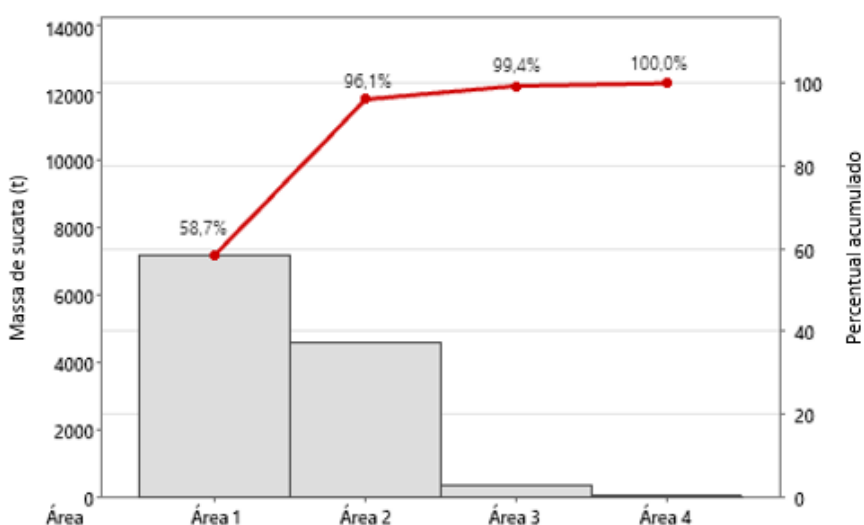
5.1.2 Observação

Após identificação do problema, foram observados, detalhadamente, os possíveis motivadores para a falta do envio dessas sucatas para o pátio da aciaria. A quantidade de sucatas

dispersas foi, então, estratificada de duas formas: a quantidade de sucata dispersa por área e a quantidade de sucata dispersa por tipo de geração.

Foram identificadas, aproximadamente, 12.300 toneladas de sucatas dispersas em quatro principais áreas da siderúrgica. A Figura 17 apresenta a quantidade de material por área, onde a curva em vermelho representa o percentual acumulado. Conforme pode ser observado, os maiores volumes de sucatas a serem recuperadas compreendiam-se na Área 1 e na Área 2. O valor das duas áreas é equivalente a 96% do volume total observado.

Figura 17. Massa de sucata e percentual acumulado considerando a dispersão por local.

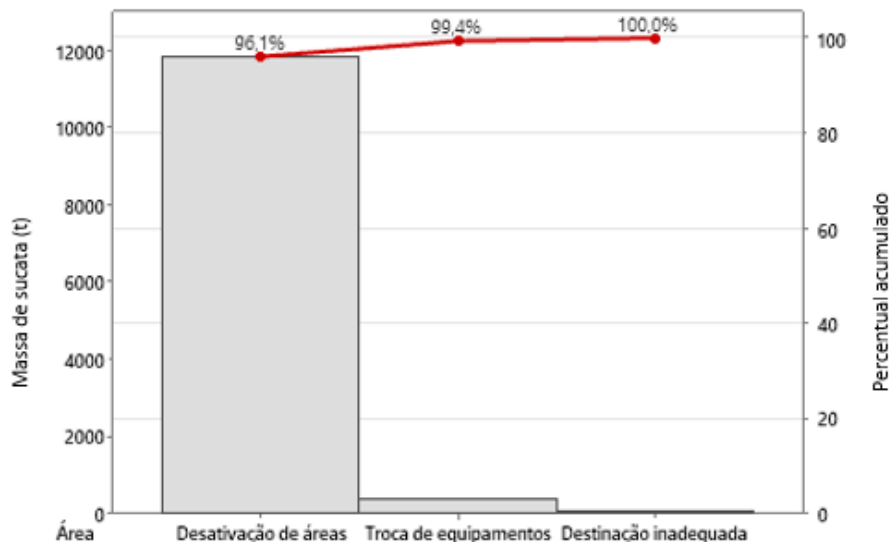


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Também foi estratificado o motivo gerador dessas sucatas. A Figura 17 exibe a quantidade de resíduos gerados por desativação de áreas operacionais, sendo estas as sucatas da Área 1 e Área 2; geração por troca e manutenção de equipamentos, materiais esses alocados na Área 3; e os materiais ferrosos que foram destinados incorretamente para a Área 4.

Ao analisar a causa da geração desses materiais, foi identificado que 96% do volume identificado compreende a desativação de áreas operacionais (Áreas 1 e 2), conforme apresentado na curva de percentual acumulado, destacada em vermelho, na Figura 18. A Figura 18 também mostra que a geração devido a troca e manutenção de equipamentos e destinação inadequada de materiais representam, apenas, uma pequena parte do todo.

Figura 18. Massa de sucata e percentual acumulado considerando os motivos da geração de sucata de obsolescência na siderúrgica.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com os dados dos diagramas de Pareto em análise, verificou-se que a principal oportunidade seria atuar no que diz respeito a geração das sucatas por desativação de áreas operacionais, já que essa representa a maior parte do problema. Atuando nesta causa, também atenderia o critério do diagrama de Pareto apresentado na Figura 17, já que a desativação de áreas operacionais corresponde às sucatas alocadas nas Áreas 1 e 2.

Analisando a base histórica de recebimento de sucata de obsolescência no pátio de metálicos, conforme apresentado na Tabela 2, verifica-se que no período de doze meses observados, apenas em um mês foi destinado sucata de obsolescência para o pátio de metálicos. Nos demais meses analisados, não houve recebimento desse tipo de material. Os dados tabelados foram extraídos do sistema de pesagens de balança rodoviária da siderúrgica.

As sucatas contabilizadas neste trabalho são referentes de material proveniente de grandes manutenções, áreas desativadas e materiais sucateados após tempo de validação da empresa. O envio das 130 t, demonstradas na Tabela 2, ocorreu devido a disponibilização de equipamentos para segregação e transporte desse material da Área 2 para o pátio de sucatas, promovendo a destinação correta de resíduo gerado em determinada manutenção ocorrida no mês. Isso sinaliza que não havia uma rotina estabelecida para destinação desses materiais, ou seja, o fluxo reverso não estava operante, promovendo o acúmulo dos resíduos sólidos nas áreas geradoras. O fluxo reverso estava implantando apenas para materiais provenientes de pequenas manutenções das áreas e para as sucatas de retorno.

Tabela 2. Sucatas recebidas no pátio nos doze meses antes do projeto de recuperação.

Ano	Mês	Quantidade (t)
2016	Dezembro	0
	Janeiro	0
	Fevereiro	0
	Março	0
	Abril	0
	Maior	0
2017	Junho	0
	Julho	0
	Agosto	0
	Setembro	130,0
	Outubro	0
	Novembro	0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com base nos dados da Tabela 2 foi analisado que a média de envio no período foi de 10,89 toneladas. A organização estipulou a meta de aumento de 89,11 t mensal, mantendo um teto de destinação de 100 t/mês para o período de execução do estudo de caso. A meta proposta sugerida pela organização foi baseada em seu planejamento estratégico e captura de oportunidades.

Em relação a frequência de geração dessas sucatas, não há dados estabelecidos para o motivo “geração por desativação de áreas operacionais” e “destinação inadequada”. Já as sucatas geradas por “troca e manutenção de equipamentos” ocorre a cada três meses, devido manutenções em grandes equipamentos da siderúrgica.

5.1.3 Análise

Após alinhamento de informações e *brainstorming* com os responsáveis pelos materiais, foram identificados cinco principais motivos pelo qual as sucatas não eram destinadas para o pátio de preparação de sucatas. Esses motivos foram analisados por meio de uma adaptação do Diagrama de Causa e Efeito, realizando o desdobramento das causas e possibilitando encontrar as causas raízes.

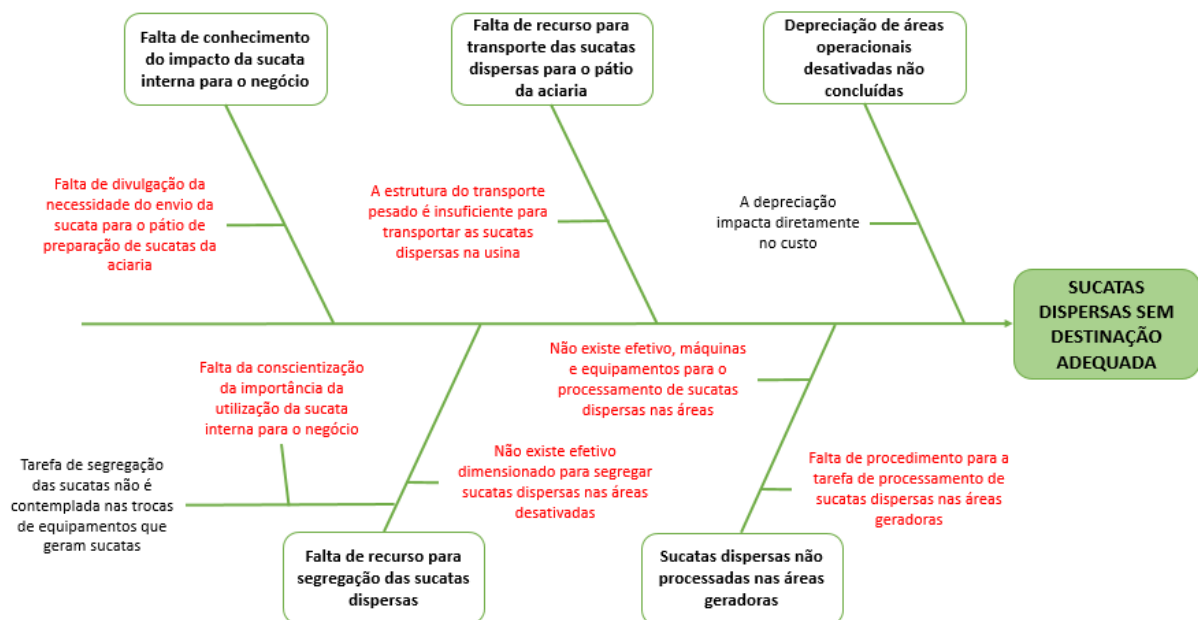
As cinco principais razões identificadas da não destinação de sucata para o pátio foram:

- Falta de recurso para segregação das sucatas dispersas;
- Falta de recurso para transporte das sucatas dispersas para o pátio da aciaria;

- Depreciação de áreas operacionais desativadas não concluídas no sistema;
- Falta de conhecimento do impacto da sucata interna para o negócio (produção da empresa);
- Sucatas dispersas não processadas nas áreas geradoras.

Conforme apresentado na Figura 19, o desdobramento dos motivos possibilitou identificar as causas raízes do problema. A adaptação do Diagrama de Causa e Efeito se fez necessária para um melhor desenvolvimento da pesquisa exploratória.

Figura 19. Diagrama de Causa e Efeito adaptado para identificar as causas raízes da ocorrência de sucatas dispersas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As causas raízes são apresentadas em cor vermelha no diagrama da Figura 19. A depreciação de áreas operacionais desativadas impacta diretamente no custo da gerência da área. Desta forma, não foi considerada como uma causa raiz para o problema. Apenas quando ocorresse toda depreciação da área no sistema contábil é que os materiais poderiam ser sucateados.

5.1.4 Plano de ação

Foi elaborado plano de ação para as causas raízes identificadas na etapa de análise. O plano de ação foi estruturado em matriz 5W1H, onde as ações foram definidas para atuar nas causas raízes identificadas pela utilização do Diagrama de Causa e Efeito. O objetivo era sanar

o problema, solucionando a causa e possibilitando, assim, a recuperação das sucatas dispersas nas áreas operacionais da siderúrgica. As ações planejadas, representadas na Figura 20, tiveram como base a simplicidade e a utilização de recursos próprios da siderúrgica, viabilizando a implementação das ações propostas.

Figura 20. Plano de ação para recuperação das sucatas dispersas.

Causas	O quê?	Quem?	Quando?	Como?	Onde?	Por quê?
A estrutura do transporte pesado é insuficiente para transportar as sucatas dispersas na usina.	Contratar uma empresa para o transporte das sucatas dispersas nas áreas desativadas para o pátio de sucatas da aciaria.	Colaborador	16/03/2018	Conforme regra de contratação de serviços.	No posto de trabalho.	Grande volume de sucatas dispersas nas áreas desativadas; evitar falta de sucatas para consumo da aciaria.
Falta de conscientização da importância da utilização da sucata interna para o negócio.	Criar um plano de comunicação com o apoio da área de pessoas, informando o impacto da utilização da sucata interna para o negócio.	Colaborador	30/03/2018	Divulgando a importância da utilização de sucatas para o negócio. Esclarecendo quais tipos de sucatas podem ser enviadas para o pátio de sucatas.	Na usina.	Para garantir o envio de sucatas dispersas para o pátio da aciaria.
Falta de procedimento para a tarefa de processamento de sucatas dispersas nas áreas geradoras.	Elaborar procedimento para utilização das sucatas provenientes da troca de equipamentos e de manutenção.	Colaborador	30/03/2018	Visita nas áreas envolvendo os responsáveis, utilizando o sistema de padronização.	No posto de trabalho.	Não existe procedimento para destinação das sucatas dispersas nas áreas geradoras.
	Desenhar o processo de utilização das sucatas provenientes das áreas desativadas, considerando desde a depreciação até o consumo.	Colaborador	16/03/2018	Conversando com as áreas envolvidas e validando com os respectivos responsáveis.	Na usina.	Não existe o desenho do processo de utilização das sucatas provenientes das áreas desativadas.
Falta de divulgação da necessidade do envio da sucata para o pátio de preparação da aciaria.	Criar uma rotina de comunicação a respeito da necessidade do envio da sucata para o pátio de sucata da aciaria.	Colaborador	30/03/2018	Definindo com a área de pessoas o padrão de comunicação para o tema.	Na usina.	Para garantir o envio de sucatas dispersas para o pátio da aciaria.
Não existe efetivo dimensionado para segregar sucatas dispersas nas áreas desativadas.	Contratar uma empresa para segregar, processar, carregar, transportar e descarregar as sucatas dispersas nas áreas geradoras.	Colaborador	16/03/2018	Conforme a regra de contratação de serviço.	No posto de trabalho.	Grande volume de sucatas dispersas nas áreas; evitar falta de sucatas para consumo na aciaria.
Não existe efetivo, máquinas e equipamentos para o processamento de sucatas dispersas nas áreas.	Incluir nos planejamentos de manutenções das áreas a segregação e transporte das sucatas para o pátio de sucatas da aciaria.	Colaborador	27/04/2018	Realizando reuniões e acordos com os líderes das áreas.	Nas áreas da usina.	Para evitar o acúmulo de sucatas dispersas nas áreas.

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de dados do projeto da siderúrgica, 2023.

5.1.5 Ações

Nesta etapa de aplicação do plano de ação, a base para execução é a própria matriz 5W1H apresentada na Figura 20. No processo de execução das ações é importante verificar fisicamente no local em que as ações estão sendo efetuadas para garantir que estão sendo cumpridas no prazo previsto e sendo executadas de forma correta.

Foi realizada a contratação de uma empresa para segregar, processar, carregar e transportar as sucatas dispersas para o pátio de sucatas. Dessa forma, cumpriram-se as ações para as causas de insuficiência do transporte pesado e a falta de efetivo para segregar os materiais nas áreas.

Além disso, foi estruturada, junto à área de pessoas da usina, a necessidade de manter uma rotina de envio das sucatas geradas internamente para o pátio da aciaria. Foi enviada para todos colaboradores da empresa uma divulgação sobre a importância da destinação

de sucatas adequadamente, bem como quais materiais podem ser utilizados nas canaletas que atendem aos convertedores da aciaria. O assunto foi reforçado com as lideranças das áreas geradoras para assegurar a destinação correta das sucatas. Assim, concluiu-se a ação para as causas de falta de divulgação da necessidade de destinar as sucatas para a aciaria e da falta de conscientização da importância da utilização da sucata interna.

O fluxo de depreciação dos materiais das áreas desativadas foi elaborado e implementado. Desta forma, sanou-se parte do problema da falta de procedimento para tarefa de processamento de sucatas dispersas em área.

Em seguida, definiu-se a incorporação das etapas de segregação e envio das sucatas de aço para o pátio da aciaria no planejamento de reformas. Também, foi incluído no modelo de escopo técnico de contrato das empresas terceiras e estruturado junto aos gestores de contratos. Com isso, eliminou-se o problema de não possuir efetivo, maquinários e equipamentos para processar as sucatas dispersas nas áreas, pois, os materiais já seguiriam para processamento e/ou destinação para o pátio logo após a execução dos serviços contratados para manutenções nas áreas operacionais. Eliminou-se, também, a falta de padronização para destinação das sucatas geradas nas áreas.

Foi elaborado procedimento contemplando quais materiais obsoletos poderiam ser destinados para o pátio de sucatas. Esses materiais deveriam estar isentos de impurezas e contaminantes devido aos riscos de reações (explosões) nos conversores e desvio da composição química ideal do aço que foi planejado.

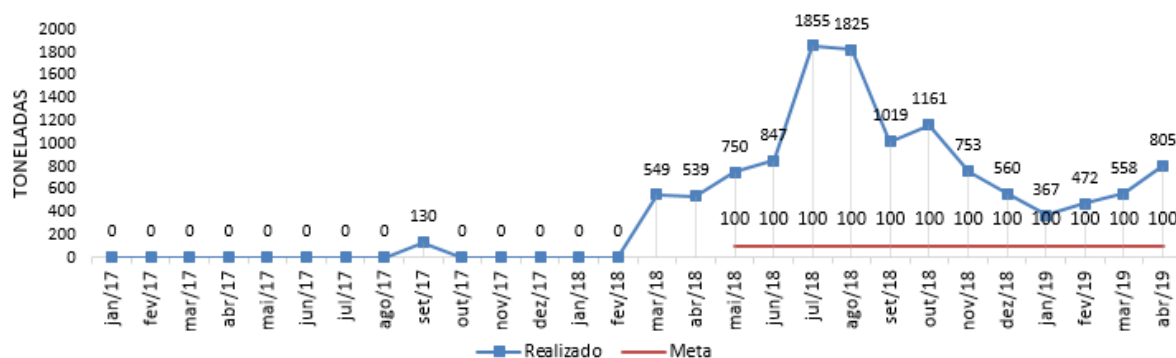
Todas as ações foram cumpridas dentro do prazo previsto, conforme estipulado na etapa de plano de ação. As ações realizadas não foram objetivadas apenas para o estudo de recuperação das sucatas que estava sendo realizado no momento, mas sim ações permanentes, aplicadas para toda usina a partir da data de divulgação para as lideranças e gestores de contratos. O intuito era preservar a rotina de destinação de sucatas para o pátio de sucatas da aciaria, evitando novos acúmulos de materiais dispersos nas áreas e a necessidade de aquisição de sucata externa, como ferro gusa sólido.

5.1.6 Verificação

Após conclusão de todas as ações, iniciou-se a etapa de verificação do projeto. Foi averiguado que o cumprimento de todas as ações garantiu que a meta estipulada para

recuperação de sucatas fosse atingida e, até mesmo, superada. A Figura 21 apresenta os valores mensais de toneladas de sucatas de obsolescência recuperadas e destinadas para o pátio de sucatas da aciaria.

Figura 21. Quantitativo de sucata recuperada e entregue no pátio.



Fonte: Elaborado pela autor, 2023.

Conforme pode ser observado na Figura 21, nos meses de março e abril do ano de 2018 houve recuperação e destinação de sucatas de obsolescência para o pátio. Essa entrega ocorreu devido contratação de empresa terceirizada, em caráter de teste, para coletar e transportar os materiais. Não havia meta estipulada para esse período, pois, o projeto ainda estava em período de elaboração do plano de ação.

A grande variação no quantitativo mensal entregue no pátio está relacionada com o tipo de sucata que estava sendo recuperada. Alguns materiais precisaram de mais etapas de cortes e adequação do tamanho antes de serem destinados para o pátio. Essas etapas foram necessárias para que fosse possível transportar os materiais nos caminhões da empresa contratada.

Desde o mês de março de 2018 até o mês de abril de 2019, foram recuperadas e destinadas para o pátio de sucatas da aciaria, aproximadamente, 12.100 toneladas de aço em fim de vida útil. Para contabilização do ganho financeiro, foi realizado o cálculo do produto do valor total, em toneladas, de sucata entregue ao pátio e do preço da tonelada da sucata interna recuperada. Posteriormente foi deduzido o valor total pago pelos serviços contratados (medição de pagamento do serviço), obtendo-se o valor acima de quatro milhões de reais, sendo este o ganho real para a empresa. Para este cálculo foi considerando o rendimento metálico de 100% para as sucatas de aço de obsolescência recuperadas, ao serem fundidas e transformadas nos convertedores.

Conforme apresentado na etapa de observação, a média de entregas de sucata de obsolescência no pátio, antes do projeto, era de 10,89 toneladas. Com a realização do projeto, a entrega de sucata recuperada no pátio atingiu a média de 914 toneladas mensal, considerando o período de março de 2018 à abril de 2019, superando a meta prevista de 100 toneladas estipulada pela empresa.

5.1.7 Padronização

Após fase de verificação, comprovou-se a efetividade das ações propostas e o funcionamento da logística reversa para recuperar as sucatas. Desta forma, tornou-se necessário a padronização das atividades adotadas para o atingimento do resultado obtido.

Foi incluso nos planejamentos de manutenções das áreas a segregação e transporte das sucatas para o pátio de sucatas da aciaria, para evitar acúmulo de material disperso nas áreas. Também foi revisado o escopo técnico de contratação de serviços e incluído o procedimento de destinação de resíduos sólidos adequadamente, incluindo as sucatas de aço.

O procedimento contemplando as sucatas que podem ser destinadas para o pátio foi publicado e divulgado, estabelecendo, assim, os critérios para recebimento de sucatas internas. Além disso, foi elaborada uma cartilha informativa, descrevendo e demonstrando os materiais que podem ser carregados nas canaletas, o fluxo para descarregamento de sucatas no pátio e toda questão de segurança envolvida no processo.

5.1.8 Conclusão do Estudo de Caso

Com a execução desse trabalho, foram recuperadas mais de doze mil toneladas de sucata de obsolescência que estavam dispersas em áreas operacionais. Assim, a empresa conseguiu reduzir a compra de matéria-prima de elevado custo no mercado para suprir a falta de sucata disponível para carregamento nos convertedores da aciaria.

A utilização da logística reversa para recuperar e reciclar as sucatas permitiu promover o descarte adequado das materiais que estavam inutilizáveis e alocados como resíduo sólido nas áreas, reduzindo a poluição ambiental e eliminando materiais dispostos a céu aberto.

Houve, também, geração de empregos devido a contratação de uma empresa terceirizada para realizar a segregação e transporte dos materiais para o pátio de sucatas. Todos esses benefícios já eram previstos pela literatura apresentada neste trabalho.

5.2 Avaliação dos impactos da recuperação de sucata de obsolescência

Com a utilização da logística reversa, foi possível viabilizar a reciclagem de cerca de 12.100 toneladas de sucata de obsolescência que anteriormente não possuíam destinação. Antes da realização do estudo de caso, o fluxo reverso não era completamente operante na unidade da siderúrgica, logo, numerosas sucatas de obsolescência não eram destinadas para reciclagem, ficando dispersas nas áreas geradoras. Após realização do estudo de caso e padronização da destinação adequada dos resíduos de aço, o fluxo reverso para sucatas de aço de obsolescência foi padronizado na siderúrgica e, conseqüentemente, ganhando mais força com o passar dos anos.

A destinação de sucata de aço de obsolescência para o pátio de sucatas continuou mesmo após o encerramento do projeto de recuperação. Nos anos de 2018 e 2019 foram entregues, aproximadamente, 13.250 e 11.400 toneladas, respectivamente, de sucata de obsolescência no pátio, impulsionadas pelo trabalho de recuperação dos materiais dispersos com a empresa contratada. Nos anos de 2020, 2021 e 2022 também foram destinadas grandes quantidades de sucata de obsolescência para o pátio, conforme demonstrado na Tabela 3. Esses materiais seguiram o fluxo da logística reversa estruturada e operante na usina e, assim, possibilitam e viabilizam a reciclagem dos mesmos, permitindo ser preparados e enfiados nos conversores. Os dados da Tabela 3 foram extraídos do sistema de pesagem rodoviário da empresa.

Tabela 3. Quantitativo aproximado de sucata de aço de obsolescência recebida no pátio de preparação de sucatas.

Ano	Quantidade de sucata (t)
2018	13.250
2019	11.400
2020	6.100
2021	6.100
2022	5.700

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O quantitativo de sucata recebida no pátio listado na Tabela 3 se fez referente ao total de sucata de obsolescência que teve destinação adequada, contabilizando os materiais recuperados pelo projeto e os materiais de outras pequenas manutenções que já eram, em partes, transportados para o pátio de preparação de sucatas. A quantidade de sucata a ser coletada e

destinada para o pátio depende da vida útil dos produtos siderúrgicos, bem como do quanto de aço foi produzido e utilizado no passado e posteriormente sucateado (FERREIRA; RIBEIRO; COSTA, 2013). Por serem sucatas pós-consumo, podem levar mais de um ano para serem coletadas e recicladas (NICHOLAS; BASIRAT, 2021). Logo, o total de sucata recebida no pátio não representa o total de material que foi sucateado no mesmo período.

5.2.1 Avaliação do impacto econômico

Conforme descrito pela Worldsteel Association (2023), a reciclagem do aço representa uma significativa economia de energia e matéria-prima. Com a utilização das sucatas de obsolescência recebidas no pátio, a empresa economizou com a compra de ferro gusa sólido. Comparando o rendimento das sucatas quando enforçadas, estima-se que 1.000 kg de ferro gusa sólido possui o mesmo rendimento que 970 kg de sucata de obsolescência de aço, considerando neste caso, apenas o rendimento em teor de ferro, segundo dados da própria usina.

Desta forma, pode-se verificar que, a cada uma tonelada de sucata de aço de obsolescência reciclada, evita-se a utilização de cerca de 1,03 toneladas de ferro gusa sólido. Com isso, foi estimado o quantitativo aproximado de gusa sólido que deixou de ser adquirido pela empresa anualmente devido a reciclagem de aço obsoleto. Esses valores estão representados na Tabela 4 e consideram que toda sucata recuperada foi reciclada, ou seja, transformada em novo aço na siderúrgica.

Tabela 4. Relação entre o consumo de sucata de obsolescência e de gusa sólido equivalente.

Ano	Quantidade de sucata de aço de obsolescência (t)	Quantidade equivalente de ferro gusa sólido (t)
2018	13.250	13.648
2019	11.400	11.742
2020	6.100	6.283
2021	6.100	6.283
2022	5.700	5.871

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Diante dos dados quantitativos apresentados na Tabela 4, pode-se estimar o impacto econômico ocasionado pela utilização de sucata de obsolescência na siderúrgica. Para isso, foi considerado o valor de consumo, por tonelada, da sucata de aço de obsolescência (sucata

interna) e do ferro gusa sólido (sucata externa) nos anos de 2018 à 2022, conforme apresentado na Tabela 5.

Os valores estipulados na Tabela 5, para cada ano, considera uma média da oscilação do preço do material para consumo no ano de referência. Para preservar os dados estratégicos da empresa, os valores estão representados como “unidade monetária” e não em reais. Considerando que uma tonelada de sucata de obsolescência corresponde a uma unidade monetária, o valor do gusa sólido foi calculado de forma equivalente para representar sua diferença de custo em relação a sucata de aço. Os dados, em reais por tonelada, foram obtidos pelo sistema de gestão da empresa.

Tabela 5. Preço da sucata de aço de obsolescência e do ferro gusa sólido.

Ano	Custo da sucata de aço de obsolescência (und. monetária/t)	Custo do consumo de ferro gusa sólido (und. monetária/t)
2018	1,00	1,92
2019	1,00	2,34
2020	1,00	2,25
2021	1,00	2,45
2022	1,00	5,45

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

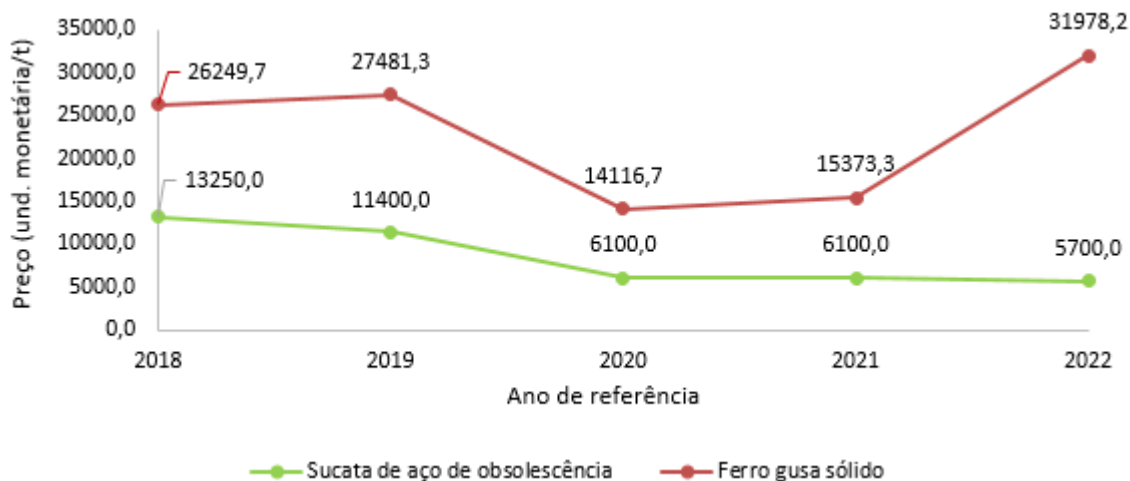
Com os valores de consumo dos materiais estabelecidos por ano, indicados na Tabela 5, e com os quantitativos de sucata de aço recebida no pátio e de gusa sólido equivalente que foi evitado de ser adquirido, indicados por ano na Tabela 4, pode-se calcular o valor, em unidade monetária representativa, do gasto da empresa com a utilização dos dois materiais. Para calcular o custo anual por matéria-prima, foi utilizado o critério do produto do valor de consumo por tonelada de material com o total de material reciclado, sucata de aço, ou evitado de ser adquirido, no caso do ferro gusa sólido. O critério está representado na fórmula abaixo:

$$\text{Custo}_{(\text{anual})} = \text{Valor}_{(\text{por tonelada})} * \text{Quantidade anual de material}_{(\text{em toneladas})} \quad (1)$$

O gráfico da Figura 22 apresenta a relação do custo anual estimado com cada matéria-prima analisada, seguindo o critério da equação 1. É perceptível, mesmo avaliando em

unidade simbólica, que o consumo de gusa sólido ocasionaria um aumento no custo com matéria-prima.

Figura 22. Custo anual estimado da empresa consumindo sucata de obsolescência de aço e gusa sólido.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Analisando a Figura 22, verifica-se que a empresa economizou capital ao evitar o uso de ferro gusa sólido, substituindo por sucata de aço. Logo, o impacto econômico da utilização de sucata de aço de obsolescência é benéfico, evitando elevar o custo da produção de aço com aquisição de matéria-prima externa. A Tabela 6 apresenta o valor, em unidade monetária simbólica, economizado pela siderúrgica devido a reciclagem de sucatas de aço em comparação com o consumo de ferro gusa sólido e o percentual economizado em relação ao valor.

Tabela 6. Impacto econômico da utilização de sucata de obsolescência de aço.

Ano	Valor economizado pela siderúrgica (und. monetária)	Percentual economizado em relação ao valor do gusa sólido (%)
2018	12.999,7	49,5%
2019	16.081,3	58,5%
2020	8.016,7	56,8%
2021	9.273,3	60,3%
2022	26.278,2	82,2%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para obter os valores por ano, apresentados na Tabela 6, foi realizado cálculo matemático de subtração. Foi utilizado o critério de dedução do valor do consumo de toda

sucata de obsolescência do valor suposto de consumo do ferro gusa sólido, obtendo-se, assim, o valor economizado pela empresa. O critério está representado na equação 2, sendo “IE” a abreviação para impacto econômico.

$$IE = \text{Custo de consumo de gusa sólido} - \text{Custo de consumo de sucata recuperada} \quad (2)$$

Então, no período de execução do projeto, recuperando a quantidade de 12.100 t de sucata de aço de obsolescência, a siderúrgica evitou a compra de 12.463 t de ferro gusa sólido. Dessa forma, obteve-se uma economia de, aproximadamente, 49%, devido ter sido evitado a compra de matéria-prima em mercado externo. A Tabela 6 apresenta os demais valores economizados anualmente pela siderúrgica integrada. Verifica-se que, com elevação do custo do ferro gusa sólido no ano de 2022, a empresa conseguiu economizar ainda mais utilizando sucata de obsolescência (cerca de 82% de ganho econômico).

Com as informações referentes ao custo evitado mediante a utilização de sucata recuperada, pode-se verificar que houve uma economia significativa para a empresa. Se as sucatas não tivessem sido recuperadas e continuassem dispersas nas áreas, seria impossível recicla-las nos fornos LD.

Segundo Silva (2001), a ferramenta da concorrência de uma empresa no mercado pode estar composta por vários elementos, inclusive os que relacionam a existência econômica da empresa e sua relação com meio ambiente. Assim, pode ser representada pelo produto, pelo preço e custo, pela qualidade, tecnologia ou inovação no mercado (SILVA, 2001). Além disso, existe a apreensão e a diligência dos empresários em sempre oferecer produtos e serviços com alto padrão de qualidade. Ser competitivo significa, entre outras definições, oferecer produtos de alta qualidade com bons preços de venda (XIII SIMPEP, 2006).

Com o consumo de ferro gusa sólido, seria incrementado um custo adicional na tonelada de aço fabricado, elevando, conseqüentemente, o preço dos produtos siderúrgicos produzidos na empresa. Esse fator tornaria a usina menos competitiva no mercado de produtos de aço, já que o custo mais elevado do material tenderia a desfavorecer, parcialmente, as vendas.

5.2.2 Avaliação do impacto ambiental

O ciclo de vida do aço é infinito. Logo, após produzido, o aço pode ser reaproveitado, dentro da economia circular, sem perda de qualidades (INSTITUTO AÇO

BRASIL, 2020). Assim, mediante a reciclagem de sucata de aço, produz-se novo aço evitando a extração de recursos naturais não renováveis (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

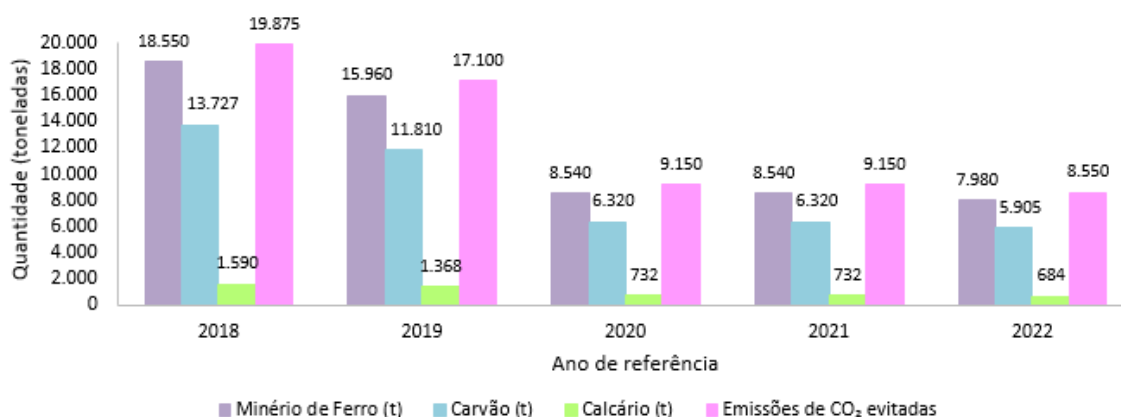
Na siderúrgica abordada neste trabalho, em cenário de escassez de sucatas, a siderúrgica poderia seguir com duas estratégias básicas para produção de aço. A primeira seria adquirir matéria-prima no mercado externo, como o ferro gusa sólido, compondo, assim, a carga metálica sólida contribuinte para o balanço total da carga metálica carregada no convertedor. A outra opção seria realizar corridas de produção de aço utilizando apenas carga metálica líquida, sendo este o ferro gusa líquido obtido nos altos fornos da empresa. Assim, a recuperação e utilização da sucata de obsolescência, além de evitar a compra de gusa sólido, evitou, também, a produção de aço utilizando gusa líquido como 100% da carga metálica carregada nos conversores da aciaria.

Segundo a Worldsteel Association (2021), a cada uma tonelada de sucata de aço reciclada e transformada em novo aço, evita-se a emissão de 1,5 toneladas de CO₂. Desta forma, pode-se observar que a reciclagem de sucata desempenha papel fundamental na supressão das emissões atmosféricas.

Em relação ao consumo de matérias-primas, para cada 1.000 kg de sucata de aço fundida e convertida em novo aço, são economizados cerca de 1.400 kg de minério de ferro, 740 kg de carvão e 120 kg de calcário (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2021; 2023). Essa economia ocorre devido ao consumo evitado de carvão (coque metalúrgico), minério de ferro (sínter) e calcário nos processos de redução via altos fornos, o que demanda, também, processos de coqueificação e sinterização anteriores a produção de ferro gusa líquido (BAUM, 2021).

A reciclagem de sucatas proporciona impactos ambientais promissores para a empresa. Desta forma, a Figura 23 apresenta os dados de emissões evitadas de CO₂ e de matéria-prima poupada de ser utilizada em sua forma primária para produção de aço promovido pela recuperação de sucatas dentro da siderúrgica. O impacto ambiental de preservar os recursos naturais e emitir menos dióxido de carbono foi avaliado anualmente, de acordo com a quantidade de sucata de obsolescência recuperada.

Figura 23. Recursos naturais preservados e emissões de CO₂ evitadas devido a transformação de sucata de obsolescência em novo aço.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Assim, é possível verificar que a utilização de sucata de obsolescência em uma usina integrada provoca impacto ambiental favorável para permanecer com o consumo do material. Ao reduzir a extração de matéria-prima da natureza, previne a escassez dos recursos naturais e, também, o desgaste ambiental pelas alterações provocadas ao ecossistema. Ressalta-se que a qualidade e propriedades das matérias-primas originais permanecem sem alterações ao longo do processo de reciclagem. Assim, assegura a confiabilidade em utilizar a logística reversa para recuperar e transformar o aço obsoleto em novo aço, reutilizando os materiais que foram extraídos e utilizados no passado, pensando em um futuro mais sustentável.

As emissões de mais de 63 mil toneladas de CO₂ evitadas, consideradas entre 2018 a 2022, abordadas neste estudo são referentes a análises segundo as referências bibliográficas mencionadas. Entende-se que, analisando situações reais, as emissões evitadas seriam em menor quantidade. Este fato ocorre em virtude da utilização de equipamentos móveis, como escavadeiras e caminhões, para promover o carregamento e transporte das sucatas da área de geração até o local onde serão preparadas para utilização nos convertedores da aciaria.

As etapas de corte e processamento das sucatas, utilizadas para adequar o tamanho dos materiais, também entrariam no balanço de emissão de CO₂. Esses processos, geralmente, envolvem utilização de máquinas como tesouras hidráulicas, trituradores, prensas e técnicas de oxicorte. Essas operações contribuem para emissão de CO₂ no meio ambiente, mesmo que em pequenas quantidades.

Além de auxiliar na redução das emissões de gases de efeito estufa e na preservação dos recursos naturais, reduzindo a extração de matéria-prima da natureza, a reciclagem de

sucatas contribui para proteção do meio ambiente da exposição aos efeitos do descarte inadequado (MIRANDA, 2013). A deposição e acúmulo de sucatas em locais não apropriados pode causar efeitos nocivos ao ambiente, como poluição do solo e da água. Essa poluição pode ocorrer devido a possibilidade de contaminantes dos materiais, como óleos, graxas e outros resíduos, adentrarem ao solo, podendo atingir, também, os lençóis freáticos.

Outro impacto característico do não reaproveitamento das sucatas é a poluição visual, fazendo com que os locais se tornem esteticamente desagradáveis ao ser humano. Também existem riscos diretamente ligados a saúde e segurança das pessoas, ocasionados devido a possível presença de animais peçonhentos e transmissores de doenças habitando nas pilhas de sucatas dispersas pelo ambiente.

Com a recuperação das sucatas na siderúrgica, foi possível coletar e destinar os materiais que estavam dispersos nas áreas. As áreas limpas, isentas de sucatas espalhadas, promoveram a eliminação dos riscos relacionados à poluição ambiental e à saúde e segurança dos colaboradores da empresa, bem como a erradicação da poluição visual dos locais.

A Figura 24 mostra o pátio externo da Área 1 após retirada das sucatas. Os materiais foram coletados, cortados com utilização de maçarico e transportados para aciaria. Em relação a parte interna da Área 1, foram retirados os trilhos ferroviários e as tampas dos fornos. A parte estrutural do galpão não foi cortada e transportada, pois, não estava inclusa no planejamento do projeto devido não estar sucateada de forma contábil no sistema da empresa.

Figura 24. Pátio externo da Área 1 após retirada das sucatas.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2019.

Na Área 2 foram retiradas, em maior quantidade, sucatas de blocos, carros de transferência de lingoteiras e trilhos ferroviários. Os materiais foram cortados por operações de

oxicorte e destinados para o pátio de sucatas para posterior adequação e utilização. A área limpa, apresentada na Figura 25, possibilitou a utilização do local para novas atividades e estocagem de matérias-primas.

Figura 25. Área 2 isenta de sucatas.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2019.

Na Área 3 foi coletada uma grande variedade de sucatas, sendo a maioria proveniente de trocas e manutenções de equipamentos. Grande parte dos materiais foram cortados com tesoura hidráulica para atingir o tamanho ideal para transporte em caminhões basculante. A Figura 26 apresenta a Área 3 após retirada dos materiais.

Figura 26. Área 3 limpa e sem sucatas alocadas.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2019.

As sucatas que estavam na Área 4 foram cortadas com tesoura hidráulica e posteriormente destinadas em caminhões para o pátio de sucatas. A área isenta de material,

apresentada na Figura 27, eliminou o risco de contaminação do solo e da existência de animais peçonhentos no local, principalmente devido à proximidade da Área 4 com áreas verdes.

Figura 27. Pátio da Área 4 após coleta da sucata dispersa.



Fonte: Arquivos da siderúrgica, 2019.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo surgiu com a objetividade de avaliar os impactos ambientais e econômicos ocasionados pela utilização de sucata de obsolescência em uma siderúrgica integrada. Para analisar e quantificar os impactos, foi utilizado um estudo de caso realizado em uma siderúrgica localizada em Minas Gerais, onde foi utilizada a logística reversa para recuperação de sucatas que estavam dispersas em áreas operacionais da empresa.

Com a realização do projeto para recuperação de sucatas, foi possível promover sucata de aço para utilização nos convertedores LD da siderúrgica e armazenar, preventivamente, matéria-prima para que pudesse ser utilizada em um cenário de escassez de sucata de primeira classe. A logística reversa, implantada na economia circular, foi a ferramenta utilizada para recuperar as sucatas que estavam dispersas, depositadas como resíduos sólidos e sem utilização em quatro áreas da siderúrgica. Juntamente com utilização de ferramentas de gestão, como Diagrama de Pareto, árvore de análise de causas e matriz 5W1H, foi possível localizar e promover a destinação dos materiais para o pátio de preparação de sucatas da aciaria. Com a utilização da logística reversa e das ferramentas de gestão, foi possível priorizar as frentes de atuação e, assim, realizar o estudo de caso com sucesso.

No período de doze meses de execução do estudo de caso, foram recuperadas mais de 12.000 t de sucatas de obsolescência nas quatro áreas identificadas na siderúrgica, promovendo um ganho econômico superior a quatro milhões de reais para a siderúrgica. Esse resultado foi possível devido a contratação de um empresa terceirizada para realizar as tarefas de segregação, corte, coleta e transporte dos materiais, já que os recursos disponíveis na própria empresa não eram suficientes para promover a destinação dos materiais.

Após realização do projeto, foi implementado em modelo de escopo técnico de contrato de serviços a necessidade de destinação dos resíduos gerados, incluindo as sucatas metálicas. Essa mudança possibilitou a constância da destinação de sucata de obsolescência para o pátio de preparação mesmo após o fim do estudo para recuperação dos materiais.

A utilização de sucata de obsolescência permitiu a continuidade de abastecimento dos convertedores LD da siderúrgica com sucata metálica interna, evitando a compra de ferro gusa sólido. Mediante a utilização de sucata, verificou-se uma redução de custo da carga metálica sólida quando comparada ao consumo de ferro gusa sólido, sendo este um material de

elevado custo e adquirido em mercado externo. Nos anos de 2018 a 2022, a empresa evitou a compra de mais de 44 kt de gusa sólido, economizando mais de 115.000 unidades monetárias.

A logística reversa permite reduzir o custo do produto acabado mediante a reutilização de material descartado no ciclo de produção. Este fator permite que a empresa consiga trabalhar com uma maior flexibilidade no preço dos produtos acabados, tornando, assim, a empresa mais competitiva no mercado. Com os resultados obtidos, observa-se que a logística reversa possibilitou a coleta e reciclagem de sucatas de obsolescência, promovendo redução dos custos operacionais e transformando os resultados em ganhos financeiros e ambientais para a empresa. Assim, a logística reversa se certificou como uma importante ferramenta para ganhos ambientais, sociais e econômicos.

A utilização do fluxo reverso possibilita reciclagem de toda sucata gerada, transformando-se em novo aço. O aço produzido por meio da utilização de sucatas é fabricado com menos impacto ambiental no que tange a utilização de matérias-primas como carvão, minério de ferro e calcário, e também na redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Nos anos de 2018 a 2022, mediante a utilização de sucata de obsolescência nos convertedores da siderúrgica, foram evitadas as emissões de mais de 63 mil toneladas de CO₂ na atmosfera. No mesmo período, também, foi poupada a utilização de, aproximadamente, 60 kt de minério de ferro, 44 kt de carvão e 5 kt de calcário, preservando-se da extração desses recursos naturais.

Além disso, a reciclagem de sucatas conduz ao cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Isso ocorre devido a destinação adequada dos materiais gerados nos processos de produção, manutenção e operação, descaracterizando-os como os resíduos sólidos com potencial risco de poluição e contaminação do solo, água e reservas naturais.

Portanto, conclui-se que a recuperação e utilização de sucatas de obsolescência em uma siderúrgica integrada possui impactos econômicos e ambientais favoráveis e viáveis para a empresa e sociedade. Os impactos avaliados foram redução de custos, como compra e consumo matérias-primas, favorecimento na mitigação de emissões de gases poluentes, como dióxido de carbono, e geração de emprego e renda. Assim, com a otimização de recursos e mão-de-obra é possível assegurar o fluxo da logística reversa ativo dentro da empresa e manter a constância da destinação adequada de toda sucata gerada internamente na siderúrgica integrada para o pátio de preparação do material para posterior utilização nos convertedores.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho permite a continuação para posteriores estudos relacionados tanto ao âmbito ambiental como financeiro. Focando na parte ambiental, em função da indisponibilidade de algumas informações e da sensibilidade de dados relacionados internamente com a siderúrgica abordada neste estudo, não foi possível calcular, de forma prática, as emissões de CO₂ evitadas. Este cálculo ficou registrado e evidenciado apenas em formato teórico, com base nas referências da WorldSteel Association. Ademais, não foram identificadas informações sobre quais dados e condições de contorno a WorldSteel utilizou para determinar que a utilização de uma tonelada de sucata evita a emissão de 1,5 t de CO₂.

Deste modo, sugere-se para futuros trabalhos complementares, a incorporação do balanço real de carbono, definindo o quanto de dióxido de carbono foi evitado de ser emitido na atmosfera mediante a reciclagem de sucatas de aço de obsolescência. Para este balanço, considerar dados reais de consumo de diesel por equipamentos utilizados no manuseio e transporte dos materiais, bem como as etapas de corte e preparação das sucatas para consumo. Incluir, também, análise quanto à utilização de ferro gusa sólido verde, proveniente de altos fornos a carvão vegetal, e gusa proveniente de altos fornos a carvão mineral, em síntese, contabilizando separadamente as emissões provenientes da biomassa e de combustíveis fósseis.

REFERÊNCIAS

ASIZ, Renata Cristina de. **Logística reversa de sucatas metálicas não-ferrosas em uma indústria automobilística**: estudo de campo. 2016. Dissertação (Pós graduação em engenharia ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/172331>. Acesso em: 22 março. 2023.

BARBOSA, Mathias de Carvalho Moraes. **Mercado, reciclagem e as inovações da indústria siderúrgica**. 2019. Projeto de Graduação (Graduação em engenharia metalúrgica) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/18021>. Acesso em: 15 abr. 2023.

BAUM, Vitor Behar. **Análise comparativa dos impactos ambientais associados às rotas primária e secundária da produção de aço em uma usina siderúrgica**: estudo de caso baseado na avaliação do ciclo de vida da estrutura metálica de um pavilhão industrial executada a partir de sucata ferrosa reciclada. Orientador: Prof. Dr. Marcus Seferin. 2021. Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/9774>. Acesso em: 18 set. 2023.

Brasil. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a política nacional de resíduos sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e da outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 26 mar. 2023.

BROADBENT, Clare. Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. **LCA OF METALS AND METAL PRODUCTS: THEORY, METHOD AND PRACTICE**, Springer, 2016, 21 mar. 2016. DOI 10.1007/s11367-016-1081-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1081-1>. Acesso em: 15 abr. 2023.

Dynapar. **Siderurgia e mineração**. Disponível em: <https://dynaparencoders.com.br/areas-de-atuacao/siderurgia-e-mineracao/>. Acesso em: 15 abril. 2023.

FERNANDES, Sheila Mendes *et al.* Revisão sistemática da literatura sobre as formas de mensuração do desempenho da logística reversa. **Gestão & Produção**, São Carlos, ano 2018, v. 25, n. 1, p. 175-190, 2018. DOI: 10.1590/0104-530X3177-16. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/kRfWt87PRRc4sbZXQFjQzHd/?lang=pt>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FERREIRA, Carla Regina; RIBEIRO, Edgard Marcos; COSTA, Patrícia Sheilla. Estudo do mercado de sucata no Brasil com o aumento da produção de aço. *In*: SEMINÁRIO DE ACIARIA – INTERNACIONAL, 44, 2013, Araxá, Minas Gerais. **Artigos eletrônicos**. Belo Horizonte: UEMG, 2013. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/estudo-do-mercado-de-sucata-no-brasil-com-o-aumento-da-produo-de-ao>. Acesso em: 2 abril. 2023.

FERREIRA, Franciele Elaine; GONÇALVES, Gelson Salvi; SCHEFFELMEIER, Hulda Rose. **Gestão ambiental e desenvolvimento sustentável**: A reciclagem de veículos. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Gestão Pública) – Universidade Estadual do

Centro Oeste, UNICENTRO, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://sguweb.unicentro.br/attrabalhos/viewpublico/5d94cfe4-3060-4a2e-9d3b4288c8c90a21>. Acesso em: 15 abr. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002.

HEMPE, L. J.; HEMPE, C. A logística reversa à serviço do desenvolvimento sustentável e o papel da escola com relação à educação ambiental. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 17–25, 2015. DOI: 10.5902/2236130818733. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/18733>. Acesso em: 7 maio. 2023.

Ideia Socioambiental. **Conhecendo as sucatas de ferro**. Disponível em: <https://www.ideiasocioambiental.com.br/conhecendo-as-sucatas-de-ferro/>. Acesso em: 15 abril. 2023.

Instituto Aço Brasil. **Processo Siderúrgico**. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>. Acesso em: 26 maio. 2023.

Instituto Aço Brasil. **Relatório de Sustentabilidade 2016**. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/sustentabilidade2016/>. Acesso em: 26 maio. 2023.

Instituto Aço Brasil. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/>. Acesso em 16 abril. 2023.

Instituto Aço Brasil. **Relatório de Sustentabilidade 2020: Dados do setor do aço brasileiro**. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/index.html#dados-do-setor>. Acesso em 30 abril. 2023.

Instituto Nacional Das Empresas De Sucata De Ferro E Aço. **Estudo setorial sucata ferrosa no Brasil**. São Paulo: INESFA, 2012.

KURTZ, Mariana Reyna. **A indústria siderúrgica no Brasil: avanços para o desenvolvimento sustentável**. 2020. Trabalho de conclusão de graduação (Bacharelado em engenharia química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/12819>. Acesso em: 15 abril. 2023.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MAGALHÃES, Rodrigo da Silva. **Modelo dinâmico por balanço de massa e energia em conversor LD**. 2017. Dissertação (Pós graduação em engenharia metalúrgica) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/26900>. Acesso em: 16 abril. 2023.

MINOVES, Jorge Sala *et al.* Logística direta e logística reversa na produção do aço: estudo de caso em uma empresa siderúrgica. **IPTEC – Revista Inovação, Projetos e Tecnologias**, Brasil, v. 3, n. 1, p. 137-151, jan. 2015.

MIRANDA, Roberta Sales Muniz. **Avaliação da viabilidade econômica de adoção da reciclagem enquanto solução mitigadora dos impactos adversos da produção eletrônica**. 2013. Trabalho de conclusão de graduação (Bacharelado em economia) – Universidade Federal

do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/643>. Acesso em: 15 abril. 2023.

Multilift. **Operação de ferro gusa**. Disponível em: <https://www.multilift.com.br/cases/ferro-gusa>. Acesso em: 15 abril. 2023.

NICHOLAS, Simon; BASIRAT, Soroush. New From Old: The Global Potential for More Scrap Steel Recycling: Mature, Cost-competitive and Lower-emissions Technology Is Primed for Expansion. **INSTITUTE FOR ENERGY ECONOMICS AND FINANCIAL ANALYSIS**, Austrália, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://ieefa.org/resources/new-old-global-potential-more-scrap-steel-recycling>. Acesso em: 12 maio 2023.

OLIVEIRA, Stéfany Marinho de; SILVA; Cecília Teixeira da; BRANDÃO, Eliane Matos. **Ciclo PDCA: Uma metodologia de gestão**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/716578>. Acesso em: 20 maio. 2023.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

REIS, Alexandre dos. **A cadeia reversa do aço: a estrutura de atividades e os riscos dos intermediários da sucata metálica**. 2015. Dissertação (Pós graduação em engenharia de produção e sistemas) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6029>. Acesso em: 02 abril. 2023.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Introdução aos processos de preparação de matérias-primas para o refino do aço**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

ROSSÉS, Gustavo Fontinelli *et al.* A perspectiva dos sistemas de logística direta e logística reversa: O caso de uma companhia no ramo industrial de bebidas. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Brasil, v. 10, n. 1, p. 30-40, 2015. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/V10N1A3/SGV10N1A3>. Acesso em: 14 maio. 2023.

SANT'ANNA, Lindsay Teixeira; MACHADO, Rosa Teresa Moreira; BRITO, Mozar José de. A logística reversa de resíduos eletrônicos no Brasil e no mundo: O desafio da desarticulação dos atores. **Revista Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 88-105, mai/ago. 2015. Disponível em: <http://177.105.2.222/handle/1/37477>. Acesso em: 14 maio. 2023.

SILVA, Christian Luiz da. Competitividade e estratégia empresarial: um estudo de caso da indústria automobilística brasileira na década de 1990. **Revista da FAE**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 35-48, jan./abr. 2001. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/454/349>. Acesso em: 14 ago. 2023.

TRINDADE JUNIOR, José Carlos Nogueira Trindade. **Obtenção, mercado e reciclagem de sucatas ferrosas na indústria siderúrgica brasileira**. 2013. Trabalho de conclusão de graduação (Bacharelado em engenharia metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/15881>. Acesso em: 15 abril. 2023.

Worldsteel Association. **About steel**. Disponível em: <https://worldsteel.org/about-steel/about-steel/>. Acesso em: 30 abril. 2023.

Worldsteel Association. **Fact Sheet**: Scrap use in the steel industry. Disponível em: <https://worldsteel.org/publications/fact-sheets/>. Acesso em: 15 abril. 2023.

Worldsteel Association. **Fact Sheet**: Steel and raw materials. Disponível em: <https://worldsteel.org/publications/fact-sheets/>. Acesso em: 30 abril. 2023.

Worldsteel Association. **Raw Materials**: Maximising scrap use helps reduce CO₂ emissions. Disponível em: <https://worldsteel.org/steel-topics/raw-materials/>. Acesso em: 30 abril. 2023.

Worldsteel Association. **Steel**: The permanent material in the circular economy. Disponível em: <https://worldsteel.org/circulareconomy/>. Acesso em: 30 abril. 2023.

Worldsteel Association. **The white book of steel**. Disponível em: <https://worldsteel.org/publications/bookshop/the-white-book-of-steel/>. Acesso em: 30 abril. 2023.

XIII SIMPEP, 2006, Bauru. **Anais** [...]. Bauru, São Paulo: [s. n.], 2006. Disponível em: <https://portalidea.com.br/cursos/gesto-de-qualidade-apostila02.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2023.

ANEXO A – Fluxograma da metodologia de estudo

