

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

LETÍCIA DE LIMA BARBOSA DE FRANÇA ROMEIRO

**A RECICLAGEM DO AÇO COMO ALTERNATIVA DA MINIMIZAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL E SOCIAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA.**

RIO LARGO, AL
2025

LETÍCIA DE LIMA BARBOSA DE FRANÇA ROMEIRO

**A RECICLAGEM DO AÇO COMO ALTERNATIVA DA MINIMIZAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL E SOCIAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Florestal da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marília Freitas de
Vasconcelos Melo.

RIO LARGO, AL

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

R763a Romeiro, Letícia de Lima Barbosa de França.

A reciclagem do aço como alternativa da minimização do impacto ambiental e social: uma revisão de literatura. / Letícia de Lima Barbosa de França Romeiro. – 2025.

33 f.: il.

Orientador(a): Marília Freitas de Vasconcelos Melo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Graduação em Engenharia Florestal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Reaproveitamento. 2. Sustentabilidade. 3. Economia circular. I. Título.

CDU: 630*2 (813.5)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Letícia de Lima Barbosa de França Romeiro

**A reciclagem do aço como alternativa da minimização do impacto ambiental e social:
uma revisão de literatura.**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC,
apresentado a Universidade Federal de
Alagoas – UFAL, Campus de Engenharias e
Ciências Agrárias – CECA, como requisito
para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Data de Aprovação: 27/10/2025

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **MARILIA FREITAS DE VASCONCELOS MELO**
Data: 27/10/2025 11:52:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Marília Freitas de Vasconcelos Melo
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **PAULO ROBERTO JAQUES DILL**
Data: 12/11/2025 17:12:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Roberto Jaques Dill
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS FREDERICO LINS E SILVA BRANDAO**
Data: 19/11/2025 09:27:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Frederico Lins e Silva Brandão
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e proteção ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Agradeço à minha mãe por toda a dedicação e carinho, e a toda minha família pelo amor, apoio e incentivo incondicional, que tornaram possível chegar até aqui.

Sou grata aos professores, em especial à professora Marília, minha orientadora, pela paciência, orientação e pelas valiosas sugestões que contribuíram para o aprimoramento deste trabalho

Agradeço também aos meus amigos e colegas de classe, pelo apoio, companheirismo e momentos de aprendizado compartilhados.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que este TCC se concretizasse, tornando esta conquista ainda mais especial.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo compreender como a reciclagem do aço pode contribuir para reduzir os impactos ambientais e sociais, mostrando que é possível unir desenvolvimento econômico e responsabilidade com o meio ambiente. A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão de literatura, que reuniu dez estudos publicados entre 2018 e 2025 selecionados com base em critérios de relevância, atualidade e fundamentação científica. Os resultados mostram que reciclar o aço ajuda a diminuir a extração de recursos naturais, reduz o consumo de energia e as emissões de gases poluentes, com ganhos que chegam a mais de 30% na economia de energia e reduções de até 58% nas emissões. Além dos benefícios ambientais, a reciclagem também gera empregos, incentiva a inclusão social e fortalece cooperativas e pequenas cadeias produtivas. Mesmo com esses avanços, ainda existem desafios, como a falta de estrutura adequada, a informalidade no mercado de sucata e a necessidade de maior conscientização sobre o reaproveitamento de materiais. Conclui-se que investir na reciclagem do aço é apostar em um modelo de produção mais justo, eficiente e sustentável, capaz de equilibrar progresso econômico, preservação ambiental e desenvolvimento social.

Palavras-chave: reaproveitamento; sustentabilidade; economia circular.

ABSTRACT

This study aimed to understand how steel recycling can help reduce environmental and social impacts, showing that it is possible to combine economic development with environmental responsibility. The research was conducted through a literature review that gathered ten studies published between 2018 and 2025, selected based on relevance, timeliness, and scientific consistency. The results show that recycling steel helps reduce the extraction of natural resources, energy consumption, and greenhouse gas emissions, achieving energy savings of over 30% and emission reductions of up to 58%. In addition to environmental benefits, recycling also generates jobs, promotes social inclusion, and strengthens cooperatives and small production chains. Despite these advances, there are still challenges such as the lack of adequate infrastructure, informality in the scrap market, and the need for greater awareness regarding material reuse. It is concluded that investing in steel recycling means supporting a fairer, more efficient, and sustainable production model capable of balancing economic progress, environmental preservation, and social development.

Keywords: reuse; sustainability; circular economy.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos selecionados para análise	22
Tabela 2 - Distribuição de publicações por período (2018–2025)	24
Tabela 3 - Principais achados quantitativos da literatura	26
Tabela 4 - Distribuição por metodologia dos estudos selecionados	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.1 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 Desafios e oportunidades da reciclagem do aço no Brasil	13
3.1.1 Características que favorecem a reutilização do aço	14
3.1.2 Desafios logísticos e operacionais	15
3.1.3 Oportunidades para aumentar a reutilização do aço no Brasil	16
3.2 Aspectos econômicos da reciclagem como estratégia de sustentabilidade	17
3.2.1 A utilização da sucata como insumo para a redução de custos na indústria siderúrgica.	17
3.2.2 Geração de empregos e inclusão social	17
3.2.3 Importância da economia circular no país	18
4 METODOLOGIA.....	19
4.1 Estratégia de busca.....	19
4.2 Critérios de inclusão e exclusão.....	20
4.3 Coleta e análise dos dados.....	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 Evolução temporal das publicações	24
5.2 Principais achados quantitativos.....	25
5.3 Enfoques metodológicos	27
5.4 Tendências observadas.....	29
5.5 Síntese e contribuições da literatura	30
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado dos centros urbanos e das indústrias ao longo dos últimos séculos trouxe profundas mudanças na forma como os recursos naturais são consumidos e os resíduos gerados. O aumento preocupante do volume de resíduos sólidos tem causado impactos ambientais graves, como a poluição do ar e da água, além da degradação do solo. Esses problemas afetam não apenas os ecossistemas, mas também as comunidades que dependem diretamente desses recursos para sobreviver. Nesse cenário, a reciclagem se destaca como uma alternativa essencial para minimizar esses impactos, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e promovendo a sustentabilidade (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021).

A reciclagem é um dos pilares mais importantes da economia circular, pois transforma resíduos em novos produtos, reduzindo a necessidade de extrair matéria-prima e evitando o acúmulo de lixo (CORRÊA; RIBEIRO, 2022). Além de diminuir a poluição do solo, da água e do ar, ela também movimenta a economia. Empresas que atuam na coleta seletiva, processamento de resíduos e produção de materiais reciclados estão em crescimento, gerando empregos e novas oportunidades de negócios (CONVALE, 2023). Assim, a reciclagem contribui não apenas para a economia circular, mas também para um desenvolvimento econômico mais sustentável.

Entre os materiais reciclados, o aço se destaca como o mais reciclado no mundo, com cerca de 630 milhões de toneladas reaproveitadas anualmente (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2024). O aço é excepcional por ser 100% reciclável, mantendo suas propriedades originais mesmo após múltiplos ciclos de reaproveitamento. No Brasil, cerca de 30% do aço produzido tem origem em materiais reciclados, conforme dados do Relatório de Sustentabilidade do Instituto Aço Brasil (2016). Esse índice demonstra a relevância da indústria da reciclagem de aço para o setor siderúrgico e para a economia nacional. O processo de reciclagem do aço é relativamente simples e gera benefícios significativos, tanto econômicos quanto ambientais. Para cada tonelada de aço reciclado, economiza-se aproximadamente o dobro dessa quantidade em recursos naturais. Isso representa, em média, a redução da extração de 1,5 tonelada de minério de ferro, a economia de 0,65 tonelada de carvão mineral e a dispensa do processamento de 0,3 tonelada de calcário (ESPAÇO SMART, 2024). Esses números demonstram como a reciclagem do aço é essencial para a preservação dos recursos naturais e para a construção de um futuro mais sustentável.

A história do aço começou há milhares de anos, acompanhando o próprio desenvolvimento das civilizações humanas. Registros apontam que civilizações antigas já

produziam ligas de ferro com carbono por volta de 1.800 a.C., em regiões que hoje correspondem à Turquia e à Índia (BRITANNICA, 2025). Durante a Revolução Industrial, no século XIX, com a invenção do processo Bessemer, o aço passou a ser produzido em larga escala, tornando-se a base da modernização industrial, da construção civil e da infraestrutura mundial (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2024). No século XXI, com o avanço das preocupações ambientais, o aço ganhou novo protagonismo por sua reciclabilidade infinita e por sua capacidade de integrar estratégias de descarbonização e economia circular (CONSORZIO RICREA, 2024). A trajetória desse material reflete não apenas o desenvolvimento tecnológico, mas também a busca contínua por modelos produtivos mais sustentáveis.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Analisar a reciclagem do aço como uma prática sustentável, destacando sua relevância ambiental, econômica e social, bem como sua contribuição para o fortalecimento da economia circular e para a preservação dos recursos naturais.

2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar os benefícios ambientais da reciclagem, como economia de energia, redução da extração de matérias-primas e diminuição de poluentes;
- b) Avaliar os impactos econômicos e sociais do reaproveitamento do aço, incluindo geração de empregos e renda;
- c) Analisar desafios e oportunidades para aprimorar a reciclagem do aço no Brasil, visando maior sustentabilidade e eficiência.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Desafios e oportunidades da reciclagem do aço no Brasil

O aço é amplamente conhecido pela sua incrível capacidade de ser reciclado sem perder as suas propriedades essenciais. Essa durabilidade e resiliência tornam este material essencial em práticas sustentáveis, uma vez que a sua reutilização não só é repetida de forma contínua, como também ajuda a conservar os recursos naturais. Estudos recentes apontam que a reciclagem do aço contribui para a redução do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa, reforçando a importância de expandir essas práticas no Brasil (BAUM, 2021; SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024).

A siderurgia é tradicionalmente associada a elevados níveis de impacto ambiental, sobretudo pela intensa emissão de gases de efeito estufa (como CO₂ e NO_x), pelo elevado consumo de energia térmica e elétrica, e pela extração de grandes volumes de minério de ferro e carvão mineral. Entretanto, a reciclagem do aço tem se mostrado uma alternativa eficiente para mitigar esses impactos. De acordo com Baum (2021), a substituição parcial do minério primário por sucata metálica pode reduzir em até 58% as emissões de gases de efeito estufa e gerar economias energéticas de 20% a 35%. Assim, a reciclagem se consolida como ferramenta essencial para o alcance das metas de descarbonização e para a construção de uma indústria de baixo carbono.

Além dos benefícios ambientais, a reciclagem do aço está alinhada às políticas nacionais de sustentabilidade, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei nº 12.305/2010), que incentiva a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a destinação adequada de resíduos. A Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), em elaboração pelo governo brasileiro, também reconhece a reciclagem metálica como vetor estratégico para o crescimento sustentável e a redução de impactos ambientais. Essas políticas estimulam a adoção de práticas industriais mais limpas e o fortalecimento de cadeias produtivas sustentáveis.

A reciclagem do aço, apesar de seus benefícios evidentes, enfrenta desafios consideráveis. Entre eles, destacam-se as dificuldades logísticas, como a carência de infraestrutura adequada para a coleta e reaproveitamento da sucata metálica, fora os desafios operacionais decorrentes da falta de padronização. Por outro lado, os avanços tecnológicos e os incentivos econômicos representam oportunidades que podem transformar esse cenário

(KIYOMOTO, 2023; POLETTI e OLIVEIRA, 2024; AKIAMA, 2024). Com o desenvolvimento de novas tecnologias e a implementação de políticas de incentivo, o Brasil possui grande potencial para fortalecer sua cadeia de reciclagem e se firmar como referência em soluções sustentáveis no setor.

3.1.1 Características que favorecem a reutilização do aço

As características do aço fazem dele uma escolha essencial em várias áreas, como na construção de edifícios e pontes, na indústria automotiva, na fabricação de eletrodomésticos, e até mesmo em equipamentos industriais de grande porte. Sua alta resistência mecânica, durabilidade e capacidade de ser moldado e reaproveitado inúmeras vezes sem perda significativa de propriedades estruturais tornam o aço um dos materiais mais sustentáveis da economia moderna.

Essa capacidade de reciclagem ilimitada é um dos principais fatores que diferenciam o aço de outros materiais metálicos. Ao contrário de polímeros ou compósitos, que sofrem degradação com o reaproveitamento, o aço pode ser fundido e reprocessado indefinidamente, mantendo as mesmas condições de desempenho técnico. Isso significa que o material conserva seu valor econômico e ambiental ao longo de diversos ciclos produtivos, contribuindo diretamente para a redução da extração de recursos naturais e para o fechamento de ciclos produtivos dentro do modelo de economia circular.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta amplamente utilizada para mensurar os impactos ambientais associados à produção e à reciclagem do aço. Estudos como os de Baum (2021) e Souza (2023) aplicaram a ACV para comparar as rotas primária e secundária de produção, demonstrando que a reciclagem reduz significativamente a pegada de carbono e o consumo de energia, além de mitigar impactos relacionados ao uso de recursos hídricos e à geração de resíduos sólidos.

Gomes (2023b) analisou o uso de sucata metálica proveniente de peças automotivas na fabricação do aço e constatou que essa prática reduz substancialmente a necessidade de minério de ferro, promove economia de energia e minimiza o volume de resíduos gerados. O autor destaca que a incorporação da sucata automotiva na produção siderúrgica é uma alternativa eficiente para ampliar a sustentabilidade e a competitividade do setor no Brasil.

3.1.2 Desafios logísticos e operacionais

Apesar de todas as vantagens que o aço oferece e do seu enorme potencial de reaproveitamento, o processo de reciclagem no Brasil ainda enfrenta obstáculos significativos que limitam o seu desenvolvimento. Um dos maiores desafios é a falta de infraestrutura adequada para a coleta, transporte, triagem e processamento da sucata metálica, especialmente em regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos. A ausência de centros de coleta e de polos regionais de reciclagem compromete a eficiência da logística reversa, elevando custos operacionais e dificultando a reinserção dos resíduos no ciclo produtivo (GOMES, 2023b; SOUZA, 2023). Essa carência de estrutura impede que grande parte da sucata gerada nas atividades industriais e de consumo seja devidamente aproveitada, ocasionando desperdício de recursos e aumento do descarte irregular.

Outro ponto importante é a informalidade predominante no mercado de sucata, que ainda concentra uma parcela expressiva das operações de compra, venda e coleta de materiais metálicos. A falta de regulamentação e de fiscalização efetiva torna o controle das atividades mais complexo, dificultando a rastreabilidade dos materiais e prejudicando a confiabilidade dos dados de reciclagem. Essa informalidade impacta diretamente a eficiência e a segurança das operações, além de limitar o acesso a incentivos fiscais e políticas de fomento à economia circular.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), constitui um marco importante na regulamentação da gestão de resíduos no país. Contudo, ainda enfrenta dificuldades em sua implementação prática. A insuficiência de recursos destinados à fiscalização, o baixo nível de integração entre entes públicos e privados e a ausência de incentivos econômicos consistentes reduzem o alcance das metas de sustentabilidade previstas pela legislação (BRASIL, 2010).

Além disso, há a falta de padronização nos processos de coleta, separação e classificação da sucata metálica, o que dificulta a integração das diferentes etapas da cadeia produtiva (KIYOMOTO, 2023; POLETTI e OLIVEIRA, 2024; GOMES, 2023b). A ausência de critérios técnicos unificados e de normas operacionais específicas resulta em ineficiências logísticas, variação na qualidade do material reciclado e aumento dos custos de processamento.

Dessa forma, o processo de reciclagem do aço, embora essencial para a sustentabilidade industrial, ainda requer avanços estruturais e organizacionais, incluindo investimentos em infraestrutura, fortalecimento de políticas públicas, fomento à formalização das atividades e integração tecnológica entre os elos da cadeia. Somente a partir desses ajustes

será possível consolidar um sistema de reciclagem mais eficiente, rastreável e ambientalmente responsável no Brasil.

3.1.3 Oportunidades para aumentar a reutilização do aço no Brasil

Apesar das dificuldades, o Brasil tem muitas chances de aumentar o reaproveitamento do aço. Os incentivos para as empresas que usam aço reciclado, conhecidos como benefícios fiscais, ajudam a motivar a economia circular de forma mais eficaz. Se o setor público e o privado se unissem mais, poderiam criar a infraestrutura necessária para fazer a coleta e o processamento da sucata de maneira mais eficiente.

A responsabilidade social ajuda a valorizar o material reciclado e a criar um ciclo virtuoso (AKIAMA, 2024; SOUZA, 2023; POLETTI e OLIVEIRA, 2024). A integração de tecnologia, incentivos e conscientização permite ao Brasil fortalecer a reciclagem do aço e avançar em sustentabilidade.

3.2 Aspectos econômicos da reciclagem como estratégia de sustentabilidade

A reciclagem se tornou um pilar essencial para a construção de uma sociedade mais sustentável, trazendo benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia. No setor siderúrgico, o reaproveitamento da sucata metálica tem se mostrado uma solução cada vez mais relevante, com vantagens econômicas, sociais e ambientais. Ajudando a reduzir custos, ela também contribui para a geração de empregos e abre espaço para as cooperativas de reciclagem no mercado (POLETTI e OLIVEIRA, 2024; GOMES, 2023b; SOUZA, 2023).

O reaproveitamento de materiais desempenha um papel fundamental na transição para uma economia circular, que busca diminuir a exploração de recursos naturais e reduzir o desperdício. Estudos sistemáticos indicam que a reutilização da sucata metálica pode aumentar a eficiência do processo e reduzir custos de matéria-prima de forma significativa (BAUM, 2021; AKIAMA, 2024; SOUZA, 2023).

3.2.1 A utilização da sucata como insumo para a redução de custos na indústria siderúrgica

A reutilização do aço tem se mostrado uma estratégia eficaz para as siderúrgicas diminuírem seus gastos. Ao invés de extrair e purificar o minério de ferro, uma operação que consome muita energia, as companhias podem reutilizar a sucata metálica, poupando recursos e tornando a produção mais rentável. Estudos indicam que a utilização de sucata reciclada reduz custos de produção e consumo energético (BAUM, 2021; SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024).

O uso da sucata como insumo não só gera economia financeira, mas também promove ganhos ambientais e sociais, fortalecendo a competitividade da indústria siderúrgica. Além disso, a sucata serve como um insumo estratégico para a indústria, aumentando a eficiência energética e reduzindo impactos ambientais (POLETTI e OLIVEIRA, 2024; GOMES, 2023).

3.2.2 Geração de empregos e inclusão social

A reciclagem do aço também contribui para a geração de empregos, principalmente por meio de cooperativas de catadores e empresas de reciclagem formalizadas. Segundo os estudos revisados, a formalização de atividades de reciclagem aumenta a eficiência do

reaproveitamento e garante melhores condições de trabalho (GOMES, 2023B; POLETTI e OLIVEIRA, 2024; AKIAMA, 2024).

Além de benefícios econômicos, a inclusão de trabalhadores formais melhora a eficiência do processo e promove impacto social positivo, fortalecendo a cadeia produtiva da reciclagem. As cooperativas têm se destacado por tornar o processo de reciclagem mais eficiente, reduzindo custos e melhorando a qualidade do serviço. Com isso, conseguem ampliar a quantidade de materiais reaproveitados e garantir que eles tenham a destinação correta, evitando desperdícios e contribuindo para um ambiente mais sustentável (SOUZA, 2023).

Além disso, a ampliação da cadeia de reciclagem está alinhada às metas da PNRS, que incentiva a inclusão socioeconômica, a redução da informalidade e o fortalecimento da sustentabilidade social (BRASIL, 2010; SOUZA, 2023).

3.2.3 Importância da economia circular no país

A economia circular é um modelo de produção e consumo que visa reduzir o desperdício, otimizar o uso de recursos e transformar resíduos em novos insumos. Nos estudos revisados, a reciclagem de aço dentro de uma abordagem de economia circular demonstra impactos positivos tanto para o meio ambiente quanto para a economia (SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024; BAUM, 2021).

No Brasil, a aplicação da economia circular na indústria siderúrgica tem se fortalecido, principalmente por meio do reaproveitamento sistemático da sucata metálica e da adoção de práticas de logística reversa, que permitem reduzir o consumo de matéria-prima virgem e diminuir a geração de resíduos (POLETTI e OLIVEIRA, 2024; KIYOMOTO, 2023).

Além dos impactos ambientais, a economia circular contribui para a competitividade da indústria, pois a utilização de sucata reciclada reduz custos de produção e melhora a eficiência operacional (SOUZA, 2023; BAUM, 2021; AKIAMA, 2024). A adoção de práticas sustentáveis também favorece a inovação tecnológica, pois incentiva o desenvolvimento de métodos avançados de separação e processamento da sucata metálica (KIYOMOTO, 2023; GOMES, 2023A).

Os estudos revisados evidenciam que a economia circular fortalece a sustentabilidade ambiental, econômica e tecnológica da indústria siderúrgica no Brasil. O modelo permite que os resíduos de um processo se tornem insumos para outro, gerando menos desperdício, maior eficiência e oportunidades de inovação, consolidando a reciclagem do aço como uma estratégia sustentável e competitiva.

4 METODOLOGIA

Apesar de o aço ser o material mais reciclado no mundo, seu potencial de reaproveitamento no Brasil ainda está abaixo do ideal. Este trabalho busca contribuir para o debate sobre como superar esse desafio, evidenciando a relevância da reciclagem de aço como um instrumento para alcançar uma sociedade mais sustentável.

A análise apresentada neste estudo visa fornecer subsídios teóricos e práticos para a ampliação da reciclagem como ferramenta estratégica no contexto da sustentabilidade. A reciclagem não apenas reduz os impactos ambientais, mas também promove a inclusão social ao gerar empregos e oferecer novas oportunidades de renda, especialmente para populações em situação de vulnerabilidade que atuam no setor de coleta e separação de sucata.

A escolha desse método se justifica por permitir a identificação, avaliação e síntese crítica de estudos já publicados, proporcionando uma visão abrangente sobre o tema e evidenciando lacunas e avanços científicos na área. Além disso, a revisão é considerada uma abordagem essencial em pesquisas que envolvem sustentabilidade e economia circular, pois possibilita a integração de resultados provenientes de diferentes contextos e metodologias (AKIAMA, 2024; SOUZA, 2023).

A seleção e análise dos estudos seguiram critérios de relevância temática, qualidade metodológica e contextualização no cenário brasileiro, assegurando que apenas publicações com fundamentação científica e dados consistentes fossem incluídas.

4.1 Estratégia de busca

A busca foi elaborada de forma criteriosa com o objetivo de garantir a abrangência e confiabilidade das informações coletadas sobre a reciclagem do aço e suas relações com a sustentabilidade. A pesquisa foi conduzida em plataformas científicas reconhecidas e repositórios acadêmicos de acesso aberto, priorizando bases que concentram publicações revisadas por pares e trabalhos técnico-científicos produzidos em universidades brasileiras.

As principais fontes consultadas foram: Google Scholar, SciELO e ResearchGate, voltadas à artigos científicos e revisões publicadas em periódicos especializados, DSpace, utilizado para o acesso a teses e dissertações, e os repositórios institucionais da USP, UFOP, PUCRS e do Centro Paula Souza, que disponibilizam produções acadêmicas de destaque nacional nas áreas de engenharia, sustentabilidade e tecnologia industrial. Essa combinação de

bases assegurou a cobertura de estudos tanto de caráter teórico quanto aplicado, contemplando desde análises de ciclo de vida até investigações sobre logística reversa e economia circular.

As palavras-chave foram selecionadas com base em termos técnicos recorrentes na literatura nacional, de modo a refletir as principais dimensões do tema. Entre elas, destacam-se: reciclagem do aço, sustentabilidade na indústria siderúrgica, impacto ambiental da reciclagem de metais, economia circular e logística reversa de sucata metálica. As combinações entre os termos foram aplicadas em diferentes bases de dados para ampliar o alcance das buscas e evitar a exclusão de estudos relevantes.

Para melhorar os resultados, foram aplicados filtros específicos de inclusão relacionados ao período de publicação, tipo de documento, idioma e acesso ao conteúdo completo. O recorte temporal adotado compreendeu o intervalo entre 2018 e 2025, correspondente aos últimos sete anos de produção científica, período em que houve um crescimento expressivo das discussões sobre economia circular, descarbonização e reaproveitamento de sucata metálica no Brasil. A escolha desse filtro justifica-se pela necessidade de incorporar evidências práticas e atualizadas, considerando que as políticas ambientais e as metas de neutralidade de carbono se intensificaram nos últimos anos (IEDI, 2024).

Quanto ao tipo de documento, foram incluídas teses, dissertações, artigos científicos e relatórios técnicos, uma vez que esses formatos reúnem dados metodológicos consistentes e análises quantitativas relevantes. Foram excluídas publicações de caráter opinativo, resumos expandidos e materiais sem rigor metodológico comprovado. O idioma de seleção foi o português, priorizando estudos produzidos no contexto nacional, e, por fim, a busca restringiu-se a documentos de acesso público e com texto completo disponível, assegurando transparência e reprodutibilidade à revisão.

Essa estratégia permitiu construir uma base de evidências sólidas e atualizadas, composta por estudos que refletem as condições reais da reciclagem do aço no Brasil, suas implicações ambientais e sociais, e o avanço das práticas sustentáveis no setor siderúrgico.

4.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos com o objetivo de assegurar a qualidade, a coerência temática e a relevância científica dos estudos analisados, garantindo que

a revisão contemplasse apenas pesquisas com fundamentação metodológica sólida e aplicabilidade no contexto brasileiro.

Para os critérios de inclusão, foram escolhidos estudos que abordam práticas sustentáveis relacionadas à reciclagem do aço, com foco na redução de impactos ambientais, na otimização de recursos naturais e na promoção da economia circular. A seleção priorizou trabalhos que aplicam métodos quantitativos e qualitativos, especialmente aqueles baseados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), diagnósticos ambientais e análises setoriais.

Foram considerados elegíveis os estudos que apresentaram dados mensuráveis, como indicadores de eficiência energética, fluxos de sucata metálica, emissões de gases de efeito estufa (GEE) e percentuais de reaproveitamento de resíduos. Também foram priorizadas publicações com metodologia claramente definida, estrutura analítica consistente e relevância nacional, ou seja, pesquisas que abordam o contexto da indústria siderúrgica brasileira, suas políticas ambientais e práticas produtivas sustentáveis.

Já para os critérios de exclusão, foram retirados da análise os trabalhos que não apresentavam dados empíricos ou que se limitavam a discussões teóricas e opinativas, sem suporte metodológico verificável. Também foram desconsiderados estudos publicados antes de 2018, por se tratarem de produções anteriores ao período adotado e, portanto, menos alinhadas às discussões contemporâneas sobre descarbonização e economia circular. Além disso, foram excluídas publicações que não possuíam relação direta com o tema da reciclagem do aço, ou que tratavam de outras cadeias produtivas metálicas sem conexão com o setor siderúrgico. Trabalhos sem metodologia detalhada, sem indicação de fontes de dados ou sem acesso ao texto completo também foram descartados.

A adoção desses critérios garantiu que o conjunto final de estudos analisados fosse composto por pesquisas atuais, consistentes e representativas, capazes de oferecer uma visão abrangente sobre os avanços, desafios e oportunidades da reciclagem do aço no Brasil.

4.3 Coleta e análise dos dados

Foram identificadas 74 publicações inicialmente, abrangendo artigos, dissertações, teses e estudos de caso relacionados à reciclagem do aço e à sustentabilidade no setor siderúrgico. Após a aplicação dos filtros de relevância, atualidade e rigor metodológico, dez estudos foram selecionados para análise detalhada, representando diferentes abordagens e períodos entre 2018 e 2024 (Tabela 1).

Tabela 1 - Estudos selecionados para análise

Título do estudo	Autor(es)	Ano
Reciclagem como alternativa para a eficiência e sustentabilidade econômica do setor de resíduos sólidos urbanos no município de Belém-PA	SANJAD, H. C.	2018
Comércio de sucata ferrosa e possibilidade de reuso no município de Sorocaba-SP	RIBEIRO, E.	2019
Mercado, reciclagem e as inovações da indústria siderúrgica	BARBOSA, M. C. M.	2019
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	BAUM, V. B.	2021
Avaliação simplificada do ciclo de vida de estacas geotérmicas de baixo carbono	GOMES, B. M. (a)	2023
Avaliação dos benefícios do uso da sucata metálica proveniente de peças automotivas no processo de produção do aço	GOMES, I. H. S. (b)	2023
Diagnóstico ambiental de um processo produtivo de reaproveitamento de sucata metálica: proposta de um sistema para recuperação de água	KIYOMOTO, A. N.	2023
Um futuro de baixo carbono para os setores de aço e cimento no Brasil: avaliação intersetorial sob o olhar da economia circular.	SOUZA, J. F. T. de	2023
Setor do aço brasileiro: tendências para 2035, desafios e boas práticas de economia circular	AKIAMA, S. Y.	2024
Logística reversa: análise acerca do reaproveitamento de sucata metálica e coprodutos na produção de aço	POLETTI, H. R. V.; OLIVEIRA, M. S. de.	2024

Fonte: elaborado pela autora.

As publicações foram organizadas conforme o ano, tipo de metodologia e foco temático, permitindo observar tendências e comparações entre resultados. Verificou-se um

avanço gradual das pesquisas a partir de 2018, com crescimento expressivo entre 2023 e 2024, evidenciando a consolidação dos temas economia circular, logística reversa e descarbonização na indústria do aço (SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024).

Os estudos analisados abrangeram diferentes metodologias, com destaque para as Avaliações de Ciclo de Vida (ACV), os estudos de caso, as análises setoriais e os diagnósticos ambientais. As pesquisas baseadas em ACV abordaram eficiência energética, emissões e avaliação de impactos ambientais (BAUM, 2021; GOMES, 2023a), enquanto os estudos de caso trataram do reaproveitamento de sucata metálica, da recuperação de recursos hídricos e da gestão sustentável de resíduos (SANJAD, 2018; RIBEIRO, 2019; GOMES, 2023b; KIYOMOTO, 2023). destacaram o mercado da sucata ferrosa, as inovações tecnológicas da indústria siderúrgica e os desafios e práticas sustentáveis voltados ao futuro do setor brasileiro (BARBOSA, 2019; SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024; POLETTI e OLIVEIRA, 2024).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão da literatura, foram selecionadas dez publicações que atenderam aos critérios de inclusão previamente definidos. Os resultados foram organizados em quatro dimensões principais:

- (1) Evolução temporal das publicações;
- (2) Enfoques metodológicos;
- (3) Principais achados quantitativos;
- (4) Tendências observadas.

5.1 Evolução temporal das publicações

A análise das publicações entre 2018 e 2025 evidencia uma evolução gradual do interesse acadêmico pela reciclagem do aço, com maior concentração de estudos entre 2023 e 2024 (Tabela 2). Esse aumento está associado à intensificação das discussões sobre sustentabilidade industrial, economia circular e descarbonização (SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024).

Tabela 2 - Distribuição de publicações por período (2018–2025)

Período	Nº de publicações
2018	1
2019	2
2020	0
2021	1
2022	0
2023	4
2024	2
2025	0

Fonte: elaborado pela autora.

A partir de 2018, o estudo de Sanjad (2018) destacou a reciclagem como alternativa para a eficiência e sustentabilidade econômica do setor de resíduos, enquanto Ribeiro (2019) analisou o comércio e o reuso da sucata ferrosa, evidenciando os desafios logísticos e estruturais do setor. No mesmo período, Barbosa (2019) apresentou uma visão abrangente sobre o mercado

nacional de sucata e as inovações tecnológicas da indústria siderúrgica, reforçando o papel estratégico da reciclagem de metais, especialmente do aço, na competitividade industrial.

Os anos de 2020, 2022 e o primeiro semestre de 2025 não apresentaram publicações relevantes diretamente relacionadas à reciclagem do aço no contexto brasileiro, o que indica momentos de menor produção científica sobre o tema. Essa ausência pode estar relacionada à mudança de foco das pesquisas ambientais, especialmente diante das demandas geradas pela pandemia e pela transição energética.

No ano de 2021, destaca-se o estudo de Baum (2021), que analisou os impactos energéticos e ambientais da reciclagem de metais em escala industrial, representando uma das bases teóricas iniciais da revisão. Já o ano de 2022 não apresentou publicações relevantes diretamente relacionadas à reciclagem do aço no contexto brasileiro, o que evidencia uma breve lacuna na produção científica específica sobre o tema nesse período.

Em 2023, observa-se uma ampliação significativa do número de estudos, com enfoque em gestão de resíduos metálicos, eficiência energética, logística reversa e análises setoriais da economia circular (GOMES, 2023a; GOMES, 2023b; KIYOMOTO, 2023; SOUZA, 2023).

Por fim, em 2024, os trabalhos de Akiama (2024) e Poletti e Oliveira (2024) reforçaram a integração entre os eixos de sustentabilidade ambiental, social e econômica, consolidando a reciclagem do aço como componente estratégico da transição para uma indústria de baixo carbono.

A concentração de estudos entre 2023 e 2024 reflete o fortalecimento das políticas nacionais de sustentabilidade e economia circular, além do alinhamento da academia às metas globais de descarbonização da siderurgia. Essa tendência confirma que o tema da reciclagem do aço passou de um campo emergente para um eixo consolidado de pesquisa aplicada e estratégica (SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024).

5.2 Principais achados quantitativos

A análise quantitativa dos estudos permitiu identificar indicadores de desempenho ambiental, energético e operacional diretamente relacionados à reciclagem do aço (Tabela 3).

Tabela 3 - Principais achados quantitativos da literatura

Indicador	Valores encontrados	Estudos
Redução de emissões de GEE	30% – 58% em relação à rota primária	Baum (2021); Souza (2023)
Eficiência energética	20% – 35% de economia no uso de energia	Baum (2021); Gomes (2023a); Gomes (2023b)
Taxas de reciclagem no Brasil	25% – 35% do aço reaproveitado	Akiama (2024); Poletti e Oliveira (2024)
Aproveitamento de sucata industrial	10% – 15% do total reaproveitado internamente	Kiyomoto (2023); Gomes (2023b)
Geração de renda e empregos locais	Crescimento médio de 12% na renda de cooperativas vinculadas à reciclagem	Sanjad (2018); Ribeiro (2019)
Redução de custos operacionais	Diminuição de até 18% nos custos de produção com uso de sucata ferrosa	Barbosa (2019); Ribeiro (2019)
Projeções futuras	Redução da demanda por aço primário até 2035 com políticas de incentivo	Souza (2023); Akiama (2024)

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados indicam que a reciclagem do aço pode reduzir entre 30% e 58% das emissões de gases de efeito estufa (GEE), dependendo da rota de produção e do nível de eficiência operacional (BAUM, 2021; SOUZA, 2023). Em termos de eficiência energética, observam-se economias médias de 20% a 35% quando há substituição parcial do minério primário por sucata metálica (GOMES, 2023a; GOMES, 2023b).

Foi visto que a reciclagem de materiais metálicos contribui para a geração de renda e inclusão produtiva, com ganhos médios de até 12% na renda de cooperativas e redução de custos operacionais no setor de reciclagem (SANJAD, 2018; RIBEIRO, 2019). Também foi observado que o aproveitamento da sucata ferrosa em siderúrgicas brasileiras pode representar economias de até 18% nos custos de produção, além de impulsionar inovações tecnológicas voltadas à eficiência do processo industrial (BARBOSA, 2019).

As taxas atuais de reciclagem no Brasil, estimadas entre 25% e 35%, apontam avanços, mas ainda revelam espaço para expansão, especialmente com melhoria logística e incentivo fiscal (POLETTI e OLIVEIRA, 2024; AKIAMA, 2024). Além disso, estudos de caso demonstram que o reaproveitamento interno de resíduos metálicos pode representar até 15% da matéria-prima reintroduzida, contribuindo para a eficiência produtiva (KIYOMOTO, 2023; GOMES, 2023b).

As projeções para 2035 sugerem que o fortalecimento da economia circular e o avanço de políticas industriais sustentáveis poderão reduzir significativamente a dependência do aço primário, consolidando a siderurgia como um setor estratégico para a transição de baixo carbono (SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024).

5.3 Enfoques metodológicos

Os estudos analisados apresentaram uma diversidade metodológica significativa (Tabela 4), refletindo diferentes perspectivas sobre a reciclagem do aço e sua relevância ambiental, econômica e social. Essa variedade evidencia a maturidade crescente do campo e o esforço dos pesquisadores em abordar o tema de forma integrada, combinando análises quantitativas e qualitativas.

Tabela 4 - Distribuição por metodologia dos estudos selecionados

Metodologia	Nº de estudos	Percentual
Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	3	30%
Diagnóstico ambiental / estudos de caso	4	40%
Análise setorial e logística reversa	2	20%
Modelagem e cenários de descarbonização	1	10%

Fonte: elaborado pela autora.

A Avaliação do Ciclo de Vida aparece como o método mais amplamente utilizado entre os trabalhos revisados, confirmando sua importância como ferramenta científica para mensurar e comparar impactos ambientais associados às rotas produtivas do aço. Estudos como os de Baum (2021), Gomes (2023a) e Souza (2023) aplicaram a ACV para estimar a eficiência energética, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e os benefícios ambientais resultantes da substituição de matéria-prima primária por sucata reciclada. A aplicação desse método permite não apenas quantificar impactos, mas também propor cenários de melhoria e otimização do processo produtivo, tornando-se essencial em análises de sustentabilidade industrial.

Outro grupo metodológico expressivo é composto pelos diagnósticos ambientais e estudos de caso, que se destacam por sua aplicabilidade prática e foco em soluções específicas. Trabalhos como o de Kiyomoto (2023) exemplifica essa abordagem ao investigar processos produtivos de reaproveitamento de sucata e de recuperação de recursos hídricos, evidenciando

ações concretas de gestão ambiental em unidades industriais reais. Já Gomes (2023b) aplicou metodologia prática ao avaliar o uso de sucata metálica automotiva na fabricação do aço, evidenciando ganhos energéticos e ambientais significativos. Essas metodologias contribuem para aproximar o campo acadêmico da realidade empresarial, fornecendo subsídios para o aprimoramento de práticas produtivas sustentáveis. Nessa mesma linha, Sanjad (2018) e Ribeiro (2019) ampliam a compreensão do papel socioeconômico da reciclagem ao analisarem a eficiência operacional e os impactos sociais gerados pelo reaproveitamento de resíduos metálicos e pelo comércio de sucata ferrosa em nível local. Ambos evidenciam a importância da organização de cooperativas e da padronização dos processos logísticos como fatores decisivos para o aumento da eficiência produtiva e da inclusão social no setor.

As análises setoriais também tiveram papel relevante entre os estudos revisados, explorando a dimensão macroeconômica e institucional da reciclagem do aço. Trabalhos como o Barbosa (2019) aborda o mercado de sucata ferrosa e as inovações tecnológicas na indústria siderúrgica, destacando o impacto positivo da modernização de processos e da automação no aumento da competitividade e da sustentabilidade do setor. Já Akiama (2024) discute a inserção da siderurgia no contexto da economia circular, avaliando tendências intersetoriais de descarbonização e integração entre os setores de aço e cimento. Essas pesquisas enfatizam a necessidade de políticas públicas integradas e de investimentos tecnológicos para viabilizar uma transição efetiva para um modelo de produção de baixo carbono.

Por fim, Poletti e Oliveira (2024) representam a vertente metodológica voltada à logística reversa e à análise operacional da cadeia de reaproveitamento de sucata metálica, um campo emergente que busca compreender as dinâmicas de transporte, armazenamento e reintrodução de resíduos metálicos no processo produtivo. Essa perspectiva evidencia a importância da gestão integrada de resíduos e da colaboração entre agentes públicos e privados para aumentar a eficiência e a rastreabilidade do ciclo produtivo.

Em síntese, o conjunto das metodologias analisadas demonstra um avanço consistente na integração entre as dimensões técnica, ambiental e social da reciclagem do aço, reforçando que a sustentabilidade no setor depende não apenas de inovações tecnológicas, mas também de planejamento sistêmico e de políticas de incentivo bem estruturadas.

5.4 Tendências observadas

A revisão da literatura permitiu identificar tendências consistentes e lacunas ainda existentes no campo da reciclagem do aço no Brasil, refletindo tanto os avanços tecnológicos recentes quanto os desafios estruturais enfrentados pelo setor.

Em primeiro lugar, observou-se a predominância da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como principal metodologia empregada para mensurar, comparar e compreender os impactos ambientais associados às diferentes rotas produtivas do aço. Essa abordagem tem se mostrado fundamental para avaliar o desempenho ambiental de processos industriais, uma vez que permite quantificar emissões, consumo energético e eficiência na utilização de matérias-primas (BAUM, 2021; GOMES, 2023).

Em segundo lugar, identificou-se um crescimento expressivo do interesse pela logística reversa e pelo reaproveitamento interno de sucata metálica, aspectos que vêm sendo incorporados como estratégias centrais para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e fortalecer práticas sustentáveis dentro da indústria siderúrgica. Tais iniciativas demonstram o esforço das empresas em alinhar seus processos produtivos a uma gestão ambiental mais integrada e responsável metálica (GOMES, 2023b; KIYOMOTO, 2023; POLETTI e OLIVEIRA, 2024). Os estudos de Sanjad, (2018) e Ribeiro (2019) complementam essa tendência ao evidenciarem a importância da estruturação da cadeia logística e da formalização de cooperativas no fortalecimento do reaproveitamento de metais, especialmente da sucata ferrosa. Esses autores demonstram que melhorias na coleta, triagem e comercialização de resíduos podem aumentar significativamente a eficiência operacional e a rentabilidade do processo de reciclagem, além de ampliar a inclusão social de trabalhadores e catadores urbanos.

A terceira tendência refere-se ao fortalecimento do conceito de economia circular e à incorporação de estratégias de descarbonização em estudos intersetoriais, evidenciando a transição da indústria do aço para um modelo produtivo mais limpo e de baixo carbono. Esse movimento se conecta às metas nacionais e internacionais de sustentabilidade, que buscam reduzir emissões e promover o uso mais racional dos recursos naturais (SOUZA, 2023; AKIAMA, 2024). De modo convergente, Barbosa (2019) ressalta a influência das inovações tecnológicas e da automação industrial na melhoria da qualidade da sucata e na elevação da produtividade das usinas siderúrgicas, apontando que a modernização dos processos de separação e classificação de metais é essencial para alcançar os objetivos da descarbonização e ampliar a competitividade do setor.

Outra tendência relevante é a ênfase crescente na sustentabilidade social, com destaque para a geração de empregos, valorização do trabalho das cooperativas e inclusão de agentes sociais na cadeia produtiva da reciclagem. Essa dimensão amplia o entendimento de sustentabilidade, indo além dos aspectos ambientais e incorporando o papel do setor siderúrgico na promoção de justiça social e desenvolvimento local. De acordo com Sanjad (2018), a atuação de cooperativas vinculadas à reciclagem contribui para o aumento médio de 12% na renda familiar dos trabalhadores envolvidos na triagem e comercialização de resíduos metálicos, além de fortalecer a economia local. Da mesma forma, Ribeiro (2019) identificaram que cerca de 65% das cooperativas de reciclagem de sucata ferrosa no município de Sorocaba-SP estão diretamente relacionadas à cadeia siderúrgica, demonstrando o potencial de geração de emprego e renda associado à formalização do setor. Gomes (2023b) reforça que o uso ampliado de sucata metálica, especialmente proveniente do setor automotivo, estimula a economia circular e contribui para a dinamização de atividades de coleta, triagem e beneficiamento, fortalecendo o vínculo entre eficiência produtiva e inclusão social.

Por fim, os estudos também apontam para a necessidade de padronização de indicadores ambientais e de ampliação das bases de dados nacionais, o que permitiria maior comparabilidade e confiabilidade entre pesquisas realizadas em diferentes contextos. Essa padronização é essencial para o avanço científico e para a formulação de políticas públicas mais precisas e eficazes (AKIAMA, 2024).

Em síntese, essas tendências demonstram que, embora o Brasil tenha alcançado progressos significativos na gestão sustentável do aço, ainda persistem desafios estruturais e oportunidades de aprimoramento, especialmente no que diz respeito à integração entre eficiência produtiva, rastreabilidade de materiais e inclusão social ao longo de toda a cadeia de reciclagem.

5.5 Síntese e contribuições da literatura

A análise integrada dos dez estudos selecionados permite compreender a reciclagem do aço como um eixo estratégico de sustentabilidade industrial no contexto brasileiro. Em convergência, os trabalhos indicam que o reaproveitamento de sucata metálica reduz significativamente as emissões de gases de efeito estufa, diminui o consumo energético e otimiza o uso de recursos naturais, consolidando-se como uma das práticas mais eficazes para mitigar os impactos ambientais da siderurgia (BAUM, 2021; GOMES, 2023a; GOMES, 2023b; SOUZA, 2023). O potencial econômico e social da reciclagem se destaca, evidenciando ganhos

de eficiência operacional, geração de emprego e renda e fortalecimento da inclusão produtiva por meio das cooperativas de catadores. Essas pesquisas demonstram que o reaproveitamento de metais, especialmente do aço, pode atuar como fator de desenvolvimento local sustentável, conectando dimensões ambientais e sociais dentro da cadeia produtiva (SANJAD, 2018; RIBEIRO, 2019).

Os resultados também revelam que a incorporação de modelos de economia circular e logística reversa está em expansão, representando uma mudança de paradigma na gestão industrial. Pesquisas recentes destacam o papel das empresas na integração de resíduos como insumos produtivos, promovendo ganhos de eficiência, competitividade e sustentabilidade. De forma complementar, observa-se o avanço das inovações tecnológicas e organizacionais no mercado da sucata ferrosa e na indústria siderúrgica, evidenciando que o investimento em automação e na melhoria da pureza da matéria-prima reciclada é essencial para ampliar a produtividade e reduzir custos de produção, fortalecendo a sustentabilidade do setor (BARBOSA, 2019; POLETTI e OLIVEIRA, 2024; KIYOMOTO, 2023). Além disso, observa-se uma ampliação do debate sobre sustentabilidade social, especialmente no reconhecimento da contribuição das cooperativas e dos trabalhadores envolvidos na coleta e triagem de sucata, que fortalecem o elo entre responsabilidade ambiental e inclusão social (GOMES, 2023b).

Do ponto de vista institucional, autores como Souza (2023) e Akiama (2024) ressaltam que o futuro da siderurgia de baixo carbono no Brasil depende de políticas públicas mais integradas, incentivos fiscais e padronização de indicadores ambientais. A carência de dados comparáveis e de métricas uniformes limita a avaliação global do desempenho do setor, o que reforça a necessidade de sistemas de monitoramento e transparência ambiental mais robustos.

De modo geral, a literatura analisada aponta para uma convergência de esforços entre academia, governo e setor produtivo em prol da transição para uma indústria mais sustentável e eficiente. As contribuições dos estudos revisados ultrapassam a esfera técnica, fornecendo base científica e estratégica para o aprimoramento das práticas industriais brasileiras. Essas constatações reforçam que a reciclagem do aço não deve ser compreendida apenas como uma prática ambientalmente correta, mas como um vetor fundamental de transformação econômica, social e tecnológica, capaz de impulsionar o Brasil rumo a um modelo de produção circular e de baixo carbono.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem do aço representa muito mais do que uma prática industrial, ela é uma ferramenta essencial para a construção de um futuro mais equilibrado e sustentável. Este estudo mostrou que o reaproveitamento da sucata metálica contribui de forma significativa para reduzir os impactos ambientais da siderurgia, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa, economizando energia e preservando recursos naturais que são cada vez mais escassos.

Além dos ganhos ambientais, a reciclagem do aço também transforma realidades sociais e econômicas. Ela gera empregos, movimenta a economia e dá novas oportunidades a trabalhadores e cooperativas que atuam no setor. Assim, a sustentabilidade deixa de ser apenas uma meta ambiental e passa a ser uma ação concreta que melhora vidas e incentiva o desenvolvimento de comunidades.

Entretanto, o estudo também revelou desafios que ainda precisam ser superados, como a falta de infraestrutura adequada, a informalidade em parte da cadeia de reciclagem e a ausência de padrões claros de gestão ambiental. Enfrentar essas limitações exige a união de esforços entre o poder público, o setor industrial e a sociedade, para que a reciclagem do aço alcance todo o seu potencial.

Conclui-se, assim, que fortalecer essa prática é investir em um modelo de produção mais justo, eficiente e consciente. A reciclagem do aço mostra que é possível aliar progresso econômico, responsabilidade ambiental e inclusão social, que são pilares fundamentais para um futuro realmente sustentável.

REFERÊNCIAS

AKIAMA, Solange Yukari. **Setor do aço brasileiro: tendências para 2035, desafios e boas práticas de economia circular**. 2024. Dissertação (Mestrado em Administração) — Programa de Pós-Graduação em Administração, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-26062024-100156/publico/SolangeYukariAkiamaCorrigida.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2023. Disponível em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

BARBOSA, Mathias de Carvalho Moraes. **Mercado, reciclagem e as inovações da indústria siderúrgica**. Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10030111.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2025.

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**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/9774/2/DIS_VITOR_BEHAR_BAUM_COMPLETO.pdf. Acesso em: 13 mai. 2025.

BERTÉ, R. *Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa nas organizações*. Curitiba- PR: Ibplex, 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 01 nov. 2025.

BRITANNICA. **Steel** – History. Encyclopædia Britannica, 2025. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/steel/History>. Acesso em: 01 nov. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2018. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/4/economia-circular-oportunidades-e-desafios-para-industria-brasileira/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CONSORZIO RICREA. **The History of the Material**. 2024. Disponível em: <https://www.consorzioricrea.org/en/steel/the-history-of-the-material/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

CONVALE. **O ciclo infinito**: como a reciclagem impulsiona a economia circular. Disponível em: <https://convale.ce.gov.br/informa/41/o-ciclo-infinito-como-a-reciclagem-impulsiona-a-ec>. Acesso em: 19 dez. 2024.

CORRÊA, R.; RIBEIRO, H. C. M. **Economia Circular sob a ótica de relatórios de sustentabilidade**. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 11, n. 3, p. 175-193, set. 2022. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/12389/11925. Acesso em: 13 dez. 2024.

CRUZ, Caio C. Da S.; TIMOTEO, Jacqueline de O. J. ; CORREIA, Tainara F. **Escória de aciaria**: gestão de resíduos decorrente da produção do aço. Barra Mansa: Centro Universitário de Barra Mansa, 2021.

ESPAÇO SMART. **Aço**: o material mais reciclado do mundo. Disponível em: <https://conteudo.espacosmart.com.br/aco-o-material-mais-reciclado-do-mundo/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

FONSECA, Lúcia Helena Araújo. **Reciclagem**: o primeiro passo para a preservação ambiental. Barra Mansa: Centro Universitário Barra Mansa, 2013. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

GOMES, Beatriz Maffini. **Avaliação simplificada do ciclo de vida de estacas geotérmicas de baixo carbono**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032024-091427/publico/BeatrizMaffiniGomesCorr23.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2025.

GOMES, Igor Henrique Santos. **Avaliação dos benefícios do uso da sucata metálica proveniente de peças automotivas no processo de produção do aço**. 2023b. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: https://www.eng-ambiental.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/187/2025/04/201712080229_IGOR-HENRIQUE.pdf. Acesso em: 12 mai. 2025.

GREENMATCH. GreenMatch. **The Top Impact of Recycling By Types of Waste**. 2024. Disponível em: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/recycling-statistics>. Acesso em: 2 fev. 2025.

INSTITUTO AÇO BRASIL – Aço Brasil. **Aço novo de novo: recicle para cuidar do meio ambiente**. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/10/aco-novo-de-novo.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Práticas em circularidade no setor mineral**. Brasília: IBRAM, 2022.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Descarbonização e oportunidades para o Brasil**. Carta IEDI nº 1291, 2024. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_1291.html. Acesso em: 15 abr. 2025.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Descarbonização e oportunidades para o Brasil**. Carta IEDI nº 1291, 2024. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_1291.html. Acesso em: 15 abr. 2025.

KIYOMOTO, Alex Nakauti. **Diagnóstico ambiental de um processo produtivo de reaproveitamento de sucata metálica: proposta de um sistema para recuperação de água**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) — Unidade de Pós-graduação, Extensão e Pesquisa, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.gov.br/handle/123456789/26733>. Acesso em: 13 mai. 2025.

LUZ, Charlene B.; BOOSTEL, I. **Logística reversa**. Grupo A, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC)**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/ptbr/assuntos/desenvolvimento-sustentavel/economia-circular>. Acesso em: 01 nov. 2025.

MUNDOCOOP. **Cooperativas e empresas se unem em prol da reciclagem no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://mundocoop.com.br/destaque/cooperativas-e-empresas-se-unem-em-prol-da-reciclagem-no-brasil/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

O SUCATEIRO. **O que é sucata e a importância desse mercado**. 2019. Disponível em: <<https://osucateiro.com/blog/o-que-e-sucata-e-a-importancia-desse-mercado>>. Acesso em 3 fev. de 2022.

OLIVEIRA, Anatielle L.; MOURA, Magno L. C. de **A importância a logística para as empresas**, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/30713>. Acesso em: 15 abr. 2025.

POLETTI, Henrique Renó Valle; OLIVEIRA, Marina Souza de. **Logística reversa: análise acerca do reaproveitamento de sucata metálica e coprodutos na produção de aço**. 2024. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) — Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2024. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/7002>. Acesso em: 13 mai. 2025.

RIBEIRO, Edson. **Comércio de sucata ferrosa e possibilidade de reuso no município de Sorocaba-SP**. Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos Ambientais) – Universidade de Sorocaba (UNISO), Sorocaba, 2019. Disponível em: <https://uniso.br/mestrado-doutorado/pta/dissertacoes/2019/edson-ribeiro.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SACCHELLI. **A reciclagem do aço e suas vantagens**. Disponível em: <https://sacchelli.com.br/a-reciclagem-do-aco-e-suas-vantagens>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SANJAD, Heitor Capela. **Reciclagem como alternativa para a eficiência e sustentabilidade econômica no setor de resíduos sólidos urbanos do município de Belém-PA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10171>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SANTOS, Lucas Almeida dos; MARZALL, Luciana Fighera; GODOY, Leoni Pentiado. **(Re) aproveitamento de sucata no ramo metal-mecânico frente à sustentabilidade ambiental.**

Revista Gestão e Tecnologia (REGET), Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 122–133, 2023.

Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/15914/pdf>. Acesso em: 13 mai. 2025.

SOUZA, Jhonathan Fernandes Torres de. **Um futuro de baixo carbono para os setores de aço e cimento no Brasil:** avaliação intersetorial sob o olhar da economia circular. Tese

(Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100136/tde-13032023-141950/>. Acesso em: 12 mai. 2025.

SOUZA, Maria Tereza Saraiva de; PAULA, Mabel Bastos de; SOUZA-PINTO, Helma de. **O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo.** Revista de

Administração de Empresas, v. 52, n. 2, p. 246-262, 2012. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/S0034-75902012000200010>. Acesso em: 5 fev. 2025.

SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR, Samuel. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil:** desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA),

2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 5 fev. 2025.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **The Steel Story.** 2024. Disponível em:

<https://worldsteel.org/about-steel/steel-story/>. Acesso em: 01 nov. 2025.