

Revisão sistemática de literatura: práticas de sustentabilidade na indústria metalmeccânica

Systematic literature review: sustainability practices in the metalworking industry

(Tamires Somavilla - Universidade Federal de Santa Maria - tamiressomavilla@gmail.com)

(Taíne de Oliveira Laia Fonseca - Universidade Federal de Santa Maria - tainelaia.rf@gmail.com)

(David Lorenzi Junior - Universidade Federal de Santa Maria - davilorenzi@yahoo.com.br)

(Jordana Marques Kneipp - Universidade Federal de Santa Maria - jordana.kneipp@ufsm.br)

(Debora Bobsin - Universidade Federal de Santa Maria - deborabobsin@gmail.com)

Resumo

O presente estudo objetiva identificar pesquisas baseadas na utilização de práticas de sustentabilidade utilizadas pelas indústrias metalmeccânicas a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). A RSL foi realizada nas bases de dados da Web of Science e Scopus com as strings de pesquisa *Sustain* AND "metalworking industry"*, identificando-se 68 textos. Em análise observa-se que quanto aos objetivos e focos dados aos artigos, 42,86% sinalizam preocupações com cadeias produtivas e geração de resíduos, 42,86% focam em práticas para reduzir custos e aumentar eficiência e sustentabilidade dos processos e (14,28%), abordaram especificamente aspectos ambientais de acordo com os requisitos da ISO 14001. Observa-se crescimento das publicações a partir de 2021, dispersão editorial e prevalência de delineamentos metodológicos de caráter aplicado. A produção científica concentra-se em países europeus e asiáticos, evidenciando lacunas em regiões como a América Latina e escassês de integração consistente das dimensões sociais e de gestão estratégica. Esses resultados indicam que o campo permanece em estágio de maturidade incipiente e reforçam a necessidade de ampliar a interdisciplinaridade e a abrangência geográfica para consolidar avanços na sustentabilidade da indústria metalmeccânica.

Palavras-chaves: Sustentabilidade; Práticas Sustentáveis; e Indústria Metalmeccânica.

Abstract

*This study aims to identify research based on the use of sustainability practices employed by metalworking industries through a Systematic Literature Review (SLR). The SLR was conducted in the Web of Science and Scopus databases using the search strings *Sustain* AND "metalworking industry,"* identifying 68 texts. Analysis shows that, in terms of the objectives and focus of the articles, 42.86% indicate concerns with production chains and waste generation, 42.86% focus on practices to reduce costs and increase process efficiency and sustainability, and 14.28% specifically address environmental aspects in accordance with ISO 14001 requirements. There has been an increase in publications since 2021, editorial dispersion, and a prevalence of applied methodological designs. Scientific production is concentrated in European and Asian countries, highlighting gaps in regions such as Latin America and the lack of consistent integration of social and strategic management dimensions. These results indicate that the field remains in an incipient stage of maturity and reinforce the need to expand interdisciplinarity and geographical coverage to consolidate advances in the sustainability of the metalworking industry.*

Keywords: Sustainability; Sustainable Practices; and the Metalworking Industry.

Recebido em: 28/06/2025

Revisado em: 28/08/2025

Aceito em: 08/10/2025



1. Introdução

O pensamento de que os recursos do planeta seriam infinitos era comum no surgimento das primeiras fábricas. Contudo, com o aumento das necessidades de consumo, a produção industrial começou a usar os recursos de forma irrestrita, o que resultou em um impacto ambiental grande e, em alguns casos, irreversível (Postal, 2018). Em relação ao metal, ele representa um dos materiais mais utilizados no mundo, e foi uma força motriz crucial no desenvolvimento tecnológico desde a era industrial. À medida que seu consumo cresce, também cresce a quantidade de sucata gerada (Terjanica et al., 2023).

No campo da indústria metalmeccânica, o surgimento ocorreu como um desdobramento da Revolução Industrial, a partir do século XIX, com o objetivo de atender à crescente demanda por máquinas, ferramentas e equipamentos pesados necessários para o avanço da industrialização. Inicialmente concentrada em países como Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos, a metalmeccânica se expandiu para outras partes do mundo à medida que a produção de ferro e aço, essenciais para a fabricação de componentes mecânicos, ganhava força.

Assim, as últimas décadas do século XX foram marcadas pela alta intensidade dos impactos humanos sobre o meio natural e o forte aumento da escala de produção, os quais em dado momento ficaram perceptíveis e, com isso, motivando mudanças na forma como a sociedade começa a perceber sua relação com a natureza. Iniciando-se neste período o conceito de desenvolvimento sustentável, comumente aceito e conhecido como a forma pela as gerações atuais satisfazem as necessidades pessoais sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem também suas necessidades (Van Bellen & Petrassi, 2016).

Apesar de amplamente disseminados, os conceitos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade são objeto de diferentes interpretações na literatura, causando em algumas falas, ausência de discernimento sobre o tema. Para este estudo, adota-se a concepção de sustentabilidade apresentada por Mangini e Belusso (2020, p. 120), entendida como “[...] a qualidade daquilo que é, ao mesmo tempo, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável [...]”. Pois, a sustentabilidade depende de três atributos cruciais, ou seja, economia, meio ambiente e sociedade, uma falha em qualquer atributo individual levará à instabilidade do sistema (Gupta et al., 2016).

Nesse cenário, a exploração intensiva dos recursos naturais tem comprometido o meio ambiente gerando desperdício de matéria-prima, reduzindo as possibilidades de reaproveitamento e ocasionando danos irreversíveis, incluindo diferentes formas de poluição. Logo, práticas sustentáveis e inovadoras surgem como alternativas estratégicas para mitigar os impactos provocados por processos produtivos historicamente marcados pela negligência em relação às dimensões ambientais e sociais.

Desta forma, este estudo tem como objetivo identificar publicações baseadas na utilização de práticas de sustentabilidade utilizadas pelas indústrias metalmeccânicas a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). A proposta vai ao encontro da crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelas práticas industriais, especialmente no setor metalmeccânico, historicamente responsável pelo elevado consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Com o crescimento exponencial da produção e do consumo global, torna-se cada vez mais evidente que a continuidade desse modelo de desenvolvimento não é



sustentável a longo prazo. Assim, a busca por soluções que integrem as dimensões econômica, social e ambiental torna-se imprescindível.

A justificativa para o estudo reside na contribuição para o avanço do conhecimento sobre alternativas sustentáveis no setor metalmeccânico, visando promover um desenvolvimento mais equilibrado e compatível com as exigências ambientais e sociais do século XXI. Essa discussão se conecta diretamente às dimensões do desenvolvimento sustentável e ao cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU.

Diante deste escopo, o estudo está estruturado em cinco capítulos: no presente capítulo apresenta-se a introdução sintetizando o tema a abordado. Na sequência, o segundo capítulo é dedicado à elaboração da fundamentação teórica embasando o estudo. O terceiro capítulo dedica-se à metodologia aplicada para obtenção do objetivo apresentado. Já o quarto capítulo é reservado aos resultados e análises da pesquisa. Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2. Referencial Teórico

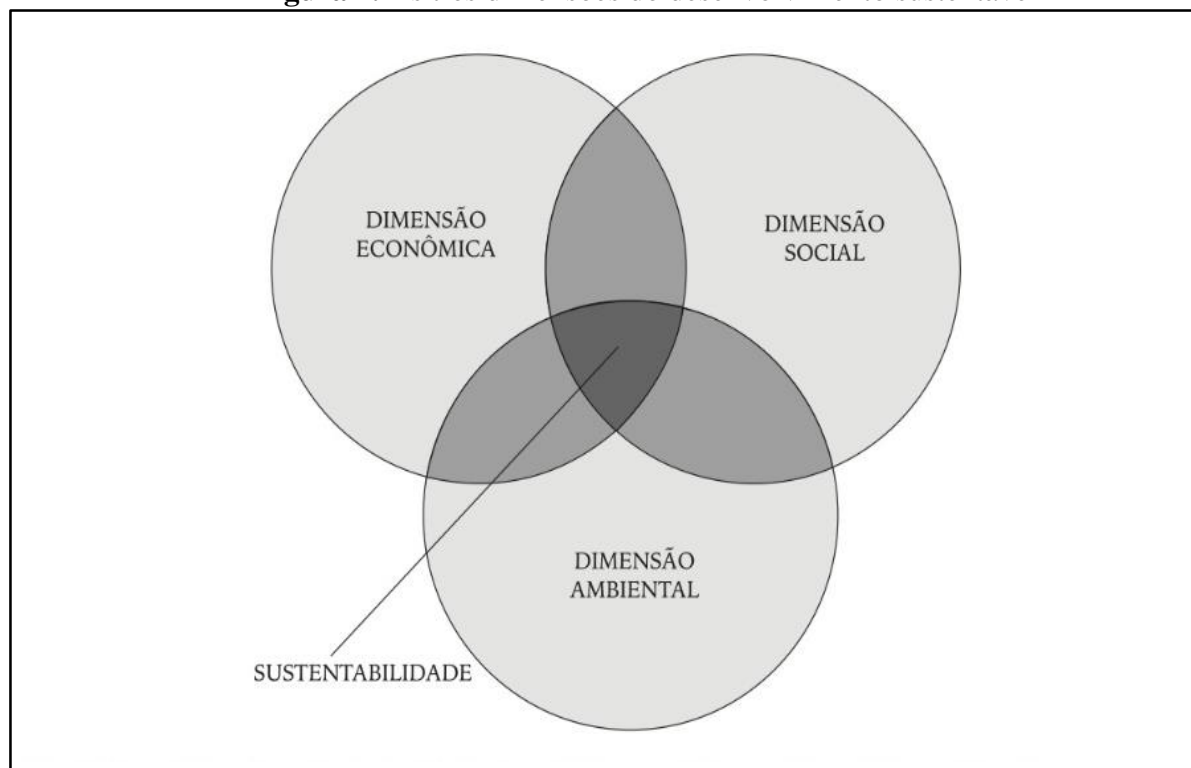
Este tópico visa dar suporte teórico à pesquisa e, para tanto, o referencial teórico divide-se em três etapas interligadas. A primeira aborda conceitos quanto ao desenvolvimento sustentável, a segunda é intitulada como práticas sustentáveis, traz discussões que envolvem a educação para a sustentabilidade e a promoção de práticas ambientais responsáveis. Por fim, a terceira aborda a abrangência da indústria metalmeccânica.

2.1. Desenvolvimento Sustentável

Para Oliveira, Leoneti e Cezarino (2019, p. 130) “o desenvolvimento sustentável baseia-se em ações humanas, modificação de comportamentos e culturas”. Os autores abordam que as pessoas precisam estar preparadas para o envolvimento com projetos socioambientais, despertando uma consciência para o todo.

O desenvolvimento sustentável integra três dimensões fundamentais: ambiental, social e econômica, sendo que a harmonia entre esses três pilares é essencial para garantir a sustentabilidade a longo prazo, conforme Figura 1 (Dias, 2015).

A análise de cada dimensão da sustentabilidade oportuniza uma investigação em determinado aspecto do problema; contudo, é necessário observar que os impactos que ocorrem em cada uma das dimensões acarretam em consequências nas outras dimensões. E, essa interconexão entre as dimensões reflete na necessidade de abordagens flexíveis, que se ajustem às particularidades de cada região, levando-se em consideração suas especificidades econômicas, culturais e ambientais. Além disso, as proposições para a prática do desenvolvimento sustentável podem ser alcançadas em vários níveis e ainda a partir de diversas soluções, as quais devem ser contextualizadas e articuladas com a realidade de cada situação (Dias, 2015).

**Figura 1.** As três dimensões do desenvolvimento sustentável

Fonte: Dias (2015).

Uma abordagem bastante influente para operacionalizar a sustentabilidade no contexto empresarial é o modelo do *Triple Bottom Line*. Este conceito propõe que uma organização só pode ser considerada verdadeiramente sustentável se gerar valor em todos os três pilares, buscando o equilíbrio entre os objetivos de lucro, as responsabilidades sociais e a proteção ambiental.

Embora o conceito do *Triple Bottom Line* tenha popularizado a ideia de que a sustentabilidade empresarial deve ser avaliada por um tripé de desempenho, ele não é isento de críticas. Contudo, para Avesani (2020), o *Triple Bottom Line*, apesar de sua importância, carrega o risco de subordinar os aspectos socioambientais à lógica financeira, especialmente ao tentar conciliar o crescimento econômico com os inegociáveis limites ecológicos. Para a autora, o setor empresarial deve integrar a sustentabilidade ao núcleo estratégico, superando posturas meramente reativas ou voltadas à reputação, para que possa se tornar uma parte essencial da solução.

Nesse contexto de busca por uma abordagem mais holística e integrada, existem dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável (Figura 2), os quais são voltados a atingir a agenda 2030, e elaborados pela ONU como metas para, principalmente, acabar com a pobreza, garantir a paz mundial e igualdade e proteger o meio ambiente e que também servem como uma ferramenta para a avaliação do desenvolvimento nas empresas (Scheyvens, Banks, & Hughes, 2016, Biermann, Kanie, & Kim, 2017).

Figura 2. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU, (2022).

Para o setor industrial, os ODS oferecem uma oportunidade de reorientar suas práticas, incentivando a adoção de tecnologias limpas, a redução de emissões de gases de efeito estufa e o uso responsável dos recursos naturais. No contexto da indústria metalmeccânica, por exemplo, a implementação de práticas sustentáveis pode contribuir para objetivos como a indústria, inovação e infraestrutura (ODS 9), a produção e consumo responsáveis (ODS 12) e a ação contra a mudança global do clima (ODS 13). Portanto, os ODS funcionam como um guia estratégico para o desenvolvimento de soluções que promovam o equilíbrio entre o crescimento econômico, a proteção ambiental e a equidade social.

Deve-se levar em consideração os ODS para a avaliação da contribuição aos propósitos de sustentabilidade, assim como sua potencial implementação, considerando temas relacionados a governança, inovação, pesquisa, infraestrutura, mobilidade, entre outros (ABNT, 2017). No que se refere à industrialização (ODS 9), ressalta-se a proposta de reabilitação de indústria (retrofitting), técnica que visa à otimização do rendimento de um equipamento ou de um processo industrial, na intenção de utilizar eficientemente os recursos naturais, melhorar o desempenho ambiental, ou o controle do processo, deixando-o mais automatizado (ONU, 2016).

O desenvolvimento sustentável é crucial para um futuro equilibrado, pois atende às necessidades atuais sem comprometer as futuras gerações. Sua essência reside na integração das dimensões ambiental, social e econômica, com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) oferecendo um marco estratégico para guiar práticas industriais, como na indústria metalmeccânica. A adoção de práticas inovadoras e o uso responsável de recursos são cruciais para que o setor não só contribua efetivamente para a agenda global, mas também garanta que seu compromisso com a sustentabilidade seja genuíno, evitando práticas de *greenwashing*, que se limitam a discursos simbólicos sem efetiva transformação dos processos produtivos.



2.2. Práticas Sustentáveis

As práticas de sustentabilidade referem-se a ações e comportamentos adotados para preservar os recursos naturais, reduzir o impacto ambiental, promover a justiça social e fomentar a viabilidade econômica a longo prazo. Essas práticas buscam equilibrar as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades.

Como elemento primordial para o avanço do conhecimento tem-se a formação de uma sociedade capacitada a fazer escolhas tecnológicas, ambientais e sociais corretas. Assim, a educação, de forma interdisciplinar tem o poder de assumir um papel cada vez mais ativo na formação da consciência à sustentabilidade ambiental (Marcovitch, 2006).

No meio empresarial, ser sustentável significa conduzir negócios que, em vez de degradar, promovem a restauração ambiental, buscando causar o menor impacto possível ao meio ambiente e às criaturas que neles vivem. A sustentabilidade envolve operar conhecendo as necessidades e interesses das partes envolvidas, fortalecendo suas relações e gerando benefícios mútuos. Assim, ser sustentável é compreender que a preservação da natureza é tão fundamental para a humanidade quanto às relações sociais (Savitz & Weber, 2014).

Para Oliveira, Leoneti e Cezarino (2019, p. 250) “a consciência pública de questões ambientais está crescendo dia a dia”. Os autores ainda ressaltam a necessidade de corresponder às expectativas dos consumidores com a adesão de produtos verdes, os quais reforçam o valor ecológico de um produto a partir do fornecimento e abastecimento de matérias-primas ambientalmente corretas. E para o processamento do produto verde, os autores incluem “a redução de consumo de energia e matéria-prima, evitando o desperdício, e adoção de um consumo mais responsável, reduzindo emissões nocivas, uso de materiais tóxicos e consequente produção de resíduos”, (Oliveira, Leoneti, & Cezarino, 2019, p. 251).

Nesse contexto, a empresa tem meios para escolher abordagens de práticas sustentáveis para melhorar seu processamento e torná-lo sustentável. Oliveira, Leoneti e Cezarino (2019, p. 251) abordam que o processamento ambientalmente amigável pode ocorrer

Por meio da redução de consumo de energia e matéria-prima; por meio da substituição de equipamentos, processos e materiais menos prejudiciais ao meio ambiente; ou da adoção de ferramentas que gerenciem seu desempenho ambientalmente, como padronizações e certificações, por exemplo a ISO 14000.

Nesse cenário, diversas organizações evidenciam, cada vez mais, a integração de práticas sustentáveis à estratégia organizacional, por meio da aplicação de conceitos como o ESG (Environmental, Social and Governance). Contudo, ainda é possível observar a escassez de medidas precisas quanto aos impactos reais das ações sociais e ambientais, bem como a dificuldade de integrar, de forma efetiva, as dimensões da sustentabilidade à cultura organizacional (Uchôa, Jhuniôr, & Taumaturgo, 2024).

Assim, diante da crescente necessidade de alinhar os processos produtivos aos princípios da sustentabilidade, observa-se que práticas ambientalmente responsáveis e a incorporação de critérios ESG representam caminhos viáveis e estratégicos para as organizações. Contudo, tais iniciativas devem ser acompanhadas por uma mudança cultural



mais ampla, que envolva tanto o meio empresarial quanto a sociedade civil. Nesse sentido, a educação para a sustentabilidade surge como um elemento-chave para promover essa transformação, estimulando a formação de cidadãos e profissionais conscientes, capazes de tomar decisões pautadas em valores éticos e sustentáveis. Portanto, integrar práticas sustentáveis ao ambiente corporativo, incentivando a inovação tecnológica e o engajamento social, é essencial não apenas para mitigar os impactos ambientais, mas também para garantir a viabilidade econômica e a justiça social no longo prazo — pilares fundamentais de um modelo de desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

2.3. A Indústria Metalmeccânica

O termo metalmeccânico é amplamente utilizado para designar “empresas e indústrias com processos metalúrgicos e de fabricação mecânica, cujo objetivo principal é a transformação de metais” (Oliveira et al., 2012, p. 48). Elas produzem desde bens e serviços intermediários, como fundição, forjarias, oficinas de corte, soldagem, estampo, tratamento térmico, até produtos finais e bens de consumo, como equipamentos, máquinas e materiais de transportes (Santamaría, 1994).

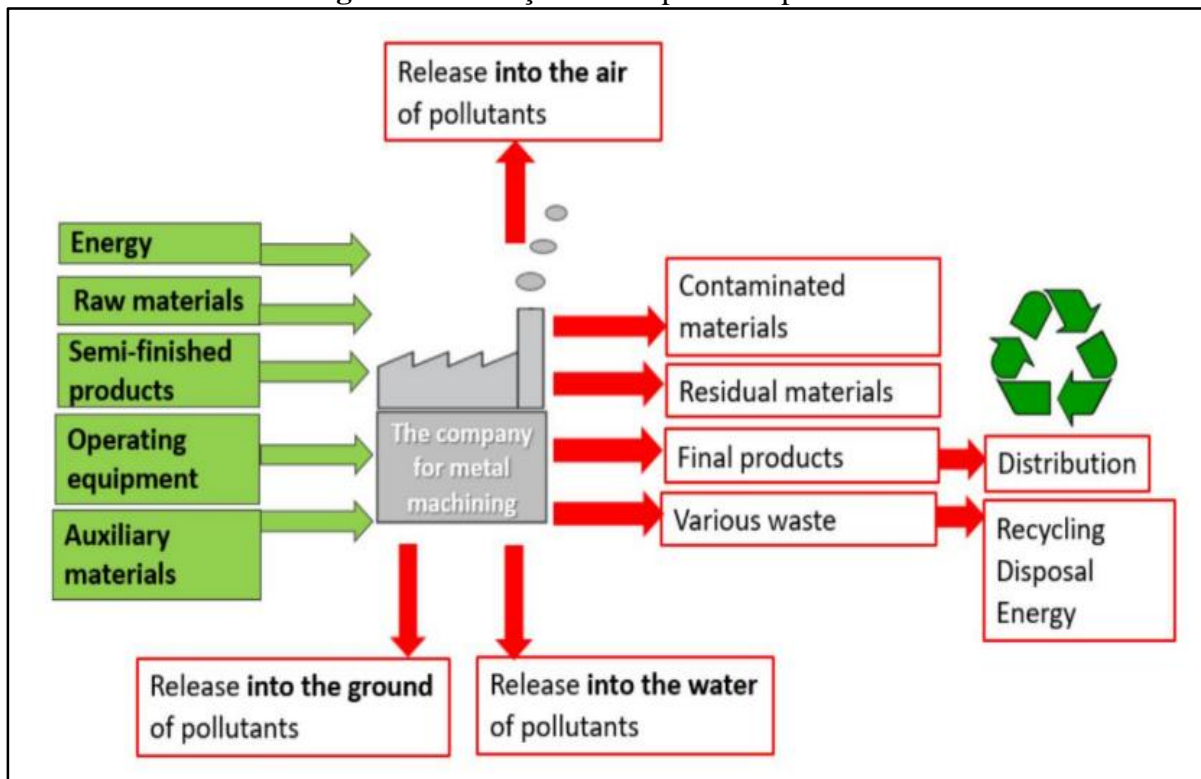
Dentro do setor de manufatura, a indústria metalúrgica tem sido uma das indústrias de desenvolvimento e crescimento mais rápidos nos últimos anos. A grande maioria das peças de metal que são usadas como um componente de diferentes produtos foram moldadas usando alguns dos processos de remoção de material (Celent et al., 2023).

Para isso, a transformação de insumos em produtos finais por meio de processos específicos não apenas define a produção, mas também traz à tona questões ambientais que precisam ser gerenciadas ao longo de toda a cadeia produtiva. E essa responsabilidade socioambiental tem reflexos tanto para empresa quanto para sociedade onde está inserida (Soares et al., 2014).

Ao considerar uma empresa especializada no processamento de metais, tem-se um esquema específico de produção, ou seja, determinados insumos são transformados em produtos finais por meio de um processo produtivo bem definido (Figura 3). O ambiente, por sua vez, exerce influência sobre todas as etapas dessa produção, onde as entradas incluem, principalmente, materiais, consumíveis, produtos semiacabados e energia. Já as saídas compreendem os produtos finais e materiais residuais, mas, do ponto de vista ambiental, destacam-se as emissões, materiais contaminados, águas residuais e poluição atmosférica (Tomaskova & Bicova, 2021).



Figura 3. Ilustração de um processo produtivo



Fonte: Tomaskova & Bicova, (2021).

Assim, o avanço desse setor traz consigo desafios ambientais significativos, que exigem uma gestão eficaz dos impactos ao longo de todo o processo produtivo; pois, é essencial que a transformação de metais seja realizada de forma sustentável, buscando equilibrar a eficiência produtiva com a minimização dos danos ao meio ambiente.

3. Procedimentos metodológicos

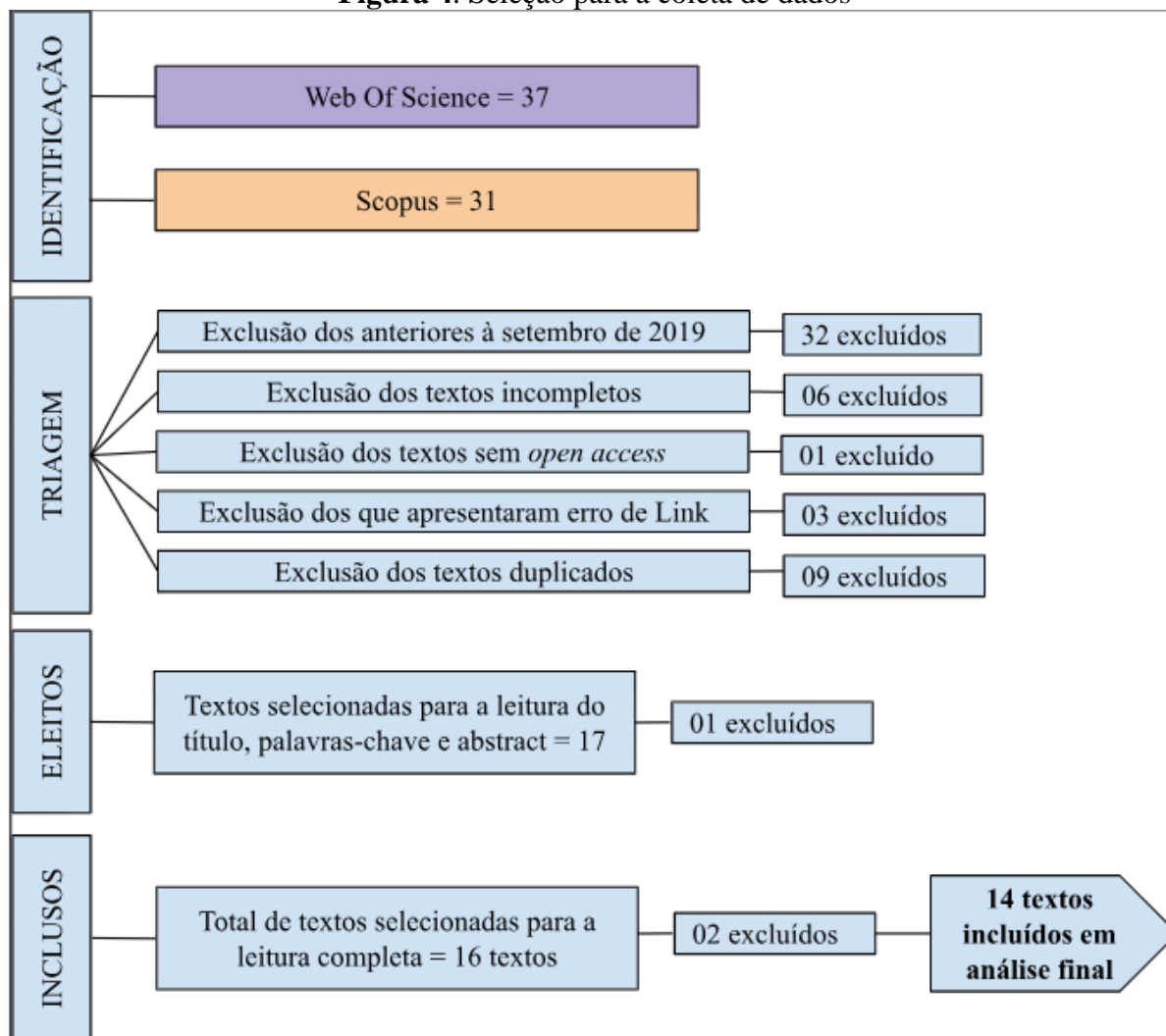
Buscando conhecer a produção científica sobre práticas de sustentabilidade na indústria metalmeccânica, realizou-se uma RSL nabases de dados Web of Science e Scopus, com as strings de pesquisa Sustain* AND "metalworking industry". Tal restrição aos termos de busca foi realizada a fim de garantir maior precisão no recorte, evitando a inclusão de trabalhos que, embora associados a indústrias correlatas, não se relacionassem diretamente com o foco desta pesquisa. Essa decisão metodológica implicou em privilegiar a especificidade sobre a amplitude, assegurando maior coerência entre os artigos selecionados.

A pesquisa foi realizada em 29 de agosto de 2024 e considerou os artigos encontrados sem delimitar idioma, de publicação com data no período dos últimos cinco anos (agosto de 2019 a setembro de 2024).

O processo de seleção dos artigos seguiu etapas sequenciais, representadas no fluxograma da Figura 4. Inicialmente, foram identificados 68 registros nas bases de dados Scopus e Web of Science, a partir da aplicação das strings de busca definidas.



Figura 4. Seleção para a coleta de dados



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O processo de seleção dos estudos foi conduzido em etapas sucessivas de triagem. Inicialmente, foram identificados sessenta e oito (68) estudos a partir da busca nas bases Scopus e Web of Science.

Na primeira etapa, foram excluídos trinta e dois (32) estudos publicados antes de setembro de 2019, considerando-se apenas os estudos dos últimos cinco anos, em consonância com a necessidade de capturar a produção científica mais atual.

Em seguida, foram eliminados seis (6) trabalhos que apresentavam textos incompletos, o que inviabiliza a análise integral de seus métodos e resultados. Também foi excluído um (1) artigo indisponível em acesso aberto, visto que tem-se como preceito para esta revisão priorizar publicações de livre acesso, permitindo maior transparência e reprodutibilidade.



Posteriormente, três (3) registros foram descartados por apresentarem erro de link, impossibilitando o acesso ao estudo. Por fim, mais nove (9) artigos duplicados foram removidos, uma vez que apareceram em ambas as bases consultadas.

Após a aplicação desses critérios, restaram dezessete (17) estudos que atenderam integralmente aos requisitos de inclusão e compuseram o corpus final da análise os quais foram submetidos à leitura preliminar de título, palavras-chave e resumo, a fim de verificar sua aderência ao escopo da pesquisa.

Na etapa de elegibilidade, foi excluído um (1) estudo por não apresentar relação efetiva com a temática em análise. Assim, restaram dezesseis (16) estudos, que seguiram para a leitura integral. Nesta etapa mais dois (2) estudos foram excluídos por não apresentarem alinhamento consistente com o escopo da investigação. Dessa forma, o corpus final da revisão sistemática foi constituído por catorze (14) estudos, os quais compuseram a base de análise da revisão sistemática.

Assim, assume-se que a aplicação da triagem definida para a RSL, especialmente quanto a exclusão de estudos anteriores a 2019, limitação temporal estabelecida para amostra, configura uma importante limitação metodológica que impacta na apresentação dos resultados. Contudo, argumenta-se que a restrição temporal foi adotada com o intuito de capturar a produção científica mais atual e relevante, em consonância com a necessidade de abordar o dinamismo e as inovações recentes no setor. No entanto, é fundamental reconhecer que a análise resultante representa um recorte específico no tempo, e não a totalidade da produção acadêmica sobre o assunto.

Toda a seleção passou pelo crivo de dois avaliadores, os quais analisaram os estudos separadamente, no intuito de diminuir a subjetividade do julgamento, em caso de divergência de opinião, a análise foi refeita chegando a um consenso.

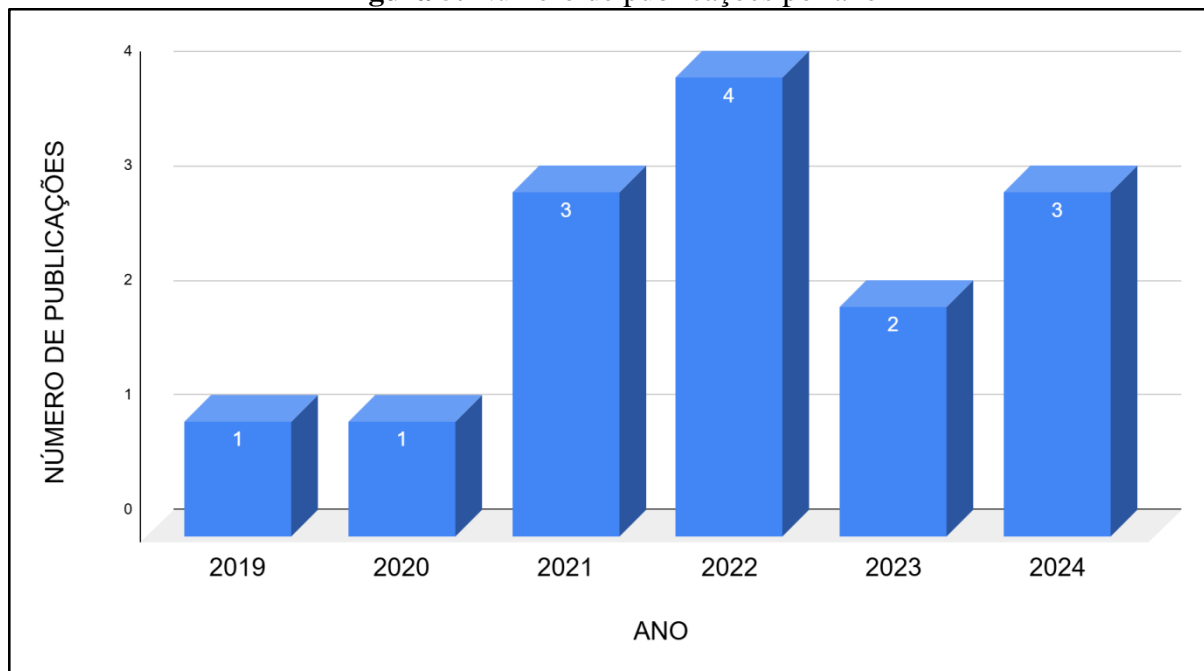
4. Análise e discussão dos resultados

Os resultados são pautados nas seguintes características observadas nos artigos: evolução cronológica das publicações; áreas de estudo que mais publicaram; país das instituições onde os estudos foram desenvolvidos; delineamentos de pesquisa mais utilizados; principais enfoques dados às pesquisas; *journals* e conferências que mais publicam sobre os assuntos e artigos mais citados.

4.1. Evolução cronológica das publicações

A Figura 5 evidencia uma produção científica relativamente constante entre os anos analisados, variando entre uma (1) e quatro (4) publicações por ano. A partir de 2021, nota-se uma leve intensificação no número de trabalhos, sugerindo um interesse crescente, ainda que moderado, pelo tema da sustentabilidade na indústria metalmeccânica. Em 2024, até o mês de setembro, haviam sido identificadas três (3) publicações, o que indica a manutenção da tendência observada nos anos anteriores e reforça que o tema permanece em pauta na agenda acadêmica recente.

Figura 5. Número de publicações por ano



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

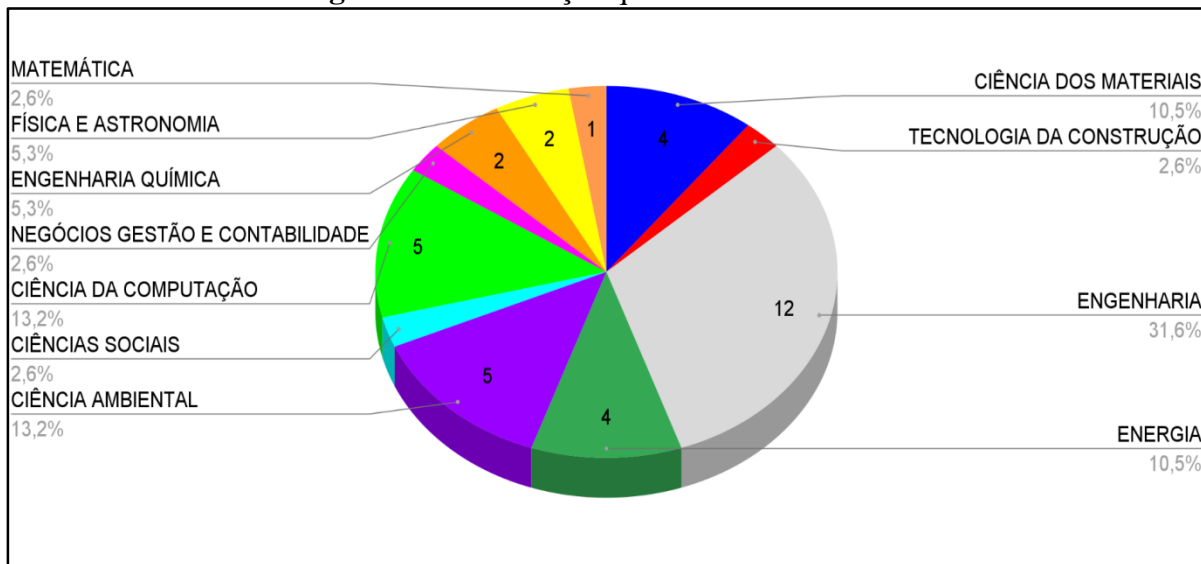
É válido reforçar que apesar do recorte temporal relativamente curto, o número de publicações identificadas é bastante reduzido, que evidencia a escassez de estudos sobre sustentabilidade na indústria metalmecânica. Esta limitação, reforça a necessidade de ampliar as investigações na área a fim de consolidar bases teóricas e práticas, que apoiem a transição do setor para modelos produtivos mais sustentáveis.

4.2. Áreas de estudo

A Figura 6 apresenta a classificação dos artigos por áreas de estudo, conforme indicado nas bases de dados em que foram localizados. Observa-se que a maior parte das publicações (31,6%) está vinculada à área da engenharia, seguida pelas áreas de ciência da computação (13,2%) e ciência ambiental (3,2%). Em contrapartida, apenas dois estudos foram classificados em campos tradicionalmente associados às ciências sociais aplicadas — um diretamente na área de ciências sociais e outro em negócios, gestão e contabilidade.

Esse resultado indica que as pesquisas sobre sustentabilidade na indústria metalmecânica permanecem ancoradas em abordagens de caráter técnico-produtivo, com ênfase em processos e inovações de engenharia. Ainda que existam indícios de uma perspectiva multidisciplinar, refletida na presença de trabalhos em diferentes áreas, nota-se que as dimensões sociais, organizacionais e de gestão são pouco exploradas. Essa lacuna pode limitar a compreensão mais ampla da sustentabilidade, que exige a integração entre aspectos tecnológicos, institucionais e humanos.

Figura 6. Classificação quanto à área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Cabe destacar que, segundo a classificação das bases, alguns artigos são indexados em mais de uma área de estudo, o que reforça a transversalidade do tema. Entretanto, essa sobreposição não elimina a predominância de um viés tecnológico, revelando um campo ainda em processo de amadurecimento teórico e metodológico no que se refere às práticas de sustentabilidade no setor metalmeccânico.

Essa concentração nas engenharias também sinaliza uma oportunidade de expansão para outras áreas do conhecimento, especialmente no âmbito das ciências sociais aplicadas. Estudos de gestão, políticas públicas, comportamento organizacional e regulação ambiental poderiam oferecer análises complementares, contribuindo para um entendimento mais holístico e para a construção de soluções sustentáveis efetivas no setor.

4.3. País das instituições dos estudos

A Figura 7 apresenta a distribuição dos artigos conforme o país de origem das instituições dos autores. Observa-se uma forte concentração de pesquisas em países europeus e asiáticos, o que pode estar associado à maior maturidade desses contextos em relação às políticas de sustentabilidade, regulamentações ambientais e incentivos governamentais direcionados à indústria. Esse predomínio indica que a discussão sobre sustentabilidade na indústria metalmeccânica tem sido mais desenvolvida em regiões que já enfrentam pressões regulatórias intensas, sobretudo no que se refere ao controle de emissões, gestão de resíduos e eficiência energética.



Figura 7. Classificação quanto aos países das instituições onde foram desenvolvidos os textos



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

De acordo com Ross et al. (2021), autores ligados a instituições de com pesquisa no continente Europeu e Asiático, devido a apreensões ecológicas e regulamentações crescentes sobre poluição e contaminação, está aumentando cada vez mais a necessidade de uma abordagem mais verde para diminuir o emprego de fluidos de corte e diminuir o impacto ecológico.

Entretanto, constata-se uma lacuna significativa: poucos estudos foram identificados em países da América Latina e em outros contextos em desenvolvimento. Tal ausência limita a compreensão sobre como a sustentabilidade vem sendo incorporada em realidades industriais distintas, nas quais as pressões regulatórias, os recursos tecnológicos e as condições socioeconômicas diferem substancialmente daqueles presentes na Europa e na Ásia. Essa concentração geográfica não apenas restringe a diversidade analítica da literatura, como também evidencia a necessidade de futuras pesquisas contemplarem cenários ainda pouco explorados.

Cabe destacar que, em alguns artigos, o país onde a pesquisa foi efetivamente conduzida não foi explicitado. Por isso a análise considerou o país da instituição de vinculação dos autores como referência, essa opção metodológica assegura consistência na categorização, ainda que se reconheça que o local da vinculação institucional nem sempre corresponda ao contexto empírico do estudo. Além disso, conforme os critérios das bases de dados, alguns artigos



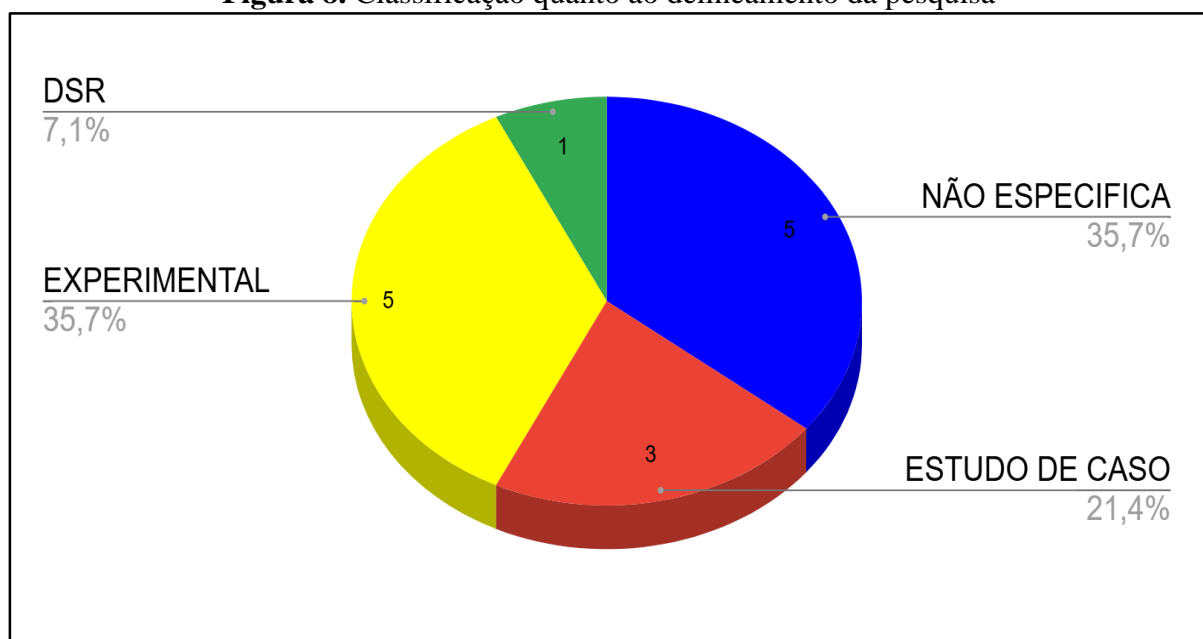
aparecem vinculados a mais de um país, em função da diversidade institucional entre os autores.

Também, considera-se que todos os artigos foram publicados em língua inglesa, reforçando a posição do inglês como idioma científico predominante nas bases de dados internacionais.

4.4. Delineamentos de pesquisa

No que se refere aos aspectos metodológicos, a Figura 8 apresenta a distribuição dos delineamentos adotados nos estudos analisados, a fim de entender de que forma os temas que envolvem práticas de sustentabilidade utilizadas pelas indústrias metalmeccânicas têm sido investigados até o presente momento.

Figura 8. Classificação quanto ao delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Observa-se que a maior parte das pesquisas concentra-se em estudos de caso e experimentos laboratoriais, refletindo um predomínio de abordagens aplicadas e orientadas à solução de problemas técnicos específicos. Essa característica evidencia a forte presença do viés das engenharias na investigação das práticas de sustentabilidade na indústria metalmeccânica, confirmando o que já se apontou anteriormente quanto à predominância de perspectivas de natureza técnico-produtiva.

Contudo, cabe destacar que foram especificados apenas os textos em que os próprios pesquisadores classificaram suas pesquisas, não sendo realizadas pressuposições ao longo do preenchimento das informações. Verifica-se também a ausência de revisões sistemáticas de literatura sobre o tema, o que reforça a originalidade e a pertinência do presente trabalho.

A inexistência de sínteses estruturadas até o momento sugere que a produção científica

permanença fragmentada, carecendo de sistematizações que permitam identificar padrões, lacunas e potenciais convergências entre os estudos.

De modo geral, a concentração em abordagens empíricas e técnicas, embora relevante para avanços práticos, restringe a produção de contribuições teóricas mais abrangentes. Essa limitação reduz o potencial de generalização e compromete a construção de uma base sólida de conhecimento no campo. Além disso, ampliar a pluralidade metodológica é condição essencial para consolidar a sustentabilidade na indústria metalmeccânica como um campo científico maduro, com capacidade de dialogar tanto com a prática industrial, quanto com as agendas globais de desenvolvimento sustentável.

4.5. Principais enfoques dados às pesquisas

Tratando-se dos objetivos e focos presentes nos artigos, verificou-se quais os enfoques têm sido utilizados, sendo definidas 3 categorias principais de enfoques, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1. Categorização com base no enfoque principal

| Categorias | Publicações | Nº de artigos |
|---|--|----------------------|
| (1) Sinalizam preocupações com cadeias produtivas e geração de resíduos | Alor et al. (2019); Gholami et al. (2020); Hartl, Sorger, & Stockinger (2023); Terjanika et al. (2024); Naheim & El-Afoury (2024); Tojal et al. (2022). | 6 |
| (2) Aspectos ambientais de acordo com os requisitos da ISO 14001 | Tomaskova & Bicova (2021); Tomaskova & Bicova (2022). | 2 |
| (3) Práticas para reduzir custos e aumentar eficiência e sustentabilidade dos processo | Ross et al (2021); Celent et al. (2023); Hagedorn, Greiff, & Pauliuk (2022); Hagedorn, Greiff, & Pauliuk (2024); Duc, Long, & Tuan (2021); Ross et al. (2022). | 6 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

(1) Sinalizam preocupações com cadeias produtivas e geração de resíduos (42,86%) - A sustentabilidade na indústria metalmeccânica envolve a análise e a gestão das cadeias produtivas, com foco na minimização de resíduos. Isso inclui o reaproveitamento de subprodutos, a reciclagem de materiais e a implementação de processos de produção mais limpos. Além disso, busca-se reduzir a quantidade de resíduos gerados durante a fabricação, seja no processo de usinagem, fundição ou soldagem, adotando tecnologias que possibilitem a reutilização de materiais e a implementação de sistemas de tratamento de resíduos.

(2) Aspectos ambientais de acordo com os requisitos da ISO 14001 (14,28%) - A ISO 14001 é uma norma internacional que estabelece critérios para um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Na indústria metalmeccânica, a adoção dessa norma permite identificar e controlar os impactos ambientais das atividades da empresa, como o consumo de energia, o uso de recursos naturais, a emissão de poluentes e o descarte de resíduos. A implementação dessa norma requer a definição de objetivos ambientais claros, monitoramento de indicadores e a melhoria contínua das práticas, visando a conformidade legal e a redução dos impactos ambientais das operações.



(3) Práticas para reduzir custos e aumentar eficiência e sustentabilidade dos processos (42,86%)
- A redução de custos na indústria metalmeccânica está diretamente ligada à melhoria da eficiência operacional e à adoção de práticas sustentáveis. Isso pode ser alcançado por meio da otimização do uso de energia e matérias-primas, da automação de processos, do planejamento adequado da produção e da manutenção preventiva dos equipamentos. Além disso, a implementação de tecnologias mais limpas e a melhoria contínua das técnicas de produção contribuem para a redução do desperdício e da pegada ambiental, resultando em um ciclo virtuoso de eficiência e sustentabilidade. Essas práticas não apenas reduzem os custos operacionais, mas também atendem à demanda crescente por produtos e processos mais responsáveis ambientalmente.

Com o intuito de oferecer uma visão consolidada dos artigos analisados, elaborou-se um quadro-síntese (Quadro 2) que apresenta uma breve descrição do estudo e suas principais contribuições.

Quadro 2. Síntese dos artigos selecionados e suas principais contribuições

| Nome da publicação | Referência | Síntese e principais contribuições |
|---|------------------------------------|---|
| A hybrid approach of cooling lubrication for sustainable and optimized machining of Ni-based industrial alloy | Ross et al. (2021) | Este artigo busca demonstrar a otimização do processo de usinagem, considerando a diminuição do emprego de fluidos de corte que levam consequentemente diminuição do impacto ecológico. O objetivo é reduzir a dependência de fluidos de corte, visando um processo de produção mais limpo, otimizado e sustentável. |
| Milling performance assessment of Ti-6Al-4V under CO2 cooling utilizing coated AlCrN/TiAlN insert | Ross et al. (2022) | A pesquisa avalia o uso de refrigeração por dióxido de carbono (CO2) durante o processo de fresamento de uma liga de titânio. O estudo busca uma alternativa aos fluidos de corte tradicionais para reduzir o impacto ambiental, mantendo a performance e a qualidade do processo de usinagem. |
| A general framework for sustainability assessment of sheet metalworking processes | Gholami et al. (2020) | Este estudo discute a falta de conhecimento sobre sustentabilidade e a escassez de indicadores adequados para medir o desempenho sustentável na indústria de processamento de chapas metálicas. O artigo propõe uma estrutura para a avaliação da sustentabilidade nesses processos, visando preencher essa lacuna e fornecer uma metodologia para a análise ambiental, econômica e social. |
| Performance investigation of mql parameters using nano cutting fluids in hard milling | Duc, Long, & Tuan (2021) | Este artigo investiga a aplicação do método de lubrificação de quantidade mínima (MQL) com fluidos de nanocorte para melhorar a refrigeração e a lubrificação em processos de usinagem de materiais difíceis de cortar. O estudo se concentra nos efeitos de parâmetros como tipo de fluido, tipo de nanopartículas, pressão e vazão de ar na força de corte e na rugosidade da superfície, visando aumentar a eficiência e a sustentabilidade ambiental. |
| Alloy and process design of forging steels for better environmental performance | Hagedorn, Greiff, & Pauliuk (2022) | A pesquisa avalia o desempenho ambiental de um aço forjado endurecido a ar, comparando-o com aços tradicionais. O estudo demonstra como a composição da liga e o design do processo podem impactar a pegada de carbono e outros indicadores ambientais, promovendo o |



| | | |
|--|------------------------------------|---|
| | | desenvolvimento de materiais mais sustentáveis para a indústria automotiva. |
| Hard Milling Process Based on Compressed Cold Air-Cooling Using Vortex Tube for Sustainable and Smart Manufacturing | Celent et al. (2023) | Este artigo investiga o uso de ar comprimido frio para refrigeração em processos de fresamento, utilizando um tubo de vórtice como alternativa sustentável aos fluidos de corte convencionais. O estudo demonstrou que este método de resfriamento é eficiente, pois reduz o desgaste da ferramenta e melhora a rugosidade da superfície, contribuindo para uma manufatura mais sustentável e inteligente. |
| Case-Based Product Development of a High-Pressure Die Casting Injection Subset Using Design Science Research | Tojal et al. (2022) | O artigo apresenta um estudo de caso sobre o desenvolvimento de um subsistema de injeção para fundição sob pressão de alta pressão, com foco na sustentabilidade. O objetivo é prolongar a vida útil dos componentes, reduzindo o consumo de recursos e os custos de aquisição através de um design otimizado e estratégias de manutenção sustentáveis. |
| The Key Role of Laser Ultrasonics in the Context of Sustainable Production in an I 4.0 Value Chain | Hartl, Sorger, & Stockinger (2023) | O artigo revisa o uso de ultrassom a laser para a caracterização de materiais, destacando seu potencial para controle de qualidade e redução de taxas de rejeição na indústria metalmeccânica. A pesquisa explora como essa tecnologia pode contribuir para uma produção mais sustentável. |
| Impact of machining on the environment | Tomaskova & Bicova (2021) | O artigo aborda a questão do impacto ambiental crescente da usinagem na indústria. Os autores examinam como os processos de usinagem contribuem para a degradação ambiental e ressaltam a necessidade de práticas mais sustentáveis, focando na importância da proteção ambiental em resposta à deterioração do meio ambiente. O escopo é preparar uma base para o processamento subsequente da documentação necessária para a certificação da empresa de acordo com a ISO 14001. |
| Use of Metal-mechanics Waste as an Addition in the Production of an Ecological Concrete | Alor et al. (2019) | A pesquisa aborda a questão da poluição ambiental causada por resíduos da construção civil e da indústria metalmeccânica. O estudo propõe o uso de resíduos de ferro e aço da indústria metalmeccânica como um agregado fino na produção de concreto ecológico. A pesquisa foca na reutilização desses resíduos para reduzir a quantidade de lixo e preservar os recursos naturais, promovendo a sustentabilidade. |
| Analysing Metal Melting Methods for Green Transformation of Scrap Metal: Case Study of Latvia using MCDA and SWOT Analysis | Terjanika et al. (2024) | Este artigo analisa métodos de fusão de metal na Letônia para a transformação sustentável de sucata. Utilizando análises MCDA e SWOT, a pesquisa visa identificar a tecnologia de fornalha mais eficiente e ecologicamente correta para mitigar os impactos ambientais da indústria. |
| Effect of cutting liquids and oils in machining process on environmental | Tomaskova & Bicova (2022) | Este estudo examina os impactos ambientais de fluidos de corte e óleos usados em processos de usinagem. O artigo discute a importância de práticas sustentáveis para diminuir a poluição e os riscos à saúde, buscando alternativas mais ecológicas para a indústria. Com base nos requisitos da ISO 14001, foca-se nos aspectos que mais ameaçam o meio ambiente buscando minimizar seu |

| | | impacto. |
|---|------------------------------------|---|
| Effect of copper cooperation to customize sustainable aluminum alloy through recycling approach | Naheim & El-Afoury (2024) | O estudo explora o papel da adição de cobre na personalização de ligas de alumínio sustentáveis a partir de materiais reciclados. A pesquisa tem como foco superar o desafio de contaminação por impurezas no processo de reciclagem, melhorando as propriedades mecânicas da liga para uso na indústria metalmeccânica. |
| An environmental assessment framework for circular steel products | Hagedorn, Greiff, & Pauliuk (2024) | Este artigo propõe uma estrutura de avaliação ambiental para produtos de aço circulares, usando a Análise de Fluxo de Materiais e a Avaliação do Ciclo de Vida. O objetivo é garantir que as intervenções de economia circular na indústria siderúrgica estejam alinhadas com o aumento da eficiência de recursos e sustentabilidade. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise dos artigos revela que a maturidade das práticas sustentáveis na indústria metalmeccânica ainda está em um estágio de desenvolvimento e experimentação. No geral, os estudos não descrevem a aplicação de práticas já consolidadas em escala industrial, mas sim a busca e a validação de novas tecnologias e metodologias para melhorar a sustentabilidade. A ênfase é predominantemente no campo da engenharia e da tecnologia de materiais, indicando que a inovação tecnológica é o principal motor para a mudança sustentável neste setor.

A maioria dos estudos tem como principal objetivo a minimização dos impactos ambientais, explorando a eficiência de recursos e a gestão de resíduos, onde a principal abordagem para alcançar esses objetivos é a otimização de processos. Essa tendência mostra um esforço para aliar a performance técnica do processo à redução de custos com perfil mais ecológico.

Além disso, apesar da análise dos artigos apontar para a multidisciplinaridade no que se refere ao tema da sustentabilidade na indústria metalmeccânica, não se observa no entanto, a interdisciplinaridade. As pesquisas, embora contemplem diversas áreas do conhecimento, não apontam para um diálogo e fusão para a criação de um novo conhecimento integrado, com uma compreensão mais holística e completa quanto à sustentabilidade na indústria metalmeccânica.

Os impactos reportados nos artigos são majoritariamente focados nas dimensões ambiental e econômica. Embora alguns estudos mencionem questões sociais, a análise em suma se concentra em métricas tangíveis.

4.6. Publicações e citações

O Quadro 3 apresenta as publicações analisadas e o número de citações atribuídas a cada uma. Observa-se que os dois trabalhos mais citados foram conduzidos pelo mesmo primeiro autor, Ross N. S., que aparece em artigos publicados em 2021 e 2022, com quarenta e cinco (45) e vinte e quatro (24) citações, respectivamente. Ambos os estudos concentram-se em práticas voltadas ao aumento da eficiência dos processos que, como já apontado no Quadro 1, configura-se como uma das mais recorrentes no setor.



Quadro 3. Publicações com maior número de citações

| Nome da publicação | Referência | Nome do <i>journal</i> ou Conferência | Editora | Nº de citações |
|--|------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------|
| A hybrid approach of cooling lubrication for sustainable and optimized machining of Ni-based industrial alloy | Ross et al (2021) | Journal of Cleaner Production | Elsevier | 45 |
| Milling performance assessment of Ti-6Al-4V under CO2 cooling utilizing coated AlCrN/TiAlN insert | Ross et al (2022) | Taylor & Francis | Materials and Manufacturing Processes | 24 |
| A general framework for sustainability assessment of sheet metalworking processes | Gholami et al. (2020) | Sustainability | MDPI | 21 |
| Performance investigation of mql parameters using nano cutting fluids in hard milling | Duc, Long, & Tuan (2021) | Fluids | MDPI | 15 |
| Alloy and process design of forging steels for better environmental performance | Hagedorn, Greiff, & Pauliuk (2022) | Sustainable Materials and Technologies | Elsevier | 11 |
| Hard Milling Process Based on Compressed Cold Air-Cooling Using Vortex Tube for Sustainable and Smart Manufacturing | Celent et al. (2023) | Machines | MDPI | 5 |
| Case-Based Product Development of a High-Pressure Die Casting Injection Subset Using Design Science Research | Tojal et al. (2022) | FME Transactions | Faculty of mechanical Engineering | 4 |
| The Key Role of Laser Ultrasonics in the Context of Sustainable Production in an I 4.0 Value Chain | Hartl, Sorger, & Stockinger (2023) | Applied Sciences | MDPI | 2 |
| Impact of machining on the environment | Tomaskova & Bicova (2021) | International DAAAM Symposium | - | 2 |
| Use of Metal-mechanics Waste as an Addition in the Production of an Ecological Concrete | Alor et al. (2019) | MATEC Web of Conferences | EDP Sciences | 1 |
| Analysing Metal Melting Methods for Green Transformation of Scrap Metal: Case Study of Latvia using MCDA and SWOT Analysis | Terjanika et al. (2024) | Environmental and Climate Technologies | Sciendo | 0 |
| Effect of cutting liquids and oils in machining process on environmental | Tomaskova & Bicova (2022) | International DAAAM Symposium | - | 0 |
| Effect of copper cooperation to customize sustainable aluminum alloy through recycling approach | Naheim & Afoury (2024) | Journal of Mechanical Science and Technology | Springr Link | 0 |

| | | | | |
|---|------------------------------------|--|----------|---|
| An environmental assessment framework for circular steel products | Hagedorn, Greiff, & Pauliuk (2024) | Sustainable Production and Consumption | Elsevier | 0 |
|---|------------------------------------|--|----------|---|

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No que se refere à distribuição das publicações nos periódicos, verifica-se que não há concentração expressiva em um único *journal*, o que sugere dispersão temática e editorial da produção científica sobre sustentabilidade na indústria metalmecânica. Cada periódico analisado contabiliza apenas uma publicação, o que pode indicar tanto a natureza interdisciplinar do tema quanto a ausência de um canal consolidado de divulgação científica específico para a área.

Já no âmbito de conferências, identificou-se a presença de dois trabalhos dos mesmos autores (Tomaskova e Bicova), apresentados em 2021 e 2022 no *International DAAAM Symposium*. Essa recorrência pode sugerir que os eventos científicos continuam a ser espaços relevantes para difusão de resultados preliminares e discussões técnicas, embora com impacto citacional limitado quando comparados às publicações em periódicos indexados.

5. Considerações finais

A presente Revisão Sistemática de Literatura estabeleceu um panorama das práticas de sustentabilidade na indústria metalmecânica, revelando um campo de pesquisa em ascensão, mas com lacunas significativas. A análise dos 14 artigos demonstrou uma clara concentração de estudos nas dimensões tecnológica e econômica, priorizando a otimização de processos e o reuso de materiais. A predominância de metodologias experimentais e a centralidade de autores e instituições europeias e asiáticas apontam para um estágio de maturidade focado na inovação técnica, mas ainda distante de uma abordagem sistêmica e global. A principal contribuição deste trabalho é a identificação crítica destas tendências, e a proposição de caminhos para aprofundar a discussão sobre a sustentabilidade no setor.

Diante do cenário, é fundamental que as futuras pesquisas se expandam para além da otimização técnica. Propõe-se a incorporação da dimensão social da sustentabilidade, além de que há um campo vasto a ser explorado em termos de gestão estratégica. Novos estudos podem focar em como as empresas do setor incorporam a sustentabilidade em suas decisões de negócios e cadeias de suprimentos, não apenas considerando os processos produtivos, aliado à eficiência operacional com competitividade de longo prazo. Estudos de gestão, políticas públicas, comportamento organizacional e regulação ambiental poderiam oferecer análises complementares, contribuindo para um entendimento mais holístico e para a construção de soluções sustentáveis efetivas no setor.

Apesar da contribuição relevante dos estudos provenientes de países europeus e asiáticos, a ausência de pesquisas em contextos latino-americanos e de outras economias emergentes evidencia uma lacuna importante na literatura. Considerando a relevância da indústria metalmecânica para o desenvolvimento econômico e social de países em desenvolvimento, torna-se imprescindível ampliar a produção científica nestes cenários, a fim de compreender os desafios específicos enfrentados por essas realidades propondo soluções mais contextualizadas e aplicáveis.

Para o setor metalmecânico, este estudo recomenda estratégias claras, nas quais a



transição para a sustentabilidade deve ser vista como uma oportunidade de inovação e vantagem competitiva, não apenas como um custo ou uma exigência regulatória. As empresas devem investir em pesquisa e desenvolvimento para adotar e adaptar as novas tecnologias que se mostraram eficientes tanto ambiental quanto economicamente. A gestão de resíduos precisa evoluir de uma prática e reativa para uma filosofia de economia circular, onde os resíduos se tornam insumos valiosos, gerando novas fontes de receita, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens.

A recomendação aplicável para as empresas é a adoção de sistemas de gestão ambiental que estruturam e monitorem o desempenho de suas práticas. É essencial que as empresas invistam em ferramentas de avaliação, para medir de forma quantitativa os impactos ambientais de seus produtos e processos. A criação de parcerias com universidades e centros de pesquisa, especialmente em países da América Latina, pode também catalisar a adaptação de soluções tecnológicas e metodológicas ao contexto local, superando as barreiras geográficas identificadas.

Assim, a agenda de pesquisa futura deve se concentrar em três pilares: a) aprofundamento metodológico - onde é necessário desenvolver e aplicar indicadores que integrem as dimensões ambiental, econômica e social de forma holística; b) análise de contextos geográficos - considerando que pesquisas empíricas são urgentemente necessárias para entender os desafios e oportunidades de sustentabilidade em indústrias metalmeccânicas com economias emergentes; e c) exploração de novos temas - com estudos sobre a gestão de stakeholders, governança corporativa e influência das políticas públicas na adoção de práticas sustentáveis no setor, sendo assim caminhos promissores para uma compreensão mais completa e robusta do tema.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). ABNT NBR ISO 37101:2017: *Desenvolvimento sustentável em comunidades — Sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável — Requisitos com orientações para uso*. ABNT.

Avesani, M. (2020). Sustentabilidade, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade empresarial. *Elsevier*, 21-38. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128183557000026>. Acesso em: 18 set. 2025.

Biermann, F., Kanie, N., & Kim, R. (2017). Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26(27), 26-31. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343517300209?via%3Dihub>. Acesso em: 20 dez. 2024.

Celent, L., et al. (2023). Hard Milling Process Based on Compressed Cold Air-Cooling Using Vortex Tube for Sustainable and Smart Manufacturing. *Machines*, 11(2), 264. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1702/11/2/264>. Acesso em: 18 dez. 2024.

Correa, F. M. S. (2024). *Responsabilidade social empresarial e sustentabilidade ambiental*. Editora Dialética.



Dias, R. (2015). *Sustentabilidade: Origem e Fundamentos; Educação e Governança Global; Modelo de Desenvolvimento*. São Paulo: Atlas.

Gupta, K., et al. (2016). Recent developments in sustainable manufacturing of gears: a review. *Journal of Cleaner Production*, 112(4), 3320-3330. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615013736?via%3Dihub>. Acesso em: 20 dez. 2024.

Mangini, C. L., & Belusso, D. (2020). O passado e as perspectivas futuras da relação entre design e sustentabilidade. *Revista Faz Ciência*, 22(36), 117-142. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/25197>. Acesso em: 20 out. 2024.

Marcovitch, J. (2006). *Para mudar o futuro*. São Paulo: Saraiva/Edusp.

Oliveira, J., et al. (2012). Caracterização das pequenas empresas do setor metal-mecânico a partir das dimensões estrutura organizacional e dirigentes. *Revista Brasileira de Estratégia*, Curitiba, 5(1), 47-58. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/REBRAE/article/view/13733>. Acesso em: 20 set. 2024.

Oliveira, S. V. W. B., Leoneti, A., & Cezarino, L. O. (2019). *Sustentabilidade: princípios e estratégias*. Barueri: Manole, e-book, 130. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788520462447/>. Acesso em: 25 dez. 2024.

ONU - Organização Das Nações Unidas (2015). *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Postal, F. (2018). *A sustentabilidade enquanto estratégia na indústria têxtil e de confecções: um olhar a partir das empresas do município de Guaporé no Rio Grande do Sul*. (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

Santamaría, L. F. (1994). *Diagnóstico do setor metal-mecânico do estado de Santa Catarina*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina).

Savitz, A. W., & Weber, K. (2014). *The Tiple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success - and How You Can Too*. San Francisco, California: Jossey-bass: A Wiley Brand, 352. Disponível em: <https://bit.ly/2QxIaTa>. Acesso em: 31 out. 2024.

Scheyvens, R., Banks, G., & Hughes, E. (2016). The private sector and the SDGs: The need to move beyond 'business as usual'. *Sustainable Development*, 24(6), 371-382. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.1623>. Acesso em: 11 out. 2024.

Soares, A. C. B., et al. (2014). A gestão socioambiental em pauta: uma análise do caso de uma Rede de Supermercados da Região Central do RS. *Revista De Administração Da UFSM*, 7. <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/1230>. Acesso em: 25 mar. 2025.



Terjanika, V., et al. (2023). Analysing Metal Melting Methods for Green Transformation of Scrap Metal: Case Study of Latvia using MCDA and SWOT Analysis. *Environmental and Climate Technologies*, Riga Technical University, 28(1), 1-11. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.2478/rtuect-2024-0001>. Acesso em: 20 out. 2024.

Tomaskova, T., & Bicova, K. (2021). Impact of machining on the environment. In: Katalinic, B. (Ed.), *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 623–630. Disponível em: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2021/088.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.

Uchôa, M. T., S., Jhuniôr, R. D. O., & Taumaturgo, Í. (2024). Um olhar sobre a dimensão social e ambiental da sustentabilidade: uma análise das ações empresariais reportadas no GRI. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, 10(1), 118-139. Disponível em: <https://www.rasi.vr.uff.br/index.php/rasi/article/view/836/204>. Acesso em: 21 mar. 2025.

Van Bellen, H. M. & Petrassi, A. C. M. A. (2016). Dos limites do crescimento à gestão da sustentabilidade no processo de desenvolvimento. *Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense*, 5(10), 8-30. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/revistanecat/article/view/4430>. Acesso em: 10 nov. 2024.