

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA: PRÁTICAS DE SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA METALMECÂNICA

1 INTRODUÇÃO

O pensamento de que os recursos do planeta seriam infinitos era comum no surgimento das primeiras fábricas. Porém, com o aumento das necessidades de consumo, na intenção de atender tais demandas, as fábricas começaram a utilizar os diversos recursos sem restrições, acarretando em um impacto grande e irreversível ao meio ambiente (Postal, 2018).

Porém, 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 qual as gerações atuais satisfazem as necessidades pessoais sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem também suas necessidades (Van Bellen; Petrassi, 2016).

Percebe-se na literatura que o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade configuram-se como termos polêmicos e com diversas interpretações. Assim, assume-se aqui como definição de sustentabilidade a apresentada por Mangini e Belusso (2020, p. 120) “[...] 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).

O uso excessivo de recursos naturais pela indústria tem causado desperdício, poluição e danos irreversíveis ao meio ambiente. Nesse cenário, práticas sustentáveis e inovadoras surgem como alternativas para reduzir impactos sociais e ambientais. Dito isso, esse 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); contribuindo para o avanço do conhecimento e para um desenvolvimento mais equilibrado, alinhado às dimensões do desenvolvimento sustentável e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

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. 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).

Ademais, existem os dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável, 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 (Biermann; Kanie; Kim, 2017). 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).

Assim, 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. Como elemento primordial para o avanço do conhecimento tem-se a formação de uma sociedade capacitada a fazer escolhas tecnológicas, ambientais e sociais corretas. 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. Ser sustentável é compreender que a preservação da natureza é tão fundamental para a humanidade quanto às relações sociais (Savitz e Weber, 2014).

Para Oliveira, Leoneti & 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).

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. O ambiente, por sua vez, exerce influência sobre todas as etapas dessa produção, e 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). Assim, 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).

Dito isso, 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 na bases de dados Web of Science e Scopus, com as strings de pesquisa *Sustain* AND "metalworking industry"*. 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).

Assim, sem a aplicação de filtro, identificou-se 68 textos, sendo 37 na *Web Of Science* e 31 na *Scopus*. No que tange à triagem, foram excluídos 18 textos na *Web of science* e 14 na *Scopus*, restando respectivamente 19 e 17 textos. Após, excluiu-se 6 textos incompletos; bem como, observou-se erro na abertura de *link* em 3 arquivos impedindo o acesso e configurando-se como restrição para análise, sendo também excluídos. Outro filtro aplicado foi o de *open access*, onde 1 texto foi excluído da análise. Por fim, foram excluídos 9 textos encontrados em ambas bases de dados (duplicidade), restando assim 17 textos selecionados para leitura do título, palavras-chave e *abstract*.

Na etapa de elegibilidade, 1 artigo foi excluído devido não ser identificada uma relação com o escopo do trabalho, totalizando apenas 16 artigos para a leitura completa. E, na etapa final, mais dois textos foram excluídos a partir da leitura completa, devido à falta de relação ao escopo do trabalho. Por tanto, os dados apresentados referem-se à 14 artigos, abordando suas contribuições na pesquisa e identificando significados e conexões entre os estudos. A análise foi realizada por dois avaliadores separadamente, no intuito de diminuir a subjetividade de julgamento, em caso de divergência de opinião, a análise foi refeita chegando-se a um consenso.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Quanto à evolução cronológica registra-se um aumento na quantidade de publicações realizadas a partir do ano de 2021. E quanto a classificação dentro das áreas de estudo, observou-se que grande parte (31,6%) foi realizada dentro da área da engenharia, seguidos pelas áreas de ciência da computação (13,2%), ciência ambiental (13,2%), energia (10,5%), ciência de materiais (10,5%), física e astronomia (5,3%), engenharia química (5,3%), ciências sociais (5,3%), matemática (2,6%) e tecnologia da construção (2,6%). Ressalta-se aqui que, alguns estudos são classificados em mais de uma categoria de área de estudo, e que a multidisciplinaridade de abordagem pode representar uma tendência crescente para que as práticas de sustentabilidade nas indústrias metalmeccânicas sejam vistas não apenas sob a ótica técnica, mas também como um fenômeno social e organizacional.

Quanto ao país das instituições onde os estudos foram desenvolvidos observou-se que grande parte foi desenvolvida em instituições ligadas a países dos continentes Europeu e Asiático. E esta relação pode estar relacionada a uma maior trajetória de regulamentações ambientais e políticas de sustentabilidade.

Já quanto ao delineamento das pesquisas, observou-se que as pesquisas são classificadas essencialmente como estudo de caso e experimento, não sendo encontrada nenhuma RSL sobre o tema aqui proposto. Contudo, nem todos os textos possuíam a classificação metodológica de suas pesquisas e não foram realizadas pressuposições para a classificação das informações.

Tratando-se dos objetivos e focos presentes nos artigos definiu-se três categorias principais, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação quanto à categorias identificadas com base no enfoque principal das publicações selecionadas

Categorias	Publicações	Nº de artigos
1- Sinalizam preocupações com cadeias produtivas e geração de resíduos	Alor, J. et al. (2019); Gholami, H. et al. (2020); Hartl, K., Sorger, M., & Stockinger, M. (2023); Terjanika, V. et al. (2024); Naheim, N.; El-Afoury, M. S. (2024); Tojal, M.C. et al. (2022)	6
2 - Aspectos ambientais de acordo	Tomaskova T.; Bicova, K. (2021); e Tomaskova T.;	2

com os requisitos da ISO 14001	Bicova, K. (2022)	
3 - Práticas para reduzir custos e aumentar eficiência e sustentabilidade dos processo	Ross, N. S. et al (2021); Celent, L. et al. (2023); Hagedorn, W., Greiff, K.; Pauliuk, S. (2022); Hagedorn, W., Greiff, K.; Pauliuk, S. (2024); Duc, T. M.; Long, T. T.; Tuan, N. M. (2021); Ross, N. S. et al (2022)	6

Fonte: 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.

(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.

(3) Práticas para reduzir custos e aumentar eficiência e sustentabilidade dos processo (42,86%) - A redução de custos na indústria metalmeccânica está diretamente ligada à melhoria da eficiência operacional e à adoção de práticas sustentáveis.

No quadro 2, é possível analisar as publicações com o maior número de citações, sendo as duas primeiras, com 45 e 24 citações, realizadas pelo mesmo primeiro autor: Ross N.S.; Mia M.; Anwar S.; G M.; Saleh M. & Ahmad S. (2021) e Ross N.S.; Sheeba P.T.; Jebaraj M. & Stephen H.(2022). Nos dois artigos o enfoque está no aumento da eficiência dos processos, conforme já apresentado no quadro 1.

Quadro 2 - 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, N. S. 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, N. S. et al (2022)	Taylor & Francis	Materials and Manufacturing Processes	24
A general framework for sustainability assessment of sheet metalworking processes	Gholami, H. et al. (2020)	Sustainability	MDPI	21
Performance investigation of mql parameters using nano cutting fluids in hard milling	Duc, T. M.; Long, T. T.; Tuan, N. M. (2021)	Fluids	MDPI	15
Alloy and process design of forging steels for better environmental performance	Hagedorn, W., Greiff, K.; Pauliuk, S. (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, L. et al. (2023)	Machines	MDPI	5

Case-Based Product Development of a High-Pressure Die Casting Injection Subset Using Design Science Research	Tojal, M.C. 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, K., Sorger, M., & Stockinger, M. (2023)	Applied Sciences	MDPI	2
Impact of machining on the environment	Tomaskova T.; Bicova, K. (2021)	International DAAAM Symposium	-	2
Use of Metal-mechanics Waste as an Addition in the Production of an Ecological Concrete	Alor, J. 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, V. et al. (2024)	Environmental and Climate Technologies	Sciendo	0
Effect of cutting liquids and oils in machining process on environmental	Tomaskova T.; Bicova, K. (2022)	International DAAAM Symposium	-	0
Effect of copper cooperation to customize sustainable aluminum alloy through recycling approach	Naheim, N.; El-Afoury, M. S. (2024)	Journal of Mechanical Science and Technology	Springr Link	0
An environmental assessment framework for circular steel products	Hagedorn, W., Greiff, K.; Pauliuk, S. (2024)	Sustainable Production and Consumption	Elsevier	0

Fonte: Elaborado pelos autores

No que se refere à distribuição das publicações em relação aos *journals*, conforme quadro 2, observa-se que não há uma maior incidência em um *journals* específico, considerando que encontrou-se apenas uma publicação em cada. Já em relação a conferências, há duas publicações dos mesmo autores - Tomaskova T. e Bicova, K. (2021), nos anos de 2021 e 2022, no evento International DAAAM Symposium.

O panorama geral indica uma tendência de interdisciplinaridade e uma busca contínua por soluções que integrem sustentabilidade, inovação e eficiência nos processos industriais. Esta ideia é reforçada pela divulgação e interesses difusos dados às publicações em *journals*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados analisados, é possível concluir que as práticas de sustentabilidade têm sido abordadas de forma multidisciplinar na indústria metalmeccânica e têm ganhado força. O tema apresentou um número reduzido de publicações, fator limitante para o estudo. Contudo, isso mostra que o campo pode se beneficiar de uma abordagem mais integrada que considere as dimensões sociais, culturais e organizacionais da sustentabilidade, além das questões técnicas e operacionais.

Para pesquisas futuras sugere-se estudos que integrem aspectos técnicos e sociais da sustentabilidade na indústria metalmeccânica, os quais podem oferecer uma visão mais holística sobre as práticas sustentáveis e pesquisas longitudinais que possam avaliar os efeitos a longo prazo da implementação de práticas sustentáveis.

Por fim, sugere-se que em implicações práticas as indústrias metalmeccânicas precisam continuar investindo em tecnologias limpas, melhorar a eficiência dos seus processos e adotar uma gestão ambiental rigorosa, não apenas para cumprir regulamentações, mas para alcançar uma vantagem competitiva no mercado global.

REFERÊNCIAS

- BIERMANN, Frank; KANIE, Norichika; KIM, Rakhyun. Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 26, pp. 26-31, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.01.010>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- DIAS, Reinaldo. *Sustentabilidade: Origem e Fundamentos; Educação e Governança Global; Modelo de Desenvolvimento*. São Paulo: Atlas, 2015.
- GUPTA, Kapil, *et al.* Recent developments in sustainable manufacturing of gears: a review. *Journal of Cleaner Production*. v. 112, n.4. p. 3320-3330, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.133>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- MANGINI, Claudio. Luiz.; BELUSSO, Diane. O passado e as perspectivas futuras da relação entre design e sustentabilidade. *Revista Faz Ciência*, [S. l.], v. 22, n. 36, p. 117-142, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/rfc.v22i36.25197>. Acesso em: 20 out. 2024.
- MARCOVITCH, Jacques. *Para mudar o futuro*. São Paulo: Saraiva/Edusp, 2006.
- OLIVEIRA, Sonia. Valle. Walter. Borges. de; LEONETI, Alexandre; CEZARINO, Luciana Orranges. *Sustentabilidade: princípios e estratégias*. Barueri: Manole, 2019. E-book. pág.130. ISBN 9788520462447. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788520462447/>. Acesso em: 25 dez. 2024.
- POSTAL, Fernanda. *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*. Orientador: Ana Lucia Tatsch. 2018. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/182367>. Acesso em: 19 out. 2024.
- SAVITZ, Andrew W.; WEBER, Karl. *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, 2014. 352 p. Disponível em: <https://bit.ly/2QxIaTa>. Acesso em: 31 out. 2024.
- SOARES, Ana Cristina Bisognin, *et al.* A gestão socioambiental em pauta: uma análise do caso de uma Rede de Supermercados da Região Central do RS. *Revista De Administração Da UFSM*. v. 7 . <https://doi.org/10.5902/1983465912308>. Acesso em: 25 mar. 2025.
- TOMASKOVA, Tetjana; BICOVA, Katerina. Impact of Machining on the Environment. *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium*, pp.0623-0630, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2021/088.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.
- VAN BELLEN, Hans. Michael; PETRASSI, Anna Cecília Mendonça Amaral. Dos limites do crescimento à gestão da sustentabilidade no processo de desenvolvimento. *Revista NECAT - Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense*, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 8-30, 2016. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/revistanecat/article/view/4430>. Acesso em: 10 nov. 2024.