

BENEFÍCIOS POTENCIAIS A PARTIR DA ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

<http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2024.60.15975>

Submetido em: 15/5/2024

Aceito em: 27/8/2024

Publicado em: 15/10/2024

Dusan Schreiber¹, Francieli de Oliveira², Cristiane Froehlich³

RESUMO

O estudo teve como objetivo compreender que práticas sustentáveis impulsionadas pelas tecnologias da indústria 4.0 podem ajudar a desenvolver a indústria calçadista. Para alcançar o objetivo do estudo optou-se pela estratégia de estudo de caso único, na empresa FL Calçados, indicada pela Abicalçados como referência setorial na adoção de novas tecnologias, abordagem qualitativa e coleta de dados por meio de entrevistas abertas, com gestores organizacionais, levantamento documental e observação sistemática participante. Os dados empíricos coletados foram submetidos à análise de conteúdo. Os principais resultados apontam que a indústria 4.0 oferece um caminho para a transformação sustentável da indústria calçadista. Além disso, é possível afirmar, com base nas evidências empíricas, que a adoção das tecnologias da indústria 4.0 faculta não apenas maior eficiência produtiva, mas, também, redução de impactos ambientais por meio de redução de retrabalhos, uso mais eficiente dos insumos e da matriz energética, demonstrando para as demais empresas do setor como conciliar a dimensão econômica e ambiental. Questões como os custos iniciais de execução, a necessidade de capacitar a equipe e a integração de sistemas complexos são os principais desafios para esse processo de mudança.

Palavras-chave: indústria 4.0; tecnologias; sustentabilidade; indústria calçadista.

POTENTIAL BENEFITS FROM THE ADOPTION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABILITY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY

ABSTRACT

The study aimed to analyze how industry 4.0 technologies can contribute to the promotion of sustainable practices in the footwear manufacturing process. To achieve the objective of the study, we opted for a single case study strategy, at the company FL Calçados, a qualitative approach and data collection through open interviews, with three organizational managers, documentary survey and systematic participant observation. The empirical data collected was subjected to content analysis. The main results indicate that industry 4.0 offers a path to sustainable transformation in the footwear industry. Issues such as initial implementation costs, the need to train the team and the integration of complex systems are the main challenges for this change process.

Keywords: industry 4.0; technologies; sustainability; footwear industry.

¹ Universidade Feevale. Programa de Pós-Graduação em Administração. Novo Hamburgo/RS, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-4258-4780>

² Universidade Feevale. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. Novo Hamburgo/RS, Brasil.
<https://orcid.org/0009-0005-2310-2530>

³ Universidade Feevale. Programa de Pós-Graduação em Administração. Novo Hamburgo/RS, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-7198-6469>

INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 é um termo que se refere à quarta revolução industrial e ela representa a integração de tecnologias digitais avançadas (Silva, 2022). Já a sustentabilidade refere-se à capacidade de utilizar os recursos naturais de forma responsável, buscando preservar o meio ambiente e garantir a qualidade de vida das gerações presentes e futuras. Além disso, também engloba a adoção de práticas social e econômica, e um princípio essencial para enfrentar os desafios ambientais e sociais do nosso tempo (Feil; Schreiber, 2017).

O termo indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez na feira de Hannover, na Alemanha. A partir daquele momento, o conceito ganhou notoriedade e integrou o repertório cognitivo de gestores organizacionais e de pesquisadores (Schwab, 2016). O interesse pelo tema é atribuído ao potencial das tecnologias da indústria 4.0 para a eficiência e produtividade. Vale destacar, no entanto, que a sua adoção, no ambiente industrial, representa um desafio relevante, devido a mudanças que precisam ser promovidas para alcançar os resultados desejados.

As dificuldades percebidas para a sua adoção no ambiente organizacional entretanto, são, normalmente, superadas, devido a perspectivas de benefícios potenciais, notadamente na redução de incidência de erros, maior nível de produtividade e eficiência, especialmente com as tecnologias *internet of things* (IOT), *big data* e inteligência artificial, que deixam as fábricas mais conectadas e processos operacionais mais precisos, com redução significativa de desperdícios de insumos. Nesta perspectiva é possível afirmar que as tecnologias da indústria 4.0 representam a quarta revolução industrial, constituindo um novo paradigma na criação de valor industrial nomeadamente por meio da tecnologia, inteligência artificial e transformação digital (Birkel *et al.*, 2019).

A adoção das tecnologias da I4.0 facilita às indústrias permitir a realização de análise autônoma para prever falhas, definir o período adequado para a realização da manutenção, além de propiciar a flexibilidade para mudanças do processo, requisitos e demais fatores que alteram a realidade fabril (Lyndon, 2016). Vale destacar que o tipo e o nível de benefícios oferecidos pelas tecnologias da indústria 4.0 podem variar de acordo com o setor econômico, mix de produtos e organização de processos operacionais existentes.

Com a adoção das tecnologias da indústria 4.0 na fabricação de calçados é possível alcançar uma produção mais eficiente e sustentável, reduzindo significativamente os desperdícios e maximizando a qualidade dos produtos. A integração de sistemas inteligentes, como a IoT e automatização, permite um monitoramento em tempo real dos processos de produção, otimizando o uso de recursos e minimizando o impacto ambiental (Lyndon, 2016).

A adoção das tecnologias da indústria 4.0 também pode contribuir para tornar as operações sustentáveis, ao permitir o desenvolvimento de soluções inovadoras que são mais eficientes, econômicas e amigas do meio ambiente. Para que isso ocorra é de fundamental importância a integração de processos operacionais com a Tecnologia de Informação (TI) que possibilita usar recursos com mais eficiência, estrutura, modelos inteligentes de produção (Inbrape, 2023).

Nesta perspectiva justifica-se a realização de estudos avaliando o processo de adoção das tecnologias da indústria 4.0 no ambiente industrial. Neste trabalho de pesquisa optou-se por analisar o setor de fabricação de calçados devido a sua representatividade, tanto econômica

como social, na região Sul do país, especificamente no Rio Grande do Sul, na região do Vale do Rio dos Sinos. Estes estudos podem evidenciar o que falta para a ampliação do sistema produtivo brasileiro para deixar as fábricas mais inteligentes, bem como demonstrar como estão as pesquisas relacionadas à utilização das referidas tecnologias I4.0 para apoiar o processo produtivo e gestão de projetos.

Assim, propõe-se o seguinte problema de pesquisa: “Quais são os potenciais benefícios que as tecnologias da indústria 4.0 podem oferecer para promoção de práticas sustentáveis na fabricação de calçados?”. O estudo teve como objetivo compreender que práticas sustentáveis impulsionadas pelas tecnologias da indústria 4.0 podem ajudar a desenvolver a indústria calçadista. É importante ressaltar que as tecnologias podem oferecer um amplo leque de possibilidades, considerando tanto os aspectos sociais, econômicos e ambientais da sustentabilidade. Os benefícios que o estudo poderá trazer referem-se à identificação do potencial das referidas tecnologias para maior eficiência energética, pois as tecnologias da indústria 4.0, como sensores e dispositivos de IoT, podem ser usadas para monitorar e otimizar o consumo de energia em diferentes etapas da produção de calçados, separação de resíduos, adoção de tecnologias avançadas como impressão 3D e corte a laser, gerando uma produção mais precisa, com rastreabilidade e transparência.

Por meio do uso de tecnologias I4.0 seria possível criar sistemas para monitorar e registrar informações sobre a origem dos materiais utilizados, inovação e *design*, oferecendo oportunidades para a criação de novos materiais mais sustentáveis e processos de fabricação inovadores, com destaque para os materiais recicláveis ou orgânicos que podem reduzir o impacto ambiental. Para Cardozo (2021), as revoluções industriais sempre trazem mudanças na sociedade, e isso também está ocorrendo com a indústria 4.0. Estima-se que as referidas tecnologias podem gerar tanto os benefícios da população, para o sistema produtivo e, também, para a preservação do meio ambiente.

Para alcançar o objetivo do estudo optou-se pela estratégia de estudo de caso único, na empresa FL Calçados, abordagem qualitativa e coleta de dados por meio de entrevistas com gestores organizacionais, levantamento documental e observação sistemática participante. Os dados empíricos coletados foram submetidos à análise de conteúdo. A pesquisa justifica-se pela relevância do conhecimento acerca dos desafios envolvidos na instituição da indústria 4.0 no setor calçadista, evidenciando oportunidades para obter maior eficiência produtiva, personalização dos produtos, flexibilidade, melhoria e qualidade. A empresa FL Calçados foi escolhida por ter sido indicada pela Abicalçados como referência setorial na adoção de novas tecnologias, bem como pelo interesse manifestado por seus gestores tanto por novas tecnologias como por práticas sustentáveis, diante da pressão de seus clientes corporativos.

A estrutura do artigo inicia-se pela apresentação da fundamentação teórica e resume as etapas principais para promover práticas sustentáveis na fabricação de calçados, analisando a tecnologia 4.0, o processo de produção de calçados e sustentabilidade. Nas seções seguintes são apresentadas a metodologia, os resultados da pesquisa e as considerações finais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Indústria 4.0 e Sustentabilidade

No modo de produção artesanal o artesão era responsável por todo o processo produtivo. A primeira Revolução Industrial ocorreu por volta de 1776, na Inglaterra, e se caracterizou por mecanização de processos operacionais, com destaque para o tear mecânico. Entre 1850 e 1870 ocorreu a segunda Revolução Industrial, que foi marcada pelo advento da eletricidade e linhas de montagem sincronizadas, o que permitiu a produção em escala. A indústria 3.0, que se consolidou por meio da adoção da eletrônica, que facultou a disseminação da informática, telecomunicação, robótica, inclusive no ambiente operacional, ocorreu na década 70 do século passado e abriu caminho para as tecnologias da indústria 4.0 (Marson, 2014; Schwab, 2016; Magaldi; Salibi Neto, 2018).

As consequências dessas mudanças foram extraordinárias no seio da sociedade, uma vez que se observou um crescimento econômico sem precedentes, surgindo dessa maneira uma inovadora dinâmica social. Estimulados pelos impactos dessas transformações, principalmente pelo aumento dos seus lucros, empreendedores também mudaram suas concepções e mentalidade e passaram a investir em outras fábricas que em pouco tempo se converteram em indústrias (Magaldi; Salibi Neto, 2018).

Para Klaus Schwab, fundador e presidente executivo do Fórum Econômico Mundial:

A indústria 4.0 representa uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Essa convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas está criando um paradigma na produção industrial. A indústria 4.0 tem o potencial de impulsionar uma mudança radical na economia global combinando sistemas ciberfísicos, Internet das coisas e análise de dados avançado para criar uma nova forma de produção e interação com o mundo (Schwab, 2016, p. 27).

A indústria 4.0 é uma transformação digital da fabricação fundamental alavancada por tecnologias, com a inteligência artificial, robótica colaborativa, impressão 3D, IoT e *big data*, levando a processos de produção mais eficientes e personalizados (Lydon, 2016; Martins, 2017). Automação avançada é uma das tecnologias-chave da indústria 4.0 na fabricação de calçados, quando os robôs e sistemas automatizados podem ser usados para realizar tarefas como corte de couro, costura, colagem e montagem de componentes. Essa automação melhora a eficiência e a precisão dos processos de produção (Schwab, 2016; Oztemel; Gursev, 2020).

Observa-se que as tecnologias inovadoras, como a impressão 3D, entre outras que irão surgir, aumentarão a competitividade nas empresas, permitindo surgimento de novos modelos de negócios que reduzam custos, melhorem a produtividade e as vendas e levem à fidelização de consumidores. Para imprimir um objeto 3D é necessário existir primeiro um modelo digital em um computador. Ele pode ser modelado usando uma aplicação CAD, ou alguma outra variação de *software* de modelagem 3D. Alternativamente um modelo digital pode ser criado digitalizando um objeto real com um *scanner* 3D (Magaldi; Salibi Neto, 2018). A impressão 3D consiste na materialização física de um objeto virtual, que no caso da Engenharia Mecânica estes objetos são gerados via *softwares* de CAD (Computer Aided Design – Desenho Assistido por Computador), por exemplo SolidWorks® ou NX®, e deste projeto elaborado via *software* pode ser extraído um arquivo, normalmente na extensão STL, o qual é aberto em um *software* de

fatiamento ou programação da impressão, em que podem ser definidos parâmetros baseados na tecnologia disponível no equipamento de impressão 3D (De Aguiar; Quirino, 2020).

IoT pode ser aplicada na fabricação de calçados para monitorar e otimizar o desempenho das máquinas e processos. Habilita uma ampla diversidade a interagir e gerar dados, sensores instalados nas máquinas podem coletar dados em tempo real; essa interação é entre o ambiente virtual e o físico respectivamente, sobre a produtividade e consumo de energia (Shahid; Aneja, 2017).

Big data é uma tecnologia que se refere ao enorme volume de dados que são coletados, armazenados e processados em tempo real. Esses dados são gerados por uma variedade de fontes, como sensores, dispositivos conectados, mídias sociais, transações comerciais e muito mais. A *big data* desempenha um papel importante, e existem algumas maneiras pelas quais a *big data* é aplicada na indústria 4.0, monitoramento e manutenção preditiva, otimização dos processos, personalização dos produtos, tomadas de decisão baseada em dados. É importante destacar, no entanto, que a instituição da *big data* na indústria 4.0 também apresenta desafios, como a segurança dos dados, a privacidade e a capacidade de gerenciar e analisar grandes volumes de informações de forma eficaz. É um termo utilizado para fazer referência ao armazenamento de todas as informações que necessitam ser registradas nas organizações, desde as tomadas de decisão mais simples ou complexas, por exemplo, a parada de uma linha de produção (Dujin; Geissler, 2014).

A inteligência artificial na indústria 4.0 facilita relacionar o sistema *cyber* físico com a capacidade de aprender a pensar e agir de forma autônoma a partir de dados armazenados na *big data*, por dados em tempo real que são direcionados aos colaboradores por meio da IoT. Quando a organização possui inteligência artificial todo o ambiente físico tem consciência do impacto e das ações decorrentes do sistema (Buccioli; Zorzal ; Kirner, 2006).

Essa transformação abrangente não se limita apenas às linhas de produção, mas também engloba toda a cadeia de valor, desde o projeto de desenvolvimento de produtos até a logística e o atendimento ao cliente. Os avanços estão permitindo cada vez mais a expansão dessas tecnologias em atividades realizadas por pessoas e empresas e com isso possibilitando novas soluções na resolução de problemas de vários setores. Assim são criadas as oportunidades para a inovação, a competitividade e o crescimento sustentável.

Nas últimas décadas o tema sustentabilidade consolidou a sua posição de protagonista no cenário atual, quando grande parte da sociedade entendeu o quão importante é minimizar os impactos e optar por práticas ambientalmente e socialmente responsáveis (Munck, 2014; Cillo *et al.*, 2019). Diversas pesquisas evidenciaram que até mesmo nas indústrias de calçados a responsabilidade ambiental e social pode integrar seu modelo de negócio, mais sustentável e alinhado com as demandas atuais da sociedade (Sander; Schreiber; Vier, 2024; Schreiber; Silva, 2024).

É importante compreender que durante as revoluções industriais e tecnológicas houve o surgimento de novas técnicas produtivas e toda essa evolução aumentou a capacidade de produção das organizações e essa velocidade e capacidade causaram efeitos colaterais para a sociedade atual e futura, tornando a questão de subsistência primordial (Malthus, 2011; Sehnem *et al.*, 2023). A sociedade, no entanto, precisou lidar com novos desafios relacionados ao problema de desigualdade social, desemprego e principalmente prejuízos ambientais, configurando muitas vezes o *trade-off* (Oliveira *et al.*, 2011; Horne; Fichter, 2022).

Estas reflexões contribuíram para a concepção do modelo de desenvolvimento sustentável que foi apresentado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas (ONU) (Glavič; Lukman, 2007). Desta forma, o desenvolvimento e as práticas sustentáveis tornaram-se, *pari passu*, prioridade nas discussões sobre a qualidade de vida e futuro do planeta, integrando a pauta da Academia, da sociedade e das organizações (Barbosa, 2008; Silva *et al.*, 2020).

Sustentabilidade é um termo que expressa a preocupação com a qualidade de um sistema que diz respeito à integração indissociável (ambiental e humano) e avalia suas propriedades e características, abrangendo os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Essa avaliação realiza-se em determinado ponto estático, como em uma fotografia da qualidade do sistema que deve acompanhar a evolução natural (Feil; Schreiber, 2017; Yin *et al.*, 2023). A sustentabilidade pode ser descrita como uma habilidade de desenvolvimento organizacional, em que o resultado está na melhoria da qualidade de vida. E assim considera-se a gestão integrada quando a organização trabalha em prol do desenvolvimento social, econômico e ambiental (Ekins *et al.*, 2003; Zanoni; Oliveira, 2023).

Por esse motivo, muitas organizações passaram a se preocupar com o tempo de resposta referente à sustentabilidade, pois a adoção de práticas sustentáveis representa, cada vez mais, a condição *sine qua non* para a competitividade global. A sociedade exige, cada vez mais, maior agilidade das organizações para responder aos desafios da sustentabilidade e promoção de práticas que possam contribuir para o alcance do desenvolvimento sustentável (Costa *et al.*, 2024). Ao mesmo tempo, no entanto, a organização deve ser rentável, inovadora e corresponder às expectativas de seus consumidores na oferta de produtos e serviços, com preços justos. É relevante mencionar que esse é um desafio constante, mostrando-se é necessário encontrar o equilíbrio nos pilares da sustentabilidade (Elkington, 2013).

As empresas, como parte da sociedade, têm uma função social, uma forma de conduzir os negócios levando em conta o planejamento de suas atividades, de seus interesses e dos colaboradores, consumidores, fornecedores, comunidade e governo, tendo em vista o contexto socioambiental e superando a visão de que representa apenas a externalidade e oportunidades de negócio (JR; Sampaio; Fernandes, 2016; Schreiber; Silva, 2024).

Considerando o aspecto social, Lima e Ribeiro (2020) destacam que se espera ações práticas empresariais voltadas para debates sociais, com o intuito de geração de empregos, investimentos em educação e cultura além de cursos e treinamentos. Para as partes interessadas, é importante que cause impacto não somente no ambiente interno da organização, como colaboradores e fornecedores (Silva *et al.*, 2020).

Ainda considerando o exposto, destaca-se que é um desafio para as organizações encontrarem formas de aperfeiçoar seu desempenho à medida que estabelecem os melhores métodos para gerar lucro, considerando os fatores sociais e ambientais em todas as fases de suas atividades. Para alcançar a excelência tanto no desempenho social quanto no financeiro simultaneamente como objetivo principal da empresa, significa aprender a lidar com novas metodologias de forma a melhorar o desempenho social e ambiental (Munk, 2014; Sander; Schreiber; Vier, 2024).

Pode se afirmar, contudo, que a sustentabilidade na indústria 4.0 surgiu como um desafio significativo, e que fará parte da competitividade da organização, indo não só em busca da

matéria-prima, mas sim de todo o processo para obter o produto, para se tornar um modelo de gestão nas empresas (Glavič; Lukman, 2007; Kagermann; Wahlster; Helbig, 2016; Schreiber et al., 2024).

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CALÇADOS

Entre os setores industriais brasileiros encontra-se a indústria calçadista, a qual foi responsável por 266 mil empregos formais em 2021 em aproximadamente 5,4 mil empresas fabricantes de calçados em todo o país. Sendo assim, o Brasil produziu 806,3 milhões de pares de calçados, e destes, 54,3% no Nordeste, 23,8% no Sul e 21,1% no Sudeste, distribuídos em 10 Estados (Ceará, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Este volume coloca o Brasil entre os principais produtores de calçados do mundo, ocupando a quinta posição do ranking mundial (Pimenta; Périco; Sindelar, 2023).

Dentro da indústria calçadista diferentes tipos de processo de produção têm formas específicas de organizar cada uma das atividades. O processo de produção de calçados divide-se em setores que pouco variam entre as diferentes empresas calçadistas. O Quadro 1 apresenta as principais características de cada uma das etapas do processo de fabricação do calçado.

Quadro 1 – Etapas do processo de fabricação do calçado

Etapas	Características
Modelagem ou <i>Design</i>	Etapa mais importante da linha de produção, em que o calçado é criado, seu estilo é definido e, também, são escolhidos os materiais. Nessa etapa são adotadas ferramentas informatizadas e desenho manual.
Corte	Etapa na qual são cortados os materiais, principalmente couros e laminados sintéticos, em moldes cujas dimensões foram especificadas na etapa de modelagem. Essa operação pode ser executada de forma manual, com o uso de facas, ou com o auxílio de prensas hidráulicas (balancins) e suas navalhas, ou, ainda, com uso de equipamentos informatizados, como o corte a laser ou por jato d'água.
Pespointo	Etapa em que as peças que compõem o cabedal, após cortadas, são separadas em lotes para passarem pelos processos de chanfra, dobra, picote ou serem coladas. Etapa de difícil automação, essencialmente manual. Geralmente usa-se mão de obra terceirizada.
Costura	Método utilizado para conferir segurança, firmeza e estética ao modelo. Etapa de difícil automação. Necessita de mão de obra intensiva, geralmente terceirizada.
Montagem e Acabamento	Etapa na qual é montado o solado, unido ao cabedal por meio de costura ou colagem. Nessa etapa o calçado pronto passa por inspeção, quando são dados os últimos retoques e corrigidos eventuais problemas.

Fonte: Adaptado de Corrêa, Gianesi e Caon (2009) e Prochnik (2005).

Os padrões dos calçados são transferidos para os materiais e na indústria calçadista os insumos passam por transformações em fases bem definidas. As etapas são determinadas em razão do material de confecção, que pode estar em quatro categorias básicas: injetado, sintético, couro e têxtil (Guidolin; Costa; Rocha, 2010). Volume e variedade de produtos representam importantes fatores para compreender tipos de processos em operações de manufatura (Slack; Chambers; Johnston, 2002).

Na montagem, os diferentes componentes do calçado, como partes superiores, solas e palmilhas, são unidos, um processo que geralmente envolve a costura, colagem ou uma combinação de ambas. Schreiber e Silva (2024) afirmam que essa divisão do processo em etapas claras e distintas facilita o deslocamento geográfico, à medida que viabiliza a execução externa, o que for mais vantajoso.

O impacto maior destas novas tecnologias, contudo, não ocorreu em todas as fases do processo produtivo, sendo mais direcionado para as etapas de modelagem, corte e montagem, as demais continuam relativamente mais intensivas em mão de obra (Guidolin; Costa; Rocha, 2010). Analisando as etapas do processo produtivo, percebe-se que não existe um padrão único a ser utilizado com relação ao sistema de linhas de montagem, podendo este variar em esteira de montagem.

No Brasil 93% das indústrias calçadistas são formadas por microempresas e empresas de pequeno porte, que sofrem restrições de diversos tipos, especialmente de capital, o que dificulta a modernização de processos operacionais e de modelos de gestão. Nas indústrias de maior porte, contudo, é possível constatar que a indústria calçadista evoluiu muito em tecnologia de produção e de produtos, com várias barreiras quebradas e os processos de fabricação de calçados estão cada vez mais avançados e empresas brasileira conseguem, assim, comercializar seus produtos em outros países (Abicalçados, 2024).

As atividades desenvolvidas pelo setor calçadista, porém, são altamente poluentes e na maioria das empresas as ações voltadas para a sustentabilidade concentram-se em criar medidas para reduzir o impacto causado ao meio ambiente envolvendo, majoritariamente, o reaproveitamento dos materiais e o descarte correto dos resíduos (Pimenta; Périco; Sindelar, 2023; Cardozo, 2021). Existem, no entanto, iniciativas valiosas que podem corroborar o aceleramento dessas mudanças tão necessárias no setor. Pimenta, Périco e Sindelar (2023) destacam três práticas observadas nas indústrias calçadistas: o emprego da gestão ambiental nas empresas; a introdução de conceitos de ecodesign nos processos e produtos, incluindo a busca pela ecoeficiência, e a adoção da logística reversa à cadeia produtiva, aliada à seleção mais eficiente de materiais, gerando sustentabilidade para as empresas, a sociedade e o meio ambiente.

METODOLOGIA

Este estudo adotou como estratégia um estudo de caso único, abordagem qualitativa e descritiva, coleta de dados empíricos por meio de entrevistas, documentos e observação sistemática participante (Flick, 2012; Yin, 2015). O levantamento dos dados da pesquisa foi realizado por meio de perguntas (para as entrevistas) e *checklist* de itens (levantamento documental e observação sistemática participante), elaboradas a partir da revisão teórica, com o intuito de obter as informações acerca do que as pessoas conhecem, esperam e desejam em relação às evoluções da indústria 4.0 e seus impactos na sustentabilidade (Yin, 2015).

Conceitualmente, o método pode ser considerado um conjunto de etapas e técnicas utilizadas para se coletar dados. Sendo assim, o método fornece os meios para se alcançar o objetivo proposto, ou seja, são as ferramentas utilizadas na pesquisa a fim de responder uma questão (Marconi; Lakatos, 2003; Gil, 2002). O método científico é considerado fundamental, pois oferece uma abordagem sistemática e objetiva para investigar, coletar dados, analisar informações e chegar a conclusões embasadas em evidências, para garantir a validade, confiabilidade e replicabilidade da pesquisa.

O objeto de estudo desta pesquisa é a empresa FL calçados (denominação fictícia), indicada pela Abicalçados como referência setorial na adoção de novas tecnologias. Foram coletados dados empíricos, por meio de três entrevistas em profundidade. A empresa foi fundada em setembro de 1977 e atualmente conta com três unidades, uma matriz e duas filiais, uma em Nova Hartz e outra em Sapiranga, produzindo mais de 5 milhões de pares por ano. Seus produtos são vendidos em mais de 16 mil lojas e a empresa tem aproximadamente 2.500 colaboradores diretos e 600 indiretos. Além disso, mantém relações com mais de cem fornecedores que se destacam pela relevante contribuição e colaboração para o sucesso e crescimento da empresa, os quais são considerados parceiros estruturantes do modelo de negócios, possibilitando a inovação e adoção de práticas sustentáveis.

Participaram da pesquisa três pessoas com idades entre 38 e 60 anos, do sexo masculino, ocupantes de cargos de gestão, que foram indicados pela empresa com base no notório conhecimento e experiência em operações de fabricação de calçados, e se disponibilizaram a responder às questões e participar da pesquisa. Os entrevistados foram identificados como E1, E2 e E3. As entrevistas foram realizadas nos meses de julho e agosto de 2023, nas dependências da organização, mediante agendamento prévio, sendo gravadas em áudio e depois transcritas, no prazo de até 72 horas após a realização da entrevista. O roteiro foi constituído de oito perguntas: 1 – Como a adoção das tecnologias da indústria 4.0 pode contribuir para a redução do consumo de recursos naturais na indústria calçadista?; 2 – Quais são os possíveis benefícios ambientais resultantes da instituição de tecnologias como a Internet das coisas (IoT) e a automação na organização?; 3 – Quais são os potenciais impactos positivos da aplicação de tecnologias de rastreamento e monitoramento na cadeia de suprimentos da indústria calçadista em relação à sustentabilidade?; 4 – De que forma a realidade virtual e a simulação computacional podem contribuir para a redução do desperdício de materiais na fabricação de calçados?; 5 – Como a tecnologia 4.0 está sendo aplicada na indústria para promover a sustentabilidade?; 6 – Quais os desafios enfrentados pela organização na adoção da tecnologia 4.0?; 7 – Quais os benefícios socioambientais da introdução de tecnologias como a impressão 3D na indústria calçadista?; 8 – De que maneira a adoção de sistemas inteligentes de gestão de resíduos pode ajudar a indústria calçadista a reduzir o impacto ambiental?

Além disso, no período mencionado foram realizadas observações nas dependências da empresa. Não foi firmado TCLE, pela orientação do Comitê de Ética da universidade à qual os autores estão vinculados.

As transcrições foram apresentadas aos entrevistados e depois de validadas por eles, submetidas à análise de conteúdo, seguindo os procedimentos recomendados por Bardin (2011). Os resultados evidenciaram as experiências e desafios da indústria 4.0, na indústria calçadista, bem como a empresa em estudo poderia aproveitar as oportunidades oferecidas pela tecnologia e analisar e avaliar a real necessidade de capacitação para lidar com as decorrentes mudanças e inovação de processos e produtos sustentáveis.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os dados extraídos desta pesquisa têm como foco analisar os benefícios potenciais a partir da adoção das tecnologias da indústria 4.0 para sustentabilidade na indústria calçadista, especialmente do Estado do Rio Grande do Sul, onde a empresa opera, considerando as

dimensões de análise como a eficiência operacional, a qualidade dos produtos e a redução do impacto ambiental. Os dados empíricos foram coletados a partir de entrevistas com três gestores responsáveis por setores diferentes na empresa (nível gerencial), os quais foram identificados por E1, E2 e E3, além de levantamento documental e observação sistemática. Os tópicos abarcaram temas como as experiências e desafios da indústria 4.0 na indústria calçadista, como as empresas podem aproveitar as oportunidades oferecidas pela tecnologia e análise da necessidade de capacitação para lidar com as decorrentes mudanças e inovação de processos e produtos. As contribuições evidenciadas pela adoção das tecnologias da indústria 4.0 no processo de fabricação de calçados, para promover práticas sustentáveis, consistem em categorias a saber: (i) redução do consumo de recursos naturais; (ii) IoT e automação; (iii) rastreamento em cadeia de suprimentos; (iv) redução de desperdícios de insumos utilizando realidade virtual e simulação computacional; (v) gestão de resíduos utilizando sistemas inteligentes.

Inicialmente questionou-se sobre se a contribuição das tecnologias 4.0 aplicadas à indústria calçadista podem reduzir o consumo de recursos naturais, em alinhamento com Schreiber *et al.* (2024) e Schreiber e Silva (2024). Os resultados apresentam a afirmativa de todos os entrevistados, os quais argumentaram que as tecnologias 4.0 aplicadas à indústria calçadista podem impactar positivamente na redução do consumo de recursos naturais, tendo destaque para o E1, que afirmou: “A implantação das novas tecnologias da indústria 4.0 realmente pode trazer benefícios para a sustentabilidade das empresas, pois está ligada diretamente a aspectos de economia de recursos naturais, como de redução de água, energia elétrica e emissão de gases poluentes”.

O trecho extraído da entrevista com o E1 está alinhado com a literatura científica revisada, em especial de Gonçalves (2019) e Sehnem *et al.* (2023), que afirmam que a sustentabilidade relacionada às organizações iniciou-se atrelada ao conceito de gestão sustentável, entendendo-se que os resultados positivos gerados por uma empresa estão relacionados à forma de produção e desenvolvimento dos seus produtos e serviços. Quando se fala em indústria 4.0 atrelada à temática da sustentabilidade, observa-se que o impacto provocado pelo uso eficiente dos recursos naturais promove a redução do seu consumo. A eficiência industrial está contribuindo para a geração de menor quantidade de resíduos possíveis, considerando o uso das novas tecnologias, justificando-se, portanto, a sua adoção, em vista da crescente preocupação com a questão ambiental (Reis; Scoton, 2023). A indústria 4.0, dessa forma, oferece vantagens relacionadas ao desperdício de materiais, controle de estoque, redução da emissão de resíduos e poluentes, além da utilização de uma fonte alternativa de energia (Gonçalves, 2019).

Cardoso (2016) complementa afirmando que a aplicação dos processos relacionados à indústria 4.0 e a sua conexão gerada é importante na efetividade dos processos produtivos, impedindo a ocorrência de restrições de capacidade e geração de desperdícios, relacionados com os pontos que podem ser resolvidos pelo uso de maquinário (Rosa Junior; Sardinha; Campos, 2022). A indústria 4.0 possibilitará uma produção mais enxuta, fomentando a redução de estoques e reduzindo desperdícios (Cardoso, 2016; Magaldi; Salibi Neto, 2018).

Na sequência questionou-se sobre os benefícios da adoção das tecnologias como a IoT e da automação de processos na indústria. Os entrevistados afirmaram, e os dados oriundos do levantamento documental confirmaram, que há diversos benefícios relacionados à introdução da IoT e da automação de processos, com destaque para a melhoria da produtividade, do

ambiente de trabalho, menor risco aos trabalhadores, flexibilização das funções, transferência de tarefas rotineiras para processos automatizados, uso eficaz de recursos, redução de desperdícios, entre outros listados. Destaca-se a fala de E2, que afirmou: “Os principais benefícios ambientais resultantes da implementação de tecnologias como IoT e automação são o uso eficaz dos recursos e a eliminação do desperdício. O elemento-chave é o controle sobre o tempo de vida do produto e de seus insumos. Em processos puramente humanos onde há grande variedade e quantidade de produtos e unidades logísticas envolvidas é comum a perda pela gestão ineficiente. Em certos cenários o humano acaba movimentado, por exemplo, uma unidade logística contendo um produto recente em detrimento ao produto mais antigo e por vencer”.

Considerando o teor da literatura revisada, especialmente de Lima e Gomes (2020), a indústria 4.0 propicia o surgimento de processos inovadores, relacionados à organização da produção, fomentando soluções e valor agregado aos serviços prestados, por meio do uso de procedimentos tecnológicos e eficientes (Lima; Gomes, 2020). Ocorre ainda a modificação da dinâmica do trabalho, na substituição de atividades, que agora é realizada por máquinas, sem que surja uma problemática relacionada à repetitividade da atividade, objetivando transformar o sistema industrial em um sistema inteligente, a exemplo do uso do IoT (Shahid; Aneja, 2017). Essa condição relacionada à indústria 4.0 pode contribuir para a introdução de modificações e na alteração no cenário laboral, bem como na repercussão na economia global (Kusma; Chirolì, 2020).

Para Freitas (2018) e Schreiber *et al.* (2024), a tecnologia da indústria 4.0, traz elementos digitais ao ambiente físico, facultando um modelo de produção mais eficaz e distribuição de serviços e produtos, zelando pela segurança e controle gerencial. Um desses elementos refere-se ao IoT, uma integração de sistemas inteligentes, representando grande importância para a indústria 4.0 (Freitas, 2018).

Em relação ao questionamento sobre os impactos positivos com a introdução das tecnologias de rastreamento e monitoramento da cadeia de suprimentos da indústria calçadista no que respeita à sustentabilidade, tanto os dados empíricos oriundos do levantamento documental como de observação alinham-se com a fala de E2, que afirmou:

A rastreabilidade é essencial para lastrear a sustentabilidade, com a rastreabilidade é possível conhecer a origem de todos os elementos envolvidos na manufatura, por exemplo, uma indústria de calçados ao fabricar um calçado de couro contando com um fornecedor que serialize e informe a rastreabilidade de cada pele entregue irá acrescentar essa informação à rastreabilidade do calçado demonstrando ao consumidor que o produto adquirido por ele foi fabricado com procedência dentro das normas.

Os outros entrevistados complementaram que a rastreabilidade traz benefícios para a cadeia de suprimentos do setor, com economia de recursos, monitoramento dos processos logísticos, matérias-primas, entre outros. Conforme salientado e discutido na literatura por Chessio (2019) e Sanches, Carvalho e Gomes (2018), a tecnologia relacionada ao rastreamento e monitoramento nas suas atividades gera como resultado uma gestão mais eficiente com processos otimizados, por meio da adoção de estratégias integradas relacionadas aos objetivos, impedindo diversos pontos que podem ser negativos para a indústria, como o desperdício (Chessio, 2019). Este autor (2019) destaca a relevância da rastreabilidade para o reconhecimento das informações relacionadas ao que se desenvolve, agregando valor ao processo e

umentando o nível de confiabilidade do cliente para com a empresa. Essa prática, no entanto, ainda carece de esforços contínuos, no âmbito organizacional, não encontrando respaldo em processos decisórios. A rastreabilidade relacionada ao uso de tecnologias vem apresentando-se como uma crescente demanda e precisa ser amplamente discutida, apesar da existência do Sistema de Gestão Ambiental e avaliação periódica do Ciclo de Vida do Produto (Chessio, 2019).

Outro questionamento foi em relação à forma como a realidade virtual e simulações podem contribuir na redução de desperdícios na fabricação de calçados. Em relação ao emprego destas tecnologias o E1 afirmou:

São contribuições destas ferramentas a atenuação de custos, pois através de equipamentos vinculados a essas tecnologias os processos produtivos são mais ágeis e direcionam principalmente a redução do desperdício de materiais, bem como a redução de retrabalho e do estoque; aumento da produtividade, da eficiência do processo e da segurança de equipamentos, melhoria na qualidade dos produtos.

Os outros entrevistados também destacaram que são muitas as situações que podem minimizar desperdícios de materiais por meio da simulação virtual, como redução de materiais, retrabalhos, estoque, melhoria da produtividade, dentre outras. Como pontuado pelo Entrevistado 1 e defendido por Bataglini (2021) e Rosa Júnior, Sardinha e Campos (2022), a tecnologia 4.0 está relacionada ao uso da tecnologia e ao controle da produção, baseado na utilização de equipamentos inerentes ao mundo virtual, como o uso do componente 3D, que contribui para a melhoria dos processos, na transformação das seções e no que é ofertado ao cliente (Bataglini, 2021; Rosa Júnior; Sardinha; Campos, 2022). Bataglini (2021) afirma ainda que o uso da tecnologia atrelada à realidade virtual mostra-se como uma evolução tecnológica, transporta as necessidades e entregas de uma empresa para o ambiente virtual, possibilitando interações no mesmo, facilitando a interação extra ambiente físico, o que pode auxiliar na propagação de produtos e na geração de vendas.

Quanto à contribuição da tecnologia 4.0 na sustentabilidade na indústria, todos os entrevistados afirmaram que ela facilita a concepção de práticas que asseguram a sustentabilidade do negócio e de meio ambiente, como foi destacado por E3:

Sistema para Detecção de Chamas em Máquinas de Corte a Laser, é outra tecnologia aplicada para promover a sustentabilidade, onde um sensor para a detecção de chamas em máquinas de cortes a laser, equipadas com CO₂, que comprova que sua utilização incrementa a segurança do equipamento, podendo o sistema ser aplicado em qualquer local onde haja probabilidade de incêndios em um determinado ponto.

Os outros entrevistados manifestaram a concordância, afirmando que as tecnologias 4.0 estão contribuindo para a sustentabilidade, principalmente em relação à automação de processos. Carvalho (2022) e Pimenta, Périco e Sindelar (2023) observam que o ambiente empresarial e sua relação com a sustentabilidade buscam a produção de produtos e serviços, atrelada à manutenção dos recursos humanos e naturais. As tecnologias relacionadas à indústria 4.0 geram benefícios para a sustentabilidade, envolvendo uma relação social, econômica e ambiental (Carvalho, 2022). Há ainda a otimização do uso da matéria-prima, bem como a consolidação de um modelo de produção mais adequado em toda sua cadeia de valor (Sanchez; Carvalho; Gomes, 2018). Vale destacar, no entanto, que a sustentabilidade atrelada à indústria 4.0 demanda mudanças estruturais na organização e sociedade, que se relacionam ao consumo

consciente, à preservação para futuras gerações e à manutenção do equilíbrio ecológico, visando a garantir o lucro de forma sustentável (Silva *et al.*, 2020).

Reis e Scoton (2023) complementam que a sustentabilidade como conceito de gestão sustentável atua como um elemento de medição de desempenho da organização, ditando valores e envolvendo diferentes meios. Para Silva *et al.* (2020) e Sander, Schreiber e Vier (2024) essa condição está relacionada ao progresso humano, às demandas que vão surgindo e perpetuando os recursos naturais, controlando o surgimento de impactos causados pelo uso das tecnologias existentes.

Em relação aos desafios enfrentados pela empresa para introduzir as tecnologias 4.0, os entrevistados relacionaram os principais, com destaque para a falta de mão de obra qualificada, tanto para instituir quanto gerenciar e utilizar as novas tecnologias, falta de suporte, principalmente por serem tecnologias recentes, falta de pesquisas sobre o tema, entre outros fatores. Nesse sentido o E2 comentou:

Os desafios enfrentados envolvem três pilares: o primeiro envolve os sistemas de identificação utilizados para identificar os recursos (locais, pessoas, ativos, insumos, energia, ordens de produção, ordens de compra, notas fiscais, etc.), neste pilar a interoperabilidade pede pela padronização nos identificadores utilizados, uma etiqueta de uma unidade logística, o mapeamento dos processos e que a informação flua entre os elos de forma automática utilizando, como no exemplo do primeiro pilar, protocolos padronizados e conhecidos pelas normas pré-estabelecidas.

Albertin *et al.* (2017) e Schreiber *et al.* (2024) afirmam que os conhecimentos relacionados às tecnologias digitais ainda estão crescendo em seus aspectos relacionados à discussão na indústria, destacando-se como um desafio, relacionado a custo e estratégias. Nesse sentido, são muitas as organizações que ainda não reconhecem a forma adequada de gerenciá-lo, principalmente em relação às mudanças significativas causadas por ele. Os autores entendem, também, que os desafios da indústria 4.0 estão relacionados com a dificuldade de adoção de novas tecnologias, à integração digital das empresas na cadeia produtiva, à necessidade de customização, à formação profissional, o que demanda o apoio de políticas industriais.

Quanto aos benefícios socioambientais gerados com tecnologias, como a impressão 3D na indústria calçadista, os entrevistados entendem que a sua utilização vem transformando o processo de criação de calçados, como também o processo de como serão produzidos e consumidos. A impressão tridimensional trouxe benefícios para o meio ambiente, conscientizando usuários e a indústria a utilizar matéria-prima de baixo impacto ambiental ou reutilizável. Destaca para a entrevista do E3, que afirma que:

A criação de um design sustentável está no topo da agenda global e a impressão 3D é um processo que permite criar modelos físicos a partir de um arquivo digital 3D. É dentro deste contexto que surgiu o interesse em mostrar uma alternativa na produção de um calçado com menos impacto ambiental, seja no material utilizado, seja no processo utilizado, pois é grande a redução de resíduos sólidos gerados na utilização deste processo, diferentemente do processo tradicional, que gera muitos resíduos não recicláveis e que são destinados a coprocessamento (queima na indústria cimenteira).

Por fim, analisou-se a possibilidade de redução de resíduos e do impacto ambiental pela indústria por meio de sistemas inteligentes de gestão. Nesse sentido, tanto os entrevistados como os dados do levantamento documental e observação convergiram, destacando a

redução dos impactos ambientais, auxílio na criação de materiais inovadores, controles, entre outros fatores que, automaticamente, reduzem desperdícios e o impacto ambiental. Conforme afirmado pelo E2, “A tecnologia é ferramenta, a indústria calçadista pode e deve puxar a cadeia inteira, em especial fazer com que a sua política de ESG (sigla que significa Ambiental, Social e Governança) chegue a todos os envolvidos, a redução no impacto ambiental será maximizada”.

De acordo com Schreiber *et al.* (2024), a destinação errônea de resíduos causa prejuízos ao meio ambiente e prejudica o desenvolvimento da empresa, visto que o gerenciamento de resíduos auxilia na redução dos custos, principalmente na indústria calçadista, em relação à reinserção das sobras e dos materiais descartados, direcionando-os à reciclagem. A gestão de resíduos tem ampla importância, mesmo que ainda seja um desafio. Schreiber *et al.* (2024) ressaltam, ainda, que os resíduos podem ser reinseridos no processo produtivo, devendo evitar-se descartá-los de forma inadequada, mostrando-se importante fomentar a adoção de práticas autossustentáveis para os processos produtivos, por meio de ações que reduzam os impactos sobre o meio ambiente, a exemplo da existência dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA).

Foi identificado um conjunto de aplicações na organização para promover a sustentabilidade. Os dados empíricos oriundos das três fontes (entrevistas, levantamento documental e observação) alinham-se com o teor da fundamentação teórica realizada, ao evidenciar que uma das tecnologias mais utilizadas é a automatização dos processos industriais, em que todos os calçados são monitorados via RFID (chips de radiofrequência instalados nas formas dos calçados ou internamente no próprio calçado) que são lidos por sensores instalados ao longo da linha de produção. Por meio desta tecnologia pode ser acompanhado e rastreado em tempo real o processo de confecção dos calçados (FL Calçados, 2021).

Sistema para Detecção de Chamas em Máquinas de Corte a Laser é outra tecnologia aplicada para promover a sustentabilidade, na qual um sensor para a detecção de chamas em máquinas de cortes a laser, equipadas com dióxido de carbono, comprova que sua utilização incrementa a segurança do equipamento, podendo o sistema ser aplicado em qualquer local onde haja probabilidade de incêndios em um determinado ponto (Swami; Pandit, 2013). A sustentabilidade na utilização de computação em nuvem também foi comentada, visto que o mesmo é hospedado em um centro de dados disponível para acesso *on-line* todo o tempo por diversos dispositivos. Os resultados obtidos demonstraram que, entre os principais benefícios do uso de sistemas de gestão de informações, a empresa pode obter segurança no armazenamento de informações e redução de custo no investimento de infraestrutura de Tecnologia da Informação (FL Calçados, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo tinha como objetivo analisar de que forma as tecnologias da indústria 4.0 podem contribuir para a promoção de práticas sustentáveis em processo de fabricação de calçado. A análise evidenciou diversas facetas dessas tecnologias e de impacto nas práticas industriais, destacando uma transformação significativa que pode moldar positivamente o futuro da indústria calçadista em termos de eficiência, transparência e responsabilidade. Desta forma foi possível confirmar o pressuposto formulado para este estudo, que consiste em identificar benefícios que as tecnologias da indústria 4.0, quando adotadas no processo de fabricação de calçados, podem contribuir para a redução do impacto ambiental.

As implicações deste estudo justificam-se na medida em que contribui para o tema, cada vez mais discutido, não apenas em meios acadêmicos, mas também no âmbito corporativo e na sociedade em geral, que é o desenvolvimento sustentável para a indústria calçadista. Este estudo destaca o potencial de transformação que a adoção das tecnologias da indústria 4.0 pode oferecer em termos de eficiência operacional e práticas sustentáveis.

Apesar das promissoras implicações das tecnologias da indústria 4,0 para a sustentabilidade na indústria calçadista, é imperativo reconhecer os desafios que podem surgir durante o processo de adoção. Questões como os custos iniciais de introdução, a necessidade de capacitar a equipe e a integração de sistemas complexos exigirão atenção cuidadosa.

Em resumo, este estudo demonstrou que a indústria 4.0 oferece um caminho claro para a transformação sustentável na indústria calçadista. A combinação de eficiência aprimorada, processos personalizados e responsabilidade ambiental pode resultar em um setor mais competitivo e resiliente. À medida que a indústria calçadista continua a evoluir, a integração das tecnologias da indústria 4,0 não deve ser vista apenas como uma opção, mas como uma necessidade essencial para garantir a viabilidade a longo prazo e a harmonia com os princípios da sustentabilidade. Nesta pesquisa foi possível identificar e analisar os benefícios potenciais das tecnologias da indústria 4.0 para promover a sustentabilidade na indústria calçadista, e embora existam desafios e áreas para futuras pesquisas, representa um passo importante na compreensão de um modo geral e da importância de um futuro mais sustentável.

O estudo oferece, por meio de seus resultados, contribuições tanto para o avanço do conhecimento teórico como para a prática gerencial. Para o avanço do conhecimento destaca-se o aprofundamento da discussão, com base em evidências empíricas, acerca de adoção das tecnologias da indústria 4.0 em ambiente operacional de um setor industrial tradicional, como fabricação de calçados, com escassa produção científica nesta perspectiva. Já para a prática gerencial o estudo oferece evidenciação de elementos estruturantes do processo operacional que podem se beneficiar com a adoção de tecnologias da indústria 4.0, resultando na redução do impacto ambiental, além de maior eficiência produtiva.

Como limitações da pesquisa destaca-se o número de entrevistados, bem como a aplicação do estudo em apenas uma empresa do ramo calçadista, fato que abre caminhos para novas pesquisas e descobertas que inspirem as ações práticas e que impulsionem positivamente a transformação dessa indústria.

REFERÊNCIAS

- ABICALÇADOS. *Relatório setorial indústria de calçados 2024*. Disponível em: Abicalçados - Publicações (abicalcados.com.br). Acesso em: 17 ago. 2024.
- ALBERTIN, M. R.; ELIENESIO, M. L. B.; AIRES, A. D. S.; PONTES, H. L. J.; ARAGÃO JUNIOR, D. P. Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 26., 2017, Bauru. *Anais [...]*. Bauru, SP, 8 a 10 nov. 2017.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Ed. revista e ampliada. São Paulo, SP: Edições 70, 2011.
- BARBORA, G. D. A. S. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. *Revista Visões*, n. 1, p. 179-182, 2008.
- BATAGLINI, W. V. *Desenvolvimento de um instrumento para diagnóstico de maturidade das tecnologias da indústria 4.0 no setor têxtil e de confecção*. 2021. 119 fls. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. Orientador Antônio Augusto Ulson de Souza. Coorientadoras Fernanda Steffens e Ana Julia Dal Forno, Blumenau, SC, 2021.

- BIRKEL, H.; VEILE J.; MULLER, J.; HARTMANN, C.; VOIGT, K. Development of a Risk Framework for industry 4.0 in the Context of Sustainability or Established Manufacturers. *Sustainability*, v. 11, n. 384, 2019.
- BUCCIOLI, A. A. B.; ZORZAL, E. R.; KIRNER, C. Usando realidade virtual e aumentada na visualização da simulação de sistemas de automação Industrial. In: *SVR2006-VIII Symposium on Virtual Reality*, 2006.
- CARDOZO, C. A. G. a influência da indústria 4.0 na sociedade e no meio ambiente. *Revista Brasileira de Mecatrônica*, v. 4, n. 1, p. 44-57, 2021.
- CARDOSO, M. O. *Indústria 4.0: a quarta revolução industrial*. 2016. 45 fls. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Curitiba, PR, 2016.
- CARVALHO, A. P. A relação da indústria 4.0 com a sustentabilidade: uma revisão. *e-TECH*, Florianópolis, v. 15, n. 2, 2022.
- CHESSIO, M. S. *Modelo de rastreabilidade das operações de transporte aplicado a um grupo de empresas metalúrgicas localizadas no sul do Brasil*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Bento Gonçalves, RS, 2019.
- CILLO, V.; PETRUZZELLI, A. M.; ARDITO, L.; DEL GIUDICE, M. Understanding sustainable innovation: A systematic literature review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, v. 26, n. 5, p. 1.012-1.025, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/csr.1783>
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção: MRPII/ERP – conceitos, uso e implantação: base para SAP, Oracle Applications e outros softwares integrados de gestão*. São Paulo: Atlas, 2009. 434 p.
- COSTA, C. da; SCHREIBER, D.; FIGUEIRÓ, P. S.; VIANA, L. P. Diferenciando Marketing Verde de Greenwashing com base em dados do Banco do Brasil S.A. e Natura & Co. *Comunicação e Sociedade*, v. 45, p. e024002, 2024.
- DE AGUIAR S., T.; QUIRINO, J. M. O uso da prototipagem por impressão 3d e seus benefícios na engenharia mecânica para indústria ou graduação. *Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula*, v. 3, n. 2, p. 135-154, 2020.
- DUJIN, A.; GEISSLER, A.; H. D. *Think Act Beyond Mainstream Industry 4.0. The new industrial revolution. How Europe will Succeed*, n. Mar., p. 1-22, 2014.
- EKINS, P.; SANDRINE, D.; LISA, F.; CARL, R. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics*, v. 44, n. 2-3, p. 165-185, 2003.
- ELKINGTON, J. Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. *Choice Reviews On-line*, v. 36, n. 7, p. 36-3997-36-3997, 2013.
- FEIL, A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. *FGV EBAPE*, v. 14, n. 3, p. 674-681, jul./set. 2017.
- FL CALÇADOS. *Intranet Institucional*, 2021. Disponível em: https://www.instagram.com/accounts/login/?next=https%3A%2F%2Fwww.instagram.com%2Ffl25calcados%2F&is_from_rle. Acesso em: 22 ago. 2023.
- FLICK, Uwe. *Introdução à metodologia de pesquisa*. Porto Alegre, RS: Penso, 2012.
- FREITAS, A. P. P. *Análise bibliométrica da produção científica sobre indústria 4.0*. 2018. 28 fls. Trabalho (Conclusão de Curso em Administração) – Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Gestão e Negócios – FAGEN, Uberlândia, MG, 2018.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GLAVIČ, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 18, p. 1.875-1.885, 2007.
- GONÇALVES, Y. P. *Contribuições da indústria 4.0 nas operações sustentáveis*. 62 fls. Trabalho (Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, MG, 2019.
- GUIDOLIN, S.; COSTA, A.; ROCHA, E. Indústria calçadista e estratégias de fortalecimento da competitividade. *BND S Setorial*, n. 31, p. 147-184, 2010.
- HORNE, J.; FICHTER, K. Growing for sustainability: Enablers for the growth of impact startups – A conceptual framework, taxonomy, and systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 349, p. 131.163, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131163>
- INBRAPE. Disponível em: <https://inbrape.ind.br/4-motivos-para-tornar-a-sua-industria-mais-sustentavel-hoje/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

- JR., A. P.; SAMPAIO, C. A. C.; FERNANDES, Valdir. *Gestão empresarial e sustentabilidade*. São Paulo: Editora Manole, 2016. 1.138 p.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Frankfurt: Acatech, Apr. 2013. p. 13-78.
- KUSMA, V. V.; CHIROLI, D. M. G. A indústria 4.0: uma revisão sobre os impactos e as modificações na dinâmica de trabalho do modelo atual. *Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, n. 53, 2020.
- LIMA, E. M. B. A. de; RIBEIRO, A. R. B. Sustentabilidade e estratégia: uma visão sistemática da literatura. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 4, p. 324-334, 2020.
- LIMA, F. R.; GOMES, R. Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. *Rev. Bras. Inov.*, Campinas, SP, v. 19, 2020.
- LYDON, B. Industry 4.0: Intelligent and flexible production. *ISA InTechMagazine*, 2016.
- MAGALDI, S.; SALIBI NETO, J. *Gestão do amanhã: tudo o que você precisa saber sobre gestão, inovação e liderança para vencer na 4ª revolução industrial*. São Paulo: Editora Gente, 2018.
- MALTHUS, T. R. *An Essay on the Principle of Population*. Cambridge: University Press Cambridge, 2011.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no Estado de São Paulo, 1900-1920. ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 41., 2014. São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo, out./dez. 2014.
- MARTINS, V. H. C. *Impressão 3D: uma abordagem de produção mais limpa?* 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade do Minho, Portugal, 2017.
- MUNCK, L. *Gestão da sustentabilidade: um novo agir frente à lógica das competências*. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2014, 120 p.
- OLIVEIRA, L.; RAFFAELA, M.; PEDRO, B.; QUELHAS, O. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. *Production*, v. 22, n. 1, p. 70-82, 2011.
- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.
- PIMENTA, A. A.; PÉRICO, E.; SINDELAR, F. C. W. Indústria calçadista brasileira: uma análise das práticas sustentáveis de empresas certificadas pelo selo origem sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 17, n. 3, p. e03292-e03292, 2023.
- PROCHNIK, V. (coord.). *Perfil do setor de calçados*. Rio de Janeiro: Sebrae, 2005.
- ROSA JUNIOR, L. R.; SARDINHA, V. J.; CAMPOS, R. T. A indústria 4.0 com a perspectiva lean. *Revista FIBiNOVA*, v. 2, 2022.
- REIS, G. M. F.; SCOTON, E. J. Estudo sobre os impactos da sustentabilidade na Indústria 4.0. *Environmental Science & Technology Innovation*, Bauru, v. 1, n. 2, p. 151-170, 2023.
- SANCHES, B. C.; CARVALHO, E. S.; GOMES, F. F. B. A indústria 4.0 e suas contribuições à sustentabilidade. *Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada*, v. 2, n. 1, 2018.
- SANDER, S. C.; SCHREIBER, D.; VIER, M. B. Análise de possibilidades de reciclagem no processo de fabricação de calçados. *Rama – Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 17, p. 1-21, 2024.
- SCHREIBER, D.; SILVA, D. A. da. Analysis of Solid Waste Treatment Practices in Footwear Factories. *Environmental Management and Sustainable Development*, v. 13, p. 1-19, 2024.
- SCHREIBER, D.; Froehlich, C.; FEIL, A. A.; BECKER, V. J.; HAUBERT, B. Environmental Benefits Arising from the Adoption of IoT in the Furniture Manufacturing Process. *RGSA, Anpad*, v. 18, p. e06274-24, 2024.
- SEHNEM, S.; TROIANI, L.; LARA, A. C.; GUERREIRO CRIZEL, M.; CARVALHO, L.; RODRIGUES, V. P. Sustainable fashion: challenges and barriers for advancing the circular economy. *Environment, Development and Sustainability*, p. 1-22, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03247-4>
- SILVA, D. G. *A manufatura aditiva no cenário da indústria 4.0*. Trabalho (Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, SP, 2022.
- SILVA, M.; THEIS, V.; SCHREIBER, D.; FIGUEIRO, P. S. Análise da percepção dos colaboradores quanto às práticas socioambientais em uma indústria pet food. *Reunir – Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade*, v. 10, n. 3, p. 86-95, 2020.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SHAHID, N.; ANEJA, S. Internet of Things: Vision, application areas and research challenges. *Proceedings of the International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, I-SMAC 2017*, v. 10, n. 7, p. 583-587, 2017.
- SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. [S. l.]: Currency, 2017.

SCHWAB, K.; MACKENZIE, U. *A quarta revolução industrial*. 1. ed. [S. l.]: Geneva, 2016.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. *Fórum Econômico Mundial*. 2016. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>. Acesso em: mar. 2023.

SWAMI, D.; PANDIT, P. Photocatalytic Degradation of Hazardous Dye Acridine Orange Using Semiconductor Titanium Dioxide (TiO₂) Under Visible Light. *Nature Environment and Pollution Technology*, v. 12, n. 3, p. 517, 2013.

YIN, S.; JIA, F.; CHEN, L.; WANG, Q. Circular economy practices and sustainable performance: A meta-analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 190, p. 106838, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106838>

YIN, R. *Estudo de caso*. Porto Alegre, RS: Bookman, 2015.

ZANONI, B. L.; OLIVEIRA, S. A. D. Reflexões sobre o sentido de sustentabilidade em organizações. *Revista de Administração de Empresas*, v. 63, n. 2, e2022-0028, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-759020230203>.

Autor Correspondente

Cristiane Froehlich

Universidade Feevale.

Novo Hamburgo/RS, Brasil.

cristianefroehlich@hotmail.com

Este é um artigo de acesso aberto distribuído
sob os termos da licença Creative Commons.

