

Os discursos sobre a indústria 4.0 no setor de estampagem da indústria automobilística: uma revisão sistemática da literatura
Discourses about industry 4.0 for the stamping sector of the automobile industry: a systematic literature review
Discursos sobre la fabricación avanzada para el sector de la estampación de la industria del automóvil: una revisión sistemática de la literatura

Recebido: 27/01/2022 | Revisado: 19/02/2022 | Aceito: 09/04/2022 | Publicado: 23/05/2022

Isabella Carolina Conceição

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9761-3406>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: isabellacc@unifei.edu.br

Mariana Oliveira Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3104-3754>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: mahbarbosa6@unifei.edu.br

Ricardo Luiz Perez Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2641-4036>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: ricardo.luiz@unifei.edu.br

Priscilla Chantal Duarte Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5148-2423>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: priscillachantal@unifei.edu.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo levantar os possíveis impactos da manufatura avançada no setor de estampagem da indústria automobilística, por meio da análise dos discursos científicos recentes. Utiliza-se como base metodológica a revisão sistemática da literatura, trazendo uma síntese de toda evidência relevante sobre a temática. Adotou-se como teor metodológico a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for*

Systematic Reviews and Meta-Analyses) para análise quantitativa, acerca dos caminhos da manufatura avançada no setor de estampagem automobilística e os principais componentes da manufatura avançada. Avalia-se num segundo momento, para uma análise qualitativa, por meio do método de entrevista e, a partir de questionários semiestruturados, o novo cenário de manufatura avançada, que apresenta paradigmas relacionados à sua implantação no setor de estampagem de peças metálicas, na visão de empresas do setor automobilístico brasileiro, selecionadas para a investigação. Os resultados mostram que a produção técnico-científica sobre manufatura avançada e estampagem automotiva ainda é bem recente e pouco desenvolvida. Porém, pode-se ter o entendimento sobre a evolução e implantação do tema, bem como dos novos paradigmas e, conseqüentemente, novos impactos socioeconômicos decorrentes.

Palavras-chave: Estampagem; Indústria 4.0; Indústria automotiva; Manufatura avançada; Sustentabilidade.

Abstract

This work aims to raise the possible impacts of advanced manufacturing into the stamping sector of the automotive industry, through the analysis of recent scientific discourses. It is used as methodological basis the systematic literature review, bringing a synthesis of all relevant evidence on the subject. The PRISMA methodology (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) is used as methodological content for quantitative analysis, about the advanced manufacturing pathways into the automotive stamping sector and the main components of advanced manufacturing. It evaluates in a second moment, for a qualitative analysis, using the method of answering interview questions and, from semi-structured questionnaires, to show the new actual Brazilian manufacturing scenario (which presents paradigms related to its implementation in the stamping metal parts sector, in the point of view from the Brazilian automobile sector, selected for the investigation). The results show that the technical-scientific production about advanced manufacturing and automotive stamping is still very recent and underdeveloped. However, it is possible to understand the evolution and implementation of the theme, as well as new paradigms and, consequently, socioeconomic impacts.

Keywords: Advanced manufacturing; Automotive industry; Industry 4.0; Stamping; Sustainability.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo plantear los posibles impactos de la fabricación avanzada en el sector de la estampación de la industria del automóvil, a través del análisis de los discursos científicos recientes. Se utiliza como base metodológica la revisión sistemática de la literatura, aportando una síntesis de toda la evidencia relevante sobre el tema. Se utiliza como contenido metodológico la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para el análisis cuantitativo, sobre las vías de fabricación avanzada en el sector de la estampación de la automoción y los principales componentes de la fabricación avanzada. Se evalúa en un segundo momento, para un análisis cualitativo, utilizando el método de respuesta a las preguntas de la entrevista y, a partir de cuestionarios semiestructurados, para mostrar el nuevo escenario actual de la fabricación brasileña (que presenta paradigmas relacionados con su implementación en el sector de piezas metálicas estampadas, en el punto de vista del sector automotriz brasileño, seleccionado para la investigación). Los resultados muestran que la producción técnico-científica sobre la manufactura avanzada y la estampación automotriz es aún muy reciente y poco desarrollada. Sin embargo, es posible comprender la evolución e implementación del tema, así como los nuevos paradigmas y consecuentemente los impactos socioeconómicos.

Palabras clave: Estampación; Fabricación avanzada; Industria del automóvil; La industria 4.0; Sostenibilidad.

Introdução

O processo de conformação metálica se une à história humana, sendo que cada avanço no beneficiamento dos metais corresponde a uma era do desenvolvimento humano. Apesar desta origem milenar, os processos de conformação de metais são relevantes à economia face à demanda crescente de bens metálicos diversos produzidos pelas indústrias metalúrgicas. Os produtos metalúrgicos se destinam à produção de: equipamentos eletrônicos; peças estampadas e diversas para automóveis; peças e equipamentos para a indústria de máquinas-ferramenta. O domínio tecnológico de conformação metálica, atualmente, corresponde a um dos indicadores do

desenvolvimento do estágio econômico industrial de um país, contribuindo significativamente para diversos setores produtivos (DA CUNHA, 2021; AWASTHI, 2020).

Os sistemas de fabricação utilizados na indústria automotiva também têm enfrentar os desafios do século XXI. Dentre os desafios, Wrobel e Sidzina (2021) destacam: mudanças demográficas na sociedade; a permanente variabilidade dos processos tecnológicos e a crescente complexidade do produtos; padronização dos processos de fabricação; curta vida operacional dos produtos; alta flexibilidade das linhas de fabricação; implementação de tecnologia da informação e tecnologia de comunicação entre fábricas inteligentes cooperantes; autonomia das linhas de fabricação; capacidade de autocontrole de operação das linhas; rastreabilidade da qualidade e parâmetros dos produtos manufaturados, e novas propriedades de materiais usados para fabricar os produtos. A indústria 4.0 (I4) viabiliza solução para esses problemas, além disso trazer soluções para a precisão dimensional da forma e parâmetros mecânicos é seu principal objetivo (MILISAVLJEVIC-SYED *et al.*, 2019; WROBEL, 2021).

No contexto atual da I4 ou manufatura avançada, o mundo encontra-se diante de uma nova revolução industrial em curso em um ritmo mais rápido que as anteriores. A protagonista da vez é a internet, recurso que permite a adoção dos chamados sistemas inteligentes, altamente automatizados e com poder decisório com autonomia na interação máquina-máquina e homem-máquina. Ela torna comum a utilização de sistemas ciberfísicos (CPS), internet das coisas (IoT), internet dos serviços (IoS), robótica, *Big Data*, Armazenamento em nuvem e realidade aumentada. Tais tecnologias são fundamentais para o desenvolvimento de processos de fabricação mais inteligentes, que inclui dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos que são capazes de trocar informações de forma independente, acionar ações e controlar umas às outras, resultando em um ambiente de manufatura inteligente, o que permite maiores níveis de automação e flexibilidade da cadeia produtiva com o fornecimento de informações disponíveis em tempo real para fornecedores e clientes. Um ponto importante que merece destaque é a capacidade de previsão de erros através da utilização de tais tecnologias. As linhas de produção baseadas em IoT monitoram desde a aquisição do material até o despacho final das unidades de produção. Além disso, a utilização da internet das coisas, inteligência artificial, aprendizado das máquinas e digitalização exigirá e permitirá maior

flexibilidade, no plano administrativo, hierárquico e de tomada de decisões das organizações. Essas tomadas de decisão também podem ser feitas por computadores ou unidades de processamento com base no feedback recebido de dispositivos e sensores interconectados (TEIXEIRA *et al.* 2021; DA CUNHA, 2021; TEIXEIRA *et al.* 2019; PEREIRA, 2017; DAUDT, 2016).

O significado e implicações na sociedade pela implantação da indústria 4.0, de uma forma geral, são oriundas de discursos técnicos e científicos. Esses discursos foram propagados inicialmente na Alemanha e, logo depois, nos Estados Unidos da América pela manufatura enxuta e na China pelo *made in China*. Esses discursos traziam a ideia de uma nova indústria/serviços, cujas informações e dados eram interligados de forma mais otimizada, integrativa, segura e confiável, conceitos alinhados com *IoT*, o *Big Data* e o trabalho em nuvem. Nesse sentido, o conceito de I4 foi sendo construído ao longo do tempo, tendo a revolução industrial como a base para a formulação do que se entende por 4ª revolução industrial (TEIXEIRA *et al.* 2021).

Hoje, essa ideia de revolução também é alimentada pelos discursos que se centram nas discussões em torno das novidades tecnológicas abarcadas pela I4, seja para divulgar os recursos tecnológicos envolvidos, seja para discutir as mudanças nos processos industriais. A expressão “4ª Revolução Industrial”, também conhecida como “Indústria 4.0” ou até mesmo “Manufatura Avançada”, surgiu pela primeira vez em 2011, originada de um projeto de estratégias do governo alemão voltado para a tecnologia, devido à necessidade de se desenvolver uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã (FERREIRA *et al.*, 2019). Segundo Wrobel e Sidzina (2021), o termo “Indústria 4.0” descreve uma visão de fábricas inteligentes e automatizadas com sistemas de manufatura, produtos manufaturados e clientes mutuamente interconectados. Essa nova era caracteriza-se pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados. Um dos seus pontos positivos é a flexibilização na cadeia produtiva que torna possível a oferta de soluções customizadas para produção, logística e clientes. Pereira (2017) define a *IoT* como a conexão à Internet entre objetos físicos do dia a dia no chão de fábrica, pessoas, sistemas e sistemas de tecnologia da informação (*TI*), criando um ambiente de manufatura inteligente, muitas vezes referido como fábrica inteligente. Um destaque da I4 é que ela busca processos que, além de mais eficientes, sejam também mais sustentáveis. Apesar de não estar

diretamente ligado à I4, mas ao tripé da sustentabilidade, ao se otimizar a produção, tem-se um efeito na minimização de diversos resíduos e no consumo energético (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021). O tripé da sustentabilidade aliado à I4 traz consigo conceitos de sustentabilidade na produção, de modo que o lucro é aliado à responsabilidade ambiental e social (DA CUNHA, 2021; LIU, 2020; NORGATE, 2006; OLMEZ, 2016).

Um novo conceito que também vem sendo empregado nas estamparias de metais é a otimização da produção com o emprego da *Internet of Production (IoP)*. Na *IoP* tem-se o emprego de sistemas de *IoT* e arduinos (placas de prototipagem eletrônica, geralmente de código aberto), que permitem a atuação remota direta na produção a partir das informações ou variáveis de produção, de acordo com padrões ou metas estabelecidos pela empresa. No caso da linha de produção, tem-se pelo *IoP* um monitoramento preciso da condição de processos de fabricação e produção, como por exemplo: folga na peça, problemas nas ferramentas, mudança de espessura, falhas de lubrificação, entre outros. As variações dimensionais podem ocorrer em um ou mais estágios de fabricação. Esses erros se acumulam e se propagam ao longo do processo e afetam a qualidade do produto final. A degradação da qualidade impacta a produtividade e eficiência do processo e resulta no aumento do custo do processo. As mudanças na lubrificação e os mecanismos de desgaste da ferramenta também podem ser detectadas apenas analisando as variações da força de punção. Por sua vez, sinais de emissão acústica podem ser usados para detectar rachaduras durante o processo de estampagem. O objetivo da *IoP* consiste em aumentar a capacidade de fabricação para atender a uma maior eficiência além de contribuir para reduzir custos, melhorar a qualidade e aumentar as margens de lucro nas empresas de manufatura. Porém, essa tecnologia ainda apresenta desafios em sua implementação pela grande quantidade de dados envolvidos no processo e infraestruturas atuais que não são compatíveis com os modelos e sistemas de armazenamento de dados existentes (ANUSHA, 2019; NIEMIETZ *et al.*, 2019).

Tendo em vista a relevância do tema, o presente trabalho procura desenvolver uma análise sobre a difusão da manufatura avançada, suas aplicações e implicações no setor de estampagem da indústria automotiva, por meio de uma revisão sistemática da literatura com o emprego da metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) e dos resultados de entrevistas aplicadas em empresas do setor, que possuem expressiva participação no fornecimento de peças para montadoras,

respondendo à pergunta norteadora: Quais os impactos da “indústria 4.0” no setor de estampagem da indústria automobilística?

Metodologia

A etapa de revisão bibliográfica é essencial para todo trabalho acadêmico. Com ela é possível aproveitar e aplicar diferentes pesquisas, observar eventuais falhas, conhecer recursos necessários, verificar a necessidade de pesquisas adicionais, desenvolver estudos que encubram brechas, formular hipóteses, metodologias inovadoras, entre outros (GALVÃO, 2019; DOS SANTOS GERMANO, 2021).

Para a confecção do presente trabalho, utilizou-se o método de revisão sistemática da literatura e recomendação PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), desenvolvida por 29 revisores inicialmente para ciências médicas, mas aos poucos vem se estendendo para as demais áreas do conhecimento. Esta metodologia trata-se de uma síntese científica em que toda a busca da literatura se centra numa questão norteadora (Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA, 2015). Na visão de Bettany-Saltikov (2012), a revisão sistemática tem o objetivo de identificar, avaliar e sintetizar evidências de pesquisas de alta qualidade e relevantes para a literatura específica. Vale lembrar que a qualidade das pesquisas se orienta no rigor metodológico adotado, bem como a efetiva seleção por avaliação por pares. Com base na revisão sistemática da literatura: escolha do tema e elaboração da questão de pesquisa; estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de estudos; categorização dos estudos selecionados; análise e interpretação dos resultados; apresentação da revisão e síntese do conhecimento.

Para o desenvolvimento e elaboração do presente trabalho, seguiram-se as seguintes etapas, com base na revisão sistemática da literatura: (i) escolha do tema e elaboração da questão de pesquisa; (ii) estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de estudos; (iii) categorização dos estudos selecionados; (iv) análise e interpretação dos resultados; (v) apresentação da revisão e síntese do conhecimento.

A questão norteadora apresentada ao final da introdução foi elaborada a partir da estratégia PI(E)CO, para enquadramento da pesquisa, cujas letras indicam: Problema ou População, Intervenção, Indicação de interesse ou exposição, Comparação/ Procedimento

padrão e Desfechos/resultados esperados. Em um segundo momento, aplicou-se a técnica de questionário a empresas do setor para que se pudesse entender a realidade das fábricas, os discursos sobre a implantação e planejamento de implantação da I4 e tecnologias que já estão sendo empregadas.

Revisão Sistemática da Literatura

A metodologia de revisão sistemática da literatura vai além da atividade usual de produção de uma revisão de literatura como parte de um trabalho de pesquisa acadêmica. Essa modalidade de pesquisa compreende uma série de etapas, considerando todos os registros relevantes quanto à elegibilidade, avaliação de risco de viés, extração de dados e síntese qualitativa dos estudos até possivelmente meta-análises. Tal metodologia possui o objetivo de reunir todas as evidências empíricas que atendam aos critérios de elegibilidade para responder uma pergunta formulada de forma clara, e segue protocolos específicos, métodos sistemáticos e explícitos que são selecionados a partir de uma vasta busca na literatura, sobretudo, em bases de dados confiáveis com uma visão para minimizar o viés para identificar, selecionar e avaliar criticamente muitos estudos originais de um determinado tema para, por fim, resumir os resultados de todos e tirar conclusões (PRISMA GROUP, 2015).

As principais características de uma revisão sistemática correspondem a: objetivos claramente definidos; busca sistemática com foco em estudos que atendam aos critérios de elegibilidade; avaliação da qualidade dos estudos incluídos; apresentação sistemática e sínteses das características e conclusões dos estudos incluídos.

Por outro lado, a revisão de conveniência não apresenta critérios explícitos sobre como a revisão foi construída, considerando a falta de explicitação de critérios em sua elaboração, essa modalidade de revisão de literatura possui baixo nível de evidência científica. Portanto, quando comparada a revisão de conveniência, a revisão sistemática é considerada como evidência de alta qualidade. Tendo em vista que a tendência da literatura científica produzida anualmente é aumentar a uma taxa exponencial, as revisões sistemáticas se tornam cada vez mais importantes (DONATO, 2019; GALVÃO, 2019).

Metodologia ou protocolo Prisma

A qualidade das revisões publicadas ao redor do mundo é muito variável, podendo gerar muita confusão no momento do desenvolvimento de uma pesquisa de revisão sistemática. Para solucionar este problema, ferramentas têm sido desenvolvidas para auxiliar na verificação dos critérios mínimos de qualidade das revisões de literatura, antes, durante e após publicação (GALVÃO, 2019).

No presente trabalho utilizou-se a metodologia “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*”, comumente conhecida como PRISMA (2015), que trabalha com um *check list*. Este consiste em uma lista de verificação contendo 27 itens e um fluxograma de quatro etapas sobre os critérios de inclusão e exclusão de artigos, que contêm identificação, seleção, elegibilidade e inclusão. Quando devidamente seguidos, garante-se, de tal modo, uma representação efetiva do estado da arte, ao passo que se tem uma avaliação crítica de pesquisas publicadas.

Em termos conceituais do método de pesquisa empregado, o objetivo da recomendação PRISMA é auxiliar os autores a melhorarem a consistência do relato de revisões sistemáticas e meta-análises. Dessa forma, o método PRISMA apresenta-se como um método alternativo que auxilia – de modo sistematizado - na condução de pesquisas bibliográficas que melhor esclareçam temas que ainda possuem vacâncias na ciência a serem exploradas, como os impactos da indústria 4.0 no setor de estampagem automobilística. Assim, são utilizadas como ponto inicial para comprovação da necessidade de pesquisas adicionais em determinadas áreas. Para tanto, esse estudo será pautado em algumas etapas, conforme recomendação do método, que serão apresentadas: identificação, triagem e elegibilidade (HUTTON et. al., 2015).

A questão norteadora foi elaborada a partir da estratégia PI(E)CO, para enquadramento da pesquisa, cujas letras indicam: Problema ou População, Intervenção, Indicação de interesse ou exposição, Comparação/ Procedimento padrão e Desfechos/resultados esperados. Dessa forma, orientou-se o estudo por: Problema, a identificação dos possíveis impactos da indústria 4.0 no setor de estampagem automotiva, tendo em vista a restrita literatura na área e o despreparo das organizações brasileiras quanto à implementação das novas tecnologias; Indicação de interesse, verificar de que forma essas tecnologias modificaram os parâmetros da indústria, sobretudo os processos de estampagem do setor automobilístico, considerando os aspectos de fabricação,

processamento do aço e montagem. Comparação, estabelecer um comparativo entre os artigos e analisar tecnologias referentes a I4 que vem sendo implementadas no setor de estampagem automotiva; Desfechos/resultados esperados, espera-se depreender quais são os impactos da I4, bem como de que forma os discursos abordam esses impactos.

Sendo assim, a estratégia consiste em uma procura nas bases de busca de pesquisa, direcionando a questão para a obtenção descritores que apontem respostas à questão norteadora deste estudo: Quais os impactos da “indústria 4.0” no setor de estampagem da indústria automobilística? (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

Parâmetros utilizados

A próxima etapa refere-se ao refinamento de dados. Os artigos selecionados, portanto, responderam total ou parcialmente à questão norteadora, foram disponibilizados na íntegra e publicados no período de 2010 a 2021 (os últimos 10 anos). A seleção desse período se deve ao fato de que o desenvolvimento de estudos relacionados à I4, se iniciaram em 2011, o que justifica a falta de literatura acerca do tema anterior a essa data. Todos os artigos da pesquisa bibliográfica foram selecionados a partir de uma análise dos tópicos, contendo como chave de busca, formada pelos descritores sobre a temática da pesquisa, seja no título, resumo ou palavras-chave. As chaves de busca foram: *INDUSTRY 4.0 AND STEEL STAMPING* (em português: INDÚSTRIA 4.0 e ESTAMPAGEM DE AÇO. Os resultados da busca foram combinados utilizando os operadores Booleanos que são palavras que ensinam ao sistema a forma de combinar os termos da pesquisa. A chave de busca (*String* de busca Booleana) foram os termos-chave sobre a temática da pesquisa, seja no título, resumo ou palavras-chave. As chaves de busca foram: *INDUSTRY 4.0 AND STEEL STAMPING*. O operador Booleano *AND* (“E”) resulta em um valor restritivo VERDADEIRO, em que todas as palavras-chave de busca são incluídas na pesquisa. No caso dos dois valores de entrada da operação forem “VERDADEIROS”, contabiliza-se o artigo nos resultados, caso contrário o resultado é “FALSO” e este não é contabilizado nos resultados.

Selecionaram-se as seguintes bases para consulta: *Web of Science*, *Science Direct* e *IEEE*, conforme critérios de seleção da Tabela 1. A escolha se dá pela abrangência e dimensão das bases indicadas, como no caso da *Science Direct*, bem como à afinidade de

estudos, como no caso da *Web of Science* e *IEEE*, que normalmente publica estudos voltados para a área de Engenharia. Posteriormente, iniciou-se a triagem de leitura a partir do título, resumo e palavras-chave, obedecendo a elegibilidade do protocolo para a seleção dos artigos. E por fim, Avaliação da elegibilidade pela leitura do manuscrito em texto completo.

Tabela 1 - Critério de Seleção para a busca de artigos

CRITÉRIO DE SELEÇÃO	
Base de Pesquisa nos Bancos de Dados	<i>Web of Science, Science Direct e IEEE</i>
Tipo de documento buscado	Artigos publicados
Campo de Busca	Resumo, resultados e conclusão
Palavras-chave	<i>Industry 4.0 e Steel Stamping</i>
Assunto de Busca	<i>Engineering, Materials e Metallurgy</i>
Limite dos resultados	Ano: 2010 a 2021 (do início do ano 2010 a julho de 2021) Tipo de documento: Artigo Linguagem do documento: inglês Área de Estudo: <i>Engineering</i> (Engenharia) Resposta à pergunta-chave: “Quais os impactos da indústria 4.0 no setor de estampagem da indústria automobilística? “

Fonte: Dados do Autor

A amostra da consulta foi determinada a partir dos seguintes critérios de inclusão: 1) artigos científicos com data de publicação entre 2011 e 2021; 2) O idioma utilizado para a seleção foi o inglês, uma vez que se trata de um tema com abrangência mundial; 3) Incluíram-se artigos originais de pesquisa e de revisão, cujo tema respondesse total ou parcialmente à questão norteadora; 4) artigos que contenham no título, resumo ou palavras-chave os termos de busca de acordo com os booleanos lógicos adotados; 5) artigos que discutiam sobre a indústria 4.0 no processo de estampagem; 6) Incluíram-se artigos que abordavam indústria 4.0 e setor automobilístico. Quanto aos critérios de exclusão: 1) excluíram-se estudos que não respondessem à pergunta norteadora; 2)

excluíram-se estudos publicados em outras línguas; 3) excluíram-se todos os artigos que não abordavam a temática no setor siderúrgico direcionados para a estampagem.

Posteriormente, fez-se a exclusão dos artigos duplicados. Para levantamento e apresentação dos dados, utilizou-se o PRISMA e, num segundo momento, realizou-se um questionário selecionando empresas atuantes no setor de estamparia automotiva. A Tabela 1 traz um resumo do critério de seleção adotado para a busca de artigos.

A estratégia consiste em uma busca nas bases de busca de pesquisa, direcionando a questão para a obtenção de descritores que apontem respostas à questão norteadora deste estudo centra-se: Quais os impactos da “indústria 4.0” no setor de estampagem da indústria automobilística? (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

Resultados

Através do presente trabalho, foi possível observar o que vem sendo desenvolvido na área acadêmica e o que de fato vem sendo aplicado nas indústrias, além das perspectivas futuras.

Revisão sistemática da literatura e seleção dos estudos

A partir das buscas que ocorreram nas plataformas de pesquisas de literatura, foram identificados um total de 826 estudos que pautaram o assunto tratado na questão norteadora. Apresentaram-se, ao final, apenas 13 estudos relevantes sobre o tema, que serviram como base para a criação da estrutura do referencial teórico.

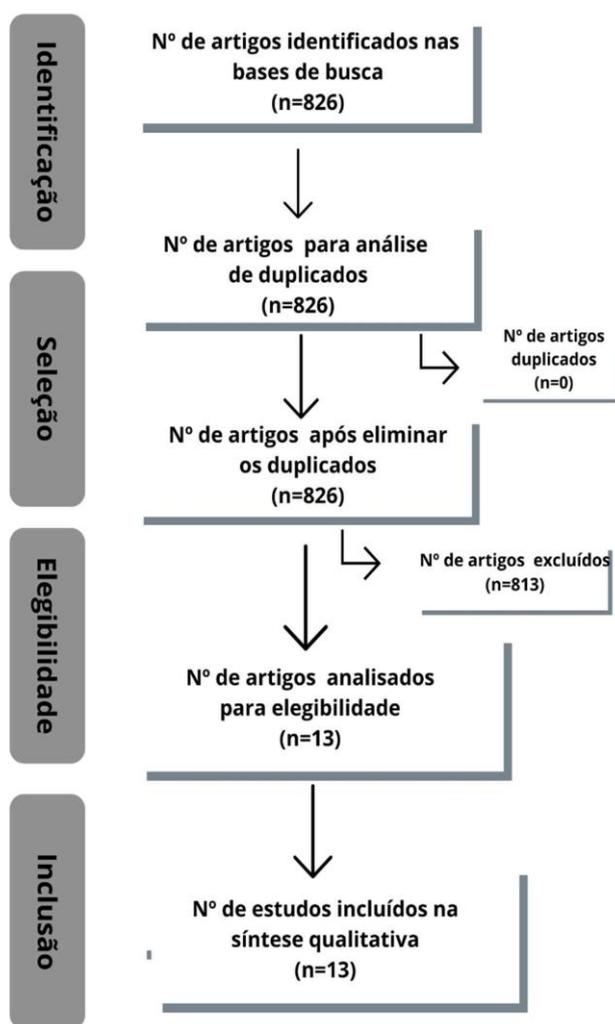
Para atender aos critérios de seleção dos potenciais estudos, foi necessário seguir com a remoção das duplicatas. Nesta etapa, não foi encontrado nenhum estudo que atendesse ao critério para ocorrer a extração, como apresentado na Figura 1.

Como pode ser observado a partir da Figura 1 – Fluxograma Prisma, o tema ainda é muito escasso nos estudos. A Figura 2 apresenta o resultado da busca da pergunta-chave para o período de 2010 a 2021 conforme critérios apresentados na Tabela 1.

Pela Figura 2, tem-se uma maior quantidade de artigos que respondem às palavras-chave e à pergunta-chave (critérios de seleção) da Tabela 2 na base de pesquisa “*Science Direct*”. Foram selecionados 12 artigos que respondem aos critérios de seleção de um

total de 825 artigos apresentados pela base de dados citada. Em menor quantidade, encontrou-se somente 1 artigo na base de dados do “*Web of Science*”, e este respondia aos critérios de seleção. Na base de dados do IEEE não foram encontrados artigos que respondessem ao critério de seleção para o período esperado de 2010 a 2021, conforme Tabela 2. Como pode ser observado a partir da Figura 1 o tema que, apesar de possuir relevância mundial, tema ainda é muito escasso nos estudos.

Figura 1 - Fluxograma Prisma

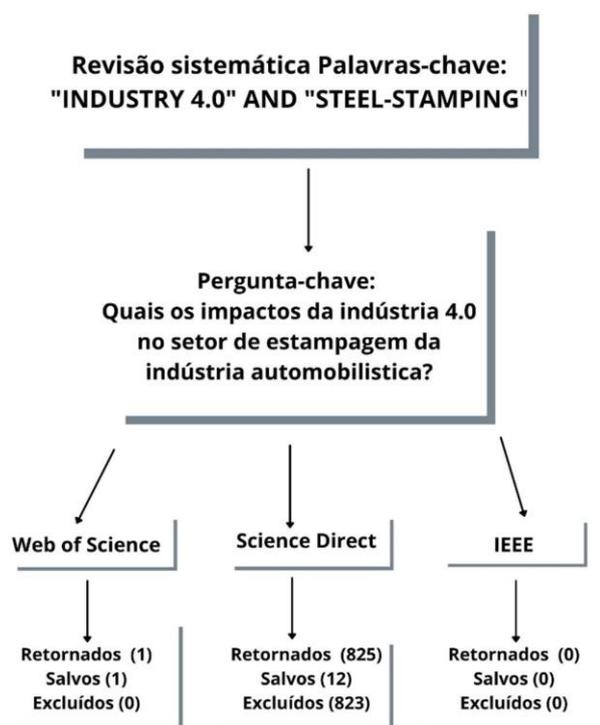


Fonte: Dados dos Autores

Pela Figura 2, tem-se uma maior quantidade de artigos que respondem às palavras-chave e à pergunta-chave (critérios de seleção) da Tabela 2 na base de pesquisa “*Science Direct*”. Foram selecionados 12 artigos que respondem aos critérios de seleção

de um total de 825 artigos apresentados pela base de dados citada. Em menor quantidade, encontrou-se somente 1 artigo na base de dados do “*Web of Science*”, e este respondia aos critérios de seleção. Na base de dados do *IEEE* não foram encontrados artigos que respondessem ao critério de seleção para o período esperado de 2010 a 2021, conforme Tabela 2. Como pode ser observado a partir da Figura 1, o tema é ainda muito escasso nos estudos, apesar de possuir relevância mundial.

Figura 2- Artigos que responderam à pergunta-chave no período de 2010 a 2021

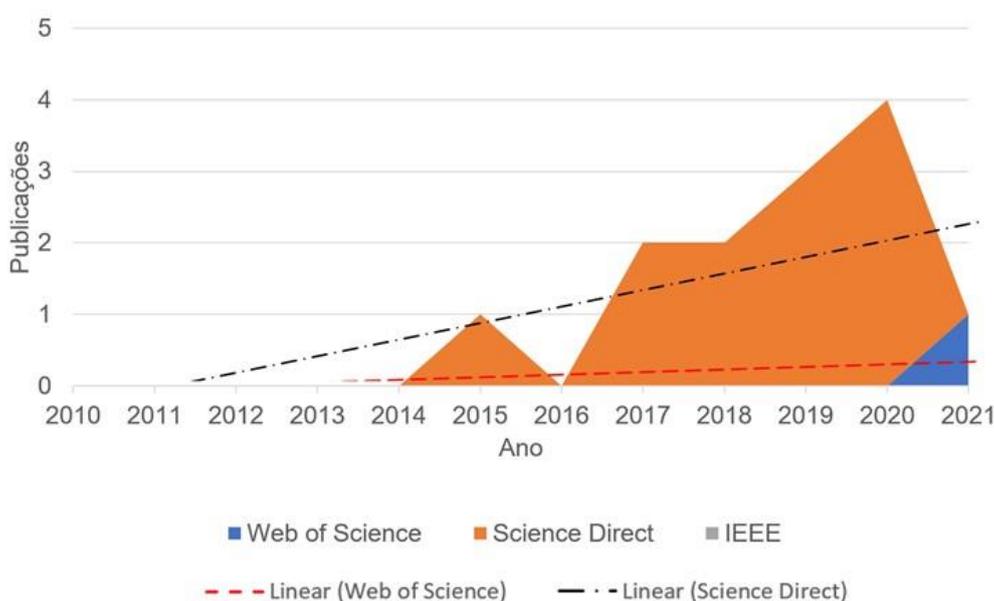


Fonte: Dados dos Autores

A Figura 3 Apresenta a variação dos artigos no período de 2010 a 2021, conforme critérios de seleção da Tabela 1. Pela Tabela 1, tem-se uma tendência de crescimento do interesse na publicação de artigos no tema, com destaque ao ano de 2020-21 com um total de 5 trabalhos publicados (cerca de 40% do total que responde aos critérios de seleção), aqui apresentados pela linha de tendência crescente para a base de dados “*Science Direct*”. A publicação que atende ao critério de seleção do “*Web of Science*” é relativamente recente, do ano de 2021, não possibilitando realmente apresentar uma linha de tendência verdadeira por apresentar um único dado, porém tem-se um indicativo de

que poderá apresentar crescimento no número de publicações nos próximos anos, pois se notou um crescente número de artigos de temática “*Industry 4.0*” nesta base de pesquisa. Não se encontrou artigos na base de dados do IEEE que respondessem aos critérios de seleção apresentados na Tabela 1, apesar de se encontrar também durante a pesquisa vários artigos sobre o tema “*Industry 4.0*” nesta base de pesquisa. Na Figura 3 a seguir, podemos observar a distribuição de artigos publicados em cada um dos periódicos por ano.

Figura 3 - Linha do tempo dos artigos que responderam à pergunta-chave no período de 2010 a 2021



Fonte: Dados dos Autores

Para minimizar o risco de viés na coleta de dados, várias chaves de busca foram testadas e os estudos verificados na íntegra para garantir maior eficiência de seleção dos dados. Realizou-se a extração de dados de forma independente pela autora. O risco de viés quanto à qualidade foi considerado analisando-se o processo de seleção das bases, títulos e termos chave, bem como a avaliação do texto na íntegra reportada. Para minimizar o risco de avaliação, a qualidade do estudo foi analisada pelos revisores/orientadores. Um viés a ser considerado é o de seleção e coleta no que concerne à escolha de estudos e números de bases. Contudo, acredita-se que se possa contemplar

em pesquisas futuras. Na Tabela 2 podemos observar os artigos salvos através dos critérios de seleção.

Tabela 2 - Artigos salvos através dos critérios de seleção

Base de dados	Artigo	Autores	Ano
Web Of Science	Design Study for Automatic Production Line of a Sub-Assemblies of New Generation Car Body Structures Compliant with the “Industry 4.0” Concept	Wrobel, I.; Sidzina, M.	2021
Science Direct	Stamping Process Modelling in an Internet of Production	Philipp Niemietza; Jan Pennekamp; Ike Kunze; Daniel Trautha; Klaus Wehrleb; Thomas Bergs	2019
Science Direct	Supporting lightweight design: virtual modeling of hot stamping with tailored properties and warm and hot formed aluminium	Mark Vrolijk; David Lorenz; Harald Porzner; Martin Holecek	2017
Science Direct	Constitutive and fracture models of hot stamped parts with multiphase using digital image correlate technology	Zijian Wang; Fei Xue; Bin Zhu; Yilin Wang; Yisheng Zhang	2018
Science Direct	Determination of the mechanical properties of hot stamped parts from numerical simulations	Hinnerk Hagenaha; Marion Merkleina; Michael Lechnera; Adam Schaub; Stefan Lutza	2015
Science Direct	Automatic trimming machine for valve stem seal	R. Anusha, B.N; Chandrashekar Murthy	2019
Science Direct	Sustainable and smart metal forming manufacturing process	Ankita Awasthi; Kuldeep K. Saxena; Vanya Arun	2020
Science Direct	Design of networked manufacturing systems for Industry 4.0	Ankita Awasthiab; Kuldeep K. Saxena; Vanya Aruna	2019
Science Direct	Reducing the simulation cost on dual-phase steel stamping process	Tiago Gomes; F. J. G. Silva; R.D.S.G. Campilho	2017
Science Direct	Experimental and modelling techniques for hot stamping applications	Zhutao Shao; Jianguo Lin; Mani Ganapathy; Trevor Dean	2018
Science Direct	An interactive simulation-based game of a manufacturing process in heavy industry	Ygor R. Serpa; Matheus B. Nogueira; Herbert Rocha; Daniel V. Macedo; Maria Andreia F. Rodrigues	2020
Science Direct	A Metamodel for the Management of Large Databases: Toward Industry 4.0 in Metal Forming	Anna Soriani; Roberto Gemignani; Matteo Strano	2020
Science Direct	A Fast Approach for Optimization of Hot Stamping Based on Machine Learning of Phase Transformation Kinetics	Thawin Hart-Rawung; Johannes Buhla; Markus Bambacha	2020

Fonte: Dados dos Autores

No artigo de Wrobel (2021) é descrito um estudo de projeto de linha para produção

automática de uma nova geração de estruturas de carroceria em conformidade com o conceito da I4, baseada na tecnologia de estampagem a quente de chapas de aço; Niemietz *et al.* (2019) consideram os processos de estampagem no contexto de uma Internet de Produção e as preliminares para modelos analíticos que utilizam os dados. Foram identificados três objetivos de pesquisa para lidar com a quantidade de dados e para uma metodologia para monitorar, analisar e avaliar a influência dos dados disponíveis nos processos de estampagem, sendo eles: (i) Detecção de estado com base em sinais de sensor cíclicos, (ii) mapeamento de variações de parâmetros de entrada e saída em estados de processo, e (iii) modelos para abordagens de computação de borda e em rede. Por fim, foi apresentado um roteiro de pesquisa para uma estrutura de modelagem habilitando *IoP*. Vrolijk *et al.* (2017) descrevem métodos de engenharia bem-sucedidos no processo de estampagem a quente virtual com propriedades personalizadas e de peças de alumínio moldadas a quente.

No trabalho de Wang *et al.* (2018), foram feitos experimentos e simulações foram realizadas para estudar os modelos constitutivos e de fratura de peças estampadas a quente com multifásica. A tecnologia de correlação de imagem digital (DIC) foi usada para medir a deformação em todo o corpo de prova e os modelos constitutivos de elastoplasticidade de martensita, bainita e ferrita / perlita foram obtidos. Combinando os experimentos e a simulação numérica, os parâmetros do modelo de fratura foram otimizados, os quais dificilmente podem ser determinados usando apenas experimentos.

Hagenaha *et al.* (2015) utilizam simulações de processo para prever a dureza de chapas metálicas resultantes do processo de estampagem a quente. A abordagem usa a velocidade de conformação e a velocidade de têmpera para prever as propriedades mecânicas relevantes das peças estampadas a quente. Ambos os parâmetros de entrada, a velocidade de formação e a velocidade de têmpera podem ser derivados da simulação numérica de estampagem a quente. Os resultados validados permitem a determinação da resistência à tração de peças estampadas a quente a partir da simulação numérica do processo de estampagem a quente com boa precisão; Anusha (2019) visa construir uma máquina de desbaste automática para vedações de haste de válvula usada em veículos. A máquina semiautomática foi finalizada com poucos defeitos que afetam a qualidade do produto. O sistema se concentra na construção de uma máquina simples e design de painel de controle com Controlador Lógico Programável (PLC) como o controlador. Ele

comenta também que o PLC será o controlador mais adequado para as indústrias automotivas.

Awasthi (2020), aborda sobre a integração da Internet das coisas industrial (*IIoT*) que em conjunto da cadeia de suprimentos automatizada proporcionou produtividade, qualidade e viabilidade econômica otimizadas que se tornaram indispensáveis para a fabricação de peças delicadas da indústria automobilística, aeronáutica com alta precisão; Milisavljevic-Syeduma (2019), comenta os requisitos e as características salientes do projeto de *Networked Manufacturing Systems* (NMS) usando um processo de estampagem de painel automotivo, com o objetivo de suportar automação flexível e em grande escala para atender aos requisitos do usuário em constante mudança e permitir a interconexão para troca de dados entre vários componentes da empresa de manufatura; Já o trabalho de Gomes (2017), foi realizado com o objetivo de prever a forma da estampagem por meio de simulação e minimizar os desvios da estampagem. A utilização de softwares de simulação permite antecipar e reduzir os problemas associados ao efeito *springback*, facilitando a percepção e o monitoramento das formas intermediárias e finais de peças complexas. Algumas diretrizes foram traçadas para melhorar o processo de simulação, visando adotar os melhores procedimentos de simulação e economizar iterações e tempo de simulação, no que diz respeito aos aços *Dual-Phase*.

No artigo de Shao (2018), são apresentados requisitos para testes termomecânicos e dificuldades para aplicações de estampagem a quente foram introduzidos e analisados. Serpa (2020), apresentou um jogo baseado em simulação de estampagem de chapas de aço para a indústria pesada, descrevendo os principais componentes do ambiente de aprendizagem e os diversos recursos do jogo. Os resultados mostram que os métodos baseados em simulação podem ser usados para fornecer uma compreensão global de todo o pipeline de produção para todos os funcionários, em vez de um esforço focado apenas nos trabalhadores do nível do solo ou equipe de gestão, contribuindo para criar um ambiente de trabalho motivacional e, portanto, tornando o aprendizado muito mais divertido;

Soriani (2020) propõe uma estrutura para o gerenciamento de grandes bancos de dados no processo de flexão de tubos de tração rotativos. Uma técnica de metamodelagem para compressão de dados é descrita e testada com dados de processo reais, obtidos durante várias dobras rotativas de tubos redondos de aço inoxidável; Hart-Rawunga

(2020) apresenta uma abordagem alternativa rápida, para reduzir o tempo total de cálculo da simulação de *hot stamping* durante a fase de projeto da matriz. A simulação é acelerada pela substituição dos modelos de decomposição da austenita por modelos substitutos. Um modelo de aprendizado de máquina (ML) foi usado como um candidato para calcular a fração da fase final de peças metálicas estampadas a quente.

O tema e a pergunta-chave desta monografia é atual e relevante para a engenharia, face ao crescente interesse em publicações, conforme resultados apresentados na Figura 4. Pôde-se perceber a princípio que, através do baixo número de artigos encontrados, tem-se somente 11 artigos que respondem aos critérios da Tabela 2, sendo 10 artigos no *Web of Science* e 1 artigo no *Web of Science*, que o tema ainda é bem recente e pouco desenvolvido. Por fim, os resultados mostram que a produção técnica-científica sobre manufatura avançada e estampagem automotiva ainda é bem recente e pouco desenvolvida.

Foi realizado o levantamento das palavras-chave utilizadas pelos autores dos 13 artigos selecionados, para identificar quais termos são os mais citados. Foram identificadas 59 palavras-chave diferentes. A Figura 4 ilustra através de uma nuvem de palavras a representatividade de cada termo citado nas pesquisas analisadas. Os termos de maior destaque foram *Industry-4.0* e *Hot-stamping*, tendo em vista a utilização das palavras-chave *INDUSTRY 4.0* e *STEEL STAMPING* utilizadas para a busca dos artigos, esperava-se que a palavra-chave *STEEL STAMPING* tivesse maior destaque na nuvem de palavras.

A Tabela 3 apresenta as palavras mais citadas, juntamente com o número de vezes que foram registradas e o percentual de participação referente ao total de artigos. Como o tema é de abrangência mundial e diversificada, foi encontrado um grande número de palavras-chave diferentes nos artigos.

A Tabela 3 confirma o destaque evidenciado na nuvem de palavras dos termos “*INDUSTRY 4.0*” e “*STEEL STAMPING*”, porém, pode-se notar a falta de termos importantes relacionados ao tema como: “Quarta Revolução Industrial”, que é um sinônimo de indústria 4.0 e não foi utilizado por nenhum dos autores, ou dos termos “*Big data*”, “*Machine Learn*”, “Inteligência Artificial (*IA*)” e “*IoT*” que são umas das principais tecnologias utilizadas pela indústria 4.0 e cada uma delas foram utilizadas em apenas um dos estudos, o que poderia resultar numa recuperação de textos mais eficiente,

tendo em vista que muitos periódicos apresentam restrições com relação a escolha das palavras-chaves, como por exemplo não utilizar palavras já escolhidas para o título.

Tabela 3 - Participação percentual das palavras-chave

Palavras-chaves Citadas	Nº de Registros	Percentual de participação %
<i>Hot-stamping</i>	4	7%
<i>industry-4.0</i>	3	5%
22MnB5-Steel	2	3%

Fonte: Dados dos Autores

Figura 4- Nuvem de palavras-chave



Fonte: Dados dos Autores

Foi feita uma análise para verificar como as publicações analisadas estão distribuídas com relação ao local onde foram realizadas. A Tabela 4 e a Tabela 5 foram geradas a partir dos resultados desta análise. A Tabela 4 mostra que a maioria dos estudos foi realizada na Europa, com cerca de 69% das publicações, tendo a Alemanha com líder do ranking com 3 registros, como podemos observar na Tabela 5. Ásia está em segundo lugar, com 23% dos estudos analisados. Em seguida temos a América do Sul, e pelo que mostra a Tabela 5 é representada apenas pelo Brasil, apresenta apenas 8% das pesquisas.

Tabela 4 - Distribuição dos estudos analisados por continentes

Continente	Registros	Percentual
Ásia	3	23%
Europa	9	69%
América do Sul	1	8%

Fonte: Dados dos Autores

Tabela 5 - Distribuição dos estudos analisados por países

País	Registros	Percentual
Índia	2	15%
Portugal	1	8%
Alemanha	3	23%
Reino Unido	2	15%
Brasil	1	8%
Itália	1	8%
Países baixos	1	8%
China	1	8%
Polônia	1	8%
Total	13 (100%)	

Fonte: Dados dos Autores

Tabela 6 - Relação de publicação por periódico

Periódico	Nº de Registros
<i>Procedia CIRP</i>	2
<i>Procedia Manufacturing</i>	6
<i>Entertainment Computing</i>	1
<i>Procedia Engineering</i>	1
<i>Materials Today: Proceedings</i>	2
<i>Sensors</i>	1

Fonte: Dados dos Autores

A relação de publicação por periódicos referentes aos estudos analisados, foram incluídos na Tabela 6, com a intenção de facilitar a busca de novos pesquisadores interessados no tema proposto. Pela Tabela 6, tem-se que o periódico que mais publicou os artigos utilizados para a presente pesquisa foi a revista *Procedia Manufacturing* da editora *Elsevier*, o que corresponde a uma editora de alta divulgação científica, com aporte internacional na divulgação de conhecimentos.

Resultado da entrevista

Com a finalidade de se compreender o que vem sendo implementado no dia a dia da indústria ao que tange a indústria 4.0, foi aplicada uma pesquisa em empresas do setor. A Tabela 7 apresenta as respostas do formulário de entrevista com trabalhadores da área de gestão da produção de estampagem de metais, empregados a nível de gerência e coordenação de produção de estampos para indústria automotiva. Foram ocultadas as respostas das perguntas “nome” e “empresa” para proteger a identidade dos participantes.

Tabela 7- Respostas da entrevista

Pergunta	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
A Indústria 4.0 está sendo planejada ou implantada no setor de estampagem da sua empresa?	Sim	Sim	Está sendo implantada, mas não em estampagem
Existem barreiras para essa implementação? Como estão fazendo para superá-las para a implementação da indústria 4.0 na empresa e com os parceiros (terceirizados)?	Sim, existe a necessidade da quebra de paradigma com as novas tecnologias além da necessidade de mão de obra especializada para operação e manutenção. Atualmente o custo de implementação também é um <i>road block</i> em muitos projetos.	Sim. Internamente estão sendo realizados treinamentos e conscientização da equipe que a Indústria 4.0 é inevitável para a empresa se manter competitiva no mercado automotivo, com os Parceiros Terceiros é uma questão mais complexa devido a menor capacidade de investimentos.	As maiores barreiras são estruturais
A empresa faz uso da Inteligência Artificial para melhoria da qualidade dos processos produtivos?	Não	Sim. O Grupo é um dos pioneiros no uso de I.A no mercado automotivo	Sim
Na sua visão, qual a relação de custo/benefício de se implantar os princípios da indústria 4.0 na empresa?	Creio que os benefícios são inúmeros e não há outro caminho para a indústria, mas esses benefícios ainda estão para médio e longo prazo, existem dificuldades em justificar investimentos nessa área atualmente justamente devido ao <i>payback</i> elevado.	A Implantação da indústria 4.0 apesar de retirar alguns postos de trabalho de Mão de Obra menos qualificada abrirá postos em áreas que demandam mais mão de obra técnica como, Manutenção, Automação e Tecnologia da Informação (TI)	Bem melhor

<p>Existem riscos na implantação da Indústria 4.0 para empresa? Quais são e como estão trabalhando para minimizá-los?</p>	<p>Os riscos existem, mas devem ser controlados, hoje temos uma barreira que vem sendo quebrada junto ao setor de ICT, pois para muitas tecnologias precisamos dos nossos equipamentos em rede aberta e com isso temos que ter o máximo de cuidado para evitar invasões e perdas para o processo.</p>	<p>Sim. O Alto investimento, para a implantação e adaptação do Parque industrial, é um Projeto de retorno de Médio e Longo prazo que visa manter a empresa competitiva no mercado no mínimo por mais duas décadas</p>	<p>Existem, para minimizá-los tem um processo para executar que separa planejamento e execução</p>
<p>De que forma a indústria 4.0 pode auxiliar no crescimento do faturamento da empresa?</p>	<p>Com a implementação das tecnologias da indústria 4.0 existem ganhos e todas as partes dos processos desde a aplicação de inteligência artificial em conjunto com big data para adquirir matéria prima até a implementação de <i>machine learning</i> para melhoria de eficiência dos processos.</p>	<p>Aumento da Produtividade</p>	<p>Trazendo dados online para rápida tomada de decisão</p>
<p>As unidades já estão implantadas ou em implantação em ciberfísicos (<i>Cyber-Physical Systems</i>, CPS)?</p>	<p>Não que eu tenha conhecimento</p>	<p>Em processo de implantação do CPS</p>	<p>Não</p>
<p>O que muda com a Indústria 4.0 nas relações comerciais do produtor para o consumidor para vocês?</p>	<p>Maior ligação e rapidez na solução e monitoramento de problemas com o produto ou serviço</p>	<p>Objetivo que a empresa consiga reduzir o custo do produto final assim aumentando a arrecadação de seus investidores, e abaixando o preço ao consumidor.</p>	<p>Melhor informação</p>
<p>A empresa acredita que a implantação da indústria 4.0 possa trazer algum sucesso em suas unidades e serviços? Quais são os principais focos?</p>	<p>Com certeza sim, Manutenção e planejamento de produção</p>	<p>Sim. Aumento de Produtividade e redução de custos</p>	<p>Sim, principais focos são prevenção e rápida informação</p>
<p>A Indústria 4.0 vai exigir uma especialização de mão-de-obra e gerar novos serviços conectando o consumidor ao produtor?</p>	<p>Sim</p>	<p>Sim, cada vez vai ser necessário maior qualificação e treinamento tanto para mão de obra como para o consumidor final</p>	<p>Sim</p>

<p>Como os dados da Indústria 4.0 podem agregar valor na empresa e na sociedade? Lembre-se de que uma das bases da Indústria 4.0 são os dados. Ainda assim, coletar dados só por coletar não gera nenhum tipo de valor para o negócio. Por isso, é preciso desenvolver a habilidade de olhar para as informações certas e transformá-las em inteligência, para que a tomada de decisões se torne mais ágil e eficaz.</p>	<p>A coleta de dados é fundamental para a implementação de tecnologias da industrial 4.0, por meio da coleta de dados é possível ter uma tomada de decisão rápida e até automática em diversas situações, mas para agregar valor aos processos é preciso tratar o grande volume de dados gerado nos processos de forma a extrair as informações que tem relevância para cada tecnologia, como por exemplo dados de falhas e leituras de processo para implementação de <i>machine learning</i>, fotogrametria de peças para aplicação de inteligência artificial no controle de qualidade e muitas outras tecnologias disponíveis na indústria 4.0.</p>	<p>Ter uma base de dados confiável, permite que a empresa consiga monitorar o perfil do cliente dela, não apenas para uma compra apenas mais sim fidelizando seu cliente, permitindo que o cliente compre a Marca e não apenas aquele certo produto.</p>	<p>Trazendo aprendizado</p>
<p>A empresa na qual você trabalha já utiliza ou pretende utilizar alguma das tecnologias a seguir: softwares para modelagem virtual de estampagem a quente, <i>Internet of Production</i> (IoP), prensa servo e/ou jogos 3D interativos?</p>	<p>Sim</p>	<p>Sim, Prensas Servo <i>Transfer</i>, e área de desenvolvimento e prototipagem</p>	<p>Ainda não</p>
<p>A sua empresa utiliza mais alguma outra tecnologia relacionada a indústria 4.0 não comentada nas perguntas anteriores?</p>	<p>Não</p>	<p>Não</p>	<p>Monitoramento de Vibração</p>
<p>Por fim, na sua opinião, quais os impactos da Indústria 4.0 no setor de estampagem automobilística?</p>	<p>A indústria 4.0 vem como uma necessidade de atualização de métodos e processos, no setor de estamparia creio que o foco será no setor de planejamento de produção e manutenção sempre buscando proporcionar a maior eficiência nos processos e produtos garantindo a sustentabilidade do negócio.</p>	<p>Aumento da produtividade, qualidade e otimização de recursos, a fim de buscar competitividade.</p>	<p>Melhor e mais rápida informação para a tomada de decisão</p>

Gostaria de fazer mais algum comentário?	As barreiras para implementação da indústria 4.0 no Brasil passa muito pela gestão governamental com a criação de programas que possibilitem a "virada de chave" nas empresas e a modernização da produção fabril dentro do país, sem esse apoio as pequenas e médias empresas desaparecerão nos próximos anos, pois não conseguirão se manter em um mercado cada vez mais competitivo.	A Indústria 4.0 é inevitável para Empresas conseguirem Não se manter entre as líderes de mercado
--	---	--

Fonte: Dados dos Autores

Pôde-se perceber na Tabela 7, pelo alinhamento dos discursos ou relatos vindos da entrevista com quem trabalha no setor de estampagem, que todos os entrevistados entendem a relevância do desenvolvimento e implementação da I4 em suas empresas, além da importância de se vencer as barreiras para sua implementação. Também foi possível constatar o uso de algumas das tecnologias estudadas visando melhorias nos processos produtivos, tais como: IA, CPS, prensa servo, jogos interativos e outras. Deve-se atentar também ao *payback* elevado desse tipo de projeto, uma vez que a grande maioria das máquinas utilizadas na I4 são importadas necessitando um investimento inicial extremamente elevado, além de um processo de adaptação trabalhoso.

Uma outra preocupação que não pode ser esquecida nesse processo está relacionada a toda tecnologia necessária para proteção dos dados de forma a evitar invasão e, conseqüentemente, perdas no processo produtivo. Com a entrevista também foi possível perceber os ganhos e como a tecnologia por trás da I4 pode contribuir para o crescimento do faturamento da empresa. Os entrevistados comentaram sobre benefícios como: a aplicação de inteligência artificial em conjunto com big data para adquirir matéria prima até a implementação de *machine learning* para melhoria da eficiência dos processos, aumento da produtividade e redução de custos, melhor manutenção e planejamento da produção, além da rápida informação o que contribui para uma rápida tomada de decisão.

Já para os consumidores, os benefícios citados foram: melhora da informação que chega de forma mais rápida e mais precisa; maior ligação e rapidez na solução e monitoramento de problemas com o produto ou serviço. Isso possibilita que a empresa

consiga reduzir o custo do produto final aumentando, dessa forma, a arrecadação de seus investidores, e abaixando o preço ao consumidor.

Em relação à qualificação da mão de obra, ficou evidenciado que cada vez mais será necessária uma maior qualificação e treinamento, tanto para mão de obra, quanto para o consumidor final. Durante a aplicação do questionário de entrevista, constataram-se também pessoas que sequer sabiam o que é I4, e preferiram não prosseguir respondendo ao questionário, o que pode se relacionar com a ideia dos dois mundos (o mundo dos donos dos dados e o mundo das pessoas que não são as donas dos dados) que o avanço tecnológico pode causar.

Por fim, destaca-se também a importância do incentivo governamental para o desenvolvimento da I4, tendo em vista o alto volume de dinheiro para investimento inicial. Sem esse apoio, as pequenas e médias empresas desaparecerão nos próximos anos, pois não conseguirão se manter em um mercado cada vez mais competitivo.

De forma resumida, pode-se destacar os seguintes impactos da I4 no setor de estampagem da indústria automobilística: (i) Maior coleta e processamento de dados e informações; (ii) Melhoria na confiabilidade do processo produtivo e tomada de decisão; (iii) Otimização da produção com segurança; (iv) Aumento da produtividade; (v) Soluções personalizadas aos clientes; (vi) Otimização da matéria-prima e redução de desperdícios; (vii) Redução de custos; (viii) Crescimento do faturamento da empresa; (ix) Aperfeiçoamento dos treinamentos *on the job* através da utilização de jogos e simuladores do ambiente de trabalho; (x) Necessidade de maior qualificação do trabalhador e alterações nos postos de trabalho.

Considerações Finais

As revoluções industriais de fato foram extremamente importantes para evolução da sociedade até os dias atuais. Porém, com o avanço da tecnologia, é importante atentar-se para que elas continuem se desenvolvendo de forma a contribuir com o avanço da sociedade e não gerar mais desigualdade.

Com o desenvolvimento do presente trabalho, pôde-se concluir que a I4 impacta toda cadeia de geração de valor de uma empresa, ela abrange desde a aquisição de matéria prima, planejamento e controle da produção, planejamento de manutenção, logística,

despacho, gestão, tomada de decisão a tudo que envolva grandes capacidades de processamento de dados, segurança e confiabilidade da produção. Além disso, tem-se o impacto no cliente que, com a implementação de tais tecnologias, terão soluções cada vez mais personalizadas e com melhores custo-benefício. Para mais, a vida do trabalhador também será impactada e este precisa procurar sempre se atualizar quanto às novas tecnologias que a partir desse momento se desenvolvem em tempo recorde.

Pode-se perceber também que o setor de estampagem automobilística tem avançado na implementação de tecnologias referentes a I4 e soluções como prensas servo, jogos e simulação, *Big data* e *machine learning* já são realidade no chão de fábrica. Tais tecnologias ajudam a indústria automotiva a produzir as peças estampadas com otimização da matéria prima, menor desperdício e conseqüentemente mais sustentável.

Além disso, constatou-se também que o tema, apesar de ter uma abrangência mundial, ainda é muito pouco desenvolvido. Porém, tem-se uma tendência no aumento de publicações relacionadas ao assunto nos próximos anos.

Referências

ANUSHA, R.; MURTHY, BN Chandrashekar. Automatic trimming machine for valve stem seal. *Materials Today: Proceedings*, v. 46, p. 4993-5000, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320380135?via%3Dihub>>. Acesso em 15 jun. 2021.

AWASTHI, Ankita; SAXENA, Kuldeep K.; ARUN, Vanya. Sustainable and smart metal forming manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, v. 44, p. 2069-2079, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532039862X?via%3Dihub>>. Acesso em 18 jun. 2021.

DA CUNHA, Anderson Gois Marques; ALVES, José Luiz; LEITE, Emanuel Ferreira. Siderurgia 4.0: dimensão inteligente e sustentável. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 37087-37103, 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/28052>> Acesso

em 10 jun. 2021.

DAUDT, Gabriel; WILLCOX, Luiz Daniel. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. *BNDES Setorial*, p. 5, 2016. Disponível em:<<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9936>>. Acesso em 10 maio 2021.

DE OLIVEIRA, Sabrina Julian et al. Logística reversa: a destinação acertada de baterias de smartphones no Brasil. *Revista de Casos e Consultoria*, v. 12, n. 1, p. e26337-e26337, 2021.

DOS SANTOS GERMANO, Aline Xavier; VILLAS BOAS MELLO, José André. Contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma revisão sistemática. *Palavra Chave*, v. 11, 2021. Disponível em:<<https://brapci.inf.br/index.php/res/v/165522>>. Acesso em: 04 dez. 2021.

FERREIRA, Rafael Henrique Mainardes *et al.* Transcrição Cognitiva do Conceito de Indústria 4.0 e da Utilização Tecnológica na Gestão de Hamburguerias em Guarapuava-PR. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, PR, Brasil*. 2019. Disponível em:<http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/09202019_180955_5d854b2723b18.pdf>. Acesso em 15 jun. 2021.

GOMES, Tiago; SILVA, F. J. G.; CAMPILHO, R. D. G. S. Reducing the simulation cost on dual-phase steel stamping process. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 474-481, 2017. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917303426?via%3Dihub>>. Acesso em 13 jun. 2021.

HAGENAH, Hinnerk *et al.* Determination of the mechanical properties of hot stamped parts from numerical simulations. *Procedia Cirp*, v. 33, p. 167-172, 2015. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115006745>>. Acesso

em 22 jun. 2021.

HART-RAWUNG, Thawin; BUHL, Johannes; BAMBACH, Markus. A fast approach for optimization of hot stamping based on machine learning of phase transformation kinetics. *Procedia Manufacturing*, v. 47, p. 707-712, 2020.. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920312841?via%3Dihub>>. Acesso em 02 jun. 2021.

HUTTON, Brian *et al.* The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: checklist and explanations. *Annals of internal medicine*, v. 162, n. 11, p. 777-784, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.7326/M14-2385>>

MILISAVLJEVIC-SYED, Jelena *et al.* Design of networked manufacturing systems for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, v. 81, p. 1016-1021, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119305499>>. Acesso em 15 mai. 2021.

NIEMIETZ, Philipp *et al.* Stamping process modelling in an Internet of Production. *Procedia Manufacturing*, v. 49, p. 61-68, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920316498?via%3Dihub>>. Acesso em 22 jun. 2021.

NORGATE, Terry E.; JAHANSHAHI, Sharf; RANKIN, William J. Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 8-9, p. 838-848, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652606002320>>. Acesso em 12 out. 2021.

OLMEZ, Gulnur Maden *et al.* The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*, v. 130, p. 195-201, 2016. Disponível

em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615013797?via%3Dihub>>. Acesso em 12 out. 2021.

PEREIRA, Ana C.; ROMERO, Fernando. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1206-1214, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917306649?via%3Dihub>>. Acesso em 12 out. 2021.

Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília*, v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015. Disponível em <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742015000200017&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 10 jul. 2021.

SERPA, Ygor R. *et al.* An interactive simulation-based game of a manufacturing process in heavy industry. *Entertainment Computing*, v. 34, p. 100343, 2020.

SHAO, Zhutao *et al.* Experimental and modelling techniques for hot stamping applications. *Procedia Manufacturing*, v. 15, p. 6-13, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918308564?via%3Dihub>>. Acesso em 24 jun. 2021.

SORIANI, Anna; GEMIGNANI, Roberto; STRANO, Matteo. A Metamodel for the Management of Large Databases: Toward Industry 4.0 in Metal Forming. *Procedia Manufacturing*, v. 47, p. 889-895, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920313421?via%3Dihub>>. Acesso em 23 jun. 2021.

TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez; SILVA, Priscilla Chantal Duarte; DE ARAÚJO BRITO, Max Leandro. Gamificação para o ensino de engenharia no contexto da indústria 4.0: metodologia estratégica para a motivação dos estudantes. *Revista de Casos e Consultoria*, v. 12, n. 1, p. e23964-e23964, 2021.

TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez *et al.* Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na indústria 4.0 no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 28290-28309, 2019.

VROLIJK, Mark *et al.* Supporting lightweight design: virtual modeling of hot stamping with tailored properties and warm and hot formed aluminium. *Procedia Engineering*, v. 183, p. 336-342, 2017. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817315540?via%3Dihub>>. Acesso em 06 jun. 2021.

WANG, Zijian *et al.* Constitutive and fracture models of hot stamped parts with multiphase using digital image correlate technology. *Procedia Manufacturing*, v. 15, p. 1079-1086, 2018. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918310801?via%3Dihub>>. Acesso em 08 jun. 2021.

WROBEL, Ireneusz; SIDZINA, Marcin. Design Study for Automatic Production Line of a Sub-Assemblies of New Generation Car Body Structures Compliant with the “Industry 4.0” Concept. *Sensors*, v. 21, n. 7, p. 2434, 2021. Disponível em:<<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/7/2434>>. Acesso em 14 jun. 2021.

Processo de revisão por pares

O presente artigo foi revisado por meio da avaliação aberta em 1 rodada. A primeira rodada contou com a revisão de João Guilherme Duarte Pereira e Jefferson Luis Brentini Silva. O processo de revisão foi mediado por Josefa da Conceição Silva.