

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TACIARA DE OLIVEIRA SOUZA

**A FUNÇÃO DOS SISTEMAS MES E ERP NO PARADIGMA DA
PERSONALIZAÇÃO EM MASSA**

JUIZ DE FORA

2024

TACIARA DE OLIVEIRA SOUZA

**A FUNÇÃO DOS SISTEMAS MES E ERP NO PARADIGMA DA
PERSONALIZAÇÃO EM MASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Dr. Antonio Angelo Missiaggia Picorone

JUIZ DE FORA

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Taciara de Oliveira Souza.

A função dos sistemas MES e ERP no paradigma da personalização em massa. / Taciara de Oliveira Souza Souza. -- 2024.

48 p.

Orientador: Antonio Angelo Missiaggia Picorone Picorone
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2024.

1. Personalização em Massa. 2. Planejamento e Controle da Produção. 3. MES. 4. ERP. I. Picorone, Antonio Angelo Missiaggia Picorone, orient. II. Título.

TACIARA DE OLIVEIRA SOUZA

**A FUNÇÃO DOS SISTEMAS MES E ERP NO PARADIGMA DA
PERSONALIZAÇÃO EM MASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 10 de junho de 2024.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Antonio Angelo Missiaggia Picorone

Universidade Federal de Juiz de Fora



Dr. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

Universidade Federal de Juiz de Fora



Dr. Márcio de Oliveira

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Neste momento de realização, não posso deixar de expressar profunda gratidão àqueles que foram essenciais em minha trajetória.

Primeiramente, agradeço a Deus, cuja orientação e suporte foram meus alicerces. A saúde, a fé, a força e a sabedoria que me foram concedidas foram luzes que guiaram meus passos e cada palavra presente neste estudo. Sem a presença divina em minha vida, este trabalho não seria possível. Agradeço por cada dia, por cada desafio superado e por cada conquista alcançada.

Ao meu orientador Antonio Picorone, expresso minha mais sincera gratidão. Sua orientação foi a bússola que me guiou em direção ao sucesso deste trabalho. Sua paciência, expertise e dedicação foram fundamentais em cada etapa do desenvolvimento deste projeto. Muito mais do que um mentor, você foi um verdadeiro parceiro, sempre disposto a oferecer apoio e compartilhar seu vasto conhecimento.

À minha amada família, meu porto seguro, dedico um agradecimento especial. Vocês estiveram ao meu lado em cada momento, compartilhando sonhos, angústias e vitórias. Suas orações foram a energia que me sustentou, e seu apoio incondicional foi a base sólida sobre a qual construí esta caminhada. Obrigada por acreditarem em mim, por viverem essa trajetória comigo e por serem minha fonte inesgotável de amor e incentivo.

A todos vocês, minha eterna gratidão. Este trabalho é fruto de um esforço conjunto, e cada um de vocês tem um lugar especial em meu coração. Obrigada por tornarem possível a realização deste sonho.

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise abrangente sobre o impacto da personalização em massa no planejamento e controle da produção. Utilizando uma metodologia de revisão sistemática da literatura, com base em artigos acadêmicos e estudos de caso, foi possível fomentar uma base sólida para as discussões e conclusões apresentadas neste trabalho. O objetivo principal é desenvolver um estudo sobre a função do PCP em ambientes de produção de personalização em massa, mostrando as implicações desse modelo e quais as mudanças necessárias ao PCP para viabilizá-lo. Os resultados alcançados destacam a importância do MES e do ERP para viabilizar a personalização em massa por contribuírem com a otimização da produção e a integração das operações e sistemas. Além disso, mostra como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 alicerçam esses sistemas e corroboram com o atendimento eficaz das demandas cada vez mais individualizadas dos clientes.

Palavras-chave: Personalização em massa, planejamento e controle da produção, Indústria 4.0.

ABSTRACT

This study presents a comprehensive analysis of the impact of mass personalization on production planning and control. Using a systematic literature review methodology, based on academic articles and case studies, it was possible to provide a solid basis for the discussions and conclusions presented in this work. The main objective is to develop a study on the role of the PCP in mass personalization production environments, showing the implications of this model and what changes are necessary to the PCP to make it viable. The results achieved highlight the importance of MES and ERP in enabling mass personalization by contributing to the optimization of production and the integration of operations and systems. Furthermore, it shows how Industry 4.0 enabling technologies support these systems and support the effective fulfillment of increasingly individualized customer demands.

Keywords: Mass personalization, production planning and control, Industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação de assuntos relevantes nos artigos

Figura 2 - Esquema simplificado do fluxo de informações do PCP

Figura 3 - Estratégia de resposta à demanda e o grau de envolvimento do cliente com o produto

Figura 4 - Integração do MES e ERP

Figura 5 - Os direcionadores dos PEGEMs

Figura 6 - Modelo que relaciona alguns PEGEMs e alguns objetivos estratégicos da produção

Figura 7 - Evolução das necessidades de mercado e critérios de desempenho para empresas industriais de grande porte

Figura 8 - PEGEM x Grau de ênfase de alguns princípios/capacitadores

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Protocolo de pesquisa dos artigos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATO - *Assembly to Order.*

CM - Customização em Massa.

CRM - *Customer Relationship Management.*

ETO - *Engineering to Order.*

ERP - *Enterprise Resources Planning.*

IA - Inteligência artificial.

IoT- Internet das Coisas.

JIT - *Just in time.*

KPIs - *Key Performance Indicators.*

MA - Manufatura Ágil.

ME - Manufatura Enxuta.

MES - *Manufacturing Execution System.*

MMA - Manufatura em Massa Atual.

MR - Manufatura Responsiva.

MTO - *Make-to-Order.*

MTS - *Make to Stock.*

PCP - Planejamento e controle da produção.

PEGEMs - Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura.

RFID - *Radio-Frequency Identification.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 Justificativa	23
1.2 Escopo do trabalho	24
1.3 Elaboração dos Objetivos	24
1.4 Definição da metodologia	24
1.5 Estrutura do trabalho	26
2. REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1 Produção em massa	27
2.2 Produção customizada	28
2.3 Customização em massa	28
2.4 Personalização em massa	29
2.5 Planejamento e controle da produção (PCP)	30
2.5.1 MES e ERP	33
2.6 Paradigmas estratégicos de gestão da manufatura (PEGEMs)	34
2.6.1 Indústria 4.0 e suas tecnologias	37
3. DESENVOLVIMENTO	38
3.1 Da voz do cliente aos requisitos de produção	40
3.2 O papel do MES na personalização em massa	41
3.3 O papel estratégico do ERP na personalização em massa	44
3.4 Integração do MES e ERP na era da personalização em massa	46
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

A história da produção industrial é marcada por uma série de transformações que moldaram os processos produtivos, as expectativas e as demandas dos consumidores. Desde a primeira revolução industrial, que teve início no final do século XVIII, até a atual quarta revolução industrial, os paradigmas de produção e consumo têm evoluído de maneira significativa.

A primeira revolução industrial marcou a transição de uma economia agrária para o início de uma era de produção em massa, com a introdução de máquinas a vapor e a mecanização dos processos produtivos. Essa produção em larga escala foi acompanhada por uma padronização significativa dos produtos, que eram, em sua maioria, uniformes e intercambiáveis, sem nenhuma diferenciação. Essa abordagem refletia o perfil dos consumidores da época, que valorizavam principalmente a disponibilidade dos produtos a preços mais baixos (HOBSBAWM, 1999).

No final do século XIX, a segunda revolução industrial trouxe avanços tecnológicos significativos, como a eletricidade e a produção em série. Isso permitiu uma maior flexibilidade na produção e ainda que ela fosse em massa, possibilitou uma diversificação limitada dos produtos, com a introdução de algumas variações. Os consumidores começaram a demonstrar um interesse crescente por produtos que atendessem às suas necessidades específicas e o mercado estava adaptando-se a essa transição. A Ford, por exemplo, implementou linhas de montagem que permitiram eficiência e rapidez na entrega dos automóveis, mas com uma customização limitada para seus clientes (CHANDLER, 1990).

Com o advento da terceira revolução industrial no século XX, a customização em massa emergiu como uma resposta às demandas cada vez mais diversificadas dos clientes. As tecnologias de automação avançadas, a computação e a internet permitiram uma produção ainda mais flexível, possibilitando a criação de produtos customizados em escala. Os consumidores passam a desempenhar um papel mais ativo na configuração dos produtos, que agora são fabricados de acordo com suas preferências individuais e as opções disponíveis no portfólio das empresas (PINE E GILMORE, 1999).

Com a chegada da quarta revolução industrial, o avanço tecnológico tem mudado o perfil dos clientes, que agora buscam por experiências personalizadas e produtos adaptados às suas necessidades específicas. Mediante esse contexto, surge o termo personalização em massa. A personalização é uma forma de agregar valor aos produtos e serviços, criando uma

experiência única para o consumidor. Esse valor agregado pode ser percebido tanto na satisfação do cliente quanto na fidelização e no aumento da rentabilidade das empresas (PINE E GILMORE, 1999).

No entanto, a personalização em massa também apresenta desafios para as empresas, pois requer um alto grau de flexibilidade e agilidade na cadeia de suprimentos, o que pode aumentar os custos e a complexidade da produção. Além disso, pode também levar a uma maior complexidade na gestão dos processos produtivos. Diante desses obstáculos, este trabalho busca explorar os desafios do planejamento e controle da produção em um ambiente de personalização em massa..

1.1 JUSTIFICATIVA

A personalização em massa representa uma abordagem inovadora e crucial para a produção e prestação de serviços, que tem ganhado destaque nos últimos anos. Por meio deste estudo, espera-se fornecer *insights* para profissionais da área e pesquisadores que buscam compreender as implicações da personalização em larga escala no planejamento e controle da produção. Acredita-se que este trabalho irá contribuir para um diálogo sobre a evolução das práticas de produção e sua adaptação às demandas cada vez mais individualizadas da sociedade contemporânea.

A relevância deste trabalho emerge de uma série de considerações que abordam aspectos científicos, sociais, de interesse e opções da autora, ou seja:

Relevância científica: a personalização em massa é um campo em constante evolução e existe uma lacuna no que diz respeito à compreensão dos desafios e estratégias associadas ao planejamento e controle da produção. Logo, pretende-se com este trabalho fomentar as discussões sobre o tema diminuindo a lacuna existente.

Relevância social: a adoção bem-sucedida da personalização em massa tem implicações significativas para as empresas e os consumidores. As organizações podem otimizar a produção, reduzir desperdícios e atender de forma mais eficaz às demandas dos clientes, enquanto os consumidores desfrutam de produtos e serviços mais alinhados com suas preferências individuais. Além disso, o aumento da eficiência na produção pode contribuir para a redução do impacto ambiental, tornando a personalização em massa relevante em um contexto de sustentabilidade.

Interesse pessoal: a escolha deste tema centra-se na percepção de que a personalização em massa é uma tendência transformadora e inescapável para as indústrias modernas. A autora reconhece que essa abordagem desafia as práticas tradicionais de produção e exige um estudo aprofundado para compreender seus desafios e oportunidades. A autora acredita ainda, que este trabalho contribuirá não somente para o próprio desenvolvimento profissional, mas também beneficiará outros profissionais e pesquisadores interessados no assunto.

1.2 ESCOPO DO TRABALHO

O objeto de investigação deste trabalho é a personalização em massa e seus impactos no MES e no ERP.

Delimitações do Trabalho:

- Não serão abordadas especificamente as tecnologias utilizadas na personalização em massa, mas sim os princípios e estratégias gerais envolvidos.
- A pesquisa aborda principalmente o contexto contemporâneo, ou seja, considerando as tendências atuais da indústria.
- A pesquisa não aprofunda em setores ou empresas específicos, mas busca identificar oportunidades de desenvolvimento comuns a quaisquer indústrias interessadas em adotar a personalização em massa.
- São utilizadas fontes de literatura acadêmica para falar da parte conceitual do trabalho e artigos acadêmicos, estudos de caso e pesquisas recentes para embasar as discussões que envolvem a adoção da personalização em massa.

1.3 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Objetivo Geral: O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma revisão sistemática da literatura sobre o MES e o ERP no contexto da personalização em massa.

Objetivos Específicos:

- Mostrar as implicações da personalização em massa sobre os processos produtivos;

- Identificar as principais mudanças necessárias ao MES e ao ERP para atender as demandas da personalização em massa.

1.4 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão sistemática da literatura visando explorar a relação entre a personalização em massa e o planejamento e controle da produção. A seleção dos artigos seguiu critérios específicos conforme descrito no Quadro 1.

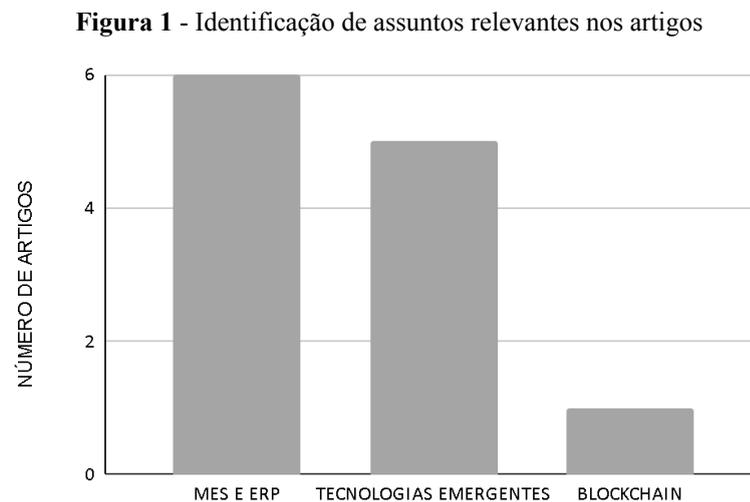
Quadro 1 - Protocolo de pesquisa dos artigos

REQUISITOS	DEFINIÇÃO
Objetivos	Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma revisão sistemática da literatura sobre o PCP no contexto da personalização em massa.
Questão principal	Como planejar e controlar a produção voltada à personalização em massa?
Palavras chaves	Personalização em massa, produção de personalização em massa, planejamento e controle da produção, fábricas inteligentes, manufatura inteligente, indústria 4.0.
Definição de critérios de seleção dos artigos	Artigos sobre o tema personalização em massa que abordassem qualquer assunto relacionado ao PCP
Idiomas	Inglês, Português
Bases de dados utilizadas	Google Acadêmico, SciELO
Seleção inicial dos estudos	1º - Seleção dos artigos a partir da leitura do título, palavras chaves e resumo 2º - Seleção dos artigos a partir da leitura do título, palavras chaves, resumo, introdução e conclusão
Critérios de seleção	Inclusão: Artigos, acesso liberado, publicações atuais, artigo que atende os requisitos da pesquisa e que relaciona com o tema da pesquisa. Exclusão: Duplicados, livros e teses, acesso bloqueado, publicações antigas, não atende os requisitos da pesquisa e não relaciona com o tema da pesquisa.
Período analisado	2009 ¹ a 2023
Aproveitamento	34 %

Fonte: Autoria própria

¹ A partir dos materiais previamente selecionados, os estudos foram expandidos de forma recursiva para incluir trabalhos anteriores a 2009, citados nas referências, conforme estipulado no protocolo.

Após a seleção do material, seguindo os critérios estabelecidos acima, foi realizado um fichamento a fim de apresentar as principais contribuições dos autores acerca do tema. Na figura 1, pode-se ver o quantitativo de artigos selecionados seguindo o critério estabelecido no quadro 1 sobre MES e ERP, tecnologias emergentes e *blockchain*.



Fonte: Autoria própria

O objetivo do estudo é a manutenção do MES e do ERP para suportar as implicações da personalização em massa visto, a quantidade significativa de artigos e autores que destacaram a importância desses sistemas de gestão da produção na viabilização da personalização em massa.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em quatro capítulos.

No capítulo I, é apresentada uma introdução do conteúdo que será abordado ao longo do trabalho, além de uma discussão das justificativas que motivaram a pesquisa, a delimitação do escopo, os objetivos e a metodologia empregada.

O capítulo II se concentra no referencial teórico, onde serão abordados os conceitos fundamentais relacionados à produção em massa, produção customizada, customização em massa e personalização em massa, visando compreender a evolução dos conceitos e das expectativas dos consumidores. Além disso, serão apresentados o conceito de planejamento e controle da produção, MES, ERP, paradigmas estratégicos de gestão da manufatura e Indústria 4.0.

No capítulo III, as informações obtidas através da revisão sistemática da literatura serão apresentadas, discutidas e relacionadas, visando o objetivo do tema do estudo. Por fim, o capítulo IV, destina-se a apresentar as considerações finais acerca da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo deste referencial teórico é traçado um panorama da evolução da customização ao longo das revoluções industriais, abordando os conceitos de Produção em Massa, Produção Customizada, Customização em Massa e Personalização em Massa. Uma vez que o conceito de customização está se desenvolvendo e desempenha um papel importante na forma como as empresas abordam a produção e atendem às demandas dos consumidores, são explorados também, os conceitos e fundamentos do PCP, MES e ERP, além dos paradigmas estratégicos de gestão da manufatura (PEGEMs) incluindo a Indústria 4.0, que deverão se adaptar para atender às demandas da personalização em massa efetivamente.

2.1 PRODUÇÃO EM MASSA

A produção em massa é um sistema de fabricação caracterizado pela produção de grandes quantidades de produtos idênticos fabricados de forma sistemática e repetitiva. Na produção em massa, a ênfase recai na uniformidade e na simplificação dos produtos, baseando-se em princípios como a divisão do trabalho, a especialização de tarefas, a padronização de produtos, linhas de montagem altamente eficientes, economias de escala e um foco na produção de grandes volumes de forma rápida e econômica (TAYLOR, 1911).

No entanto, especialmente nos estágios iniciais da primeira revolução industrial, não havia diferenciação nos produtos. Os bens produzidos em massa eram homogêneos, com poucas variações de um item para outro. Ademais, a utilização das peças intercambiáveis para facilitar o processo de montagem e distribuição, justifica os produtos serem idênticos (HOBSBAWM, 2014).

Um exemplo clássico de uma empresa que adotou com sucesso o modelo de produção em massa é a Ford Motor Company, fundada por Henry Ford. A Ford revolucionou a indústria automobilística com a introdução do Fordismo, um sistema de produção em massa que se tornou um marco na história da fabricação (WOMACK, JONES E ROOS, 1990).

Henry Ford introduziu a linha de montagem móvel, onde os carros eram montados em etapas sequenciais à medida que passavam por estações de trabalho. Implementou ainda, uma estratégia de padronização de peças, o que significa que as peças dos carros eram fabricadas com precisão para se encaixarem perfeitamente em qualquer veículo. Isso permitiu uma

produção mais rápida e eficiente, além de reduzir custos e simplificar a produção (NEVINS E HILL, 1954).

O modelo de produção em massa da Ford não apenas revolucionou a indústria automobilística, mas também influenciou muitas outras indústrias ao redor do mundo. Ele se tornou um exemplo de como a produção em grande escala pode resultar em produtos mais acessíveis e disponíveis para as massas (LIKER E HOSEUS, 2009).

2.2 PRODUÇÃO CUSTOMIZADA

A segunda revolução industrial, marca a transição da produção em massa para a produção customizada, impulsionada por avanços tecnológicos e pelo aumento do desejo e da disposição dos consumidores na aquisição de produtos, refletindo um crescente grau de exigência (WOMACK, JONES E ROOS, 1990).

A produção em massa tradicional da época, como discutida na seção 2.1, era caracterizada pela eficiência, padronização e fabricação de produtos em larga escala, com foco na redução de custos. No entanto, à medida que as empresas buscavam atender às crescentes demandas dos consumidores por produtos mais adaptados às suas preferências individuais, a customização foi gradualmente introduzida no processo de produção.

Esse período viu então o surgimento do que ficou conhecido como produção em massa flexível ou produção customizada. Nesse novo paradigma, as empresas começaram a oferecer algumas opções de customização para os consumidores, embora ainda dentro de limites pré-definidos, equilibrando a eficiência da produção em massa com a capacidade de atender às necessidades variadas dos clientes (WOMACK, JONES E ROOS, 1990).

Um exemplo notável dessa abordagem foi, novamente, a Ford Motor Company com o Ford Modelo T (WOMACK, JONES E ROOS, 1990). Inicialmente, o Modelo T era produzido em massa com pouca variação, seguindo os princípios de produção em massa de Henry Ford. No entanto, à medida que a demanda por variedade aumentava, a Ford começou a introduzir algumas opções de customização, como cores diferentes e acessórios adicionais.

Outro exemplo da época foi a indústria têxtil, que começou a oferecer uma gama mais ampla de opções de cores, padrões e texturas. Isso permitiu que as pessoas escolhessem tecidos que melhor se adequassem às suas preferências de moda e estilo, tornando suas roupas mais customizadas (WOMACK, JONES E ROOS, 1990). Essa abordagem representou um passo importante em direção à customização na produção em larga escala.

2.3 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

Marcada pelo advento da automação e da tecnologia da informação, a terceira revolução industrial apresentou a customização em massa. Embora a customização já fosse uma tendência emergente, com a ascensão da internet, os consumidores passaram a valorizar produtos que atendessem às suas necessidades específicas e refletissem alguma individualidade, o que impulsionou ainda mais a customização, à medida que as empresas buscavam atender a essa demanda crescente (PINE E GILMORE, 1999).

A customização em massa era uma abordagem de produção com flexibilidade limitada às restrições dos processos de produção em massa, onde as empresas introduziram algumas opções de customização pré-definidas para atender as expectativas de seus clientes (PINE E GILMORE, 1999).

Ainda, com processos de fabricação altamente padronizados para manter a eficiência da produção em massa, as opções de customização dos itens eram mantidas dentro de certos limites para garantir a uniformidade. A fabricação de lotes de produtos dificultava a adaptação de cada unidade individualmente (KALPAKJIAN E SCHMID, 2000).

Um exemplo de empresa que desenvolveu a customização em massa foi a Dell². Ela ofereceu a seus clientes a possibilidade de escolher, dentre algumas opções limitadas, o tipo de processador, a quantidade de memória, a capacidade de armazenamento, a placa gráfica e outras características do computador de acordo com suas necessidades e orçamento, ao mesmo tempo que mantinha a eficiência na produção.

A Nike³ também ficou conhecida por permitir que os clientes customizassem seus tênis esportivos podendo escolher as cores, o material, o *design* e até mesmo adicionar seus próprios nomes ou *slogans* aos tênis. E assim como a Nike, a Adidas⁴ também começou a oferecer serviços de customização de calçados.

Contudo, o investimento na customização em massa potencializou a capacidade das empresas de oferecer produtos customizados, permitindo o atendimento a uma gama mais ampla de clientes e a possibilidade de diversificar seus mercados (PINE E GILMORE, 1999). Além disso, ao se preocupar em atender as demandas do mercado e dos clientes por customização, mesmo que oferecendo padrões e poucas variações, estavam capacitando-se aos desafios que viriam enfrentar no futuro.

² <https://encurtador.com.br/IOU69> - Acessado em: 02 de novembro de 2023.

³ <https://encurtador.com.br/IEF68> - Acessado em: 02 de novembro de 2023.

⁴ <https://encurtador.com.br/iFKZ0> - Acessado em: 02 de novembro de 2023.

2.4 PERSONALIZAÇÃO EM MASSA

Os consumidores contemporâneos demonstram um perfil diferente em comparação às décadas anteriores. Suas expectativas e comportamentos refletem a influência das tecnologias digitais e da conectividade constante em suas vidas (PINE E GILMORE, 1999). A conectividade permitiu que os clientes se tornassem mais informados e influentes, compartilhando informações, opiniões e experiências em redes sociais e sites de avaliação, influenciando as decisões de compra de outros consumidores.

Surge então, um conceito na quarta revolução industrial, a personalização em massa. Busca-se com a personalização em massa a produção de produtos altamente personalizados de forma eficiente e escalável. Nesse modelo, os produtos podem ser adaptados de maneira exclusiva para cada cliente, levando em consideração suas especificações.

A co-criação de produtos está se tornando cada vez mais almejada no atual cenário, por permitir que os clientes, por meio de ferramentas interativas de *design*, personalizem elementos estéticos e funcionais do seu próprio produto (PINE E GILMORE, 1999). Empresas, como a Lego⁵, por exemplo, permitem que os clientes criem seus próprios conjuntos de peças e compartilhem *designs* com a comunidade. Isso não apenas oferece produtos altamente personalizados, mas também envolve os consumidores ativamente no processo de criação.

No contexto da produção personalizada, a manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, torna possível adaptar cada produto de acordo com as especificações exatas dos clientes. A manufatura aditiva facilita a fabricação de lotes unitários e permite que as empresas disponibilizem uma ampla gama de opções de personalização, desde as características de *design* até a escolha dos materiais.

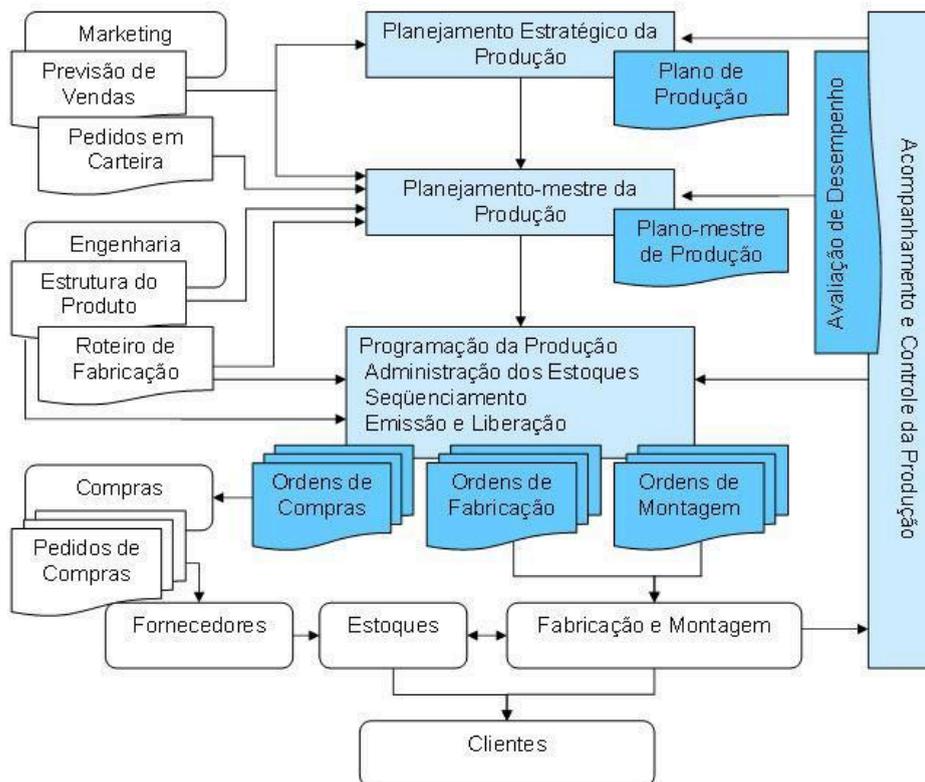
Produtos personalizados, no entanto, não devem apenas atender às expectativas dos clientes em termos de *design*, mas também em qualidade. Os consumidores esperam produtos de alta qualidade, duráveis e confiáveis e estão dispostos a pagar um preço extra por produtos personalizados que atendam às suas necessidades.

⁵ <https://encurtador.com.br/sHQUZ> - Acessado em: 02 de novembro de 2023.

2.5 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) desempenha um papel fundamental na gestão da produção, sendo o fator crucial para garantir a eficiência, eficácia e competitividade das organizações. O PCP é composto por um conjunto de processos e ferramentas que têm como objetivo fornecer informações e diretrizes para a gestão operacional, como mostrado na figura 2 (JACOBS E CHASE, 2020). Embora, ele auxilie na resposta a questões como o quê, quando, quanto e como produzir, é importante destacar que o PCP não executa essas ações diretamente, e sim oferece suporte à tomada de decisões (SCHRODER E GOLDSTEIN, 2017).

Figura 2 - Esquema simplificado do fluxo de informações do PCP



Fonte: Nomus Blog Industrial⁶, 2022.

O PCP compreende duas dimensões importantes, dentre elas, i) o planejamento da produção e ii) o controle da produção.

A primeira dimensão do PCP, o planejamento da produção, consiste na elaboração de estratégias e planos que determinam como a empresa atingirá seus objetivos de produção a longo, médio e curto prazo. Isso envolve a previsão de demanda, o dimensionamento de

⁶ <https://encurtador.com.br/dkIW2> - Acessado em: 15 de novembro de 2023.

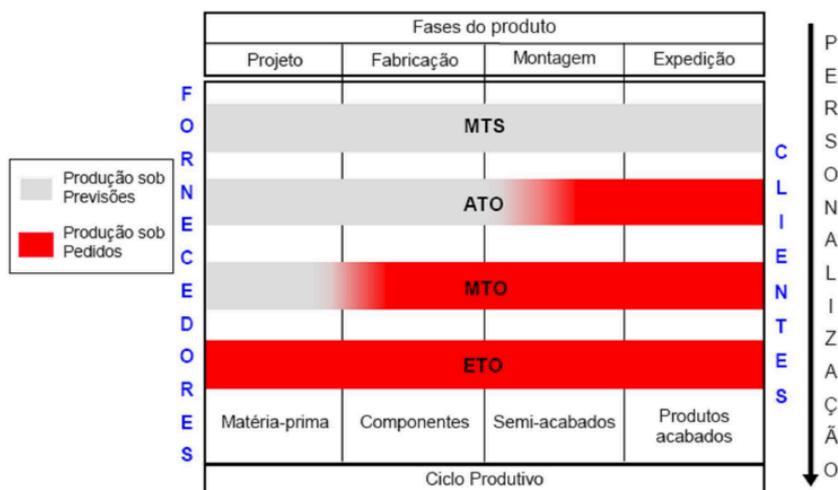
capacidade, a alocação de recursos (como mão de obra, máquinas e materiais) e a definição de metas. O alinhamento da produção com as metas da empresa visa minimizar os custos e maximizar a eficiência (SLACK, ALISTAIR E JOHNSTON, 2018).

O controle da produção, a segunda dimensão do PCP, está relacionado à supervisão e monitoramento das operações. Isso inclui o acompanhamento do progresso da produção, a detecção de desvios em relação ao planejado e a implementação de ações corretivas, visando garantir que os planos sejam executados de forma eficiente e que qualquer anomalia seja resolvida para evitar atrasos ou perdas (JACOBS E CHASE, 2020).

O planejamento e controle são atividades correlacionadas, que mudam de natureza ao longo do tempo. A longo prazo é definido o que pretende-se fazer, quais recursos são necessários e que objetivo espera-se atingir. No longo prazo, a ênfase recai sobre o planejamento, visto que ainda há pouco a ser controlado. Já com um nível maior de detalhes, o planejamento e controle a médio prazo avalia a demanda global que será atendida de forma desagregada. Nesse contexto, planos de contingência devem ser pensados para permitir leves desvios em relação ao plano. Por fim, a curto prazo a ênfase recai sobre o controle, pois já tendo sido definidos os recursos que serão utilizados é necessário garantir que a operação esteja funcionando de acordo com o planejado (SLACK, ALISTAIR E JOHNSTON, 2018).

O PCP desempenha ainda um papel estratégico, pois influencia a capacidade de uma empresa de atender às demandas do mercado, garantir a satisfação do cliente e competir de maneira eficaz. A figura 3 ilustra o grau de envolvimento do cliente com o produto em relação a quatro tipologias que direcionam as atividades do processo de gestão da produção.

Figura 3 - Estratégia de resposta à demanda e o grau de envolvimento do cliente com o produto



Fonte: Bremer e Lenza, 2000.

Como mostrado na figura 3, as quatro tipologias são: MTS – *Make to Stock*, ATO – *Assembly to Order*, MTO – *Make-to-Order* e ETO – *Engineering to Order*. No MTS, conhecido como produção para estoque, os sistemas baseiam-se em previsões de demandas e produzem com alta padronização, o que o torna mais adequado à produção em massa. Já no ATO, a montagem é sob encomenda e nesse contexto, os materiais são armazenados até o recebimento dos pedidos dos clientes. Portanto, este modelo está associado a customização em massa. Por fim, a personalização em massa, que leva a customização a um nível mais elevado de individualização, combina as características dos modelos MTO e ETO. No MTO, a produção só acontece mediante encomenda, após o fechamento dos pedidos pelos clientes e no ETO todo o projeto do produto é feito conforme especificações dos clientes (BREMER E LENZA, 2000).

Contudo, será explorado no tópico 2.5.1 o conceito de dois sistemas de gestão da produção que desempenham papéis cruciais no PCP, o Sistema de Execução da Manufatura (MES - *Manufacturing Execution System*) e o Planejamento de Recursos Empresariais (ERP - *Enterprise Resources Planning*).

2.5.1 MES e ERP

O MES é uma ferramenta desenvolvida para monitorar a execução dos processos no chão-de-fábrica, integrando o planejamento com o controle gerencial (SHIRASUNA, 2008; KUCGANT, 2008; VINHAIS, 1998; SEIXAS FILHO, 2007). Esse sistema de coleta de dados e informações desempenha um papel essencial na tomada de decisões (BRAH; LIM, 2006), possibilitando aos gestores, com base nas informações em tempo real e históricas, a tomada de medidas corretivas e preventivas para reduzir e/ou eliminar problemas nas células de produção.

O MES compreende algumas funcionalidades tais como, o planejamento detalhado, o gerenciamento de recursos, materiais e mão de obra, o gerenciamento da manutenção, do processo e da qualidade, a análise de desempenho, a coleta e registro dos dados e por fim, a rastreabilidade e genealogia dos produtos (KLETTI, 2007; SALATIEL, 2008; VINHAIS, 1998). Esse sistema viabiliza a personalização em massa por permitir a análise contínua da condição dos equipamentos e disponibilizar informações do produto em todos os pontos do processo, no tempo e no lugar certo.

Segundo Shirasuna (2008), as empresas que utilizam o MES apontam um aumento de 70% na produtividade e um aumento de mais de 250% na lucratividade em um período de

três anos. Sendo assim, alguns benefícios da aplicação do MES são: redução do tempo de produção, melhora dos prazos de entrega, redução de inventário em processo, melhora do desempenho dos recursos e da qualidade, entre outros.

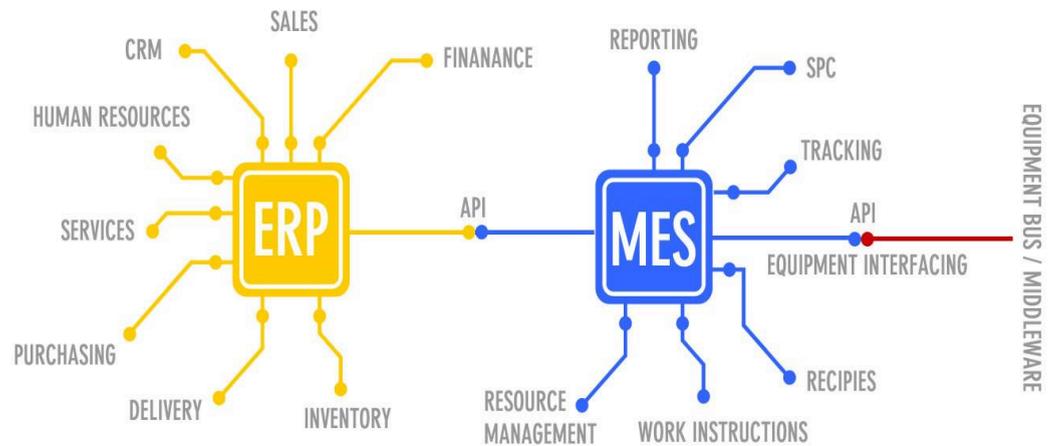
O ERP, por sua vez, é uma ferramenta essencial às empresas que buscam eficiência e competitividade no mercado globalizado. A sua capacidade de proporcionar uma visão abrangente e integrada de todas as operações, tanto internas quanto ao longo da cadeia de suprimentos, é amplamente destacada na literatura especializada.

De acordo com Chopra e Meindl (2003), os sistemas ERP fornecem um rastreamento e visibilidade global da informação em toda a empresa, possibilitando a tomada de decisões inteligentes. Essa integração de dados e processos provenientes de diversos setores, como financeiro, recursos humanos, produção, logística e vendas, é fundamental para a eficácia operacional e estratégica.

Contudo, como ressaltado por Kletti (2007) e Kucgant (2008), o ERP tem sido tradicionalmente focado em aspectos financeiros, deixando lacunas na gestão de processos críticos, como produção e qualidade. Bartholomew (2006) observa que os sistemas ERP, por sua natureza, têm se mantido distantes do chão-de-fábrica, o que pode resultar em dificuldades para monitorar e controlar efetivamente as atividades de produção.

Essa lacuna entre a visão financeira e a realidade operacional tem levado as empresas a buscar soluções complementares para o gerenciamento da produção. Nesse sentido, o MES, posicionado entre o nível operacional e empresarial, desempenha um papel crucial nesse processo de integração. Conforme apontado por Shirasuna (2008) e Vinhais (1998), o MES preenche a lacuna identificada, garantindo a qualidade da informação gerada e compartilhada.

A conexão do MES com o ERP, mostrada na figura 4, é realizada por meio de Interfaces de Programação de Aplicação (APIs - *Application Programming Interface*), que permitem que eles se comuniquem e compartilhem dados. Do lado direito da imagem, representado pelo ramo de cor vermelha, há um rótulo que diz "*EQUIPMENT BUS / MIDDLEWARE*", sugerindo a existência de outra camada ou sistema que dialogasse com o MES, provavelmente para comunicação de máquinas e equipamentos.

Figura 4 - Integração do MES e ERP

Fonte: Eazy Works⁷, 2020.

Com a integração do MES com o ERP, a gestão da produção ganha em confiabilidade, reduzindo erros e acelerando a geração de informações para as demais áreas da empresa. Essa integração não apenas melhora a eficiência dos processos produtivos, mas também permite uma resposta mais ágil às demandas dos clientes.

2.6 PARADIGMAS ESTRATÉGICOS DE GESTÃO DA MANUFATURA (PEGEMs)

Muitos paradigmas ao longo da história da manufatura foram propostos para auxiliar o planejamento e controle da produção na difícil tarefa de gerir os processos produtivos. Primeiramente, surgiu a Manufatura em Massa, com o objetivo de fabricar produtos baratos e disponíveis as massas, seguida da Manufatura Enxuta, da Manufatura Responsiva, da Customização em Massa e da Manufatura Ágil, a qual propõe um novo conceito de produção visando a competitividade das indústrias no mundo atual globalizado (GODINHO E FERNANDES, 2005).

Nesse contexto, os autores Moacir Godinho e Flavio Fernandes propõem um novo termo em Gestão da Produção: Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura (PEGEMs). Os PEGEMs tratam de forma integrada e comparativa os paradigmas de gestão da manufatura e são direcionados a determinados objetivos estratégicos da produção que as indústrias visam atingir.

Os autores afirmam ainda que um PEGEM é composto por quatro elementos-chave: i) os direcionadores, condições do mercado que possibilitam a implantação de determinado

⁷ <https://encurtador.com.br/cEHRV> - Acessado em: 16 de março de 2024.

PEGEM, ii) os objetivos de desempenho da produção, critérios que posicionam estrategicamente a empresa em relação a seus concorrentes, iii) os princípios, “o quê” deve ser atingido ou buscado e iv) os capacitores, “como” atingir um princípio. A figura 5 mostra os direcionadores de cada PEGEM (GODINHO E FERNANDES, 2005).

Figura 5 - Os direcionadores dos PEGEMs

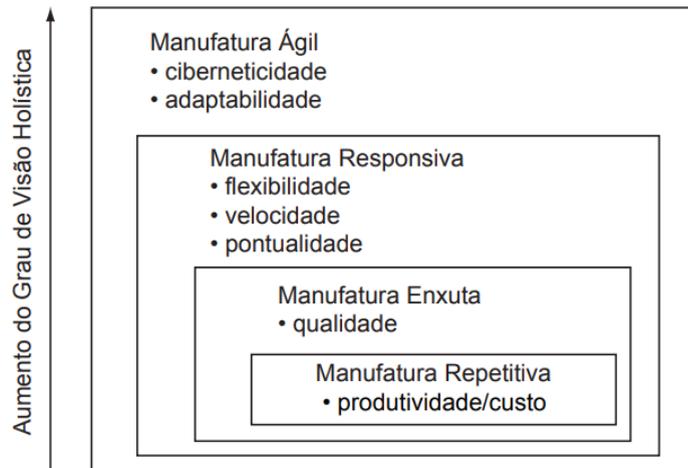
Manufatura em Massa Atual	Manufatura Enxuta	Manufatura Responsiva	Customização em Massa	Manufatura Ágil
Mercado homogêneo	Mercado estável	Mercado caracterizado pela competição baseada no tempo e na diversidade de produtos.	Customização em Massa deve representar uma característica diferencial, como fonte de vantagens competitivas no mercado; além disso, os produtos devem ser customizáveis.	Mercados totalmente imprevisíveis marcados por mudanças bruscas.
Clientes entendendo o preço como o principal diferencial competitivo	Clientes desejando preços, qualidade e diferenciação.	Clientes desejando velocidade, pontualidade e alta variedade, ou seja, responsividade.	Clientes desejando customização.	Clientes com desejos os mais diversos possíveis e mutáveis e necessidade da empresa fazer frente a este desafio.

Fonte: Godinho e Fernandes, 2005.

Como citado anteriormente, o PCP desempenha um papel estratégico que pode ser entendido nesse contexto como sendo a estratégia de produção que determina a priorização dos objetivos de desempenho a qual contribua para a estratégia de negócios das empresas. Os objetivos de desempenho considerados no trabalho de Godinho e Fernandes são, qualidade, rapidez (velocidade), pontualidade, flexibilidade e custo.

A Figura 6 ilustra os objetivos de desempenho relacionados a cada PEGEM. A Manufatura Repetitiva foca na produtividade e no custo, enquanto a Manufatura Enxuta prioriza a qualidade e a eliminação de desperdícios. A Manufatura Responsiva se destaca pela flexibilidade, velocidade e pontualidade. No nível mais avançado, a Manufatura Ágil enfatiza a ciberneticidade e adaptabilidade, utilizando tecnologias avançadas para criar sistemas de produção inteligentes e auto-reguláveis. Nesse contexto, a ciberneticidade refere-se ao uso de sistemas de controle e comunicação para otimizar a produção em tempo real (GODINHO E FERNANDES, 2005).

Figura 6 - Modelo que relaciona alguns PEGEMs e alguns objetivos estratégicos da produção



Fonte: MacCarthy e Fernandes, 2000.

A figura 7 corrobora a necessidade do surgimento de novos PEGEMs em virtude das mudanças das necessidades do mercado, que evoluíram ao longo das décadas. E também exemplifica a evolução, mostrada no início do referencial teórico deste trabalho, da produção em massa à personalização em massa almejada atualmente. Por exemplo, na década de 60 os consumidores priorizavam a aquisição de produtos baratos e as empresas focaram na eficiência para atender a essa demanda. Já na década de 90, buscando atender a solicitação dos clientes por exclusividade, as empresas investiram em inovação como critério de desempenho.

Figura 7 - Evolução das necessidades de mercado e critérios de desempenho para empresas industriais de grande porte

	Décadas			
	60	70	80	90
Necessidade de mercado	Preço	Qualidade	Linha de produtos	Exclusividade
Critério de desempenho	Eficiência	Qualidade	Flexibilidade	Inovação

Fonte: Adaptado de Bolwijn e Kumpe, 1990.

Por fim, a figura 8 mostra alguns princípios/capacitadores de cada PEGEM (MMA - manufatura em massa atual, ME - manufatura enxuta, MR - manufatura responsiva, CM - customização em massa e MA - manufatura ágil). Frente a um mercado em constante evolução, identificar novas oportunidades e desenvolver habilidades para dominar as solicitações dos clientes vem se tornando um grande diferencial para as empresas. Nesse

contexto, surge um novo PEGEM, denominado Indústria 4.0, advinda do surgimento de novas tecnologias e clientes em busca de produtos inovadores e personalizados (GODINHO E FERNANDES, 2005).

Figura 8 - PEGEM x Grau de ênfase de alguns princípios/capacitadores

Princípios/Capacitadores	MMA	ME	MR	CM	MA
Alta Especialização do trabalho	5	3	2	2	1
Autonomia	1	5	2	2	2
Estratégia de controle da produção que foca a competição baseada no tempo num ambiente de alta variedade de produtos	1	1	5	3	2
Redução no ciclo de desenvolvimento do produto e também no ciclo de vida dos produtos	1	2	3	5	4
Empresa virtual	1	1	1	2	5

Legenda: grau 1 (ênfase baixa); grau 2 (ênfase baixa/média); grau 3 (ênfase média); grau 4 (ênfase média/alta); e grau 5 (ênfase alta).

Fonte: Godinho e Fernandes, 2005.

2.6.1 Indústria 4.0 e suas tecnologias

A revolução industrial é um marco na história da humanidade, impulsionando mudanças profundas na sociedade, economia e formas de produção. Agora, estamos testemunhando o surgimento de uma nova era: a Indústria 4.0, uma fusão entre o mundo físico e o digital, redefinindo os limites da inovação e da eficiência.

O termo "Indústria 4.0" surgiu como uma iniciativa estratégica da Alemanha para fortalecer sua posição como líder global em tecnologia. Descrito por Kagermann et al. (2013), esse conceito abrange a integração de sistemas físico-cibernéticos, onde máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção trocam informações autonomamente através da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), desencadeando ações e controlando-se mutuamente de forma independente.

Essa revolução é impulsionada por diversas tecnologias interconectadas. A IoT desempenha um papel central, conectando objetos físicos à internet, permitindo a coleta, troca e análise de dados para otimizar interações entre humanos, máquinas e objetos. A manufatura aditiva, ou impressão 3D, e a robótica avançada são exemplos de tecnologias físicas que estão transformando os processos de produção. A flexibilidade proporcionada pela manufatura aditiva permite a personalização em massa, enquanto a robótica avançada, equipada com inteligência artificial, aumenta a produtividade e a automação, reduzindo falhas na produção (CNI, 2017).

A convergência da inteligência artificial (IA), *big data* e computação em nuvem está pavimentando o caminho para uma série de avanços revolucionários em diversos campos. A IA, com seu vínculo inextricável ao *machine learning* e ao *deep learning*, capacita máquinas a

aprender e adaptar suas funções de acordo com novas variáveis. Isso significa que algoritmos podem analisar grandes conjuntos de dados, identificar padrões complexos e fornecer diagnósticos mais precisos e rápidos. O *Big Data*, por sua vez, possibilita a análise de grandes volumes de dados, determinando probabilidades e apoiando decisões sem a necessidade de compreender todas as causas subjacentes (Tamás & Illés, 2016). E a computação em nuvem fornece a infraestrutura necessária para processar esses dados com eficiência e escalabilidade (OCDE, 2015).

Na Indústria 4.0, a análise preditiva emerge como uma ferramenta vital para impulsionar a eficiência, a produtividade e a tomada de decisões informadas. Ao combinar dados de produção em tempo real e históricos, modelos estatísticos avançados e algoritmos de aprendizado de máquina, a análise preditiva capacita as empresas a antecipar eventos futuros e agir proativamente para mitigar riscos e aproveitar oportunidades. Além disso, é essencial para a otimização de processos industriais, permitindo a identificação de gargalos, a previsão de tempos de ciclo e a melhoria da qualidade do produto (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

A Gestão de Relacionamento com o Cliente (CRM - *Customer Relationship Management*) desempenha um papel crucial na Indústria 4.0, atuando como uma ponte essencial entre as empresas e seus clientes. Uma de suas principais vantagens é a capacidade de personalizar e adaptar as interações com os clientes com base em dados precisos e em tempo real. Por meio da análise avançada de dados e algoritmos de *machine learning*, as empresas podem segmentar seus clientes de forma mais precisa, prever suas necessidades e oferecer produtos e serviços sob medida, aumentando assim a satisfação e fidelidade do cliente (Müller & Däschle, 2018).

Essas tecnologias estão dando origem a sistemas ciber-físicos, interligando componentes físicos e virtuais para aumentar a eficiência e a capacidade de adaptação em tempo real. Seis características fundamentais definem a Indústria 4.0: i) interoperabilidade, refere-se à capacidade dos sistemas, dispositivos e máquinas de comunicarem-se entre si e trocarem informações de forma eficiente e transparente, ii) virtualização, envolve a criação de réplicas digitais de processos, produtos e recursos físicos, iii) descentralização, significa distribuir a tomada de decisões e as funções de controle em toda a cadeia de produção, em vez de concentrá-las em um único ponto, vi) capacidade de adaptação em tempo real, refere-se à capacidade dos sistemas e processos de adaptarem-se rapidamente a mudanças nas condições de produção e demandas do mercado, v) orientação de serviço, envolve a mudança do foco de

produção de produtos para serviços personalizados e vi) modularidade, refere-se à capacidade de sistemas e processos serem compostos por módulos independentes e intercambiáveis, que podem ser facilmente configurados e reconfigurados para atender a diferentes requisitos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

A influência da Indústria 4.0 vai muito além da manufatura, impactando diversos setores da sociedade. Gestão, produção e interação entre produtores e consumidores estão sendo transformados, impulsionando a produtividade, adaptabilidade e velocidade de desenvolvimento de novos produtos e processos.

3. DESENVOLVIMENTO

A personalização em massa, conforme definida por Piller e Muller (2004), tem como propósito oferecer bens e serviços individualizados, mantendo a eficiência típica da produção em massa. Esse conceito surge da crescente inclinação dos consumidores em expressar sua personalidade nos produtos, impulsionando os fabricantes a desenvolver uma ampla variedade de variantes, inclusive a produção de unidades únicas.

O PCP desempenha um papel central nesse cenário, atuando como a espinha dorsal que conecta as preferências individuais dos clientes aos processos de fabricação. À medida que as fábricas evoluem, a capacidade de compreender e adaptar-se dinamicamente às necessidades do cliente reforça a posição da personalização em massa como um diferencial competitivo na indústria de produção.

No entanto, a adoção da personalização em massa traz consigo uma série de implicações que moldam a dinâmica entre empresas e consumidores, bem como os processos internos das organizações. Em primeiro lugar, a busca por atender às necessidades individuais dos clientes visa aprimorar a satisfação do consumidor. Conforme revelado por um levantamento conduzido em 2022, que abrangeu 3.450 consumidores, constatou-se que mais da metade deles expressou insatisfação em relação à experiência de customização oferecida por diversas marcas (TWILIO, 2022).

A expansão do mercado é uma outra implicação significativa, já que a personalização em massa desbrava novos nichos e atrai consumidores com demandas específicas. O aumento expressivo das compras online, por exemplo, que reflete a mudança nos padrões de consumo, não apenas amplia os mercados, mas também resulta em bases de clientes mais extensas.

O êxito da personalização em massa é intrinsecamente vinculado a fatores distintos, destacando-se os fatores externos e internos. No que tange aos fatores externos, a diversidade das demandas dos clientes é crucial. A personalização em massa floresce em ambientes onde há uma necessidade clara de diversificação no mercado, onde os consumidores buscam singularidade (SALVADOR ET AL., 2009).

Por outro lado, os fatores internos relacionam-se à capacidade da empresa. Ter o conjunto adequado de habilidades e recursos torna-se imprescindível para atender às demandas dinâmicas da personalização em massa. Desde a implementação de sistemas tecnológicos avançados até a adoção de processos de produção flexíveis e eficientes, as

empresas devem estar preparadas para abraçar a complexidade que a personalização em massa implica (SALVADOR ET AL., 2009).

Autores como Brynjolfsson e McAfee (2014), Russwurm (2014), Schröder et al. (2015), Sugayama e Negrelli (2015), destacam três elementos principais de uma indústria do futuro: a rede de produção e produto, o ciclo de vida do produto e os sistemas ciber-físicos. Esses elementos englobam desde sistemas de execução de manufatura e planejamento de recursos empresariais até a integração entre o mundo virtual e físico, utilizando sensores e atuadores para uma troca de informações rápida, flexibilidade de processos e controle preciso do processo produtivo.

Entretanto, a personalização de produtos ou serviços é influenciada pelas recentes tendências tecnológicas, gerenciamento de dados e digitalização da quarta revolução industrial (BARANAUSKAS, 2020). Para aproveitar essas oportunidades, é crucial integrar os sistemas ao longo da cadeia de abastecimento, desde a integração interna até a integração de fornecedores e clientes. O rápido avanço da tecnologia da informação e da ciência de dados possibilita a fabricação inteligente baseada em *big data*, permitindo a interconexão e integração de todos os sistemas de informação (ZHANG ET AL., 2019). Enquanto isso, os sensores são a chave para transformar a flexibilidade da produção e a personalização em massa.

3.1 CRM na Indústria 4.0

Atingimos o estágio da história em que a comunicação, a tomada de decisões, a aquisição de conhecimento e as transações comerciais tornaram-se acessíveis a qualquer momento e em qualquer lugar. A era da computação móvel está transformando profundamente a nossa vida e impulsionando a personalização dos produtos e serviços.

Adotar a produção de personalização em massa, implica sobre às empresas superar os desafios de interface entre a produção e os desejos dos clientes, o desenvolvimento de produtos e a utilização dos mesmos, sustentadas pelo avanço tecnológico. Dessa forma, na personalização em massa, a jornada do cliente começa muito antes da produção. A interação inicial se dá no processo de *design*, onde os clientes podem utilizar interfaces intuitivas que estimulam sua imaginação e o ajudam a traduzir ideias abstratas em preferências visuais mais concretas e requisitos específicos. Além disso, permitem que o cliente visualize em tempo real as mudanças feitas no *design* e através da análise dessas mudanças, algoritmos de aprendizado

de máquina geram sugestões automáticas baseadas em padrões identificados e em outras personalizações similares.

Assim como acontece com os dados produtivos, os dados comportamentais como o tempo gasto em cada seleção do *design*, as áreas de foco e as alterações frequentes são registrados e processados, convertendo as preferências visuais em parâmetros compreensíveis para os sistemas de produção, indicando cores específicas, materiais a serem usados e configurações de *design* detalhadas.

Neste primeiro cenário, o PCP enfrenta desafios como o gerenciamento de recursos, a previsão de demanda, a robustez dos dados de entrada e a avaliação da capacidade dos maquinários. Segundo Tseng e Jiao (2001), o gerenciamento de recursos na personalização em massa é um desafio complexo pois exige sistemas avançados de planejamento e controle para a alocação de matéria-prima, mão-de-obra e maquinário. Tecnologias como o MES são empregadas para otimizar a utilização dos recursos, garantindo eficiência e redução de desperdícios.

Já a previsão de demanda é crucial para antecipar as necessidades dos clientes e os modelos estatísticos avançados, combinados com algoritmos de aprendizado de máquina, são utilizados para analisar padrões de compra e prever tendências (DA SILVEIRA ET AL., 2001). A utilização de *Big Data* aprimora a precisão das previsões, permitindo uma produção mais ágil e responsiva.

Os *inputs* do processo, por sua vez, incluem os dados dos clientes, as especificações dos produtos extraídas durante o processo de *design*, e as informações do mercado. Neste contexto, a agilidade na conversão de *inputs* em *outputs*, que são os produtos personalizados prontos para entrega, é fundamental para atender às expectativas dos clientes e manter a competitividade inerente da personalização em massa.

Por fim, a avaliação da capacidade dos maquinários é um aspecto crítico na personalização em massa visto que, a flexibilidade e adaptabilidade dos equipamentos são essenciais para lidar com a variedade de demandas. Sistemas de monitoramento contínuo e manutenção preditiva são implementados para garantir o desempenho máximo das máquinas em diferentes configurações (TSENG e JIAO, 2001).

3.2 O PAPEL DO MES NA PERSONALIZAÇÃO EM MASSA

Com o advento da personalização em massa redefinindo os paradigmas da produção industrial exige-se uma reavaliação das tecnologias de apoio. Segundo Li e Wang (2019) o MES, tradicionalmente responsável pelo monitoramento e controle da produção, emerge como uma peça-chave nesse cenário.

A base da personalização em massa reside na compreensão aprofundada das preferências individuais dos clientes e o MES, ao integrar-se com sistemas de coleta de dados, tem à sua disposição informações sobre as escolhas dos consumidores, histórico de compras e tendências de mercado. Essa riqueza de dados torna-se a matéria-prima essencial para a produção altamente personalizada. Abaixo será explorado detalhadamente cada uma dessas informações e como são utilizadas pelo MES:

- Escolhas dos consumidores: O MES utiliza as preferências individuais dos clientes, incluindo características e funcionalidades desejadas, *design*, entre outras informações para personalizar os processos de produção. Isso pode incluir ajustes nas linhas de produção, seleção de materiais específicos e configuração personalizada dos produtos.
- Histórico de compras: O MES analisa os registros detalhados das transações anteriores dos clientes, indicando quais produtos foram adquiridos, quais características foram mais almejadas e valorizadas nos processos de *design*, para identificar padrões de comportamento dos consumidores, permitindo a antecipação de preferências futuras e a adaptação da produção.
- Tendências de mercado: O MES utiliza *insights* sobre as mudanças e direções que o mercado está tomando, incluindo inovações tecnológicas, preferências emergentes dos consumidores e novas demandas, para ajustar dinamicamente a produção. Isso pode envolver a introdução rápida de novos recursos ou a adaptação de produtos existentes com base nas últimas tendências.

Li e Wang (2019) destacam que o uso eficiente dessas informações não apenas atende às expectativas dos clientes, mas também aprimora a eficiência operacional das indústrias que adotam o modelo de personalização em massa. Essas informações são integradas pelo MES por meio de sistemas de coleta de dados que podem incluir análise de *Big Data*, IoT e ferramentas de mineração de dados.

O MES desempenha um papel estratégico ao processar e analisar os dados disponíveis para traduzir as preferências dos clientes em requisitos de produção. Conforme Giovanni da

Silveira, Denis Borenstein e Flávio Fogliatto (2001), utilizando algoritmos avançados, o MES identifica padrões, antecipa demandas futuras e ajusta dinamicamente os processos de produção para atender às especificidades de cada pedido. Essa função adaptativa do MES é essencial para a ágil resposta às demandas diversificadas da personalização em massa e será mostrado abaixo como o MES realiza essa tarefa.

1. Coleta de dados: O MES integra-se a sistemas de coleta de dados, como CRM, sistemas de vendas *online*, entre outros, coletando dados sobre escolhas dos clientes, históricos de compras, *feedbacks* e qualquer interação relevante do cliente com a empresa.
2. Padronização e organização dos dados: O MES realiza a organização dos dados em uma estrutura compreensível, atribuindo categorias específicas às diferentes informações, como preferências de funcionalidades, datas de compra e *feedbacks*.
3. Análise de dados: Utilizando algoritmos avançados de aprendizado de máquina e análise preditiva, o MES examina os dados para identificar padrões, desde os relacionados às características dos produtos até padrões de comportamento de compra, tendências e relações relevantes.
4. Tradução em requisitos de produção: Com base nas preferências identificadas, o MES atribui prioridades a diferentes requisitos de produção. Por exemplo, se um grupo significativo de clientes prefere determinada cor ou funcionalidade, essa preferência pode ser priorizada nas etapas de produção. O MES ajusta dinamicamente os processos de produção para atender às preferências específicas de cada cliente, envolvendo a configuração de máquinas, seleção de materiais e modificações nos procedimentos de fabricação e montagem.
5. Feedback contínuo: O MES monitora continuamente o desempenho da produção em relação aos requisitos, como consumo de materiais, condições da força de trabalho, *status* das máquinas e andamento dos pedidos, proporcionando uma visão completa e precisa das operações fabris em tempo real e ajustando a produção conforme necessário, criando assim, um ciclo de melhoria contínua.
6. Integração com outros sistemas: O MES compartilha informações sobre requisitos de produção com sistemas ERP, garantindo a sincronização eficiente de toda a cadeia de suprimentos. Essas especificações personalizadas também são comunicadas aos sistemas de controle de qualidade para garantir que os produtos atendam aos padrões exigidos.

Logo, os *inputs* do MES na personalização em massa continuam incluindo dados dos clientes, especificações dos produtos, previsões de demanda e informações sobre a disponibilidade de recursos. Os *outputs*, por sua vez, passam a compreender os ajustes automáticos nas linhas de produção, a alocação otimizada de recursos e os produtos personalizados prontos para entrega.

O MES tradicional focava principalmente na otimização da produção em massa, com ênfase em eficiência e controle. No entanto, o MES destinado às indústrias do futuro transcende esse modelo, incorporando aprendizado de máquina, análise preditiva e inteligência artificial. Segundo Tseng e Jiao (2001), a capacidade de adaptação do MES à volatilidade das demandas do mercado, proporcionada por essa evolução, é o diferencial crucial para a personalização em massa.

A evolução do MES é uma resposta proativa aos desafios - capacidade de processar grandes volumes de dados em tempo real, a flexibilidade para ajustar rapidamente os processos de produção e a previsão precisa da demanda - inerentes à personalização em massa, transformando-o em uma ferramenta habilitadora das indústrias do futuro.

3.3 O PAPEL ESTRATÉGICO DO ERP NA PERSONALIZAÇÃO EM MASSA

As indústrias do futuro enfrentam o desafio de atender às demandas crescentes por personalização em massa. Neste contexto, Haddara e Elragal (2015) ressaltam que o principal fator crítico de sucesso para a nova geração de sistemas ERP no ambiente de fábrica do futuro é a capacidade de previsão. Isso implica na habilidade de realizar análises comparativas entre dados históricos e atuais, a fim de propor soluções reativas rápidas de forma inteligente. No entanto, o principal desafio enfrentado é a integração entre o ERP e as máquinas, pois a falta de padronização na comunicação entre ambos dificulta os processos essenciais para uma operação eficaz.

Segundo Li e Wang (2019) os *inputs* do ERP incluem dados dos clientes, históricos de compras, preferências individuais, informações de fornecedores e dados relacionados à cadeia de suprimentos. Com base nessas entradas e utilizando algoritmos avançados, o ERP analisa e interpreta as informações disponíveis para otimizar os processos de produção, incluindo a personalização de ordens de produção, alocação dinâmica de recursos e coordenação eficaz entre diferentes setores da empresa. Abaixo será explorado detalhadamente cada um desses *inputs* e como são utilizados pelo ERP:

- Dados dos clientes: O ERP utiliza as informações sobre os clientes, incluindo seus perfis, preferências, informações demográficas, comportamentos e *feedbacks* para personalizar as interações, adaptando ofertas, serviços e comunicações de acordo com as características individuais de cada um. Isso é vital para entender as demandas específicas dos consumidores e ajustar a produção conforme necessário.
- Históricos de compras: O histórico de compras é uma fonte valiosa para prever comportamentos futuros. O ERP analisa as transações de compra anteriores de cada cliente, indicando produtos adquiridos, datas de compra, valores gastos e quaisquer personalizações solicitadas para orientar as previsões de demanda e ajustar a produção de acordo com as tendências observadas.
- Preferências individuais: O ERP utiliza as informações relacionadas às preferências de produtos, opções de personalização, escolhas de *design* e características específicas desejadas pelos clientes para personalizar as ordens de produção. Ele adapta os processos para incorporar as características desejadas, direcionando a produção personalizada.
- Informações de fornecedores: O ERP utiliza os dados sobre prazos de entrega, disponibilidade de materiais, custos associados, histórico de desempenho dos fornecedores, entre outros, para otimizar a gestão da cadeia de suprimentos. Isso inclui o planejamento de produção, a programação de entregas e a garantia de que os materiais indispensáveis estejam disponíveis quando necessário para atender à personalização.
- Dados relacionados à cadeia de suprimentos: O ERP coordena todas as etapas da cadeia de suprimentos, desde a produção até a distribuição, garantindo uma visão integrada e em tempo real. Isso permite uma resposta ágil às mudanças nas preferências dos clientes e ajustes dinâmicos nos processos de produção.

O ERP tradicional centrava-se principalmente na gestão eficiente dos recursos empresariais, com ênfase em processos internos e eficiência operacional. No entanto, a mudança no ERP destinado às indústrias do futuro reflete a necessidade de enfrentar os desafios: exigência por uma resposta mais rápida às mudanças nas preferências dos clientes, coordenação eficiente entre diferentes áreas da empresa e uma visão mais abrangente da cadeia de suprimentos, havendo assim a necessidade de tornar-se mais ágil, adaptável e focado na integração de dados em tempo real para suportar a personalização em massa (TSENG e JIAO, 2001).

Frente o foco na otimização dos processos produtivos, a personalização das ordens de produção, a alocação dinâmica dos recursos e a coordenação eficaz entre os diferentes setores da empresa - *outputs* citados anteriormente - são aspectos críticos da atuação do ERP na implementação da personalização em massa. Será mostrado abaixo como o ERP realiza essas atividades e quais os benefícios alcançados.

1. Personalização das ordens de produção: O ERP utiliza algoritmos avançados para analisar os dados disponíveis com o intuito de identificar os padrões e tendências que indicam as características específicas desejadas pelos clientes. Com essas informações, ele personaliza automaticamente as ordens de produção para atender às especificações, ajustando materiais, processos e características do produto conforme necessário. A personalização das ordens de produção pelo ERP otimiza o uso dos recursos, evitando a produção em massa padronizada e aumentando a satisfação e a fidelidade do consumidor, quando atende precisamente às preferências individuais.
2. Alocação dinâmica dos recursos: O ERP analisa as demandas personalizadas geradas pela personalização das ordens de produção. Considerando essas demandas, o ERP avalia a disponibilidade dos recursos, incluindo máquinas, mão de obra e materiais, e realiza a alocação dinâmica dos mesmos, priorizando e distribuindo-os de maneira eficiente para atender às demandas específicas de cada ordem personalizada. A alocação dinâmica evita subutilização ou sobrecarga de recursos, garantindo uma produção eficiente e adaptável. Além disso, ao adaptar os recursos conforme a demanda, contribui para a redução de desperdícios, uma vez que evita a produção de itens não personalizados ou com características não solicitadas.
3. Coordenação eficaz entre diferentes setores: O ERP atua como uma plataforma centralizada, compartilhando informações em tempo real entre os diversos setores da empresa, como produção, logística, vendas e marketing. Isso ocorre através da automatização da comunicação entre os setores, notificando-os sobre as mudanças nas demandas de produção, atualizações de estoque e requisitos específicos dos clientes. A coordenação eficaz ocorre pela sincronização das atividades, garantindo que cada setor esteja ciente das necessidades e ajustes realizados, reduzindo assim os conflitos internos. Além disso, a comunicação automatizada permite uma resposta ágil às mudanças.

Contudo, essas funcionalidades contribuem para a agilidade, eficiência e adaptação contínua que caracterizam os requisitos das empresas que buscam responder à crescente demanda por personalização em massa.

3.4 INTEGRAÇÃO DO MES E ERP NA ERA DA PERSONALIZAÇÃO EM MASSA

A personalização em massa é um processo multifacetado que inicia-se com a compreensão das preferências individuais dos clientes. O MES e o ERP desempenham papéis distintos nesse processo, com o MES operando no nível da produção, coleta dados em tempo real sobre o chão de fábrica e o ERP na gestão abrangente dos recursos empresariais, incluindo finanças, cadeia de suprimentos e vendas.

A integração estratégica do MES e ERP é a espinha dorsal da personalização em massa nas indústrias do futuro (TSENG e JIAO, 2001). Com a capacidade de coletar, processar e compartilhar informações em tempo real, esses sistemas oferecem uma resposta ágil às demandas do mercado e garantem eficiência na produção personalizada. Gómez Paredes (2020) afirma ainda, que essa integração facilita a transparência completa das informações, bem como a conectividade aos dados de negócios em tempo real.

Será explorado a seguir como ocorre o fluxo de informações entre esses sistemas, destacando as mudanças essenciais no MES e ERP que os tornam fundamentais para as empresas que buscam adotar a personalização em massa.

- Fluxo de informações entre MES e ERP: O MES coleta as informações detalhadas sobre o processo de produção, incluindo tempos de ciclo, utilização das máquinas e a qualidade dos produtos em relação aos seus requisitos. Com base nesses dados, ele realiza análises em tempo real para adaptar dinamicamente os processos produtivos. Na sequência, as informações processadas pelo MES são transmitidas ao ERP, alimentando a base de dados global da empresa. Esse por sua vez utiliza os dados para coordenar os recursos - transmitindo a informação para todos os setores da empresa - gerenciando a alocação de materiais, otimizando a cadeia de suprimentos e ajustando estratégias financeiras. Por fim, o ERP fornece *feedback* ao MES, influenciando a otimização contínua dos processos de produção com base nas demandas do mercado e nas mudanças nas preferências dos clientes.
- Principais mudanças no MES: Incorporação de algoritmos avançados para análise em tempo real, que confere a capacidade de personalização instantânea nas linhas de

produção através da comunicação imediata entre máquinas e sistemas, permitindo ajustes para atender a diferentes especificações de produtos.

- Principais mudanças no ERP: Integração de sistemas de *Big Data* e análise preditiva para antecipação de tendências e adaptação estratégica. E a integração de sistemas de comunicação em tempo real para facilitar a coordenação entre diferentes setores da empresa.

Ciano (2021) afirma que a integração das máquinas com sistemas MES e ERP permite a identificação imediata de anomalias ou quebras, bem como calcular o Indicador-Chave de Desempenho (*Key Performance Indicators* - KPIs) em tempo real. Além disso, quando os vários subsistemas de informação dentro da organização são conectados ao ERP, um sistema de manufatura flexível e reconfigurável é criado. Essa integração resulta em máquinas inteligentes dentro da organização configurando-se de forma autônoma para se adaptar a diferentes produtos (SONY, 2018).

Segundo Li e Wang (2019) a personalização em massa ganha um novo fôlego com o advento das tecnologias emergentes. A IA, por exemplo, pode auxiliar o MES na análise de dados massivos e os algoritmos avançados são capazes de identificar padrões complexos. Os dispositivos IoT, por sua vez, conectam-se em rede, proporcionando a coleta dos dados em tempo real. Nas indústrias de personalização em massa, a IoT viabiliza a monitorização, pelo MES e o ERP, de produtos, matérias-primas e equipamentos.

A coleta em tempo real proporcionada pelos dispositivos IoT é viabilizada pela interconexão de dispositivos físicos que são incorporados com sensores em máquinas de produção, etiquetas de Identificação por Radiofrequência (*Radio-Frequency Identification* - RFID) em produtos, sensores de temperatura em estoques, *softwares* e outras tecnologias para coletar e trocar dados pela internet.

Ao conectar-se à rede, os dispositivos transmitem informações instantâneas sobre o estado e a localização dos produtos, desde a fase inicial de produção até o uso final pelos consumidores. Isso viabiliza a monitorização contínua de cada etapa do ciclo de vida do produto, incluindo detalhes sobre a fabricação, armazenamento, transporte e interações pós-venda. Dessa forma, a IoT cria uma infraestrutura que permite não apenas a coleta de dados em tempo real, mas também a análise e interpretação imediatas dessas informações. Essa capacidade permite uma resposta ágil a eventos inesperados, a identificação de padrões de consumo e a otimização constante das operações para atender às demandas específicas dos clientes.

Por fim, a manufatura aditiva, foi citada por alguns autores como uma tecnologia disruptiva que destaca-se por viabilizar a produção de personalização em massa. Ao construir objetos camada por camada a partir de modelos digitais, a impressão 3D oferece uma abordagem inovadora que permite a adaptação eficiente de cada item de acordo com as especificações individuais do cliente e elimina a necessidade de ferramentas específicas para cada produto, reduzindo significativamente o tempo entre o pedido e a entrega. Além disso, pode ser promovida por robôs nas linhas de montagem, permitindo o aumento da produtividade (CIANO et al., 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho evidencia que a personalização em massa emerge como uma força transformadora dos processos industriais frente à quarta revolução industrial. Nesse contexto, o MES e o ERP desempenham papéis cruciais na otimização e integração das operações. No entanto, porque os estudos declaram que para atender às demandas desse novo paradigma, esses sistemas de gestão da produção tradicionais precisam incorporar as funcionalidades - principalmente a capacidade de coletar, trocar e analisar dados em tempo real - das tecnologias emergentes com a Indústria 4.0?

Embora o MES e o ERP tenham sido os pilares da eficiência operacional em muitas indústrias, suas capacidades atuais enfrentam limitações significativas em adaptabilidade, flexibilidade e capacidade de lidar com a complexidade da personalização em massa.

Analisando criticamente o MES atual, já na coleta de dados o sistema produtivo precisa lidar com potenciais erros e atrasos na obtenção das informações. O controle dos processos é baseado em regras fixas e programação estática, que limitam a capacidade de adaptar-se repentinamente. A programação baseia-se em estimativas, o que pode resultar na subutilização dos recursos. A rastreabilidade dos produtos ao longo do processo produtivo é limitada, dificultando a identificação e correção de desvios de qualidade e das especificações. Por fim, a gestão de qualidade é reativa, dependendo de inspeções e testes manuais para identificação de possíveis anomalias, o que pode levar a produtos defeituosos sendo produzidos e detectados somente após sua conclusão.

Já no ERP atual, os processos são fragmentados e dependentes de sistemas isolados, dificultando a integração e comunicação entre diferentes áreas. A tomada de decisão é baseada em dados históricos e relatórios estáticos, o que pode levar a decisões subótimas devido à falta de *insights* em tempo real. A gestão de estoque é descentralizada, resultando em excesso de estoque, falta de visibilidade e dificuldade na identificação de oportunidades de redução de custos. Além disso, muitos processos são manuais, tornando-o propenso a erros, atrasos e falta de eficiência.

A personalização em massa, no entanto, não é apenas uma resposta às demandas individuais dos clientes, mas também uma transformação necessária às práticas de planejamento e controle da produção. Pois, esse modelo produtivo requer processos de produção ágeis e adaptáveis, maquinários e equipamentos modulares e reconfiguráveis,

integração de sistemas, acesso a dados em tempo real, compartilhamento de informações ao longo da cadeia de suprimentos e uma logística de distribuição eficiente.

Nesse contexto, corroborando com a indagação feita no parágrafo inicial deste tópico, a evolução do MES e do ERP, através da incorporação da IoT para conectividade e monitoramento e da *big data* e *analytics* para suportar tomadas de decisões informadas e autônomas, é crucial por: i) fornecer controle e visibilidade em tempo real dos processos produtivos, permitindo ajustes rápidos e flexíveis, ii) integrar as informações desde o planejamento da produção até a cadeia de suprimentos, facilitando a tomada de decisões, iii) possibilitar a execução de ordens de produção personalizadas, ajustando parâmetros e sequências de fabricação, iv) auxiliar no planejamento e na coordenação das ordens personalizadas, garantindo a disponibilidade dos materiais e dos recursos necessários, v) automatizar as tarefas operacionais, reduzindo erros e aumentando a produtividade e vi) otimizar o uso dos recursos, minimizando desperdícios e reduzindo os custos produtivos.

Todavia, a personalização em massa implica muitas transformações sobre o PCP. Porém, com a Indústria 4.0, as organizações têm a sua disposição uma quantidade altíssima de dados e tecnologias habilitadoras como robótica e impressão 3D, que possibilitam a prototipagem e viabilizam a produção personalizada em massa. O grande desafio da personalização em massa passa a ser então, o preço para viabilizá-la.

Por não ser o objetivo do presente trabalho, os custos para possibilitar a personalização em massa não foram mencionados. Mas, embora demande um custoso investimento para adaptar os processos produtivos e incorporar tecnologias como sensores, robôs e máquinas de impressão 3D, o retorno desse investimento é certo. Isso porque ao adotar a personalização em massa a empresa está orientada ao cliente, que por sua vez, enxerga um valor agregado maior sobre um produto ou serviço personalizado.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa conduzida neste trabalho apresentou uma análise abrangente sobre como a personalização em massa está redefinindo os paradigmas da produção industrial e demandando uma reavaliação das tecnologias de apoio ao PCP.

O estudo evidencia que o MES e o ERP desempenham papéis fundamentais nesse contexto. Pois, a integração desses sistemas, oferece visibilidade em tempo real, flexibilidade nos processos e agilidade no atendimento das demandas individualizadas dos clientes. Esse alicerce é amplificado pelas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como a IoT, IA, *big data*, robótica e manufatura aditiva, capacitando esses sistemas a enfrentar a complexidade e o dinamismo da personalização em massa.

Embora a transição para a personalização em massa exija transformações substanciais no PCP a fim de adaptar os processos produtivos e integrar novas tecnologias, os benefícios são tangíveis, pois os consumidores reconhecem o valor de produtos e serviços personalizados, que atendam seus desejos e necessidades. Com isso, a personalização em massa é uma estratégia competitiva inevitável para as empresas modernas.

Para encerrar este trabalho, é importante destacar algumas sugestões para estudos futuros a fim de aprofundar e expandir o conhecimento acerca do tema. Primeiramente, é recomendável investigar como as tecnologias emergentes podem ser integradas para otimizar os processos produtivos. Além disso, a análise de setores específicos pode revelar necessidades e desafios únicos na implementação da personalização em massa. Estudos sobre novos modelos de negócio baseados na personalização, bem como a relação entre sustentabilidade e práticas de produção personalizada, são igualmente relevantes. Por fim, pesquisas que explorem o impacto da personalização no comportamento do consumidor. Essas direções de pesquisa abrem novas possibilidades para avanços significativos na área.

REFERÊNCIAS

- BARANAUSKAS, G. *Digitalization Impact on Transformations of Mass Customization Concept: Conceptual Modelling of Online Customization Frameworks*. MMI, 2020.
- BARTHOLOMEW, D. *Where's the Magic? Support for lean, improved visibility into operations drive investment in plant-floor technology*. Industry Week, 2006.
- BOLWIJN, P. T.; KUMPE, T. *Manufacturing in the 1990s – productivity, flexibility and innovation*. Long Range Planning, v. 23, 1990.
- BRAH, S. A.; LIM, H. Y. *The effects of technology and TQM on the performance of logistics companies*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2006.
- BREMER, C. F.; LENZA, R. de P. **Um modelo de referência para gestão da produção em sistemas de produção Assembly to Order – ATO e suas múltiplas aplicações**. Revista Gestão e Produção, v.7. São Carlos, 2000.
- BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company, 2014.
- CHANDLER, A. D. J. *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*. EUA, Belknap / Harvard, 1990.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Estratégia, Planejamento e Operação**. Prentice Hall, 2003.
- CIANO, M. P. et al. *One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study*. International Journal of Production Research, 2021.
- CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Oportunidades para a indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil**. Brasília: CNI, 2017.
- DA SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F.S. *Mass customization: literature review and research directions*. Int. J. Prod. Econ. 72 (1), 2001.
- FERNANDES, F. C. F.; GODINHO, M. F. **Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- FERNANDES, F.C.F. **Planejamento e Controle da Produção**. Material de aula de PCP 2 na Universidade Federal de São Carlos, 2003.
- GODINHO M. F.; FERNANDES, F. C. F. **Paradigmas Estratégicos de Gestão da Manufatura (PEGEMs): elementos chave e modelo conceitual**. Gestão & Produção, v. 12, 2005.
- GÓMEZ PAREDES, F. J. et al. *Factors for choosing production control systems in make-to-order shops: a systematic literature review*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2020.

- HADDARA, M.; ELRAGAL, A. *The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future*. Procedia Computer Science, 2015.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Dortmund: Technische Universität Dortmund, 2015.
- HOBSBAWM, E. J. *A era das revoluções (1789 – 1848)*. 33ª Edição. Tradução: Maria Tereza Teixeira e Marcos Penchel. Paz e terra. Rio de Janeiro, 2014.
- HOBSBAWM, E. J. *Industry and Empire: from 1750 to the Present Day*. New York: New Press: Distributed by W.W. Norton, 1999.
- JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. *Operations and Supply Chain Management: The Core*. Fifth ed. New York NY: McGraw-Hill Education, 2020.
- KAGERMANN, H. et al. *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. 2013.
- KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. *Manufacturing Engineering and Technology*. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- KLETTI, J. (ORG) *Manufacturing execution system – MES*. Springer, Mosbach, 2007.
- KUCGANT, M. *Quando começou a integração entre automação e informação? Controle e Automação*. 2008.
- LI, Y.; WANG, H. *A survey of personalized product design and manufacturing*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019.
- LIKER, J. K.; HOSEUS, M. *Toyota Culture: The Heart and Soul of the Toyota Way*. Liker, J. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- MACCARTHY, B. L.; FERNANDES, F. C. F. *A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems*. Production Planning & Control, v. 11, 2000.
- MULLER, J.; DASCHLE, S. *Business Model Innovation of Industry 4.0 Solution Providers Towards Customer Process Innovation. Processes*. 2018.
- NEVINS, A.; HILL, F. E. *Ford: The Times, the Man, the Company*. New York: Scribner, 1954.
- OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. *Enabling the next production revolution: issues paper*. OECD, 2015.
- PILLER, F.; MULLER, M. *A new marketing approach to mass customization*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2004.
- PINE, B. J.; GILMORE, J. H. *The experience economy: work is theatre & every business a stage*. Boston: Harvard Business School, 1999.
- RUSSUSSWURM, S. *Industry 4.0 - from vision to reality*. Background Information, 2014.

- SALVADOR, F.; MARTIN, H.; PABLO; PILLER, F. *Cracking the Code of Mass Customization*. Sloan Management Review, 2009.
- SALATIEL, M.; SAMPAIO, G.; FONTES, A.; SANTANA, D. **Desenvolvimento de sistemas PIMS e MES para tratamento de efluentes, controle e automação**. 2008.
- SCHOEDER, R. G.; GOLDSTEIN, S. M. *Operations Management in the Supply Chain: Decisions and cases*. Seventh ed. New York NY: McGraw-Hill Education, 2017.
- SCHRODER, R. et al. **Análise da Implantação de um Processo Automatizado em uma Empresa Calçadista: Um Estudo de Caso a Luz do Sistema Hyundai de Produção e a Indústria 4.0**. Revista Espacios Caracas, 2015.
- SEIXAS FILHO, C. TA, TI e TAI: uma questão de governança. *Intech*. 2007.
- SHIRASUNA, M. **MES: Situação presente e expectativa do futuro, Controle e Automação**. 2008.
- SLACK, N.; ALISTAIR, B.J.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- SONY, M. *Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions*. Production & Manufacturing Research, 2018.
- SUGAYAMA, R.; NEGRELLI, E. *Connected vehicle on the way of Industry 4.0*. Anais do XXIV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva - SIMEA, 2015.
- TAMÁS, P.; ILLÉS, B. *Process Improvement Trends for Manufacturing Systems in Industry 4.0*. Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2016.
- TAYLOR, F.W. *The Principles of Scientific Management*. Harper and Brothers: New York, 1911.
- TSENG, M. M.; JIAO, J. *Mass customization: Challenges and opportunities*. International Journal of Production Research, 2001.
- TWILIO. *State of Customer Engagement Report*. https://twilio-cms-prod.s3.amazonaws.com/documents/Twilio_SOCER_2022_EN.pdf, 2022.
- VINHAIS, J. A. *Manufacturing execution system: the one-stop information source*. 1998.
- WOMACK, J. P., JONES, D. T.; ROOS, D. *The machine that changed the world: the story of lean production*. New York: Rawson Associates, 1990.
- ZHANG, C.; CHEN, D.; TAO, F.; LIU, A. *Data Driven Smart Customization*. Procedia CIRP, 2019.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 01 de julho de 2024.

Jaciara de Oliveira Souza
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201949059
Matrícula

Jaciara de Oliveira Souza
ASSINATURA

131615926-46
CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.