

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCELO MIGUEL TIBES PELUSO

**ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS NAS OPERAÇÕES DE PRODUÇÃO POR
ENCOMENDA: UMA ABORDAGEM POR PROCESSOS**

PATO BRANCO

2024

MARCELO MIGUEL TIBES PELUSO

**ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS NAS OPERAÇÕES DE PRODUÇÃO POR
ENCOMENDA: UMA ABORDAGEM POR PROCESSOS**

Sustainable strategies in make to order operations: a process approach

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Edson Pinheiro de Lima
Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da
Costa

PATO BRANCO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



MARCELO MIGUEL TIBES PELUSO

**ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS NAS OPERAÇÕES DE PRODUÇÃO POR ENCOMENDA: UMA
ABORDAGEM POR PROCESSOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 22 de Novembro de 2024

Dr. Edson Pinheiro De Lima, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Eduardo De Freitas Rocha Loures, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Dr. Gilson Adamczuk Oliveira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 22/11/2024.

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Adão e Nilva, minha irmã Fernanda e minha esposa Elouise, diretamente responsáveis pelas minhas conquistas. Hoje, colho o resultado do esforço, educação e confiança que a mim depositaram. Muito obrigado, eu amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Gratidão à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco, pela possibilidade de realizar o estudo, com todo apoio e incentivo ao longo da graduação e pós-graduação.

Reverencio o Prof. Dr. Edson Pinheiro De Lima, pela orientação, amizade, conhecimento, paciência, revisões, críticas, sugestões, visão futurista e direcionamento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa, por conduzir a disciplina de Tópicos especiais e Decisão Multicritério, que me direcionou ao tema da presente pesquisa.

Agradeço aos professores da banca, Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira e Prof. Dr. Eduardo De Freitas Rocha Loures, por acreditarem no potencial deste trabalho e pelas contribuições na pesquisa.

A todos os amigos, colegas de turma e companheiros de trabalho que fizeram parte da minha formação. Acredito que, sem vocês, a passagem pela universidade teria sido muito mais difícil e menos prazerosa.

À indústria FLESSAK ELETRO INDUSTRIAL, pelo convívio diário, flexibilidade dos horários que me ausentei e pelo compartilhamento do conhecimento, principalmente na área de engenharia de produção.

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia”.

William Edwards Deming

RESUMO

A crescente demanda por operações industriais sustentáveis, estimula a adoção de estratégias que minimizem os impactos ambientais e promovam a eficiência no uso dos recursos. Para as organizações de produção por encomenda, que se caracterizam pela personalização e adaptação dos produtos às necessidades específicas dos clientes, o desafio é na implantação de estratégias sustentáveis, dada a variabilidade e complexidade dos processos envolvidos. Essa lacuna dificulta uma tomada de decisão eficaz e na implantação de modelos para balancear as operações industriais. A literatura existente aborda amplamente as práticas sustentáveis em contextos de produção em série, mas carece de estudos e modelos aprofundados para as operações de produção por encomenda, capazes de lidar com a variabilidade da demanda e a complexidade dos processos customizados. Para abordar essa problemática, o estudo desenvolveu um modelo de operações sustentáveis direcionados para a produção por encomenda. O modelo foi construído apoiado pela Revisão Sistemática da Literatura (RSL), utilizado da base de dados da *Scopus*, com uma *string* de buscas que resultou em um portfólio bibliográfico de 55 artigos científicos. Foram identificados 26 critérios-chave provenientes da literatura, conectados com a sustentabilidade nas operações industriais. Esses 26 critérios foram validados por especialistas da indústria e reduzidos para 9 critérios. Divididos por igual nos pilares ambiental, social e governança. Foram estruturados em método multicritério para apoio a tomada de decisão de melhorias no processo produtivo, utilizando a ferramenta do Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) e o método multicritério *Best Worst Method* (BWM). O modelo desenvolvido foi dividido em seis etapas para identificar áreas de melhoria na organização, a primeira etapa foi a definição da equipe Kaizen, a segunda etapa foi para determinar a família de produtos, a terceira etapa em desenhar o VSM atual, a quarta etapa de realizar o VSM futuro, a quinta etapa em priorizar ações utilizando o BWM e a última em estabelecer a padronização do trabalho. Para concretização do estudo, dois casos de aplicação foram realizados em uma indústria de fabricação de geradores para usinas hidrelétricas localizada no interior no Paraná. É possível afirmar, portanto, que o modelo proposto contribui no processo decisório da indústria sob os pilares do *Environmental, Social and Governance* (ESG), priorizando ações direcionadas para redução dos desperdícios, otimização do processo produtivo, balanceamento e padronização das operações.

Palavras-chave: produção por encomenda; *Lean Manufacturing*; fluxo de valor; sustentabilidade; multicritério.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable industrial operations encourages the adoption of strategies that minimize environmental impacts and promote efficiency in the use of resources. For production-to-order organizations, which are characterized by the customization and adaptation of products to specific customer needs, the challenge is to implement sustainable strategies, given the variability and complexity of the processes involved. This gap hinders effective decision-making and the implementation of models to balance industrial operations. The existing literature deals extensively with sustainable practices in mass production contexts, but lacks in-depth studies and models for made-to-order production operations, capable of dealing with the variability of demand and the complexity of customized processes. To address this issue, the study developed a sustainable operations model for made-to-order production. The model was built using a Systematic Literature Review (SLR) of the Scopus database, with a search string that resulted in a bibliographic portfolio of 55 scientific articles. Twenty-six key criteria were identified from the literature, linked to sustainability in industrial operations. These 26 criteria were validated by industry experts and reduced to 9 criteria. They were divided equally into environmental, social and governance pillars. They were structured into a multi-criteria method to support decision-making on improvements to the production process, using the Value Stream Mapping (VSM) tool and the multi-criteria Best Worst Method (BWM). The model developed was divided into six stages to identify areas for improvement in the organization, the first stage was to define the Kaizen team, the second stage was to determine the product family, the third stage was to design the current VSM, the fourth stage was to carry out the future VSM, the fifth stage was to prioritize actions using the BWM and the last stage was to establish the standardization of the work. In order to carry out the study, two case studies were carried out in an industry that manufactures generators for hydroelectric power plants located in the interior of Paraná. It can therefore be said that the proposed model contributes to the industry's decision-making process under the pillars of Environmental, Social and Governance (ESG), prioritizing actions aimed at reducing waste, optimizing the production process, balancing and standardizing operations.

Keywords: make to order; lean manufacturing; value stream; sustainability; multi-criteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa do Sistema Toyota de Produção	27
Figura 2 – Etapas do <i>ProKnow-C</i> , com ênfase para as etapas deste artigo	37
Figura 3 – Etapas da metodologia de pesquisa do trabalho	47
Figura 4 – Etapas de desenvolvimento do Modelo	49
Figura 5 – Etapas para aplicação do BWM	53
Figura 6 – Gerador em Usina Hidrelétrica	58
Figura 7 – Partes do Gerador	59
Figura 8 – Polos do conjunto do Rotor.....	59
Figura 9 – VSM – Estado atual.....	61
Figura 10 – VSM – Estado futuro	64
Figura 11– VSM – Estado atual.....	71
Figura 12 –VSM – Estado futuro	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i>	29
Quadro 2 – <i>String</i> de Buscas.....	37
Quadro 3 – Portfólio bibliográfico	39
Quadro 4 – Categoria dos Critérios a serem validados.....	44
Quadro 5 – Perfil dos especialistas	57
Quadro 6 – Plano de ação com a ferramenta 5W2H.....	62
Quadro 7 – Categoria dos Critérios validados	65
Quadro 8 – Escala para comparação de importância dos critérios.....	66
Quadro 9 – Preferências do decisor em relação ao critério <i>Best</i>	66
Quadro 10 – Preferências do decisor em relação ao critério <i>Worst</i>	67
Quadro 11 – Peso dos Critérios ordenado	67
Quadro 12 – Peso do impacto no plano de ação	68
Quadro 13 – Matriz de decisão Critérios x Plano de ação.....	68
Quadro 14 – Quadro de priorização das ações.....	69
Quadro 15 – Dados do caso de aplicação bobinas	70
Quadro 16 – Plano de ação com a ferramenta 5W2H.....	72
Quadro 17 – Peso do impacto no plano de ação	72
Quadro 18 – Matriz de decisão Critérios x Plano de ação.....	75
Quadro 19 – Quadro de priorização das ações.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BMW	<i>Best Worst Method</i>
EC	Economia Circular
EO	Estratégia de Operações
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
GPS	<i>Generator Production System</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
STP	Sistema Toyota de Produção
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
MTO	<i>Produção por encomenda</i>

SUMÁRIO

1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	17
2.1	CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	19
2.1.1	Sistema de produção por encomenda	20
2.1.2	Planejamento e Controle da Produção (PCP)	21
2.1.3	Estratégias nas Operações	23
2.2	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	24
2.2.1	Produção Enxuta	27
2.2.2	Ferramentas Enxutas	29
2.2.3	Os sete desperdícios	30
2.2.4	Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM)	31
2.3	PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	32
2.3.1	Sustentabilidade organizacional	34
2.3.2	Inovações Sustentáveis	35
2.4	DIRETRIZES CONCEITUAIS DA PESQUISA.....	36
2.4.1	Composição do Portfólio Bibliográfico	38
2.4.2	Análise bibliométrica	43
2.4.3	Análise de Conteúdo	44
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	46
3.2	ESTRUTURA METODOLÓGICA.....	46
3.2.1	Desenvolvimento do modelo	48
3.3	MÉTODO MULTICRITÉRIO BWM	51
3.4	FERRAMENTA PLANO DE AÇÃO 5W2H	54
3.5	CASO DE APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA	55
4.1	DEFINIR A EQUIPE KAÍZEN	57
4.2	DETERMINAR A FAMÍLIA DE PRODUTOS.....	57
4.3	DESENHAR O VSM ATUAL.....	60
4.4	DESENHAR O VSM FUTURO	63
4.5	PRIORIZAR AÇÕES UTILIZANDO MULTICRITÉRIO BWM	65

4.6	PADRONIZAÇÃO DO TRABALHO	69
4.7	CASO DE APLICAÇÃO BOBINAS	70
4.7.1	Desenhar o VSM atual	70
4.7.2	Desenhar o VSM Futuro.....	72
4.7.3	Aplicar o multicritério BWM	75
6.1	CONTRIBUIÇÕES.....	80
6.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	81
6.3	SUGESTÃO DE PESQUISAS FUTURAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

O mercado passa por transformações que formam um novo contexto dinâmico para as organizações e, em especial, na indústria brasileira. Seus produtos competem em preço e qualidade com similares estrangeiros, provenientes tanto de países com elevado nível de desenvolvimento tecnológico quanto de países onde os custos de fabricação estão em um patamar inferior. Isto impulsiona a indústria brasileira a assimilar e desenvolver continuamente tecnologias e produtos visando a redução de custos, do tempo de desenvolvimento de novos produtos, das não conformidades, da manutenção e, se possível, a ampliação de mercado.

Recentemente, as organizações empresariais começaram a perceber que os padrões atuais de produção e consumo são insustentáveis e os recursos estão fadados a se esgotar mais cedo (Chungyalpa, 2021). Portanto, tornou-se dever de cada organização elaborar técnicas para a integração de estratégias de produção mais limpa em suas operações e com atenção em alcançar uma cadeia de suprimentos sustentável.

Portanto, para permanecerem competitivas, as indústrias devem buscar otimizar seus processos, reduzir os tempos de produção de entrega e eliminar os desperdícios. Toda e qualquer organização que produz bens e serviços tem como função central a produção, consistindo na razão para se manter inserida no mercado, exercendo suas atividades com clareza e objetivos estratégicos propostos.

Ao longo dos anos, as revoluções trouxeram novos cenários ao mercado com uma maior utilização da tecnologia e metodologias aplicadas aos processos. O Sistema Toyota de Produção (STP) ocasionou grandes transformações e proporcionou um novo cenário mundial nos sistemas produtivos, mas também passou por mudanças ao longo do tempo.

Até então, a lógica da produção era para mercados com pouca concorrência e com preços estabelecidos por meio da soma dos custos de produção e margens de lucro desejadas. No entanto, com o STP, o panorama muda, sendo o lucro resultado da diferença entre preços de custos de produção e o valor em que o mercado está disposto a pagar, reduzindo as despesas sempre que possível, mas sem perder a qualidade (Perna; Ferraz, 2016).

Com a economia japonesa arrasada após a Segunda Guerra Mundial, a Toyota definiu sete tipos de desperdícios e adotou uma estratégia para sua eliminação. O

conceito de eliminação dos desperdícios se tornou uma base do Sistema Toyota de Produção, que então foi trazido ao ocidente com o nome de *Lean Manufacturing* (LM) (Pereira, 2010).

Como uma forma organizada de gestão produtiva, o *Lean Manufacturing* surgiu com a capacidade de responder a mudanças, trazendo flexibilidade, rapidez e qualidade no que é produzido, e ainda oferecendo vantagem competitiva em organizações que praticam esta filosofia de gestão (Pereira, 2010).

Assim, foram identificadas tarefas ou atividades que só agregam custo ao produto, mas não geram valor ao cliente, que pela definição clássica, foi classificada em sete desperdícios, quais sejam: desperdício de superprodução, desperdício de espera, desperdício em transporte, desperdício do processamento em si, desperdício de estoque, desperdício de movimento, desperdício de produzir produtos defeituosos (Ohno, 1997).

Segundo o STP, deve-se produzir apenas a quantidade necessária e a força de trabalho ser reduzida, para assim cortar o excesso de capacidade e, conseqüentemente, corresponder à quantidade necessária (Ohno, 1997).

As organizações, no entanto, não somente têm dado importância ao aprimoramento dos processos de produção, mas também ao aumento da eficiência em toda a cadeia. A competitividade forma um conjunto de prioridades, incluindo aspectos de custo, qualidade, flexibilidade, entre outros, buscando medidas que beneficiem a cadeia de forma equilibrada. A utilização de parâmetros que mostram o desempenho, capazes de capturar e traduzi-los em ações, torna-se vital (Rodrigues; Canelada, 2015).

Pode-se constatar, a partir de indicadores de desempenho das empresas, que as medidas são fortemente direcionadas para aspectos relacionados à qualidade, produção e desempenho, apresentando um caráter mais estratégico. A partir do sistema operacional e do processamento de dados da empresa, é possível realizar a apuração sistemática dos indicadores de desempenho, servindo como elemento de gestão nos níveis estratégico, tático e gerencial (Rodrigues; Canelada, 2015).

Os principais componentes desta estratégia incluem o foco em considerações ambientais, o desenvolvimento de planos estratégicos de longo prazo para a implementação de produção mais limpa e cadeia de suprimentos sustentável e a integração de considerações ambientais nas operações principais da organização (Ishara; Mekala, 2023).

Estudos conduzidos em países industrializados provaram que a produção mais limpa é um método eficaz e eficiente em termos de benefícios obtidos com a proteção do meio ambiente (Abdali; Hussain; Atiyah, 2020; Chen *et al.*, 2023; Ishara; Mekala, 2023; Kumar *et al.*, 2024). Ferramenta importante para atingir essa integração seja na adoção de estratégias sustentáveis que podem melhorar o desempenho ambiental seguindo as políticas e estruturas.

Diante da postura mais consciente da sociedade para a preservação dos recursos e da preocupação das empresas em se manterem competitivas no mercado, com responsabilidade e contribuindo com o desenvolvimento sustentável sob os pilares do *Environmental, Social and Governance* (ESG), o objetivo desta pesquisa é propor um modelo para as organizações de produção por encomenda se beneficiarem nas operações industriais.

O modelo proposto vem para auxiliar os decisores nas diversas operações industriais. Para a tomada de decisões, é fundamental uma base teórica sólida, onde foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), utilizando a base de dados *Scopus* e questionários com especialistas. Também foram utilizadas ferramentas do *Lean Manufacturing*, especialmente o *Value Stream Mapping* (VSM), juntamente com análise multicritério para facilitar a ordenação dos planos de ações para os decisores. Adicionando a sustentabilidade ao processo, a organização pode alinhar suas operações com práticas ambientalmente responsáveis e socialmente benéficas, resultando em uma operação mais eficiente, econômica e sustentável a longo prazo.

O problema assumido no estudo atual é desenvolver estratégias de produção mais limpas à luz das capacidades financeiras disponíveis para a organização e identificar os requisitos mais importantes para atingir uma cadeia de suprimentos sustentável.

As aplicações do VSM e da ficha 5W2H são amplamente utilizadas na indústria devido à sua eficácia na identificação de melhorias e no planejamento de ações. No entanto, a conexão entre essas duas ferramentas, em conjunto com a priorização de ações utilizando método multicritério é o que torna o presente estudo único. Proporcionando um processo de tomada de decisão mais estruturado e alinhado com os objetivos estratégicos da organização.

Por meio da declaração do problema do estudo, o autor procura responder a várias perguntas, a saber: Uma estratégia sustentável nas operações de produção por encomenda pode ser aplicada com sucesso? Quais são os critérios mais importantes

de suporte ou preferência para uma estratégia de produção mais sustentável? E quais são os limites da contribuição de uma estratégia de produção mais limpa no suporte dos requisitos de desempenho de uma cadeia de suprimentos sustentável?

Assim, o trabalho de pesquisa atual é uma contribuição vital para a comunidade de pesquisa, formuladores de políticas no governo e tomadores de decisão nas organizações para reavivar suas estratégias de produção em direção à sustentabilidade. Para comprovar a eficácia do método, este foi aplicado em uma indústria de médio porte, localizada no sudoeste do Paraná, representado na seção 4, com dois casos de aplicação na mesma indústria.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA

Independentemente do porte da organização e a classificação da produção em série ou por encomenda, é comum possuir fluxos desarmônicos, com processos repletos de desperdícios e falta de alinhamento dos setores. Existem várias metodologias e *cases* direcionados para as indústrias seriadas, entretanto, com relação às organizações de produção por encomenda, são poucos estudos e métodos com literatura limitada.

Com base nessa premissa, o presente estudo busca explorar o seguinte questionamento: Sugere-se um modelo como guia para a tomada de decisões direcionadas para indústrias com produção por encomenda. Por meio da ótica do desenvolvimento sustentável, quais critérios e qual modelo devem ser considerados para contribuir com as indústrias de produção por encomenda que atendam aos requisitos ambientais, econômicos e sociais para as organizações sustentáveis?

1.2 OBJETIVOS

Serão apresentados o objetivo geral e objetivos específicos que compreendem as fases de desenvolvimento do estudo para o modelo sugerido para as organizações de produção por encomenda.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo de priorização de melhorias em operações industriais, com base no *Value Stream Mapping* (VSM), integrado aos princípios de sustentabilidade e *Lean Manufacturing*, visando otimizar a eficiência, reduzir desperdícios e promover práticas sustentáveis nas organizações de produção por encomenda.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Construir um processo de priorização de melhorias que considere os requisitos da produção por encomenda e sustentabilidade;
2. Desenvolver um processo para construir o mapa do fluxo de valor considerando os requisitos da produção por encomenda e a priorização de ações por meio de um modelo multicritério;
3. Testar o processo desenvolvido para a geração de um conjunto estruturado de projetos de melhoria baseado na ficha 5W2H e no método multicritério.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A originalidade desta pesquisa reside na integração entre as ferramentas de *Lean Manufacturing* e *Value Stream Mapping* com operações industriais por encomenda, utilizando métodos multicritério para priorização de ações. Ao identificar e eliminar atividades que não agregam valor, desde a chegada da matéria-prima até a entrega do produto final, o estudo promove uma abordagem sustentável. A proposta busca processos mais eficientes, custos reduzidos, maior flexibilidade e menor impacto ambiental, alinhando eficiência operacional com responsabilidade corporativa, fortalecendo a competitividade das indústrias no mercado dinâmico e sustentável atual.

Do ponto de vista metodológico, para Araibi et al. (2023) a integração do VSM com o multicritério permite avaliar vários fatores na tomada de decisão, aumentando a capacidade de priorizar melhorias. Essa combinação suporta a tomada de decisão avaliando vários cenários de melhoria, otimizando *trade-offs* e mitigando potenciais riscos (Abdel-Jaber et al., 2022). Processos simplificados levam à entrega pontual de produtos de alta qualidade, aumentando a satisfação do cliente (Alrifai, 2024).

Na prática, as organizações precisam melhorar processos de forma ágil e objetiva, evitando suposições e decisões baseadas em opiniões pessoais. O uso de métodos multicritério permite priorizar ações de forma estruturada, otimizando recursos e facilitando a tomada de decisão para alcançar excelência operacional. Embora a integração dessas metodologias traga vantagens significativas, há desafios iniciais, como treinamento contínuo e adaptação, que podem desacelerar o progresso. No entanto, o impacto positivo de longo prazo, como maior eficiência e sustentabilidade, justifica o esforço e torna a implementação um investimento estratégico para a manufatura.

A literatura atual revela um cenário em que há uma grande quantidade de critérios voltados para a implementação de processos produtivos mais limpos e sustentáveis. Contudo, as decisões relacionadas ao aumento da produtividade ainda estão amplamente fundamentadas nas expectativas, experiências e intuições dos tomadores de decisão, sem a devida base racional e estruturada. Nesse contexto, observa-se uma crescente pressão por parte de stakeholders e especialistas para que as organizações adotem operações mais sustentáveis. A simples adoção de critérios econômicos tradicionais já não é mais suficiente; é imprescindível integrar aspectos do desenvolvimento sustentável nas decisões empresariais, incluindo fatores ambientais e as preferências dos tomadores de decisão. Diante disso, o presente estudo propõe a sistematização de um processo avaliativo que permita a priorização de critérios que não apenas favoreçam a produtividade, mas que também viabilizem o desenvolvimento sustentável, com um foco especial na sustentabilidade ambiental.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

No capítulo de revisão sistemática da literatura, serão abordados os conceitos base dos eixos Sistemas de Produção, Sistema Toyota de Produção e Sustentabilidade, explicados detalhadamente na seção 2.4, diretrizes conceituais da pesquisa, que orientam e estruturam o desenvolvimento da pesquisa, contextualizando o estudo no campo acadêmico e garantindo que ele tenha um embasamento teórico robusto.

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O sistema de produção é também definido por Moreira (2011) como o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens (caso de indústrias) ou serviços. É tratado como algo intangível, contudo, indispensável para gerar a ideia de totalidade e facilitar a expressão de diferentes conceitos.

Para facilitar o entendimento das características inerentes a cada sistema produtivo, e sua relação com a complexidade das atividades de planejamento e controle de sistemas, é feita a classificação dos referidos modelos. Conforme Tubino (2009), os sistemas produtivos são separados em: sistemas contínuos, em massa, em lotes ou sistemas por encomenda. Vale ressaltar que tal classificação depende mais da organização da produção do que das próprias características do produto.

Os sistemas contínuos são assim denominados em razão da complexidade para realizar a separação de uma unidade do produto diante das demais que estão em produção; os sistemas em massa que trabalham com produtos altamente padronizados são semelhantes, porém, não estão aptos para automatização do processo. Já os sistemas em lotes caracterizam-se por produção de volume médio e flexível, mas necessitam de uma programação das sequências de operações. Por fim, os sistemas sob encomenda têm como principal característica as baixas demandas, voltam-se para poucas unidades e possuem prazos de entrega negociados com o cliente para serem produzidos. Uma vez concluído, o sistema começa a produzir outro projeto, tornando-se único.

Segundo Corrêa, Giansesi e Caon (2008), o mundo competitivo de hoje demanda que os sistemas produtivos sejam capazes de adaptar-se rapidamente a mudanças: mudanças nos processos produtivos, mudanças na disponibilidade de

suprimentos e, acima de tudo, mudanças na demanda. Com base nesta afirmação, percebe-se que o planejamento de atividades no processo produtivo que está sendo coordenado demanda tempo antes de se avançar para a fase de execução. Mesmo adequando-se às mudanças propostas e exigidas, é necessário ter sensibilidade para identificar os desvios que ocorrem em relação ao planejado. Ademais, é crucial possuir a capacidade de replanejar o futuro de acordo com as ocorrências, pois durante a execução, por diversas razões, a produção pode não se comportar conforme programado.

Os sistemas de produção modernos são projetados para serem autoadaptativos, permitindo que respondam dinamicamente às mudanças nas demandas do mercado e nas condições operacionais (Estrada-Jimenez; Nikghadam-Hojjati; Barata, 2021).

2.1.1 Sistema de produção por encomenda

O sistema de produção sob encomenda pode ser brevemente descrito pela produção personalizada dos produtos, o que está diretamente relacionado aos desejos e necessidades de cada cliente. Desse modo, um dos impactos econômicos mais importantes do sistema de produção por encomenda está associado ao fato de que todos os produtos são gerados com valor agregado, uma característica inerente à personalização da fabricação.

Acerca da expressão “produção por encomenda”, observa-se que é frequentemente empregada com diferentes significados, não havendo uma definição precisa e universalmente aceita. O termo é utilizado de maneira indiscriminada na literatura, seja para descrever o caso específico da fabricação de itens não seriados, feitos sob medida conforme as especificações dos clientes, ou para se referir ao caso mais amplo da produção por pedido. Além de ser uma questão semântica, a compreensão precisa das particularidades desse tipo de produção se torna fundamental, especialmente ao considerar a integração de estratégias de mercado e gestão no chão de fábrica.

Devido a essas particularidades, empresas que adotam a produção por encomenda geralmente evitam manter estoques de produtos prontos, o que demandaria espaços de armazenamento significativos e imobilização de capital considerável. Dessa forma, os prazos de entrega tendem a ser mais longos,

normalmente acordados previamente com o cliente. Essa abordagem permite ainda a personalização do produto de acordo com as preferências do cliente.

Implementar um sistema de produção sob encomenda (MTO) oferece vários benefícios e desafios em ambientes de manufatura. As principais vantagens incluem personalização aprimorada, gerenciamento de estoque aprimorado e maior capacidade de resposta às demandas do cliente. No entanto, desafios como programação complexa, restrições de capacidade e a necessidade de estruturas eficazes de tomada de decisão também surgem.

Os sistemas de produção por encomenda permitem minimizar o excesso de estoque e os custos de manutenção associados (Muda; Hendry, 2001). Podem se adaptar rapidamente às mudanças na demanda do cliente, melhorando a confiabilidade da entrega (Ebadian *et al.*, 2009).

Os sistemas MTO permitem que os fabricantes adaptem os produtos às necessidades específicas do cliente, aumentando a satisfação e a fidelidade (Zhang *et al.*, 2021).

O desafio é a necessidade de programação precisa e gerenciamento de pedidos pode complicar as operações, exigindo técnicas avançadas de planejamento (Sawik, 2006). Exige um agendamento sofisticado para gerenciar diferentes prazos de entrega e fluxos de produção, muitas vezes complicando as operações (Ghiyasinab *et al.*, 2021) (Schneckenreither; Haeussler; Peiró, 2022). Com capacidade de produção limitada pode levar à rejeição de pedidos ou atrasos, necessitando de seleção cuidadosa de pedidos (Ebadian *et al.*, 2009).

Insta destacar, por fim, que o setor de engenharia em produção do tipo customizada é conceituado por Walter e Ries (1996) como um processo quase artesanal, em virtude das mudanças contínuas no projeto dos produtos, o que gera, em alguns casos, aumento no *lead time* de produção que pode comprometer a qualidade final do produto.

2.1.2 Planejamento e Controle da Produção (PCP)

A necessidade de implementar sistemas de produção na organização do trabalho surgiu a partir da Revolução Industrial, por volta de 1780. Antes disso, os produtos eram fabricados regidos somente pela divisão do trabalho, com funções

específicas, e sua execução era nas residências dos trabalhadores. Geralmente, esse sistema doméstico ocorria em fábricas têxteis (Harding, 1981).

Conforme Santos, A. *et al.* (2020), a função primordial do Planejamento e Controle da Produção (PCP) é coordenar e orientar os processos produtivos. Esse controle se dá por meio de planos que direcionam tanto o desempenho quanto o monitoramento das operações. Assim, o PCP estabelece antecipadamente os níveis de produção, definindo o que, quanto, onde, como e quando produzir em um determinado período. O objetivo é equilibrar a capacidade produtiva com a demanda, evitando excessos ou escassez e garantindo que a produção seja suficiente para satisfazer as necessidades dos clientes.

Segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), para que o PCP funcione adequadamente em uma empresa, é necessário um conjunto de atividades interligadas, divididas em quatro categorias:

- a) Carregamento: responsável por avaliar o nível de atividade esperado para cada parte da operação, atribuindo tarefas aos recursos disponíveis;
- b) Sequenciamento: determina a ordem em que as tarefas serão realizadas;
- c) Programação: estabelece os momentos em que as tarefas serão executadas;
- d) Monitoramento e controle: acompanha a execução das operações, verificando se estas estão seguindo o planejado e promovendo ajustes quando necessário.

Segundo a interpretação de Erdmann (2000) para o PCP, observa-se que ele pode ser dividido em duas etapas principais: o planejamento da produção, composto de procedimentos que preparam e organizam as informações que permitem a programação e o controle da produção; e a programação e o controle da produção, que estabelece antecipadamente as atividades da produção em médio e curto prazo e realiza o acompanhamento da produção, colhendo informações para subsidiar correções de eventuais desvios da programação.

Segundo Tubino (2007), o PCP é responsável por coordenar e aplicar os recursos produtivos para atender os planos estabelecidos nos níveis estratégicos, táticos e operacionais. Para isso, o PCP administra as informações de forma direta ou indireta que vêm de diversas áreas do sistema produtivo.

As definições encontradas na literatura (Corrêa *et al.*, 1999; Erdmann, 2000; Monks, 1987; Moreira, 1996; Slack *et al.*, 1997), de forma geral, apresentam o PCP

como um sistema de apoio à produção, que comanda e coordena o processo produtivo, objetivando cumprir o planejamento e a programação dos processos de maneira eficaz, para satisfazer os requisitos de tempo, qualidade e quantidades do sistema.

Os sistemas por encomenda são voltados para o atendimento das necessidades dos clientes, possuindo demandas tendendo para unidades, os produtos têm datas negociadas com o cliente e se voltam para um projeto. Geralmente, estes sistemas organizam seus recursos produtivos em centros de trabalho com foco na função executada (Tubino, 2007).

Para estes sistemas, a dinâmica do PCP já inicia com a negociação com o cliente, pois este necessita de datas para elaboração de projeto. Um exemplo disso é a encomenda de um motor elétrico para trabalhar em uma usina hidrelétrica, uma vez que o prazo está atrelado a conclusão do projeto da usina. O atraso na entrega desses sistemas não só compromete a reputação, como geralmente traz multas contratuais (Tubino, 2007).

2.1.3 Estratégias nas Operações

A Estratégia de Operações (EO) desempenha um papel fundamental na tomada de decisões para as atividades realizadas pela função de produção. Seu objetivo é alcançar vantagem competitiva no mercado, de forma que são frequentes as pesquisas sobre essa temática tanto na área industrial quanto nos setores de serviços.

Entendida como conjunto de políticas, planos e ações relacionadas às operações que visam dar sustentação à estratégia competitiva da empresa, a estratégia de produção ou operações, segundo Hayes *et al.* (2008), tem como tarefa principal direcionar uma organização na montagem e alinhamento dos recursos produtivos para que seja possível executar a estratégia competitiva e alcançar os resultados desejados.

Voss (1995) menciona que há uma lógica hierárquica no conteúdo da estratégia de operações, sendo que os alvos das operações (prioridades competitivas) são os guias das decisões estruturais e essas direcionam as decisões infraestruturais.

Como dito, a estratégia de operações é uma das estratégias funcionais da organização e, de acordo com Hayes *et al.* (2008), sua tarefa principal é guiar a

empresa na montagem e alinhamento dos recursos, sustentando a implantação da estratégia competitiva. As primeiras abordagens sobre estratégia da função operações/produção são encontradas em Skinner (1969), advertindo que o setor de operações precisava deixar de ser apenas reativo e operacional, visto que a natureza de suas decisões direcionava para uma postura mais estratégica da função. Ou seja, era necessário elaborar estratégias das operações.

Slack e Lewis (2009) consideram a EO como o padrão de decisões que determina as competências de longo prazo da função operações, conciliando os requisitos do mercado com os processos e recursos operacionais da empresa, para que eles forneçam base sólida para a vantagem sustentável da organização. É preciso, então, que a empresa compartilhe com a função operações, direção, metas e objetivos mercadológicos e que exista um “acordo” entre as partes para ações coerentes.

A Estratégia de Operações se revela como um elemento crucial na condução das decisões ligadas à função de produção, visando alcançar vantagem competitiva no mercado. A EO é composta por planos e ações que sustentam a estratégia competitiva da empresa. Ela direciona a organização na montagem e alinhamento dos recursos produtivos, permitindo a execução da estratégia competitiva e o alcance dos resultados desejados. Ademais, a EO é considerada uma das estratégias funcionais da organização, sendo importante um alinhamento entre as metas e objetivos mercadológicos e as ações da função operações.

2.2 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Desenvolvido pela *Toyota Motor Corporation*, o Sistema Toyota de Produção passou a ser adotado por muitas companhias japonesas após a crise do petróleo em 1973. Como principal objetivo, o Sistema Toyota de Produção traz a eliminação de desperdícios que estão ocultos dentro das companhias (Monden, 1984).

De acordo com Ohno (1997), antes da crise do petróleo, as pessoas demonstravam pouco interesse sobre a tecnologia de produção e o Sistema Toyota, entretanto, à medida que o rápido crescimento estagnou, tornou-se evidente que a viabilidade lucrativa de uma empresa estava comprometida ao empregar o sistema convencional americano, que havia demonstrado eficácia por um longo período.

Para Monden (1984), o objetivo final do Sistema Toyota de Produção é o aumento da eficiência da companhia em termos de retorno sobre o investimento. Como o Sistema Toyota de Produção é aplicável ao processo de produção, ele é especialmente útil para reduzir custos variáveis por meio de atividades de melhoria contínua.

Surgido no Japão por necessidade, o Sistema Toyota de Produção tem seus dois pilares defendendo a absoluta eliminação de desperdícios, porém, atualmente, numa era de lento crescimento econômico no mundo, o sistema de produção apresenta um conceito em administração e que funcionará para qualquer tipo de negócio (Ohno, 1997).

Para que ocorra a realização de melhorias significativas nos processos de produção, deve ser distinguido o fluxo de produto do fluxo de trabalho para serem analisados separadamente, pois, embora os processos sejam realizados a partir de operações, não devem ser colocados em um mesmo ponto de análise (Shingo, 1996).

Segundo Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção possui muitas técnicas para redução dos custos de fabricação, seu método de reduzir custos é remover os desperdícios e este sistema é construído em dois pilares, o *Just in time* e o *Jidoka*.

O *Just in Time* consiste em fornecer exatamente a quantidade correta, na hora e locais certos, é um controle de quantidade. Já o *Jidoka*, trata-se de técnicas sobre uso de máquinas e mão de obra, trazendo o conceito de que, nenhuma peça defeituosa possa progredir na linha de produção (Rodrigues, 2014).

Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão enfrentava não apenas desafios econômicos, mas também uma atmosfera emocional abalada. No cenário industrial, destacou-se a *Toyota Motor Company* que, na tentativa de reerguer sua fábrica e alcançar uma posição mais competitiva, a empresa percebeu a necessidade de reduzir seus desperdícios de produção e aumentar sua qualidade. Por meio da visão inovadora de Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, a Toyota foi reconstruída sob uma abordagem totalmente diferente, afastando-se dos paradigmas vigentes que priorizavam a produção em grandes quantidades.

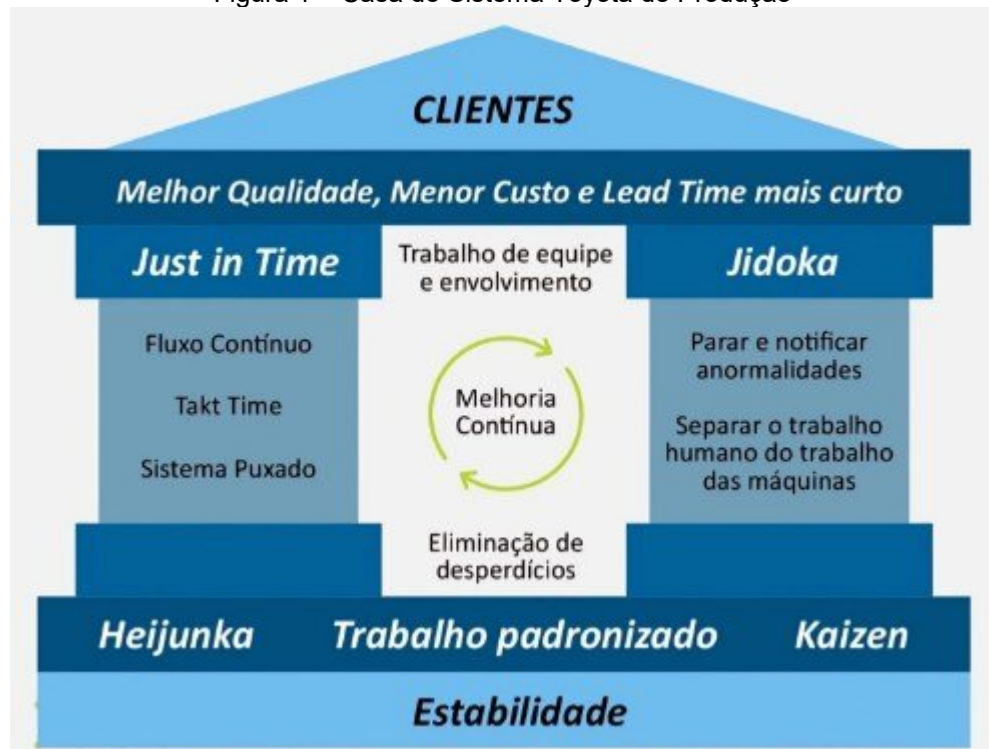
Os empresários perceberam que a realidade no Japão era diferente, o mercado consumidor interno era baixo, a concorrência internacional e a própria economia japonesa contribuiriam para o fracasso do modelo de produção em massa. Segundo Valente e Aires (2017), foi nesse contexto que começou a se desenhar o Sistema Toyota de Produção, e apareceram os conceitos de *Lean Production* (Produção

Enxuta), os quais deram origem à filosofia de pensamento enxuto (*Lean Thinking*), cujos objetivos principais eram reduzir os desperdícios de produção, aumentar a qualidade e manter o fluxo contínuo, por meio da valorização do trabalhador, da diminuição de lotes e da produção baseada na eliminação de processos ou etapas que não geram valor (desperdícios) – O Modelo Toyota. O sucesso deste modelo é tão expressivo, que seus conceitos, técnicas e ferramentas são estudados e implantados em organizações dos mais diversos segmentos industriais, bem como no segmento de serviços.

De acordo com Liker (2005), a representação esquemática de uma casa é a forma mais eficaz de representar o STP e tornou-se um dos ícones mais conhecidos na produção atual, como mostrado na Figura 1. O motivo pelo qual é utilizado como representação é porque é um sistema estrutural resistente apenas se o telhado, pilares e base também forem resistentes. Qualquer falha nessa integração conexão pode comprometer todo o sistema.

Há diferentes variações desta casa, entretanto, as bases essenciais permanecem inalteradas. No topo da casa, encontram-se os objetivos, que são a melhor qualidade, o menor custo em um menor tempo de entrega. O telhado é apoiado em dois pilares, relacionados ao *Just in Time*, que assegura peças, prazos e quantidades precisos, e ao *Jidoka*, que impede a passagem de defeitos para a etapa seguinte. No centro do sistema estão as pessoas. Para a construção da base, há elementos essenciais, tais como a produção nivelada, a necessidade de processos padronizados, estáveis e confiáveis, o gerenciamento visual e a aplicação das ferramentas da filosofia Toyota (Liker, 2005).

Figura 1 – Casa do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Adaptado de Liker (2005).

Apesar de seus benefícios, muitas indústrias lutam para implementar o TPS de forma eficaz devido à falta de compreensão de seus componentes e das complexidades envolvidas na mudança de processos estabelecidos (Rini, 2021).

2.2.1 Produção Enxuta

De um sistema de produção artesanal, surgiu dentro da Toyota o inicialmente chamado Sistema Toyota de Produção, que posteriormente foi atraído por outras organizações e setores, que agregaram valores e novos conceitos, servindo assim de base para o Sistema de Produção Enxuta, ou *Lean Manufacturing* (Rodrigues, 2014).

Para Wilson (2010), a definição mais popular do Sistema Toyota de Produção e do *Lean Manufacturing* é um abrangente conjunto de técnicas que permitem que você reduza e elimine desperdícios, e quando combinadas e amadurecidas, não apenas tornam a sua empresa mais enxuta, mas também mais flexível, reduzindo assim os desperdícios.

Estes métodos, sistemas e técnicas utilizadas no *Lean Manufacturing* têm sido aplicadas em diversos setores organizacionais, trazendo mudanças ou não em sua denominação. Contudo, o mais importante deste entendimento é que o pensamento

Lean, tanto na manufatura como nos serviços, busca melhores resultados em um conceito amplo e em todos os níveis. Sendo assim, uma organização enxuta e sem desperdícios não é um diferencial, e sim uma condição de sobrevivência no mercado global e competitivo (Rodrigues, 2014).

Pode-se dizer que o pensamento enxuto, ou metodologia *Lean*, procura como objetivo definitivo promover excelência em qualidade, serviços e prazos, através da procura incessante da eliminação de desperdícios, assentando sempre no pressuposto da eficiência (Farinha, 2015). E, ainda mais importante, é um processo caracterizado por um fluxo e previsibilidade que acaba reduzindo severamente as incertezas de plantas fabris, desta forma, as pessoas trabalham com mais confiança e facilidade (Wilson, 2010).

A eliminação de desperdícios em todas as etapas e níveis do processo produtivo, por meio de otimização ou mudanças das ações que as geraram, é o foco do pensamento *Lean*, e muitos têm sido os métodos ou técnicas utilizadas para esse fim. Taiichi Ohno desenvolveu uma das mais eficazes como executivo da Toyota. Shigeo Shingo foi quem auxiliou Ohno nas formas de entendimento sobre desperdícios e, assim, foram elencados sete grandes potenciais grupos de desperdícios (Rodrigues, 2014).

Segundo Pascal (2008), os sete desperdícios são classificados como *muda*, uma palavra em japonês, que significa desperdício ou qualquer atividade que o cliente não está disposto a pagar. Clientes esperam pagar por produtos, mas não por tempo de espera, correção ou excesso de estoque ou qualquer outra forma de custo que não agrega valor ao produto.

Sendo assim, para resumir o pensamento *Lean*, Womack, Jones e Roos (1990) definiram cinco princípios básicos: valor, cadeia de valor, fluxo da cadeia de valor, produção puxada e busca da perfeição. Segundo Das, Venkatadri e Pandey (2014) e Rodrigues (2013), esses princípios são definidos como:

- a) Valor: o valor de um produto só pode ser definido pelo cliente quando for expresso em forma de um produto, bem ou serviço, sendo essencial que atenda a todas as necessidades e expectativas do cliente final;
- b) Cadeia de valor: deve-se conhecer todo o caminho que um determinado produto percorre, analisar os processos para determinar quais realmente agregam valor;

- c) Fluxo da cadeia de valor: é o responsável por definir, delimitar e fazer a gestão dos estoques em pequenos lotes ao longo das etapas de processamento;
- d) Produção puxada: busca-se uma produção nivelada em toda a cadeia, com fluxo contínuo, eficaz e pequenos lotes, para que se ganhe com a redução dos excessos de produção;
- e) Busca da perfeição: o objetivo principal aqui é melhorar todo o processo produtivo de maneira permanente e contínua, buscando a eliminação total de desperdícios.

O LM está focado em eliminar todos os tipos de desperdícios do sistema produtivo. Os desperdícios são todas as atividades que empregam recursos, mas que não contribuem para aumentar o valor do produto que é entregue ao cliente (Ohno, 1997).

Para que os desperdícios ou perdas sejam identificadas, é necessário que se conheça muito bem todos os processos, para que então defina-se quais deles agregam e quais não agregam valor ao produto. As atividades que agregam valor são todas aquelas que fazem com que o produto fique com as características solicitadas pelo cliente, por sua vez, todas as atividades restantes são consideradas como desperdício, ou que não agregam valor (Ortiz, 2006).

2.2.2 Ferramentas Enxutas

Na busca do aprimoramento, a otimização de processos está nas estratégias traçadas para a manutenção das vantagens competitivas (Campos; Rodrigues; Oliveira, 2016). Algumas ferramentas *Lean* (Quadro 1) são utilizadas para identificação de melhorias ou para operacionalização do processo.

Quadro 1 – Ferramentas do *Lean Manufacturing*

(continuação)

FERRAMENTAS LEAN	DESCRIÇÃO
KAIZEN	A filosofia Kaizen promove melhorias como resultado do esforço contínuo e os eventos kaizen são frequentemente associados a técnicas de redução de resíduos, balanceamento de tempo de chumbo e estação de trabalho (Paoleschi, 2019).
KANBAN	O sistema Kanban pode atingir um estoque mínimo a qualquer momento. Esta ferramenta faz com que os processos e materiais fluam através dos cartões que representam uma sequência de pedidos e recursos no chão de fábrica,

Quadro 1 – Ferramentas do *Lean Manufacturing*

(conclusão)

KANBAN	enquanto registram as principais informações do fluxo de produção eficiente (Adebanjo <i>et al.</i> , 2016).
HEIJUNKA	Segundo Santos, P. <i>et al.</i> (2020), o Heijunka, quando implementado corretamente, fornece previsibilidade ao nivelar a demanda, diminuindo o tempo de transição e aumentando a estabilidade. Além disso, implica na redução da quantidade de lotes processados, da quantidade inventariada, do <i>lead time</i> , do capital congelado, bem como culmina na melhoria da organização do fluxo de valor e confere maior rapidez no tempo de resposta ao cliente.
POKA-YOKE	Dispositivos que previnem e detectam perdas de qualquer origem, podendo interromper automaticamente a linha de produção quando precisava. Eles se destacam por sua simplicidade de operação e seus recursos de design intuitivos. Esses dispositivos ajudam a reduzir a variabilidade e manter a estabilidade e o controle dos processos de produção (Paoleschi, 2019).
VSM	O VSM é uma ferramenta que auxilia a identificar os desperdícios e atividades que não agregam valor no sistema de produção. A apresentação da ferramenta, bem como os procedimentos de sua aplicação, foi formalizada por ROTHER e SHOOK, com o intuito de fornecer uma aplicação direta do mapeamento para as indústrias.
JIDOKA	O <i>Jidoka</i> é a automação com o toque humano, que assegura a faculdade do operador ou da própria máquina paralisar processo em que se encontra, sempre que uma anormalidade for observada e detectada (Ghinato, 1994).
JUST IN TIME	O seu objetivo é coordenar um sistema produtivo, de forma que o processo seja alimentado no momento certo, com os itens corretos e nas quantidades certas (Ghinato, 1994).
5S	O 5S desenvolvido no século XX no Japão, consiste na combinação de práticas com o objetivo de organizar e padronizar o local de trabalho, mantendo apenas o necessário para as atividades cotidianas do colaborador (Womack; Jones, 1998).

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

2.2.3 Os sete desperdícios

Cumprir destacar, em primeira análise, que essa filosofia pode ser entendida como uma busca por reduzir todo e qualquer tipo de desperdício. Liker (2005) cita os sete grandes tipos de perdas, ou seja, o que não agrega valor ao produto, que a Toyota identificou em seu sistema e ainda inclui o oitavo, que trata da parte intelectual dos trabalhadores:

Superprodução: Produzir um produto ou serviço antes que o cliente o queira, ou produzir mais do que o cliente pediu. Este desperdício remete-se a produzir em excesso, ou seja, obter mais produtos ou informações que o necessário. Segundo Liker (2005), Ohno considerava a superprodução como sendo a principal perda, pois ela gera a maioria das outras perdas, como perda com excesso de pessoal e de estoque e custos de transporte devido ao estoque excessivo.

Espera: Criar tempo ocioso quando o material, informações, pessoas ou equipamentos não estiverem prontos. Este desperdício faz referência à inoperância de funcionários, máquinas e demais recursos no processo que ficam esperando pelo próximo passo do processamento, por falta de estoque ou gargalos de capacidade, por exemplo.

Transporte: As perdas associadas ao transporte estão relacionadas diretamente a todas as atividades de movimentação de materiais que não adicionam valor e geram custos. Deste modo, as organizações devem realizar uma busca incessante da eliminação do transporte (Shingo, 1996). O transporte não agrega valor ao produto, mas muitas vezes é necessário ao processo. Sendo assim, deve ser minimizado.

Superprocessamento ou processamento incorreto: Adicionar etapas de processo que não agregam valor a partir da visão do cliente (ou processamento excessivo além das especificações do cliente), processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou projeto de baixa qualidade. Segundo Liker (2005), geram-se perdas também quando se oferece produtos com qualidade superior à que é solicitada pelo cliente.

Estoque: Ter mais suprimentos, material ou trabalho em mãos do que é necessário, tanto antes, durante ou depois dos processos de produção. Além disso, o excesso de estoque pode esconder problemas como desbalanceamento da produção, defeitos e entregas atrasadas. Antunes (2008) relaciona uma série de desvantagens à formação de grandes estoques, tais como: alto custo financeiro, risco dos produtos se tornarem obsoletos e a possibilidade de perder as vendas dos produtos acabados.

Movimento desnecessário: Este desperdício refere-se à movimentação desnecessária, tanto de equipamentos quanto dos colaboradores no processo. Se mover desnecessariamente durante o trabalho, como procurar, pegar ou empilhar peças. Caminhar não agrega valor ao produto ou serviço.

Defeitos: Fazer um trabalho que contenha erros que precisa ser reformulado ou há a falta de algo necessário. Conforme Liker (2005), ter que consertar ou retrabalhar ou ainda descartar um produto por um defeito significam perdas de manuseio, tempo e esforço.

2.2.4 Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM)

Das principais técnicas de eliminação de desperdícios propostas por esta filosofia de gestão, destaca-se uma delas: o Mapeamento do Fluxo de Valor (em inglês, *Value Stream Mapping* – VSM). Esta ferramenta foi proposta por Rother e Shook (1998), tendo sido baseada na Análise do Fluxo de Valor (*Value Stream Analysis*).

Segundo Vasconcellos (2021), o VSM ou mapa do fluxo de valor é usado como uma ferramenta de comunicação e planejamento, além de servir para que os funcionários conheçam detalhadamente seus processos. Com ele, estabelece-se uma linguagem comum entre os colaboradores e inicia-se, posteriormente, um processo de melhoria.

De acordo com Rother e Shook (2003) e Azevedo (2011), é uma metodologia para se visualizar todo o fluxo de informação e material, permitindo às organizações identificar seus focos de desperdícios ou atividades que não agregam valor, podendo direcionar suas ações para a busca do melhor desempenho do fluxo.

Conforme afirmam Rother e Shook (2003), a ferramenta VSM possibilita a conexão de todos os processos que compõem o fluxo de produção, desde o fornecedor até o consumidor final, identificando todas as etapas, a fim de aplicar as técnicas do pensamento enxuto. Segundo os autores, o mapeamento do fluxo de valor deve seguir as seguintes etapas:

- a) Escolha da família de produtos: selecionar uma família de produtos composta por um grupo de produtos que passam por etapas semelhantes de processamento;
- b) Desenho do estado atual e futuro: desenhar o estado atual e o estado futuro, o que é feito a partir de informações coletadas no chão de fábrica;
- c) Plano de trabalho e implementação: preparar um plano de implementação que descreva como se deseja chegar ao estado futuro.

2.3 PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

A situação socioambiental atual das sociedades evidencia que a influência humana no meio ambiente está provocando efeitos preocupantes e adversos (Barbosa, 2008; Nascimento, 2012). Consoante afirma Mebratu (1998), o desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as demandas do presente sem

comprometer a habilidade das gerações futuras em atender às suas próprias necessidades.

O conceito de desenvolvimento sustentável emerge como uma abordagem integrada, propondo uma nova trajetória de desenvolvimento que considera o ecossistema no qual as empresas operam, avaliando como gerar valor para todos os *stakeholders*, incluindo organizações, sociedade e meio ambiente (Barbosa, 2008). Ao longo dos anos, a adesão das empresas à sustentabilidade tem crescido e, atualmente, fazer parte desse movimento se configura como uma vantagem competitiva para as organizações. Nas últimas décadas, observou-se mudanças globais consideráveis que impactaram o estilo de vida, o trabalho e as formas de comunicação.

Embora a análise econômica seja bastante empregada na abordagem dos problemas de seleção de projetos, o desenvolvimento sustentável propõe a consideração de fatores tanto financeiros quanto não financeiros para sua avaliação (Khalili-Damghani; Tavana, 2014). À medida que as Revoluções Industriais se desenrolavam, o modelo produtivo preponderante adotado foi o da economia linear, que se fundamenta na remoção-produção-descarte. Nesse contexto, a cadeia produtiva concentra-se exclusivamente em extrair recursos, produzir bens e descartar resíduos, resultando em consideráveis impactos ambientais (Weetman, 2019).

Nesse cenário, os consumidores estão adquirindo uma consciência crescente sobre a importância do desenvolvimento sustentável. Desta forma, as organizações estão examinando os impactos do uso de recursos e do ambiente ao seu redor (Barbieri *et al.*, 2010). Como resposta ao desafio apresentado pelo modelo atual, surge a Economia Circular (EC), pautada pela lógica cíclica observada na natureza. Essa abordagem visa manter o processo produtivo gerando o máximo de valor aos produtos pelo maior tempo possível, provocando, conseqüentemente, transformações em toda a cadeia produtiva, o que leva as empresas a analisarem e se dedicarem a todas as fases do processo, desde a interação com a matéria-prima, o design e a fabricação até a gestão dos resíduos gerados.

A integração de tecnologias da Indústria 4.0 surgiu como uma tendência significativa, permitindo que os fabricantes aumentassem a eficiência e a sustentabilidade. Isso inclui planejamento sustentável, programação e gerenciamento da cadeia de suprimentos, que são cruciais para a vantagem competitiva (Jamwal *et al.*, 2021).

2.3.1 Sustentabilidade organizacional

Desde os anos 1990, que foi quando o desenvolvimento sustentável ganhou maior destaque tanto nos debates acadêmicos quanto no cenário empresarial, têm surgido inúmeros conceitos que abordam processos de gestão direcionados à consecução da sustentabilidade. Dentre as designações frequentemente utilizadas, encontram-se: desenvolvimento sustentável, sociedades sustentáveis, crescimento sustentável, sustentabilidade estratégica, sustentabilidade corporativa e sustentabilidade organizacional. Cada uma dessas expressões carrega seu próprio significado, destacando diferentes ênfases nos diversos aspectos do conceito de sustentabilidade (Hahn; Scheemesser, 2006; van Marrewijk; Werre, 2003; Vos, 2007).

A integração da sustentabilidade nas organizações abrange diversas interações entre os domínios social, econômico e ambiental, visando assegurar a segurança e o bem-estar das gerações atuais e futuras por meio da utilização criteriosa e consciente dos recursos disponíveis (Brunstein; Scartezini; Rodrigues, 2012). Nesse contexto, as empresas desempenham um papel crucial, especialmente através do comprometimento da gestão com valores sustentáveis e práticas de desenvolvimento produtivo, competição e tecnologias que visam reduzir o impacto das operações empresariais no meio ambiente.

A sustentabilidade, por sua vez, é um dos desafios mais relevantes para a sociedade atualmente (Carballo-Penela; Castromán-Diz, 2015). É relevante a questão de como as organizações podem contribuir ativamente para os objetivos do desenvolvimento sustentável e vincular responsabilidade e oportunidade. Nesse caso, o desenvolvimento sustentável se torna uma fonte de criação de valor, tanto para a indústria quanto para a sociedade (Baumgartner, 2014).

Para Meadows, Meadows e Randers (1992), a sustentabilidade é definida como uma estratégia de desenvolvimento que visa aprimorar a qualidade de vida humana ao mesmo tempo que minimiza os impactos ambientais adversos. Nesse contexto, eles propõem a gestão integrada, que representa uma visão interconectada e holística dos aspectos relacionados ao desenvolvimento social, crescimento econômico e preservação ambiental. Destacam a importância da integração das preocupações ambientais, sociais e econômicas na estratégia de gestão, enfatizando que abordagens integradoras e abrangentes são essenciais para alcançar a integridade ecológica.

Conforme aponta van Marrewijk e Werre (2003), existem inúmeras definições para descrever processos de gestão que incluem a sustentabilidade, tanto nos debates acadêmicos quanto no cenário empresarial são apresentados diversos conceitos. Contudo, ainda não existe uma definição única ou consensual para a sustentabilidade organizacional ou um conceito equivalente.

As organizações que participam ativamente das discussões sobre sustentabilidade estão sempre em busca de identificar oportunidades para desenvolver novas abordagens na produção e gestão de recursos. O objetivo é aprimorar práticas relacionadas a cada um dos pilares fundamentais que sustentam a sua atuação (Munck; Souza, 2009). Quando nos referimos às dimensões, pilares, elementos fundamentais e até mesmo às competências que sustentam a organização, buscamos uma lógica que explique cientificamente essa categorização. Entre as diversas abordagens propostas, adotamos a perspectiva sistêmica de t (1996), que destaca a interdependência de três pilares essenciais no contexto da compreensão e manifestação da sustentabilidade: o pilar econômico, o pilar ambiental e o pilar social.

É essencial reconhecer que as atitudes e comportamentos das organizações, influenciados pelas demandas de movimentos internos e externos ao ambiente empresarial, desencadeiam a necessidade de reposicionamento e reconsideração. Tais posturas buscam integrar-se ao posicionamento estratégico que orienta o comportamento socioeconômico dessas empresas. Isso torna a sucessão de mudanças um desafio na busca por alinhamento com as aspirações da sociedade, governo e demais entidades, visando alcançar o desenvolvimento sustentável (Munck; Souza, 2009).

2.3.2 Inovações Sustentáveis

A inovação é um tema que se destaca no estudo das organizações contemporâneas. O conceito de inovação foi desenvolvido por Schumpeter (1982) ao que denominou como “destruição criadora”, na qual produtos ou hábitos antigos são substituídos e reinventados a partir dos desejos dos consumidores que anseiam por novidades. Tidd, Bessant e Pavitt (2008) argumentam que o conceito de inovação seja mais amplo, muitas vezes menos drástico, sugerindo sua similaridade com os conceitos de “mudança”. Burgelman, Christensen e Wheelwright (2004) acrescentam que as mudanças possam também ser inerentes às questões tecnológicas. Dessa

maneira, a inovação consistiria em novos desenvolvimentos tecnológicos, com novas combinações a partir de tecnologias já existentes, ou utilizando-se de outros tipos de conhecimentos adquiridos pela empresa.

Tidd, Bessant e Pavitt (2008) entendem que a inovação significa trabalho em equipe, com combinação criativa de diferentes perspectivas. Ao conseguir isso, a organização poderia apresentar resultados admiráveis. Para esses autores, inovar requer uma postura de ruptura que afaste a inércia e a determinação para mudar as ordens das concepções com foco no desenvolvimento sustentável. Do ponto de vista da operacionalização, as inovações deveriam ser baseadas em um modelo na sustentabilidade que abordassem os sistemas ecológicos, sociais e econômicos, consistindo no que se define como *triple bottom line* (TBL) (Elkington, 2012).

Tello e Yoon (2008) identificam várias forças que conduzem as empresas para a inovação sustentável, incluindo: 1) regulação governamental; 2) ativismo social; 3) avanço tecnológico; 4) demanda dos clientes por produtos ecologicamente corretos; 5) parcerias na cadeia de suprimentos; e 6) transição da missão e orientação dos negócios e para responsabilidade social corporativa. Cada uma destas forças que impulsionam as empresas para a inovação sustentável é baseada em uma visão divergente da relação entre o crescimento econômico e o meio ambiente. São elas: 1) a visão de *trade-off* sobre o crescimento econômico e ambiente; 2) o ponto de vista de sinergia do crescimento econômico e do meio ambiente; e 3) o ponto de vista da responsabilidade social da responsabilidade social corporativa. A visão *trade-off* sobre a relação entre o crescimento e o meio-ambiente é baseada na noção de que o crescimento econômico é uma condição necessária, mas não suficiente para a melhoria do ambiente global para o benefício da raça humana (Tello; Yoon, 2008).

As organizações podem implementar estratégias como ecodesign, eficiência energética e colaboração dentro de clusters industriais para promover práticas sustentáveis. Essas estratégias promovem práticas sustentáveis e melhoram o desempenho geral da empresa ao mesmo tempo em que abordam os desafios ambientais (Janahi; Durugbo; Al-Jayyousi, 2021).

2.4 DIRETRIZES CONCEITUAIS DA PESQUISA

Este capítulo releva o passo a passo da pesquisa científica, estabelecer uma base teórica que sirva como contextualização da pesquisa no campo científico, além

de orientar a análise e interpretação dos dados obtidos no decorrer do seu andamento, garantindo a integridade dos resultados. Nessa perspectiva, foi construída uma *string* de busca utilizando a base de dados *Scopus*, com a definição de três eixos para a seleção do banco de artigos para um levantamento bibliográfico. A *string* de busca é utilizada em uma pesquisa acadêmica, onde se torna aliada na busca por referências bibliográficas relevantes para o tema em estudo.

As palavras-chave divididas em três eixos foram pesquisadas seguindo a estrutura: ("*Production system*"OR"*custom system*"OR"*make to order*"OR"*Pull production*") AND ("*Lean manufacturing*"OR"*value stream*"OR"*Kaizen*") AND ("*Sustainable Development*"OR"*Process Aproch*") conforme Quadro 2.

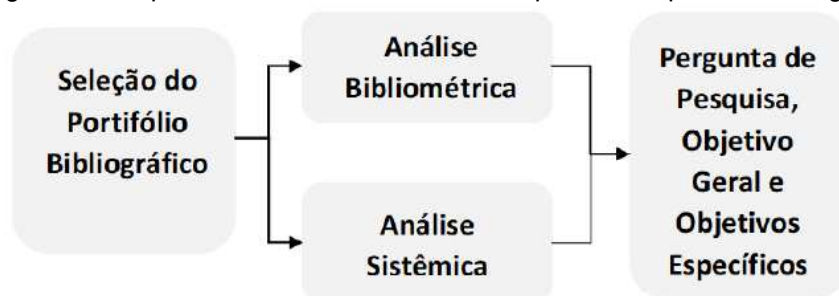
Quadro 2 – *String* de Buscas

Eixos	Sistemas de produção	Sistema Toyota de Produção	Sustentabilidade
Termos de Busca	Sistemas de produção Sistema customizado Produção por encomenda Produção puxada	<i>Lean Manufacturing</i> Fluxo de valor Kaizen	Desenvolvimento Sustentável <i>Process Approach</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Foi realizado o processo de revisão bibliográfica denominado *ProKnow-C* (*Knowledge Development Process – Constructivist*), desenvolvido pelo Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (LabMCDA), da Universidade Federal da Santa Catarina, que, sob a ótica construtivista, apresenta um processo estruturado para construir no pesquisador, o conhecimento necessário para iniciar a pesquisa acerca do tema que se deseja investigar. O *ProKnow-C* consiste em uma metodologia de construção do conhecimento estruturada em quatro etapas pré-definidas, como a definição de bancos de dados, palavras-chave e critérios de inclusão e exclusão, até a fase de filtragem de e consolidação do portfólio bibliográfico relevante.

Figura 2 – Etapas do *ProKnow-C*, com ênfase para as etapas deste artigo



Fonte: Adaptado de Liker (2005).

Neste estudo, o foco se dará na configuração dos critérios fundamentados nos artigos da base de dados, como cada etapa detalhada a seguir.

a) Seleção de Portfólio Bibliográfico: nesta etapa, deve-se realizar a busca por material científico nas bases de dados de maneira sistematizada. Inicialmente, define-se o tema e as palavras-chave. Em seguida, as bases de dados são selecionadas, depois da busca por artigos científicos, aplica-se uma sequência de filtros para gerar o portfólio bibliográfico e alcançar artigos com maior relevância para o tema. Os filtros aplicados, foram: artigos repetidos no portfólio, alinhamento dos títulos e reconhecimento científico. Em seguida, os artigos obtidos devem ser analisados quanto a disponibilidade e coerência com tema, por meio da leitura dos resumos.

b) Análise Bibliométrica: nesta fase, é importante contabilizar os dados estatísticos do conjunto de artigos obtidos na etapa (a), através de parâmetros como: palavras-chave, autores, ano, periódicos e citações. Dessa forma, identificam-se dois grupos de indicadores: o primeiro relacionado aos artigos do portfólio e o segundo, às referências dos artigos do portfólio, onde são desenvolvidas métricas referentes às repetições dos artigos, citações, materiais, origem e periódicos.

c) Análise Sistêmica: nesta etapa deve-se analisar as barreiras encontradas e os resultados dentro de cada artigo do portfólio. Dessa forma, é possível enxergar as dificuldades encontradas para aplicação das ferramentas, os desafios encontrados para implantação de estratégias sustentáveis nas operações de produção por encomenda.

2.4.1 Composição do Portfólio Bibliográfico

Na base de dados, as expressões de busca definidas foram inseridas de maneira combinada, permitindo localizar todos os artigos que contivessem os termos em seus resumos, títulos e palavras-chave. Além da inserção dos termos, a plataforma possibilitou a definição de parâmetros de filtragem pelos pesquisadores. Para este estudo, foram considerados apenas artigos publicados em inglês, entre 2019 e 2024, e relacionados à área de engenharia de produção. Com os termos de busca alinhados, os próximos passos envolveram os métodos de filtragem do portfólio bruto, com o objetivo de refinar e construir um portfólio de artigos científicos totalmente aderente à linha de pesquisa. As etapas de filtragem, conforme o método *ProKnow-C* proposto por Ensslin *et al.* (2010), incluíram: a exclusão primária por meio da leitura dos títulos,

a exclusão secundária baseada na leitura dos resumos, e a exclusão final após a leitura completa dos artigos selecionados. Ao término do processo, o portfólio final é apresentado no Quadro 3, composto por 55 artigos.

Quadro 3 – Portfólio bibliográfico

(continua)

Artigos selecionados	
1	WEETMAN, C. Economia circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. Tradução: Afonso Celso da Cunha Serra. São Paulo: Autêntica Business, 2019.
2	ALEXANDER, L.; ISKANDAR, I. Application of Lean Manufacturing in Aluminum Cable Ladder Manufacturing Companies: Case Study at PT. Indra Saputra Triassic. Journal of Mechanical, Civil and Industrial Engineering , Jordan, v. 4, n. 1, p. 09-16, 2023.
3	ABBAS, Z. <i>et al.</i> Non-parametric progressive signed-rank control chart for monitoring the process location. Journal of Statistical Computation and Simulation , Netherlands, v. 92, n. 12, p. 2596–2622, 2022.
4	ABU-RUMMAN, A. <i>et al.</i> Exploring the challenges and opportunities of implementing industry 4.0 in Jordan: Public shareholding manufacturing companies' perspective. Wireless Personal Communications , Dordrecht, 2023.
5	ABUSAQ, Z. <i>et al.</i> Improving Energy Performance in Flexographic Printing Process through Lean and AI Techniques: A Case Study [Article]. Energies , Basel, v. 16, n. 4, p. 1972, 2023.
6	AKBAR, S.; AHSAN, K. Investigation of the challenges of implementing social sustainability initiatives: A case study of the apparel industry. Social Responsibility Journal , United Kingdom, v. 17, n. 3, p. 343–366, 2021.
7	GARCÍA ALCARAZ, J. L. <i>et al.</i> Effect of the sustainable supply chain on business performance— The Maquiladora Experience. IEEE Access , United States, v. 10, p. 40829-40842, 2022.
8	NIMAWAT, D.; GIDWANI, B. D. Identification of cause-and-effect relationships among barriers of Industry 4.0 using decision-making trial and evaluation laboratory method. Benchmarking: An International Journal , Indonesia, v. 28, n. 8, p. 2407–2431, 2021.
9	SOLIS, M. M. <i>et al.</i> Model 1. Leadership Style and Its Impact on Operational Performance and Supply Chain Resilience. In: SOLIS, M. M. (ed.). Leadership and Operational Indexes for Supply Chain Resilience . Switzerland: Springer Nature, 2023. p. 43-57.
10	CHERRAFI, A. <i>et al.</i> Green and lean: A Gemba-Kaizen model for sustainability enhancement [Article]. Production Planning and Control , United Kingdom, v. 30, n. 5–6, p. 385–399, 2019.
11	BATWARA, A. <i>et al.</i> An Empirical Investigation of Green Product Design and Development Strategies for Eco Industries Using Kano Model and Fuzzy AHP. Sustainability , Switzerland, v. 14, n. 14, p. 8735, 2022.

Quadro 3 – Portfólio bibliográfico

(continuação)

Artigos selecionados	
12	ABDULLAH, A.; SARASWAT, S.; TALIB, F. Impact of Smart, Green, Resilient, and Lean Manufacturing System on SMEs' Performance: A Data Envelopment Analysis (DEA) Approach. Sustainability , Switzerland, v. 15, n. 2, p. 1379, 2023.
13	ZEBA, G. <i>et al.</i> Technology mining: artificial intelligence in manufacturing. Technological Forecasting and Social Change , United States, v. 171, p. 120971, 2021.
14	SAMANT, S.; PRAKASH, R. Achieving lean through value stream mapping with constraint programming and simulation technique for complex production systems. International Journal of Industrial and Systems Engineering , United Kingdom, v. 37, n. 1, p. 119–148, 2021.
15	MACHADO, C. G; WINROTH, M. P.; SILVA, E. H. D. R. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda, International Journal of Production Research , United Kingdom, v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 2020.
16	KUMAR, M. B.; PARAMESHWARAN, R. A comprehensive model to prioritise lean tools for manufacturing industries: a fuzzy FMEA, AHP and QFD-based approach. International Journal of Services and Operations Management , United Kingdom, v. 37, n. 2, p. 170–196, 2020.
17	TRIPATHI, V. <i>et al.</i> An agile system to enhance productivity through a modified value stream mapping approach in industry 4.0: a novel approach. Sustainability , Switzerland, v. 13, n. 21, p. 11997, 2021..
18	LIU, Q.; YANG, H. An improved value stream mapping to prioritize lean optimization scenarios using simulation and multiple-attribute decision-making method, IEEE Xplore , United States, v. 8, p. 204914–204930, 2020.
19	DEVI, K. S.; SREEDHARAN, V. R.; DEVADASAN, S. R. Process enhancement in a wet grinder manufacturing company through lean implementation framework – A case study. International Journal of Business Excellence , India, v. 22, n. 1, p. 33-51, 2020.
20	LU, Y.; LIU, Z.; MIN, Q. A digital twin-enabled value stream mapping approach for production process reengineering in SMEs. International Journal of Computer Integrated Manufacturing , United Kingdom, v. 34, n. 7-8, p. 764–782, 2021.
21	MURALI, C. S.; PRABUKARTHI, A. Productivity improvement in furniture industry using lean tools and process simulation. International Journal of Productivity and Quality Management , United Kingdom, v. 30, n. 2, p. 214–233, 2020.
22	VERMA, N.; SHARMA, V.; BADAR, M. A. Entropy – Based Lean, Energy and Six Sigma Approach to Achieve Sustainability in Manufacturing System. Arabian Journal for Science and Engineering , United Kingdom, v. 46, n. 8, p. 8105–8117, 2021.
23	LIU, Q.; YANG, H. Incorporating Variability in Lean Manufacturing: A Fuzzy Value Stream Mapping Approach. Mathematical Problems in Engineering , Netherlands, v. 2020, n. 1, p. 1347054, 2020.

Quadro 3 – Portfólio bibliográfico

(continuação)

Artigos selecionados	
24	JING, S. <i>et al.</i> Investigating the effect of value stream mapping on procurement effectiveness: a case study. Journal of Intelligent Manufacturing , United Kingdom, v. 32, p. 935-946, 2020.
25	BALAJI, V. <i>et al.</i> DVSMS: dynamic value stream mapping solution by applying IIoT. Sadhana , Nepal, v. 45, n. 38, p. 45, 2020.
26	AREY, D.; LE, C. H.; GAO, J. Lean industry 4.0: a digital value stream approach to process improvement, Procedia Manufacturing , Amsterdam, v. 54, p. 19-24, 2021.
27	EBRAHIMI, A.; KHAKPOUR, R.; SAGHIRI, S. Sustainable setup stream mapping (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing, Production Planning & Control , United Kingdom, v. 34, n. 4, p. 1-24, 2021.
28	BATWARA, A. <i>et al.</i> Towards smart sustainable development through value stream mapping – a systematic literature review. Heliyon , London, v. 9, n. 5, p. e15852, 2023.
29	MENON, R. B. <i>et al.</i> Cost value-stream mapping as a lean assessment tool in a surgical glove manufacturing company. The South African Journal of Industrial Engineering , Waterkloof, v. 32, n. 1, p. 157–170, 2021.
30	UTAMA, D. M.; ARDIYANTI, N.; PUTRI, A. A. A new hybrid method for manufacturing sustainability performance assessment: a case study in furniture industry. Production & Manufacturing Research , United Kingdom, v. 10, n. 1, p. 760-783, 2022.
31	UTAMA, D. M. AHP and TOPSIS integration for green supplier selection: a case study in Indonesia. <i>In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL AUTOMATION, SMART GRID AND ITS APPLICATION (ICIASGA), 2020, Jawa Timur. Proceedings [...].</i> Indonesia: ICIASGA, 2021.
32	SHUKOR, S. A.; NG, G. K. Environmental indicators for sustainability assessment in edible oil processing industry based on Delphi Method. Cleaner Engineering and Technology , Oxford, v. 10, p. 100558, 2022.
33	AHMAD, S.; WONG, K.Y. Development of weighted triple-bottom line sustainability indicators for the Malaysian food manufacturing industry using the Delphi method. Journal of Cleaner Production , Netherlands, v. 229, n. 4, p. 1167-1182, 2019.
34	AHMED, S. Integrating DMAIC approach of Lean Six Sigma and theory of constraints toward quality improvement in healthcare. Review on Environmental Health , Germany, v. 34, n. 4, p. 427–434, 2019.
35	ARAMAN, H.; SALEH, Y. A case study on implementing Lean Six Sigma: DMAIC methodology in aluminum profiles extrusion process. The TQM Journal , United Kingdom, v. 35, n. 2, p. 337-365, 2023.

Quadro 3 – Portfólio bibliográfico

(continuação)

Artigos selecionados	
36	GHOLAMI, H. <i>et al.</i> Social value stream mapping (Socio-VSM): methodology to societal sustainability visualization and assessment in the manufacturing system. IEEE Access , United States, v. 7, p. 131638–131648, 2019.
37	LEON-LUDENA, L.A.; DIESTRA-MEDROA, C.; FLORES-PEREZ, A. Improvement proposal to reduce the total cycle time in production through the application of SLP, 5S and TPM under a DMAIC approach in a Peruvian textile SME. <i>In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND APPLICATIONS</i> , 10., 2023, New York. Proceedings [...]. New York: ACM, 2023. p. 71–77.
38	MACHADO, C. G; WINROTH, M. P.; SILVA, E. H. D. R. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. International Journal of Production Research , United Kingdom, v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 2020.
39	HUSSAIN, K. <i>et al.</i> Mapping Green, Lean, Six Sigma enablers through the lens of a construction sector: an emerging economy's perspective. Journal of Environmental Planning Management , United States, v. 66, n. 4, p. 779–812, 2023.
40	IBRAHIM, M.; PUTRI, M.; UTAMA, D. M. A literature review on reducing carbon emission from supply chain system: drivers, barriers, performance indicators, and practices. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering , United Kingdom, v. 722, p. 012034, 2020.
41	JAMIL, N. <i>et al.</i> DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system. Economy Research-Ekonomiska Istraživanja , [s. l.], v. 33, n. 1, p. 331-360, 2020.
42	PRAMANIK, P. K. D. <i>et al.</i> Ubiquitous manufacturing in the age of industry 4.0: a state-of-the-art primer. <i>In: NAYYAR, A.; KUMAR, A. A roadmap to industry 4.0: smart production, sharp business and sustainable development</i> . Cham: Springer, 2020. p. 73–112.
43	DEVI, K. S.; PARANITHARAN, K. P.; AGNIVEESH, A. I. Interpretive framework by analysing the enablers for implementation of Industry 4.0: an ISM approach. Total Quality Management & Business Excellence , United Kingdom, v. 32, n. 13-14, p. 1494–1514, 2021.
44	CHITKARA, R.; RAJAN, J. BDCPS—a framework for smart manufacturing systems using blockchain technology. International Journal of Engineering and Advanced Technology , United Kingdom, v. 1, n. 9, p. 366-378, 2019.
45	ZUO, Y. Making smart manufacturing smarter—a survey on blockchain technology in Industry 4.0. Enterprise Information Systems , United States, v. 15, n. 10, p. 1323–1353, 2021.
46	SINGH, C.; SINGH, D.; KHAMBA, J. S. (2022) Assessing lean practices in manufacturing industries through an extensive literature review. <i>In: LI, X. et al. (ed.). Emerging Trends in Mechanical and Industry Engineering</i> . Select Proceedings of ICETMIE 2022. Singapore: Springer Nature, 2023. p. 779–800.
47	SANTOS, P. V. <i>et a.</i> Integração do índice OEE e o método Heijunka: uma análise sobre uma possível relação. Journal of Lean Systems , Florianópolis, v. 5, n. 4, p. 01-25, 2020.

Quadro 3 – Portfólio bibliográfico

(conclusão)

Artigos selecionados	
48	ELEMURE I. <i>et al.</i> Integration of lean green and sustainability in manufacturing: a review on current state and future perspectives. Sustainability , Switzerland, v. 15, n. 13, p. 10261, 2023.
49	RAOUF, Y. <i>et al.</i> Towards a smart and sustainable industry: cycle time optimization. <i>In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE RESEARCH IN APPLIED SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY (IRASET)</i> , 3., 2023, Morocco. Proceedings [...] . Morocco: IEEE, 2023. p. 1–7.
50	BATWARA, A. <i>et al.</i> Towards smart sustainable development through value stream mapping – a systematic literature review, Heliyon , London, v. 9, n. 5, p. e15852, 2023.
51	LORENZ, R. <i>et al.</i> Using process mining to improve productivity in make-to-stock manufacturing. International Journal of Production Research , United Kingdom, v. 59, n. 16, p. 4869–4880, 2021.
52	CIMINI, C. <i>et al.</i> Task classification framework and job-task analysis method for understanding the impact of smart and digital technologies on the operators 4.0 job profiles. Sustainability , Switzerland, v. 15, n. 5, p. 3899, 2023.
53	IVANOV, D. <i>et al.</i> Researchers' perspectives on industry 4.0: multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. International Journal of Production Research , United Kingdom, v. 59, n. 7, p. 2055–78, 2020.
54	ABDALI, M. F.; HUSSAIN, A. N.; ATIYAH, A. G. Supply Chain Management Practices and Its Role in Achieving Competitive Advantage. Na Analytical Study of The Views of a Sample of Texture Factory Managers in Iraq. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems , United States, v. 10, n. 11, p. 444-454, 2020
55	ZHANG, Y. <i>et al.</i> Integrating lean production strategies, virtual reality technique and building information modeling method for mass customization in cabinet manufacturing. Engineering, Construction and Architectural Management , United Kingdom, v. 29, n. 10, p. 3970-3996, 2021.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em seguida serão apresentados os resultados da análise bibliométrica baseada no conteúdo do portfólio bibliográfico do quadro 3.

2.4.2 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica, desenvolvida neste estudo, permitiu mapear o estado da arte sobre o uso do *Lean Manufacturing*, Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) e métodos multicritério aplicados à produção por encomenda. Essa abordagem possibilitou identificar padrões, lacunas e tendências na literatura científica. O uso da base Scopus garantiu a qualidade e relevância dos artigos, restringindo a pesquisa a

publicações entre 2019 e 2024. É possível analisar conforme as datas das publicações um crescente interesse na pesquisa sobre a sustentabilidade e o *Lean Manufacturing*.

Com a aplicação do método ProKnow-C, foi possível refinar a seleção de artigos relevantes para o portfólio final, composto por 55 estudos. Esse portfólio formou a base para o desenvolvimento de critérios consistentes e específicos que auxiliam na priorização de ações produtivas, alinhando eficiência e sustentabilidade. Assim, a análise bibliométrica não apenas identificou a relevância dos conceitos investigados, mas também mostrou oportunidades para futuras investigações no campo

2.4.3 Análise de Conteúdo

A análise de conteúdo fundamentada no portfólio bibliográfico teve como foco explorar as inter-relações entre os eixos "sistemas de produção", "Sistema Toyota de Produção" e "Sustentabilidade". Palavras e expressões com significados semelhantes foram agrupadas para formar um conjunto de critérios específicos, como mostrado no Quadro 4. Esses critérios foram então submetidos a uma validação de conteúdo realizada por especialistas, garantindo que estivessem alinhados com os temas centrais do estudo, proporcionando uma base sólida para as decisões subsequentes. Essa validação assegurou que os conceitos fossem aplicáveis tanto na prática industrial quanto na pesquisa acadêmica, formando uma base robusta para a aplicação do modelo proposto.

Quadro 4 – Categoria dos Critérios a serem validados

(continua)

Pilar do ESG	Critério
AMBIENTAL	Impacto ambiental dos fornecedores
	Conformidade regulatória ambiental
	Uso eficiente da água e energia
	Controle de Poluição
	Pegada de Carbono
	Gerenciamento De Resíduos
	Recursos Naturais
	Tratamento de efluentes
	Economia circular
	Eficiência Energética
SOCIAL	Ergonomia
	Promoção de diversidade e inclusão

Quadro 4 – Categoria dos Critérios a serem validados

(conclusão)

SOCIAL	Manutenibilidade
	Desenvolvimento e capacitação
	Saúde e segurança
	Qualidade de processos
	Comunicação organizacional
	Emissões de Ruídos
GOVERNANÇA	Custo de Aquisição
	Inovação e Tecnologia
	Eficiência
	Inovação Sustentável
	Flexibilidade
	Produtividade
	Facilidade de implementação
	Segurança

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com os 26 critérios relevantes para as organizações, a análise do portfólio valida que as pesquisas sobre *Lean Manufacturing* e sustentabilidade têm se concentrado em integrar práticas enxutas com os princípios da sustentabilidade, buscando melhorar a eficiência dos processos produtivos, reduzir desperdícios e minimizar impactos ambientais. A ênfase está na criação de cadeias de valor sustentáveis, incorporando economia circular, indicadores sociais e eficiência energética, ao mesmo tempo em que se mantém a competitividade. Além disso, estudos investigam como essas metodologias podem ser aplicadas de forma simultânea em diferentes setores, especialmente na produção por encomenda e indústrias de pequeno porte.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção, o objetivo é apresentar a realização da pesquisa. Para isso, pretende-se apresentar e justificar as escolhas desta pesquisa no que se refere ao seu enquadramento metodológico, à estratégia de pesquisa e aos procedimentos de coleta e análise de dados, conforme descrito nas seções a seguir.

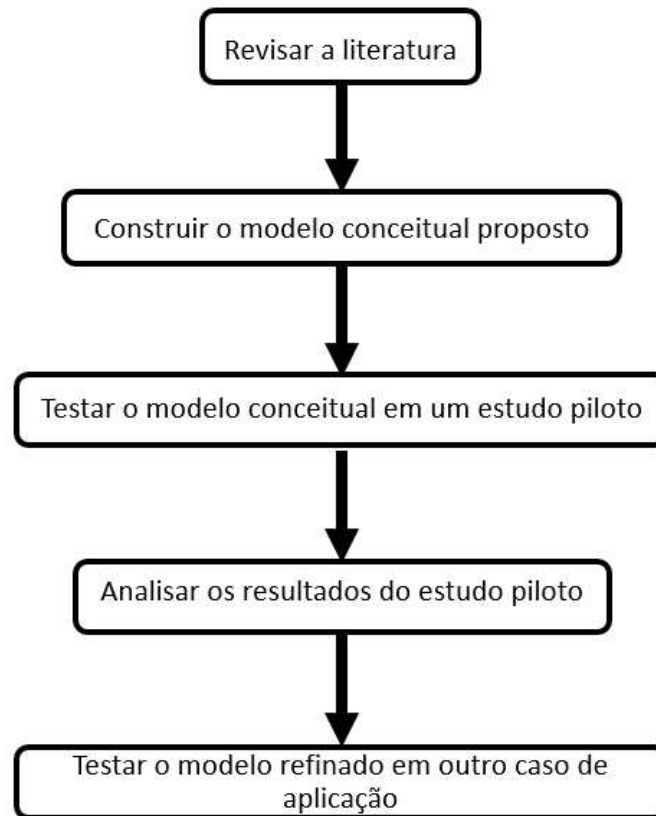
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

De acordo com Miguel (2011), esse trabalho possui natureza aplicada, pois os resultados do estudo têm como objetivo atender as exigências do mercado e poderão ser implementados na resolução de problemas reais encontrados nas indústrias. As análises dos dados serão realizadas de maneira tanto quantitativas quanto qualitativas, pois, de acordo com Marconi e Lakatos (2003), a descrição completa de um fenômeno, para realização de uma pesquisa futura, obtém descrições tanto quantitativas quanto qualitativas do objeto de estudo, ficando a critério do pesquisador conceituar o fato ou ambiente observado. O caráter qualitativo, mostrado por resultados subjetivos da aplicação do método, e quantitativo apresentada pelo multicritério; além disso, o presente trabalho apresenta caráter descritivo com uso de ferramentas do *Lean Manufacturing*.

3.2 ESTRUTURA METODOLÓGICA

O detalhamento da estratégia de pesquisa e etapas para desenvolver e alcançar os objetivos propostos são apresentadas e caracterizadas nesta seção. A sequência metodológica para elaboração do trabalho foi realizada conforme apresentado na Figura 3, com direcionamento para estruturar estratégias sustentáveis nas operações industriais por encomenda.

Figura 3 – Etapas da metodologia de pesquisa do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O desenvolvimento seguirá as etapas apresentadas a seguir, compondo a estrutura metodológica do trabalho:

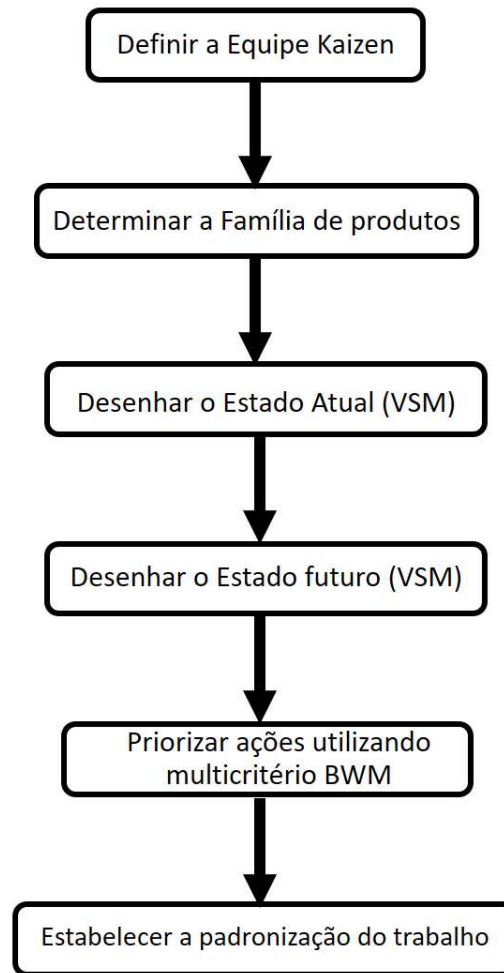
- a) **Revisar a literatura:** Examinar a literatura formulando o portfólio através da RSL, buscando as principais características referentes à ferramenta VSM do *Lean Manufacturing* e da sustentabilidade em organizações de produção por encomenda.
- b) **Construir o modelo conceitual proposto:** A partir da RSL, criar uma estrutura proposta para sugerir um modelo com passo a passo para implementação, selecionar ferramentas mais apropriadas e avaliar potenciais melhorias que a indústria pode se beneficiar.
- c) **Testar o modelo conceitual em um estudo piloto:** A aplicabilidade da estrutura proposta, que foi adaptada de Rother e Shook (2003), por meio de questionários e reunião/entrevista semiestruturadas com especialistas do processo produtivo. Testando o modelo em um estudo piloto na fabricação dos polos dos geradores.

- d) **Analisar os resultados do estudo piloto:** Agregar as sugestões pertinentes ao trabalho realizadas pelos avaliadores, promovendo a aprovação ou correções necessárias, gerando uma estrutura de implementação final, com maior segurança ao modelo proposto.
- e) **Testar o modelo refinado em outro caso de aplicação:** Após melhorias e adaptações no modelo proposto, é realizado outro caso de aplicação na fabricação de bobinas moldadas, onde serão utilizados os dados de produção e verificadas as possibilidades de implantação e dificuldades na sua operacionalização.

3.2.1 Desenvolvimento do modelo

O desenvolvimento do modelo seguiu as etapas apresentadas a seguir, combinando a ferramenta do VSM com método multicritério para apoio de tomada de decisão direcionado para as organizações de produção por encomenda. O VSM foi utilizado para realizar o mapeamento do fluxo de valor, identificando atividades que não agregam valor ao produto ou serviço. O VSM introduzido por Rother e Shook (1999) que consiste num guia prático para a implantação da produção enxuta (McKenzie; Jayanthi, 2007; Sullivan; McDonald; van Aken, 2002) e deve seguir as etapas propostas por Rother e Shook (2003) explicitadas na Figura 4. O VSM fornece dados concretos sobre o desempenho do processo, identifica desperdícios e realizada o mapeamento do fluxo de materiais e informações ao longo de um processo de produção. Dentre os vários métodos multicritério existentes, o escolhido para o presente estudo foi o BWM, pois oferece uma abordagem sistemática e eficiente para a tomada de decisões multicritério, onde ajuda a identificar e priorizar critérios de decisão com base na opinião dos decisores. Ele é particularmente útil em cenários onde é necessário considerar múltiplos critérios para tomar uma decisão informada. Em vez de exigir inúmeras comparações entre todas as alternativas e critérios, o BWM minimiza o número de comparações necessárias, tornando o processo de tomada de decisão mais rápido e eficiente, proporcionando resultados precisos, consistentes e adaptáveis a diversos contextos (Rezaei, 2015).

Figura 4 – Etapas de desenvolvimento do Modelo



Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2003).

Inicia-se a execução do modelo proposto pela definição da equipe Kaizen e a escolha de uma família de produtos. A partir disto, deve-se seguir o fluxo da produção desde o fornecedor da matéria-prima até o cliente, representando minuciosamente o mapa do estado atual, de seus fluxos de materiais e de informação (Rother; Shook, 2003). Realiza-se, então, a análise do mapa atual, o qual deve considerar e identificar as sete perdas.

Para o registro de mapa atual do processo, foram definidos os clientes e suas demandas, identificados os processos básicos de produção, suas principais informações, desenhados os fluxos entre processos, estabelecido o local dos estoques intermediários e as quantidades observadas, a identificação dos fornecedores, e o fluxo no qual a matéria-prima segue.

As quatro etapas subsequentes consistem em desenhar o mapa do estado atual, desenhar o mapa futuro, aplicar o critério de tomada de decisão BWM, realizado a partir da coleta de informações na indústria. Finalmente, deve-se preparar um plano

de implementação para o estado futuro (Rother; Shook, 2003), de forma que sempre haverá um mapa do estado futuro e um plano de implementação em curso, o que representa a busca pela perfeição, ou seja, o quinto princípio enxuto (Queiroz, 2006).

Para Rother e Shook (2003), o VSM é essencial porque: ajuda a visualizar mais do que apenas os processos individuais como, por exemplo, montagem, solda, etc. e permite analisar o fluxo todo; auxilia a identificar mais do que os desperdícios, isto é, mapear possibilita a identificação das fontes de desperdícios no fluxo de valor; fornece uma linguagem comum para tratar os processos de manufatura; torna as decisões sobre o fluxo visíveis, de modo que é possível discuti-las, pois muitos detalhes e decisões na indústria só acontecem por omissão; engloba conceitos e técnicas enxutas, que ajudam a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente; forma a base de um plano de implementação, ou seja, ao desenhar como o fluxo total de porta a porta deveria operar, uma parte que falta em muitos esforços enxutos, os mapas do fluxo de valor tornam-se referência para a implementação enxuta; mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material.

Nas seis etapas seguintes é descrita com detalhes a metodologia passo a passo do modelo proposto:

a) Passo 1 – Formação da equipe para análise do fluxo produtivo

Forme uma equipe multidisciplinar composta por profissionais de diversas áreas da organização, garantindo a inclusão de colaboradores com experiência no processo produtivo e conhecimento prévio sobre o VSM. A equipe deve ser capaz de mapear as etapas do processo, identificar pontos críticos e propor melhorias com base em dados reais e experiência prática.

b) Passo 2 – Definição da família de produtos a ser investigada

Escolha a família de produtos que será o foco da análise, considerando aqueles que compartilham a mesma linha de produção. A seleção deve ser baseada em critérios como frequência de demanda, volume de produção e complexidade do processo. A definição correta dessa família permitirá uma análise mais focada e relevante, otimizando os recursos e aumentando a eficácia das melhorias.

c) Passo 3 – Mapeamento do estado atual do processo produtivo

Desenhe o mapa do estado atual do fluxo produtivo para o produto escolhido. Represente visualmente todas as etapas do processo, desde a entrada de matérias-primas até a entrega do produto final. Identifique áreas de desperdício, gargalos,

tempos de espera e outras ineficiências que possam comprometer a fluidez da produção e a qualidade do produto.

d) Passo 4 – Elaboração do mapa do estado futuro e plano de ações

Com base nas informações obtidas no mapa do estado atual, desenhe o mapa do estado futuro, propondo melhorias no processo produtivo. Este plano de ação deve incluir soluções para eliminar desperdícios, reduzir tempos de espera, melhorar a qualidade e aumentar a eficiência. O plano deve ser claro e prático, com metas específicas e responsáveis por cada ação.

e) Passo 5 – Aplicação do método multicritério BWM

Utilize o BWM para priorizar as ações de melhoria identificadas no passo anterior. Aplique o BWM para comparar e avaliar as alternativas de acordo com diversos critérios, como custo, tempo de implementação, impacto na qualidade e sustentabilidade. Isso ajudará a equipe a tomar decisões fundamentadas e a focar nas melhorias que trarão maior valor à produção.

f) Passo 6 – Implementação da padronização e melhoria contínua

Implemente as melhorias propostas no processo produtivo, com foco na padronização das boas práticas e no acompanhamento contínuo dos resultados. Estabeleça processos claros para monitorar o desempenho, documentar procedimentos e promover a melhoria contínua. A análise periódica e a adaptação do processo às novas demandas do mercado garantirão a sustentabilidade das melhorias ao longo do tempo.

Este mapeamento será conduzido por meio de uma pesquisa-ação e possui dois objetivos, um técnico e outro científico. O objetivo técnico é voltado à resolução do problema em si que, no contexto deste estudo, é a melhoria do processo. Já o objetivo científico é voltado à produção ou ao desenvolvimento de metodologias, ou seja, é a aplicação dos conhecimentos teóricos na prática.

3.3 MÉTODO MULTICRITÉRIO BWM

Este trabalho tem como objetivo estruturar uma ferramenta automatizada para auxiliar a escolha dos indicadores críticos (de maior importância) a serem monitorados para acompanhar o desempenho dos ativos industriais que compõem uma indústria.

O *Best Worst Method* (BWM) é um método que pode ser utilizado para resolução de problemas multicritérios, com ênfase em encontrar o melhor e o pior

critério entre os analisados para determinado plano de ação. Problemas multicritérios buscam analisar um vasto número de alternativas em relação a um número de critérios, buscando selecionar a melhor alternativa, classificação ou ordenação de todas as alternativas a partir de atribuição de pesos por parte do tomador de decisão (Darestani; Palizban; Imannezhad, 2020; Karimi; Sadeghi-Dastaki; Javan, 2008; Mi et al., 2019; Rezaei, 2015).

Para que seja possível julgar os indicadores de desempenho, pode-se utilizar da aplicação da análise multicritério que, a partir de atribuição de multiplicadores, irá revelar os critérios de maior e menor relevância. O método multicritério é usado para resolução de problemas e atribui pesos para auxiliar na escolha dos critérios mais relevantes, relacionados ao objeto de estudo (Francisco et al., 2007).

O método baseia-se nas etapas propostas por Rezaei (2015), as quais estão descritas e caracterizadas abaixo:

- 1° etapa: O decisor deve estabelecer os critérios necessários para a tomada de decisão, permitindo a criação de um conjunto C que representa os critérios relevantes, conforme Equação (1);

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (1)$$

- 2° etapa: O decisor deve definir os critérios *Best* e *Worst*, ou seja, o mais importante e o menos importante para aquele problema;
- 3° etapa: O decisor deve estabelecer a preferência do melhor critério (*Best*) é representado por a_{Bj} em relação a todos os outros critérios utilizando um número entre 1 e 9, resultando no vetor *Best-to-Others*; A Equação (2) expressa o vetor formado. Deve-se lembrar que $a_{BB} = 1$;

$$BO = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (2)$$

- 4° etapa: O decisor deve definir a preferência do pior critério (*Worst*) é representado por a_{jW} em relação a todos os outros critérios com números entre 1 e 9, resultando no vetor *Others-to-Worst*. A Equação (3) expressa o vetor formado. Deve-se lembrar que $a_{WW} = 1$;

$$OW = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (3)$$

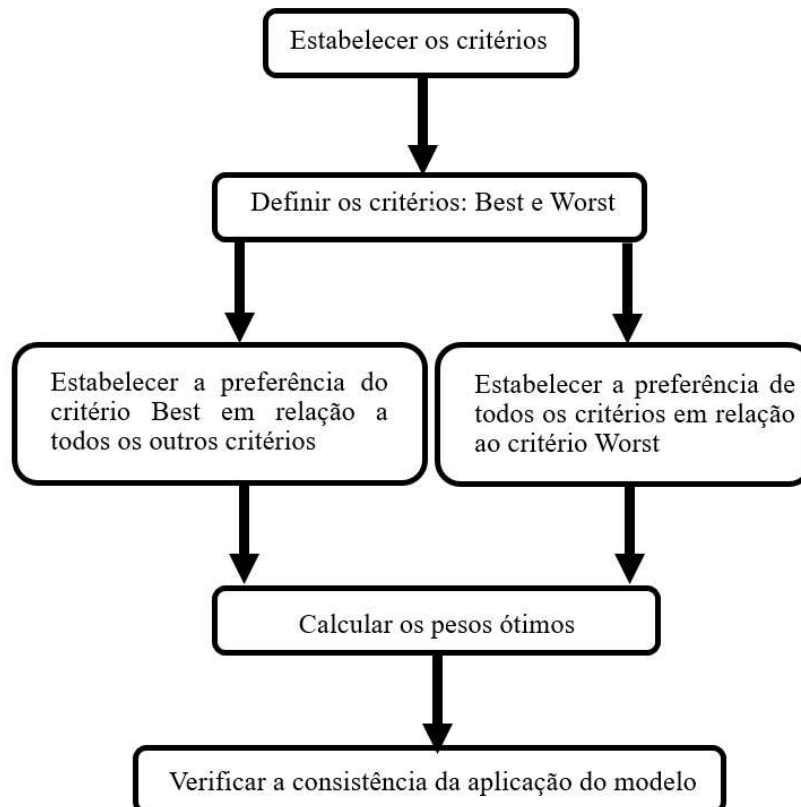
Importante salientar que tanto a_{BB} quanto a_{WW} têm valores iguais a 1 por se tratarem de comparações entre critérios iguais, ou seja, critérios de mesma importância.

- 5° etapa: Ao final destas etapas preliminares, na quinta etapa, é realizado o cálculo do vetor com os pesos ótimos.

O peso ótimo para um critério é aquele que, para cada par $\frac{w_B}{w_j}$ e $\frac{w_j}{w_W}$ tem-se $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ e $\frac{w_j}{w_W} = a_{jW}$. Para satisfazer estas condições para todo j , deve-se encontrar a solução onde as máximas diferenças absolutas $\left(\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right)$ e $\left(\frac{w_j}{w_W} - a_{jW}\right)$ sejam minimizadas. Adicionando condições de não-negatividade de cada w_j e de que a soma de todos os w_j deve ser igual a 1, formula-se o seguinte problema de otimização, a ser resolvido com o auxílio da ferramenta solver, do software Microsoft Excel:

Conforme as etapas propostas por Rezaei (2015), as quais estão representadas na Figura 5.

Figura 5 – Etapas para aplicação do BWM



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Rezaei (2016) oferece uma alternativa para a formulação do problema de otimização de modo que ele retorne uma única solução, que é o modelo linear

apresentado no Problema de otimização, definindo a matemática do método com a Equação (4).

$\min (\xi^L)$

Sujeito a:

$$(W_B - a_{Bj}W_j) \leq \xi^L, \forall_j$$

$$(W_j - a_{jW}W_W) \leq \xi^L, \forall_j \quad (4)$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$W_j \geq 0, \quad \forall_j$$

A resolução do modelo linear acima produz uma solução única na forma do vetor de valores das constantes de escala no cálculo da inconsistência. Assim, quanto mais próxima de zero for ξ^L , mais consistentes foram as comparações paritárias realizadas pelo decisor. Segundo Rezaei (2015), diferentemente do método AHP em que há um limite que a razão de consistência (C.R.) não deva ultrapassar para que os resultados se mantenham válidos, as decisões tomadas utilizando o BWM sempre serão consistentes, mesmo que não totalmente.

3.4 FERRAMENTA PLANO DE AÇÃO 5W2H

É uma ferramenta ilustrada em forma de inquérito que permite identificar as ações e responsabilidades de quem irá executar os trabalhos. Para os autores Longaray *et al.* (2017) descrevem esta ferramenta como um formato que aponta as ações prioritárias através de questões. Este formato permite organizar as diversas ações que deverão ser implementadas. O método é estruturado de maneira a permitir uma rápida identificação dos elementos necessários para a implementação de novos projetos.

A ferramenta 5W2H pode auxiliar na elaboração de plano de ação para resolver um problema ou atingir determinado objetivo. É composta por sete perguntas fundamentais que ajudam a detalhar a ação a ser tomada.

- *What* – O que será feito? Ação ou atividade que deve ser executada ou o problema que deve ser solucionado;
- *Why* – Por que deve ser executada a tarefa? Justificação dos motivos e objetivos da sua execução ou solução;
- *Where* – Onde será executada? Informação sobre onde cada etapa e procedimento será efetuado;
- *When* – Quando deverá ser executada? Data sobre quando ocorrerá cada tarefa e a determinação do tempo de cada procedimento;
- *Who* – Quem realizará as tarefas? Definição de quem será o responsável, ou os responsáveis pela sua execução, devendo assinar um termo de responsabilidade;
- *How* – Como deverá ser realizada cada tarefa? Explicação sobre como serão executados os procedimentos para atingir os objetivos pré-estabelecidos;
- *How Much* – Quanto custará? Custo total do que será executado em cada etapa.

Esta ferramenta é indicada para qualquer organização que necessite colocar um plano em ação. Serve para tomar decisões sobre os principais elementos que orientarão a implementação do plano. Contudo, oferece diversos modos de uso da sua técnica, desde as versões mais simples às mais objetivas, até ao desenvolvimento de um plano de gestão tático e operacional.

3.5 CASO DE APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA

O caso de aplicação foi realizado em uma indústria de geradores hidráulicos de médio porte da região sudoeste do Paraná. A indústria possui 180 colaboradores e fabrica em média dois geradores por mês. Presente no mercado desde 1966, movimenta cerca de 60 toneladas de aço carbono e 2 toneladas de cobre por mês. Foram realizadas visitas ao ambiente industrial, no período de julho de 2022 a julho de 2024, onde foi possível conhecer o processo de fabricação, bem como os fluxos de informação e materiais. A metodologia específica desse caso de aplicação é batizada de *Generator Production System (GPS)*.

A fabricação por encomenda de geradores para usinas hidrelétricas é um processo complexo e altamente especializado que envolve a produção de equipamentos sob medida, de acordo com as especificações de cada projeto de usina hidrelétrica. Ao contrário da produção em massa, onde os produtos são fabricados para estoques e vendidos de acordo com a demanda, a fabricação por encomenda é caracterizada pela customização dos produtos, de modo que cada gerador seja projetado para atender às necessidades específicas do cliente.

4 APLICAÇÃO DO MODELO

Essa seção tem como principal objetivo contextualizar um estudo piloto do modelo proposto aplicado em uma indústria de Geradores para usinas hidrelétricas.

4.1 DEFINIR A EQUIPE KAÍZEN

Nesta etapa, o perfil dos especialistas definidos para participar do estudo é resumido no Quadro 5.

Quadro 5 – Perfil dos especialistas

Especialista	Função	Anos de experiência
1	Supervisor Mecânico	7
2	Supervisor Corte	14
3	Supervisor Elétrica	2
4	Supervisor Painéis	8
5	Supervisor Engenharia	12
6	Projetista de Elétrica	11
7	Coordenador de PCP	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A implementação de uma equipe Kaizen na indústria oferece uma abordagem sistemática e contínua para a melhoria dos processos, aumentando a eficiência, qualidade e satisfação dos colaboradores. A cultura de melhoria contínua não só fortalece a competitividade da empresa, mas também promove um ambiente de trabalho mais seguro e colaborativo, resultando em uma operação mais sustentável e lucrativa a longo prazo.

4.2 DETERMINAR A FAMÍLIA DE PRODUTOS

Entende-se por Usina Hidrelétrica um conjunto de obras e equipamentos que tem como finalidade produzir energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico existente em um rio (Caus; Michels, 2014).

A ANEEL (2005) classifica uma hidrelétrica como Central Geradora Hidrelétrica (CGH) quando sua potência instalada é de até 1 Megawatt, Pequena

Central Hidrelétrica (PCH) para uma potência instalada entre 1,1 e 30 Megawatts e Usina Hidrelétrica (UHE) para uma potência instalada acima de 30 Megawatts.

Dentre os vários componentes pertencentes às usinas, o Gerador é o objeto de estudo (Figura 6). Os geradores são elementos rotativos que realizam a conversão da energia mecânica em energia elétrica.

Para um gerador síncrono, é necessário produzir um campo magnético no rotor, produzido por ímãs permanentes, ou então, através de eletroímãs, onde se aplica uma tensão de Corrente Contínua (C.C.) no enrolamento do rotor (composto por eletroímãs). O rotor é acionado mecanicamente por outra máquina motriz, no caso em questão, pela turbina hidráulica. Os enrolamentos excitados do rotor irão produzir um campo girante dentro da máquina, em um estator com enrolamentos trifásicos. Este campo girante irá induzir um conjunto de tensões trifásicas, defasadas de 120° entre si, nos enrolamentos de estator do gerador (Chapman, 2013).

O processo de produção de componentes para usinas hidrelétricas necessitam de adequações para cada novo projeto, devido ao fato de as usinas serem únicas uma vez que as soluções de projeto para os aproveitamentos hidráulicos são ímpares, específicos para cada caso, com equipamentos que alteram o tamanho, potência, tensão e rotação para cada caso da usina, para caracterizar a fabricação dos equipamentos como uma produção por encomenda ou produção não seriada. A fabricação completa do Gerador passa pelos setores da engenharia, Planejamento e Controle da Produção (PCP), corte, soldagem, usinagem e montagem elétrica.

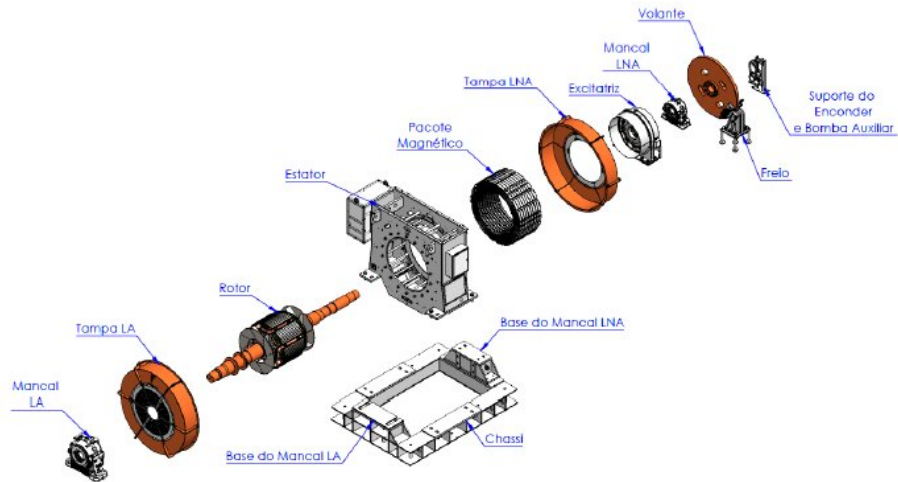
Figura 6 – Gerador em Usina Hidrelétrica



Fonte: Acervo Flessak (2022).

Conforme Figura 7, é possível visualizar todos os componentes que fazem parte da fabricação dos geradores.

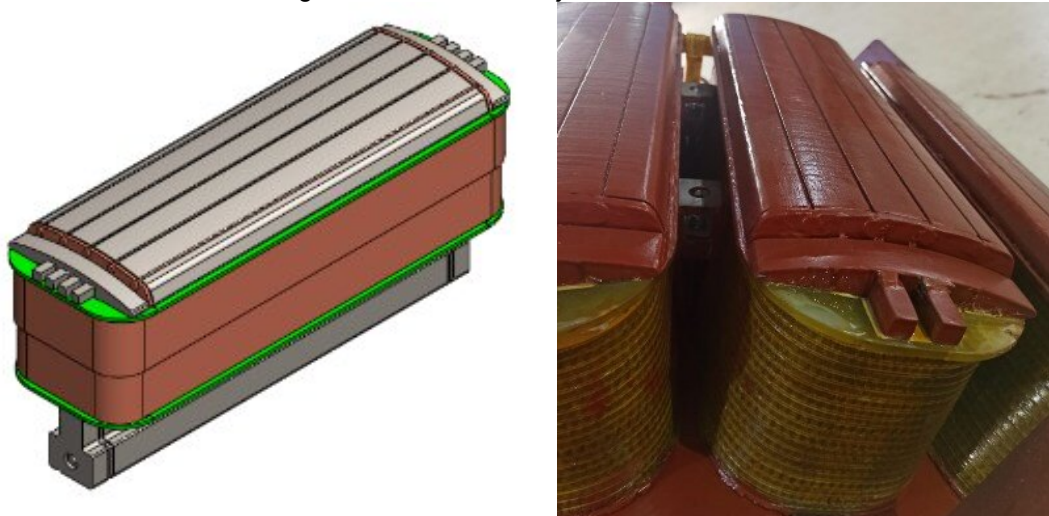
Figura 7 – Partes do Gerador



Fonte: Acervo Flessak (2022).

Utilizando o modelo proposto, o VSM foi criado seguindo todas as operações de fabricação dos polos do rotor do Gerador, onde nota-se um sistema de produção puxado, pois somente é fabricado se há demanda para ele. Na Figura 8, é possível visualizar os polos do rotor.

Figura 8 – Polos do conjunto do Rotor

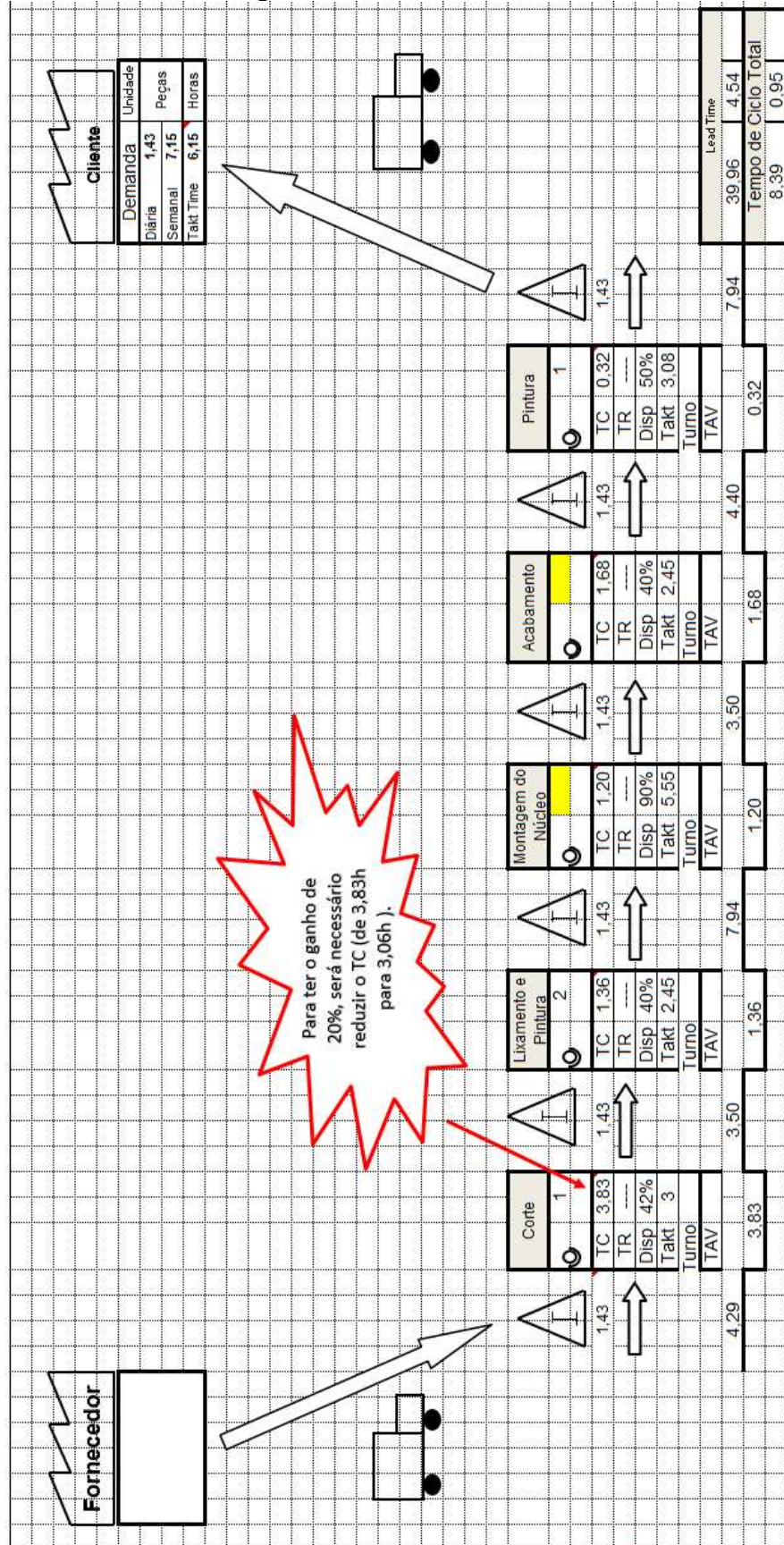


Fonte: Acervo Flessak (2022).

4.3 DESENHAR O VSM ATUAL

Foi realizada uma análise do passo a passo na produção dos polos dos rotores e realizado o VSM para verificar o estado atual das atividades e o tempo relacionado a elas. Nele estão relacionados todos os processos que são envolvidos e as pessoas que são responsáveis pela execução de cada tarefa. O VSM ocorreu a partir de um fluxo que visa fazer o mapeamento para que sejam identificadas possíveis melhorias dos processos, desde quando é gerada a necessidade da compra até a entrega ao cliente, para assim serem verificados possíveis desperdícios de tempo das atividades. Primeiramente, foi realizada a aplicação de um VSM da atual forma que é trabalhada para medir o tempo que é gasto em cada atividade. Foram feitos acompanhamentos para medir tempos em todas as operações e realizado coleta de informações. A Figura 9 ilustra a aplicação do VSM no processo atual, onde o processo inicia no setor de corte, em seguida, essa demanda é enviada para lixamento/pintura, após há a montagem do núcleo, acabamento e pintura. Os problemas identificados no mapa atual alertaram para a necessidade de se construir um estado futuro que pudesse melhorar o fluxo de valor e minimizar as perdas no processo. Após medir todos os tempos nos processos, o gargalo foi identificado no setor de corte, pois atingiu maior tempo de ciclo, com 3,83 horas.

Figura 9 – VSM – Estado atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na fase da solução do problema, utilizou-se a ferramenta de gestão 5W2H, em que se definiram sete perguntas. As primeiras cinco perguntas correspondem ao planejamento da ação e as últimas duas perguntas correspondem à implementação da ação. O Quadro 6 ilustra o exemplo da ferramenta do estudo piloto.

Quadro 6 – Plano de ação com a ferramenta 5W2H

What?	Who?	Why?	Where?	When?	How Much?	How is going?
Tempo de trava da mesa (PA1)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$500,00	A fazer
Velocidade de Corte (PA2)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2023	R\$0,00	Feito
Posicionar a próxima chapa no momento do corte da chapa anterior (PA3)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2024	R\$0,00	A fazer
Fazer Batente para Facilitar alinhamento de chapa (PA4)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$500,00	A fazer
Tempo de Alinhamento da chapa na Mesa (PA5)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$0,00	A fazer
Interrupção da produção para cortar outras peças (PA6)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$0,00	A fazer
Substituição do gás oxigênio (PA7)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$0,00	A fazer
Cortar porcentagem de 100% das peças (PA8)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2023	R\$0,00	Feito
Peças com defeito (PA9)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$0,00	A fazer
Abastecimento automático das chapas na máquina (PA10)	Equipe Kaizen	Aumentar produtividade	Máquina de corte a laser	2025	R\$1500,00	A fazer

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

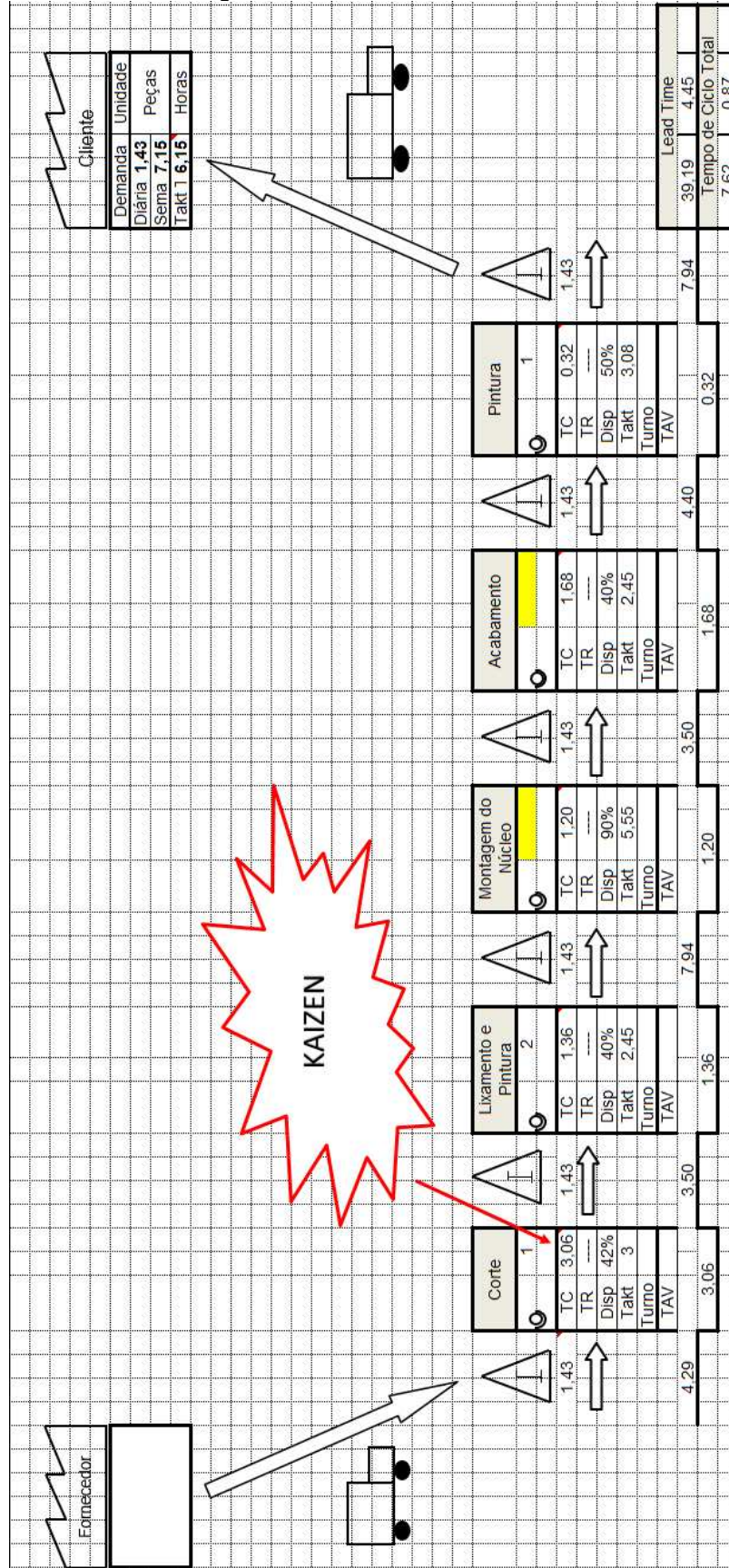
Com as considerações feitas para se vislumbrar o estado futuro do mapa de fluxo de valor, foi elaborado um modelo para conectar o estado presente com o estado

futuro utilizando a ferramenta *Best-Worst Method* (BWM), que norteará os esforços para se atingir o estado enxuto.

4.4 DESENHAR O VSM FUTURO

Etapa crucial para identificar e planejar melhorias no fluxo de valor de um processo. Ele visa representar como o fluxo de materiais e informações deve funcionar após a implementação de mudanças, com o objetivo de eliminar desperdícios e aumentar a eficiência. A Figura 10 representa o estado idealizado do fluxo de valor após as melhorias. Com isso, a indústria do estudo piloto obteve aumento de produtividade de 20,1% sem qualquer investimento financeiro.

Figura 10 – VSM – Estado futuro



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Como citado anteriormente, os autores Rother e Shook (1999) afirmam que quando o mapa do estado futuro é alcançado, ele se torna atual. A partir desse ponto, surge a necessidade de se elaborar outro mapa futuro, tornando-se, assim, um ciclo contínuo de melhorias.

4.5 PRIORIZAR AÇÕES UTILIZANDO MULTICRITÉRIO BWM

Os critérios identificados para aplicar nas operações da produção são procedentes de práticas sustentáveis para avaliar o desempenho e a responsabilidade da indústria em relação a questões ambientais, sociais e de governança. Organizações que adotam práticas sustentáveis tendem a ser mais resilientes, inovadoras e preparadas para o futuro. Para medir os esforços da sustentabilidade, a sigla ESG auxilia a operacionalizar com uma estrutura concreta para medir, relatar e melhorar as práticas de sustentabilidade.

Nove critérios retirados do Quadro 4 e validados pelos especialistas foram divididos nos três pilares sustentáveis e são apresentados no Quadro 7. O recomendável para utilizar o BWM fica limitado a 9 critérios para facilitar as comparações para o decisor.

Quadro 7 – Categoria dos Critérios validados

Pilar do ESG	Critério	Símbolo
AMBIENTAL	Controle de Poluição	A1
	Gerenciamento De Resíduos	A2
	Uso eficiente da água e energia	A3
SOCIAL	Ergonomia	S1
	Saúde e segurança	S2
	Desenvolvimento e capacitação	S3
GOVERNANÇA	Custo de Aquisição	G1
	Eficiência	G2
	Qualidade de processos	G3

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Definido os critérios, a utilização do BWM é bem-vinda para determinar o nível de importância do critério mais importante e do critério menos importante.

Os passos do BWM são as determinações dos conjuntos de critérios de decisão, seguido da escolha do melhor e do pior critério na opinião do avaliador. A preferência dos melhores e piores critérios em relação aos outros critérios é dada pelos números 1 a 9, sendo que, assim, é possível ponderar os pesos otimizados. O

significado dos números 1 a 9 são: 1 (igual importância), 2 (algo entre igual e moderado), 3 (moderadamente mais importante), 4 (algo entre moderado e forte), 5 (fortemente mais importante), 6 (algo entre forte e muito forte), 7 (muito fortemente mais importante), 8 (algo entre muito forte e absoluto), 9 (absolutamente mais importante) (Rezaei, 2015).

Quadro 8 – Escala para comparação de importância dos critérios

Escala	Importância
1	Igual
2	Moderado
3	Moderadamente mais importante
4	Moderado e forte
5	Moderada
6	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
8	Muito forte e absoluto
9	Absolutamente mais importante

Fonte: Adaptado de Rezaei (2015).

A partir da escala apresentada no Quadro 8, foram determinadas as importâncias do critério *Best*, ou seja, do critério Custo de Aquisição frente a todos os outros critérios por meio de comparações em pares, conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Preferências do decisor em relação ao critério *Best*

Comparação do Critério Best	Custo de Aquisição
Controle de Poluição	9
Gerenciamento De Resíduos	8
Uso eficiente da água e energia	7
Ergonomia	5
Saúde e segurança	5
Desenvolvimento e capacitação	5
Custo de Aquisição	1
Eficiência	4
Qualidade de processos	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a realização da comparação do critério *Best*, os especialistas confrontaram o critério menos importante. Porém, diferentemente, no Quadro 10, a

relação de comparação é dos demais critérios em relação ao critério menos importante.

Quadro 10 – Preferências do decisor em relação ao critério *Worst*

Comparação do Critério Worst	Controle de Poluição
Controle de Poluição	1
Gerenciamento De Resíduos	3
Uso eficiente da água e energia	4
Ergonomia	6
Saúde e segurança	7
Desenvolvimento e capacitação	7
Custo de Aquisição	9
Eficiência	7
Qualidade de processos	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a realização das comparações conforme apresentado nos Quadros 9 e 10, os pesos dos critérios são obtidos em ordem crescente conforme cálculos matemáticos propostos no método BWM de Rezaei (2015) no anexo 1.

Quadro 11 – Peso dos Critérios ordenado

Critério	Pesos
Custo de Aquisição	0,359518142
Eficiência	0,11613648
Ergonomia	0,09290918
Saúde e segurança	0,092909183
Desenvolvimento e capacitação	0,092909183
Qualidade de processos	0,09290918
Uso eficiente da água e energia	0,066363702
Gerenciamento De Resíduos	0,058068239
Controle de Poluição	0,028276708

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os pesos dos critérios obtidos a partir das comparações realizadas entre os critérios são apresentados no Quadro 11. Com os pesos dos critérios definidos, a próxima etapa foi realizar a priorização dos critérios.

Para os critérios, foram inseridos os pesos obtidos através do método BWM. Com exceção do critério custo de aquisição, que tem como parâmetro quanto menor a sua avaliação menor, por representar um benefício para a organização, os demais critérios tinham como parâmetros a maximização, ou seja, quanto mais alta a avaliação melhor.

A ferramenta 5W2H foi utilizada no artigo para elaborar o plano de ação de cada caso de aplicação. Inicialmente, foi necessário definir qual ação deveria ser priorizada. Para isso, com a equipe Kaizen, foi realizada uma votação para identificar qual plano de ação teria o maior impacto na produção, atribuindo pesos a cada um. A menor pontuação, 1, representou o impacto mais baixo, enquanto a maior, 10, representou o maior impacto na produção (Quadro12).

Quadro 12 – Peso do impacto no plano de ação

Plano de Ação	Peso
PA1	5
PA2	9
PA3	8
PA4	5
PA5	4
PA6	4
PA7	3
PA8	8
PA9	3
PA10	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir do estabelecimento da quantidade de alternativas a serem avaliadas e da definição dos pesos dos critérios, o Quadro 13 apresenta a matriz de decisão do BWM relacionado com o plano de ação do estudo. O resultado é dado pelo produto do peso dos critérios dados pelo Quadro 11 com o Quadro 12.

Quadro 13 – Matriz de decisão Critérios x Plano de ação

Critério/ Plano ação	A1	A2	A3	S1	S2	S3	G1	G2	G3
PA1	0,1414	0,2903	0,3318	0,4645	0,4645	0,4645	1,7976	0,5807	0,4645
PA2	0,2545	0,5226	0,5973	0,8362	0,8362	0,8362	3,2357	1,0452	0,8362
PA3	0,2262	0,4645	0,5309	0,7433	0,7433	0,7433	2,8761	0,9291	0,7433
PA4	0,1414	0,2903	0,3318	0,4645	0,4645	0,4645	1,7976	0,5807	0,4645
PA5	0,1131	0,2323	0,2655	0,3716	0,3716	0,3716	1,4381	0,4645	0,3716
PA6	0,1131	0,2323	0,2655	0,3716	0,3716	0,3716	1,4381	0,4645	0,3716
PA7	0,0848	0,1742	0,1991	0,2787	0,2787	0,2787	1,0786	0,3484	0,2787
PA8	0,2262	0,4645	0,5309	0,7433	0,7433	0,7433	2,8761	0,9291	0,7433
PA9	0,0848	0,1742	0,1991	0,2787	0,2787	0,2787	1,0786	0,3484	0,2787
PA10	0,1979	0,4065	0,4645	0,6504	0,6504	0,6504	2,5166	0,8130	0,6504

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir dos dados imputados, o método multicritério apresenta a ação mais viável para a indústria, a PA2 (velocidade do corte). Confirmando a aplicação da teórica com a prática, pois as chapas dos polos são cortadas de máquinas de corte tipo laser, a qual com a decisão foi otimizado as velocidades de corte de acordo com as medidas das chapas de aço carbono. No quadro 14 é elaborado o quadro com a lista de priorizações do plano de ação com base em sua análise multicritério.

Quadro 14 – Quadro de priorização das ações

Prioridade	Plano de ação
Primeira	PA2
Segunda	PA8
Terceira	PA3
Quarta	PA10
Quinta	PA1
Sexta	PA4
Sétima	PA7
Oitava	PA5
Nona	PA6
Décima	PA7

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.6 PADRONIZAÇÃO DO TRABALHO

A padronização de processos é uma prática essencial para garantir a eficiência e segurança nas operações industriais. Neste estudo, foi adotado a gestão visual na indústria, a aplicação de procedimento operacional padrão (POP) e indicadores de produção.

A gestão visual na organização é uma abordagem que utiliza elementos visuais para comunicar informações e *status* de processos de forma clara e imediata. O objetivo é melhorar a compreensão, controle e eficiência das operações, ajudando os funcionários a identificarem rapidamente problemas, seguirem procedimentos e manterem padrões de desempenho. É uma ferramenta fundamental para promover a transparência e a colaboração dentro de uma organização. Os POPs estabelecem um conjunto claro de diretrizes e padrões para a execução das tarefas, enquanto os indicadores de produção fornecem dados quantificáveis para medir e avaliar o desempenho desses processos. Juntos, eles facilitam a melhoria contínua, garantem a conformidade e promovem a consistência e a qualidade nas operações industriais.

4.7 CASO DE APLICAÇÃO BOBINAS

O segundo caso de aplicação foi realizado em outro setor da produção da mesma indústria do primeiro estudo de caso. Com aplicação na fabricação de bobinas moldadas de cobre para os estatores dos geradores. Com auxílio do responsável pelo Planejamento e Controle de Produção, foram coletados dados de produção, consultados documentos, de modo a obter maior conhecimento sobre o funcionamento da empresa e sua forma de gestão e operação. Os dados coletados foram utilizados para a construção do mapa de fluxo de valor atual, sendo a linha de base para identificar os problemas na linha de produção e propor atividades de melhoria com o mapa de fluxo de valor futuro.

Quadro 15 – Dados do caso de aplicação bobinas

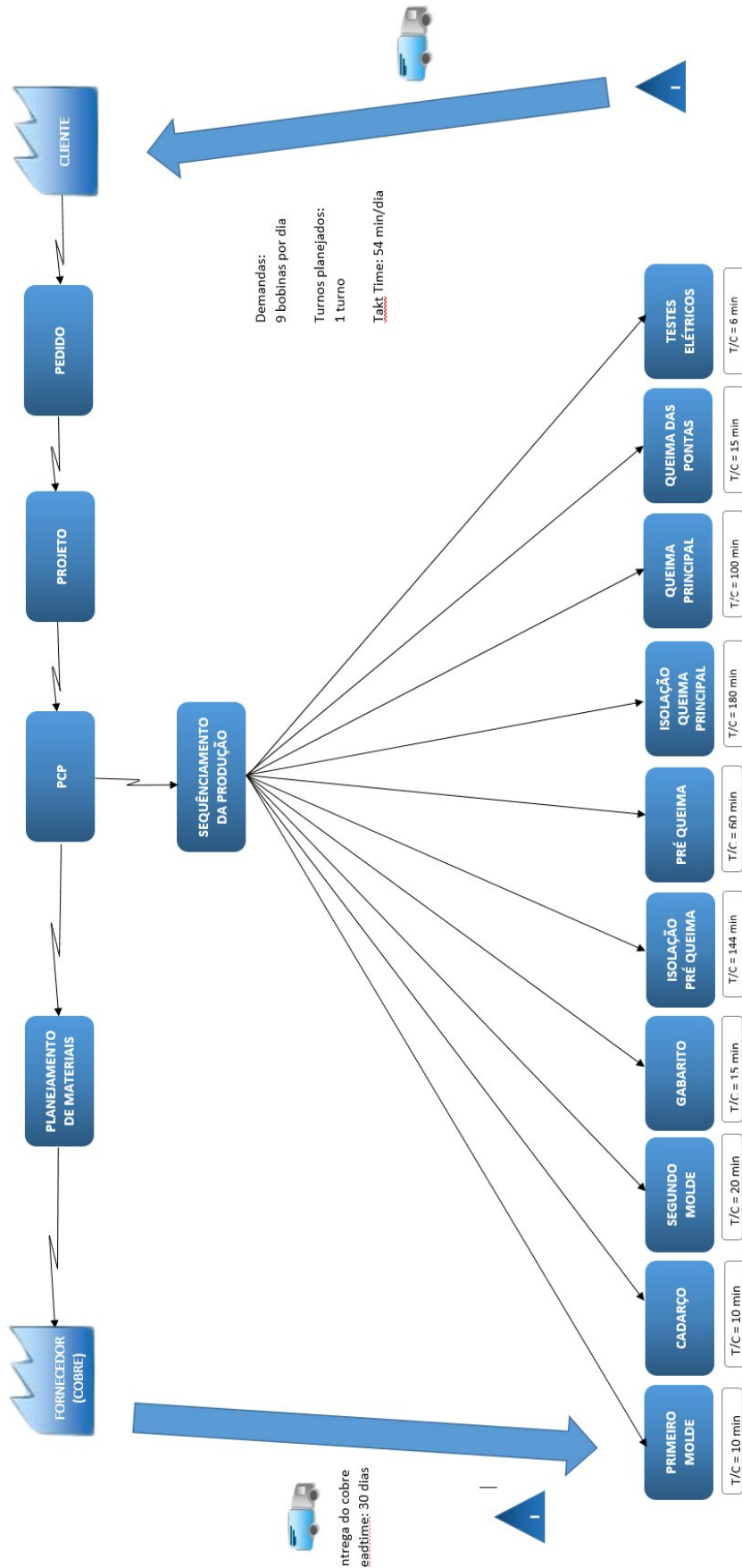
Passos	Objetivo	Descrição
Passo 1	Definição da Equipe Kaizen	Sete especialistas formam a equipe Kaizen
Passo 2	Definição da Família de produtos	Bobinas de Cobre fabricadas para geradores de Usinas hidrelétricas
Passo 3	Desenhar VSM Atual	Mapeamento do processo produtivo
Passo 4	Desenhar VSM Futuro	Mapeamento do processo produtivo ideal
Passo 5	Aplicar multicritério BWM	Definição do plano de ação com relação aos pesos dos critérios definidos
Passo 6	Padronização do trabalho	Criação de POPs, padronização das operações e melhoria contínua

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.7.1 Desenhar o VSM atual

Após mapeadas todas as etapas de fabricação das bobinas moldadas para os estatores, foi desenhado o mapa do estado atual conforme Figura 11, com os respectivos tempos médios das operações e identificação dos desperdícios de produção.

Figura 11- VSM – Estado atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em conjunto a equipe Kaizen, foi realizado o plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H, conforme Quadro 16.

Quadro 16 – Plano de ação com a ferramenta 5W2H

What?	Who?	Why?	Where?	When ?	How Much?	How is going?
Alteração de <i>layout</i> de mesas e equipamentos (PA1)	Setor de bobinas	Aumentar produtividade	Sala de bobinas	2024	R\$0,00	Feito
Padronização do processo produtivo, gestão visual (PA2)	Setor de bobinas	Aumentar produtividade	Sala de bobinas	2024	R\$0,00	Feito
Elaboração de novos indicadores de produtividade (PA3)	Setor de bobinas	Aumentar produtividade	Sala de bobinas	2024	R\$0,00	Feito
Aquisição de uma máquina para dobrar bobinas (PA4)	Setor de bobinas	Aumentar produtividade	Sala de bobinas	2025	R\$500.000,00	A fazer
Desenvolvimento de prateleira móvel (PA5)	Setor de bobinas	Aumentar produtividade	Sala de bobinas	2024	R\$0,00	Em andamento
Alteração da compra de mica para isolamento das bobinas (PA6)	Setor de bobinas	Aumentar produtividade	Sala de bobinas	2024	R\$0,00	Feito

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Com as considerações feitas para se vislumbrar o estado futuro do mapa de fluxo de valor, foi utilizado o BWM, que norteará os esforços para se atingir o estado enxuto.

Quadro 17 – Peso do impacto no plano de ação

Plano de Ação	Peso
PA1	7
PA2	8
PA3	7
PA4	2
PA5	4
PA6	6

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

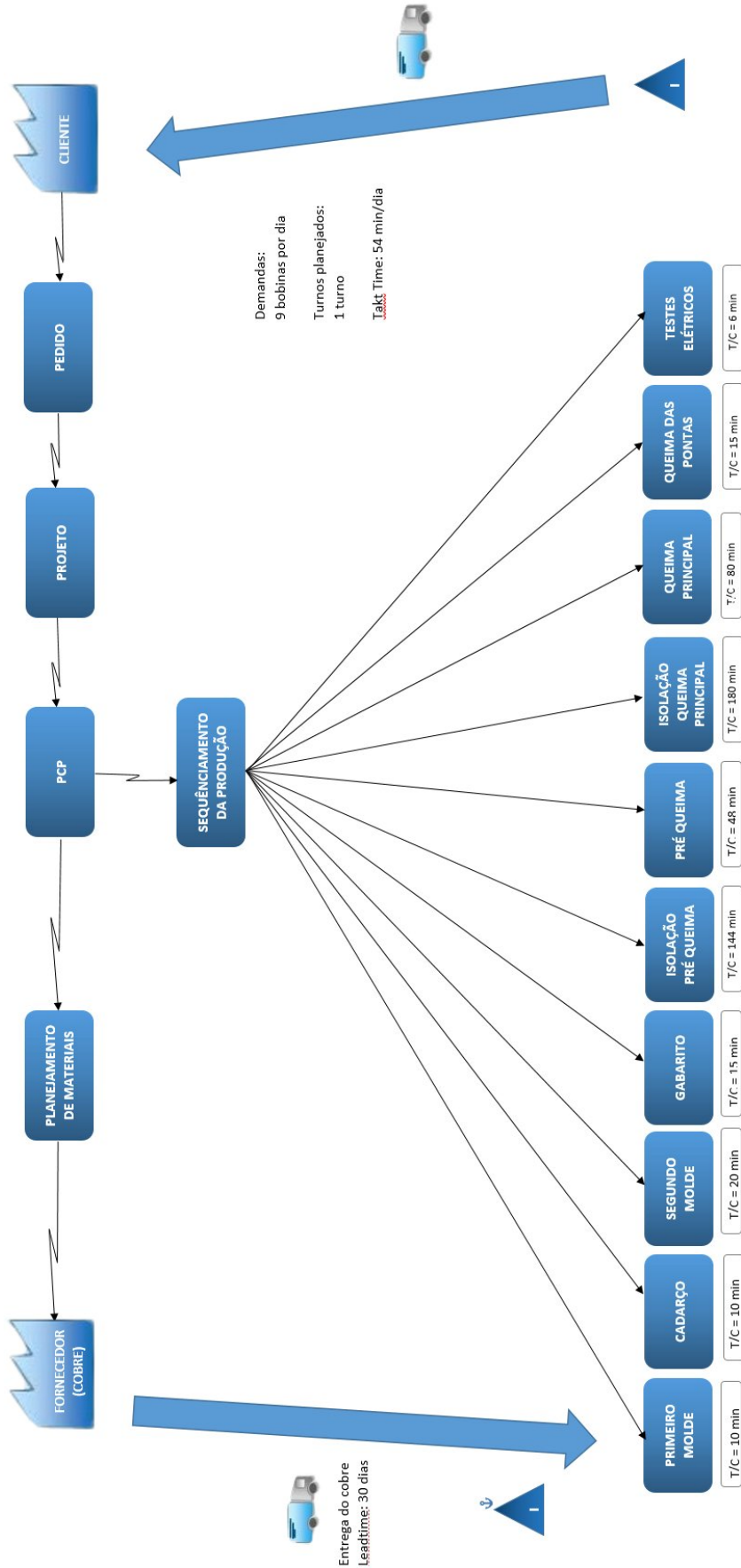
4.7.2 Desenhar o VSM Futuro

De acordo com a análise das questões acima, foi elaborado o mapa do estado futuro, tal como mostra a Figura 12. Através do modelo, foi resolvido a questão de ações que não tenham custo financeiro, são elas:

- I. Padronização do processo produtivo;
- II. Alteração de *layout* de mesas e equipamentos;
- III. Elaboração de novos indicadores de produtividade;
- IV. Alteração da compra de mica para isolação das bobinas.

Com isso, a indústria do estudo piloto deve um aumento de produtividade de 20,00%, sem qualquer investimento financeiro.

Figura 12 –VSM – Estado futuro



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.7.3 Aplicar o multicritério BWM

O Quadro 18 apresenta a matriz decisional do BWM referente a seis planos de ação para o segundo caso de aplicação. O resultado é dado pelo produto do peso dos critérios dados pelo Quadro 11, com o peso do plano de ação, considerado a frequência de utilização da ação no impacto da produção, sendo a constante 1 com menor impacto, até a constante 10 com maior impacto.

Quadro 18 – Matriz de decisão Critérios x Plano de ação

Critério/ Plano ação	A1	A2	A3	S1	S2	S3	G1	G2	G3
PA1	0,1979	0,4065	0,4645	0,6504	0,6504	0,6504	2,5166	0,8130	0,6504
PA2	0,2262	0,4645	0,5309	0,7433	0,7433	0,7433	2,8761	0,9291	0,7433
PA3	0,1979	0,4065	0,4645	0,6504	0,6504	0,6504	2,5166	0,8130	0,6504
PA4	0,0566	0,1161	0,1327	0,1858	0,1858	0,1858	0,7190	0,2323	0,1858
PA5	0,1131	0,2323	0,2655	0,3716	0,3716	0,3716	1,4381	0,4645	0,3716
PA6	0,1697	0,3484	0,3982	0,5575	0,5575	0,5575	2,1571	0,6968	0,5575

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir dos dados imputados, o método multicritério apresenta a ação mais viável para a indústria, a PA2 (Padronização do processo produtivo, gestão visual) conforme Quadro 19.

Quadro 19 – Quadro de priorização das ações

Prioridade	Plano de ação
Primeira	PA2
Segunda	PA1
Terceira	PA3
Quarta	PA6
Quinta	PA5
Sexta	PA4

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após uma implementação bem-sucedida, pode-se iniciar os processos de extensão das práticas *Lean* para outros setores. Isso significa difundir os conhecimentos adquiridos e começar a implementação em áreas ainda não afetadas pelas mudanças. Como os colaboradores e a alta direção já possuem um bom conhecimento sobre *Lean*, a disseminação das práticas se torna mais simples.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS

Os resultados e lições aprendidas do estudo mostram a relevância de aplicar ferramentas como VSM e o método multicritério BWM na produção por encomenda. O processo de Revisão Sistemática da Literatura nos permitiu ter contato com autores com pesquisas com relevância comprovada, com publicações em jornal de impacto, compreender o estágio atual do conhecimento do tema estudado e as barreiras que o campo da sustentabilidade no âmbito da organização de manufatura vem sofrendo. A realização da revisão sistemática da literatura utilizando o método *ProKnow-C* proposto por Ensslin *et al.* (2010) foi fundamental para consolidar uma base que nos permitiu avançar com a pesquisa.

Foram realizados dois casos de aplicação para testar a construção do VSM e aplicação do BWM, concretizando que o modelo é factível e pode ser aplicada na prática, com apresentação de roteiro passo a passo para aplicar na produção de sistemas por encomenda visando a proposição de melhorias no processo produtivo.

No modelo proposto, obteve-se os pesos para os critérios por meio do BWM, o qual necessita de um número reduzido de comparações entre os critérios e obtém resultados consistentes de modo eficiente. Além disso, o BWM forneceu a priorização de ações conforme os pilares da sustentabilidade. O BWM é considerado um método compensatório porque permite que critérios menos favoráveis possam ser compensados por desempenhos mais fortes em outros critérios, conforme as ponderações atribuídas pelos especialistas. A abordagem do BWM busca um equilíbrio ótimo ao comparar o melhor e o pior critério e distribuindo pesos que refletem a importância relativa de cada um. Dessa forma, ele facilita a priorização de ações de maneira holística.

Além disso, como contribuição científica, o modelo utilizou de uma combinação de métodos relacionados ao VSM, plano de ação e o multicritério BWM que ainda não havia sido empregada para o tratamento de prioridades na tomada de decisão nas organizações de produção por encomenda, testando e comprovando sua aplicabilidade para o tratamento do problema em questão.

Contudo, acredita-se que os casos de aplicação do estudo foram de encontro com o objetivo deste trabalho, através da elaboração de Plano de Ação 5W2H e o auxílio de especialistas, é possível reduzir desperdícios e otimizar o processo de produção da indústria, o que contribui para a melhoria contínua.

A proposta de aplicação é baseada em uma abordagem por processos pois visa entender como os diferentes processos interagem e contribuem para os objetivos estratégicos da indústria ao invés de tratar as funções de forma isolada. Costa e Lima (2011) propõem a Abordagem por Processos (*Process Approach* ou *Cambridge Approach*) como uma alternativa que intenciona a prescrição e a operacionalização dos conceitos. A implementação da abordagem por processos, frequentemente associada a sistemas de gestão de qualidade, permite o monitoramento contínuo e a melhoria constante do desempenho organizacional, melhorando a eficiência operacional e a entrega de valor ao cliente.

Dentro das etapas do modelo proposto a implementação bem-sucedida depende muito do trabalho em equipe. A etapa inicial de definir a equipe Kaizen necessita ser clara e com funções responsáveis, pois necessita de colaboradores proativos com conhecimento nas ferramentas *Lean*. Na literatura a equipe é composta por colaboradores de vários níveis, promovendo colaboração e alavancando diversos insights para identificar oportunidades de melhoria (Nkuna *et al.*, 2023). Ao envolver o pessoal com engajamento e fazendo parte das melhorias, o Kaizen incentiva a propriedade e a responsabilidade, levando a uma maior satisfação no trabalho e produtividade (Sharma, 2022). Franken, van Dun e Wilderom (2024) coloca que as equipes devem se dedicar e abordar problemas, justamente o que foi visto na prática, devido a indústria do caso de aplicação implementar o *Lean* com a produção em andamento, trabalhando em paralelo na linha de produção e na aplicação do modelo.

Quando a organização está iniciando a implementação do *Lean Manufacturing* a definição da família de produtos é desafiadora, o que aconteceu nos casos de aplicação, os quais formam estudos pilotos. Segundo Jasti, Kota e Sangwan (2019), as famílias de produtos geralmente são definidas com base nos requisitos do cliente, que determinam os tipos de produtos que precisam ser produzidos juntos. Os polos dos rotores e as bobinas dos estatores foram as famílias de produtos escolhidas no estudo, devido à grande quantidade de peças e seu alto valor agregado. Com o entendimento desses fatores para a implementação eficaz do VSM é possível aplicar em vários setores da indústria, comprovando que os princípios *Lean* são essenciais para aumentar a eficiência e a produtividade em ambientes da manufatura, com melhor utilização dos recursos, melhorias operacionais, utilizando de tecnologias, apoiado por estratégias para atingir a excelência operacional e o crescimento sustentável no cenário competitivo da manufatura moderna.

Os mapeamentos das atividades do VSM incluem para Kiswoyo, Muttaqim e Susanto (2024) a identificação precisa de atividades que não agregam valor, gerando desafios na coleta de dados e resistência a mudanças por parte dos colaboradores no processo de produção. As dificuldades na prática foram visualizadas no momento de mapear todas as etapas do processo produtivo, quantificar os tempos nas operações, realizar a cronoanálise e mostrar a importância das ferramentas para indústria. A solução adotada para resolver os problemas foi definir horários para realizar *network* com a equipe Kaizen, com práticas de *brainstorming* e divisão das atividades que deveriam ser realizadas até determinada data.

As melhorias foram realizadas com mínimo de recursos financeiros, o problema que os integrantes da equipe Kaizen achavam interessante realizar o plano de ação de maneira holística, decidindo sem qualquer base científica. A integração do multicritério BWM com o VSM foi o diferencial para priorizar as ações conforme o impacto na produção, diminuindo as incertezas do tomador de decisão.

Para finalizar o ciclo do modelo proposto, é necessário padronizar as operações dos processos produtivos, para posterior realizar a melhoria contínua. A comunicação efetiva entre processos é crucial para a padronização. A ausência de padrões comuns pode levar a ineficiências e mal-entendidos, principalmente em ambientes de manufatura complexos (Villalba-Diez e Ordieres-Meré, 2015). Além disso, pequenas e médias empresas (PMEs) enfrentam barreiras específicas, como falta de treinamento, manutenção deficiente e lacunas de comunicação, o que pode impactar severamente a implementação de práticas enxutas (Ramadas; Satish, 2021). Na prática a padronização foi notada com o processo produtivo harmônico, com a elaboração de cartazes e painéis para a gestão visual, comunicação eficaz e transparente, mantendo os processos produtivos consistentes com foco no cliente.

6 CONCLUSÃO

O estudo, por meio de uma RSL, desenvolveu um portfólio bibliográfico composto por 55 artigos científicos sobre estratégias sustentáveis em operações industriais por encomenda. De modo geral, os estudos revisados apresentam práticas sustentáveis relativamente simples, focadas em ações de baixo custo financeiro aplicadas ao setor produtivo, visando à melhoria da eficiência e da produtividade.

Ao constatar a falta de uma sistematização robusta na literatura para a avaliação de estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável nas operações industriais, este trabalho propôs um modelo. Esse modelo foi construído a partir de critérios extraídos da literatura e validados por especialistas, os quais foram organizados em métodos multicritério para apoiar a tomada de decisões, resultando em uma ferramenta prática e de fácil compreensão, projetada para auxiliar gestores em processos decisórios dentro das organizações.

Durante as pesquisas nas bases de dados, observou-se que o conceito do *Lean Manufacturing* tem sido amplamente utilizado em diversos setores, demonstrando ser uma ferramenta eficaz para transformar indústrias, principalmente ao criar fluxos de valor e eliminar desperdícios. Sua aplicação, adaptada às realidades específicas de indústrias de diferentes portes, confirma seu potencial para melhorar a eficiência operacional de maneira significativa.

A estrutura de implementação proposta foi dividida em três fases principais: pré-implementação, com a formação da equipe Kaizen e definição da família de produtos, a implementação, com o VSM atual e futuro e o multicritério BWM, e a pós-implementação, com a padronização das operações. Após a elaboração do modelo, especialistas avaliaram sua aplicabilidade, validando seu potencial de uso em cenários reais.

Os casos de aplicação apresentados permitiram a visualização de situações práticas, onde foi possível identificar desperdícios e oportunidades de melhoria. O VSM demonstrou ser uma ferramenta essencial nesse processo, ao permitir tanto o mapeamento do fluxo atual quanto a projeção de um estado futuro mais eficiente para a indústria em questão. Observou-se um grande potencial de melhoria com a adoção das práticas Lean, impactando positivamente o processo produtivo.

Os resultados indicam que o modelo proposto é viável e aplicável na indústria, com o potencial de fomentar uma cultura *Lean*, otimizando recursos, melhorando as

operações e influenciando positivamente a cultura organizacional. Quando implementado, o modelo pode colaborar significativamente para o desenvolvimento sustentável das operações industriais, integrando eficiência produtiva e práticas sustentáveis.

6.1 CONTRIBUIÇÕES

O estudo apresenta contribuições teóricas e práticas relevantes. Do ponto de vista teórico, oferece uma base robusta ao reunir e analisar artigos e publicações cientificamente reconhecidos, que serviram como fundamentação para o desenvolvimento do modelo proposto. Esses artigos fornecem uma visão abrangente das estratégias sustentáveis em operações industriais por encomenda, contribuindo para o avanço do conhecimento na área.

Em termos de contribuições práticas, o trabalho propõe um conjunto de conceitos e ferramentas que auxiliam as organizações a compreender melhor sua realidade operacional, fornecendo um modelo aplicável para apoiar a tomada de decisões em busca de melhorias produtivas e redução de desperdícios. As principais contribuições do estudo incluem:

1. Identificação de um portfólio de 55 artigos, obtidos por meio de uma RSL, que abordam o tema de estratégias sustentáveis nas operações industriais por encomenda, oferecendo uma visão consolidada da literatura atual.
2. Proposta e validação de critérios de decisão baseados nos pilares da sustentabilidade, econômico, ambiental e social, fornecendo uma estrutura sólida para apoiar especialistas na tomada de decisões em contextos de produção por encomenda, alinhados aos princípios do desenvolvimento sustentável.
3. Desenvolvimento de um processo de priorização de ações, utilizando um método multicritério que integra o plano de ação 5W2H, o VSM e o BWM. Esse processo oferece às organizações uma abordagem estruturada para identificar e priorizar ações de melhoria, focando na eliminação de desperdícios e otimização dos processos produtivos.

6.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo apresentou algumas limitações que merecem destaque. Primeiramente, em relação à quantidade de artigos analisados, a RSL considerou apenas artigos publicados na base de dados *Scopus* a partir de 2019. Essa delimitação foi adotada para restringir o volume de dados e manter a viabilidade da pesquisa, podendo limitar o alcance de algumas discussões mais amplas.

Além disso, o modelo de avaliação proposto foi construído com o auxílio de especialistas, utilizando questionário aplicado em uma organização de produção por encomenda no setor de manufatura. Embora os resultados tenham sido positivos, a aplicação do modelo em outros segmentos industriais pode gerar percepções e resultados diferentes, limitando a generalização das soluções para outros contextos industriais.

Por fim, os resultados do estudo foram adequados com a utilização do uso do método multicritério BWM para a priorização de ações nos casos de aplicação. No entanto, a escolha desse método representa limitações, visto que outras metodologias multicritério poderiam oferecer diferentes abordagens e resultados. Nesse sentido, sugere-se que futuras pesquisas explorem outros métodos multicritério para avaliar sua aplicabilidade e desempenho em cenários distintos, ampliando as perspectivas e possibilidades de melhoria nas operações industriais.

6.3 SUGESTÃO DE PESQUISAS FUTURAS

As limitações deste estudo abrem oportunidades para pesquisas futuras. Primeiramente, sugere-se expandir a revisão de literatura para outras bases de dados além da *Scopus*, a fim de consolidar os resultados. Outro ponto relevante seria a comparação de diferentes métodos multicritério além do BWM, como por exemplo os métodos multicritérios *PROMETHEE*, *ELECTRE* ou *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS* (AHP), para verificar a consistência e eficácia na priorização de estratégias sustentáveis.

Futuras investigações podem testar o modelo em setores industriais diversos e indústrias de produção por encomenda com sazonalidade, analisando como essas condições influenciam a tomada de decisão e os resultados obtidos. A partir dessas investigações, novas diretrizes poderão ser estabelecidas para otimizar a eficiência

das operações produtivas e de forma mais longitudinal, nutrindo a competitividade das organizações.

Ainda, importante esclarecer que no decorrer da pesquisa é abordada a questão de priorizar ações que desempenham melhorias no processo produtivo, porém, esta pesquisa não teve como propósito mensurar indicadores de desempenho, mas tão somente avaliar o impacto das estratégias sustentáveis, por meio da aplicação do modelo proposto. Neste sentido, entende-se como oportunidade de pesquisa, na hipótese futura de implementação, a adoção de um ciclo de melhorias com vistas a avaliar questões como indicadores de produtividade, análise de métricas, motivando ajustes no uso da tecnologia e a difusão da cultura de práticas *Lean*.

Outra possível linha de pesquisa futura seria o desenvolvimento de um modelo sustentável para as organizações que integre tecnologias avançadas e automação. Este modelo poderia explorar a combinação de conceitos do desenvolvimento sustentável com as inovações da Indústria 5.0, incorporando valores sociais e a criatividade humana com tecnologias predominantes da Inteligência Artificial, *Big Data*, Análise de dados, Internet das Coisas e a Digitalização, com o objetivo de otimizar processos, promover a eficiência operacional e impulsionar a transformação digital nas operações industriais.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, Z. *et al.* Non-parametric progressive signed-rank control chart for monitoring the process location. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, Netherlands, v. 92, n. 12, p. 2596–2622, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00949655.2022.2043324>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ABDALI, M. F.; HUSSAIN, A. N.; ATIYAH, A. G. Supply Chain Management Practices and Its Role in Achieving Competitive Advantage. Na Analytical Study of The Views of a Sample of Texture Factory Managers in Iraq. **Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems**, United States, v. 10, n. 11, p. 444-454, 2020.
- ABDULLAH, A.; SARASWAT, S.; TALIB, F. Impact of Smart, Green, Resilient, and Lean Manufacturing System on SMEs' Performance: A Data Envelopment Analysis (DEA) Approach. **Sustainability**, Switzerland, v. 15, n. 2, p. 1379, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15021379>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- ABU-RUMMAN, A. *et al.* Exploring the challenges and opportunities of implementing industry 4.0 in Jordan: Public shareholding manufacturing companies' perspective. **Wireless Personal Communications**, Dordrecht, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11277-023-10169-x>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- ABUSAQ, Z. *et al.* Improving Energy Performance in Flexographic Printing Process through Lean and AI Techniques: A Case Study [Article]. **Energies**, Basel, v. 16, n. 4, p. 1972, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16041972>. Acesso em: 10 abril. 2024.
- ADEBANJO, D. *et al.* Prioritization of Six-Sigma project selection: A resource-based view and institutional norms perspective. **Benchmarking: An International Journal**, United Kingdom, v. 23, n. 7, p. 1983-2003, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/BIJ-09-2015-0086>. Acesso em: 26 maio 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2 ed. Brasília, DF: ANEEL, 2005. 243 p. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/582>. Acesso em: 10 set. 2024.
- AHMAD, S.; WONG, K.Y. Development of weighted triple-bottom line sustainability indicators for the Malaysian food manufacturing industry using the Delphi method. **Journal of Cleaner Production**, Netherlands, v. 229, n. 4, p. 1167-1182, 2019.
- AHMED, S. Integrating DMAIC approach of Lean Six Sigma and theory of constraints toward quality improvement in healthcare. **Review on Environmental Health**, Germany, v. 34, n. 4, p. 427–434, 2019.
- AKBAR, S.; AHSAN, K. Investigation of the challenges of implementing social sustainability initiatives: A case study of the apparel industry. **Social Responsibility Journal**, United Kingdom, v. 17, n. 3, p. 343–366, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/SRJ-09-2019-0291>. Acesso em: 18 fev. 2023.

ALEXANDER, L.; ISKANDAR, I. Application of Lean Manufacturing in Aluminum Cable Ladder Manufacturing Companies: Case Study at PT. Indra Saputra Triassic. **Journal of Mechanical, Civil and Industrial Engineering**, Jordan, v. 4, n. 1, p. 09-16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.32996/jmcie.2023.4.1.2>. Acesso em: 10 jun. 2024.

ANTUNES, J. **Sistemas de Produção**: Conceitos e práticas para projeto e gestão de produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ARAMAN, H.; SALEH, Y. A case study on implementing Lean Six Sigma: DMAIC methodology in aluminum profiles extrusion process. **The TQM Journal**, United Kingdom, v. 35, n. 2, p. 337-365, 2023.

AREY, D.; LE, C. H.; GAO, J. Lean industry 4.0: a digital value stream approach to process improvement, **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 54, p. 19-24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.004>. Acesso em: 10 maio. 2023.

AZEVEDO, B. M. M. **Modelo de Implementação de Sistema de Produção Lean no INESC Porto**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.

BALAJI, V. *et al.* DVSMS: dynamic value stream mapping solution by applying IIoT. **Sadhana**, Nepal, v. 45, n. 38, p. 45, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12046-019-1251>. Acesso em: 10 nov. 2023.

BARBIERI, J. C. *et al.* Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **RAE – Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 146-154, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75902010000200002>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, Macaé, v. 1, n. 4, p. 1-11, 2008. Disponível em: https://www.fsma.edu.br/visoes/edicoes-antteriores/docs/4/4ed_O_Desafio_Do_Desenvolvimento_Sustentavel_Gisele.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.

BATWARA, A. *et al.* An Empirical Investigation of Green Product Design and Development Strategies for Eco Industries Using Kano Model and Fuzzy AHP. **Sustainability**, Switzerland, v. 14, n. 14, p. 8735, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14148735>. Acesso em: 3 março. 2024.

BATWARA, A. *et al.* Towards smart sustainable development through value stream mapping – a systematic literature review, **Heliyon**, London, v. 9, n. 5, p. e15852, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15852>. Acesso em: 3 jul. 2024.

BAUMGARTNER, R. J. Managing Corporate Sustainability and CSR: A Conceptual Framework Combining Values, Strategies and Instruments Contributing to Sustainable Development. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, United Kingdom, v. 21, n. 5, p. 258-271, 2014. Disponível: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/csr.1336>. Acesso em: 26 maio 2024.

- BRUNSTEIN, J.; SCARTEZINI, V. N.; RODRIGUES, A. L. Sustentabilidade na educação corporativa e o desenvolvimento de competências societárias. **Revista Organizações e Sociedade**, Salvador, v. 19, n. 63, p. 583-598, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1984-92302012000400002>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- BURGELMAN, R. A.; CHRISTENSEN, C. M.; WHEELWRIGHT, S. C. **Strategic management of technology and innovation**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill Irwin, 2004.
- CAMPOS, C. A.; RODRIGUES, M.; OLIVEIRA, R. S. Lean Manufacturing: Produção Enxuta. **Revista Científica da FAEX**, São Paulo, ano 5, v. 1, n. 10, p. 1-18, 2016. Disponível em: <http://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/141>. Acesso em: 26 maio 2024.
- CARBALLO-PENELA, A.; CASTROMÁN-DIZ, J. L. Environmental Policies for Sustainable Development: An Analysis of the Drivers of Proactive Environmental Strategies in the Service Sector. **Business Strategy and the Environment**, United States, v. 24, n. 8, p. 802-818, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.1847>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- CAUS, T. R.; MICHELS, A. **Energia hidrelétrica: eficiência na geração**. 2014. 27 f. Artigo Científico (Especialização em Eficiência Energética) – Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1380/Caus_Tuane_Regina.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 out. 2023.
- CHAPMAN, S. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Tradução: Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- CHEN, Z. *et al.* Effect of mandatory cleaner production audits on manufacturing firms' environmental efficiency in China: Renovation or innovation? **Journal of Cleaner Production**, Netherlands, v. 417, p. 137855, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137855>. Acesso em: 19 agosto 2024.
- CHERRAFI, A. *et al.* Green and lean: A Gemba-Kaizen model for sustainability enhancement [Article]. **Production Planning and Control**, United Kingdom, v. 30, n. 5–6, p. 385–399, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501808>. Acesso em: 3 março. 2023.
- CHITKARA, R.; RAJAN, J. BDCPS—a framework for smart manufacturing systems using blockchain technology. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, United Kingdom, v. 1, n. 9, p. 366-378, 2019.
- CIMINI, C. *et al.* Task classification framework and job-task analysis method for understanding the impact of smart and digital technologies on the operators 4.0 job profiles. **Sustainability**, Switzerland, v. 15, n. 5, p. 3899, 2023.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília, DF: CNI, 2018. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4914982/mod_resource/content/1/Economia%20Circular_CNI_2018.pdf. Acesso em: 28 nov. 2023.

CORRÊA, H. L. *et al.* **Planejamento, programação e controle da produção: MRPII/ERP, conceitos, uso e implantação.** São Paulo: Atlas, 1999.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção.** MRPII/ERP: Conceitos, uso e implantação, base para SAP, Oracle Applications e outros Softwares Integrados de Gestão. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

COSTA, S. E. G.; LIMA, E. P. Processos: uma Abordagem da Engenharia para a Gestão de Operações. *In: MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações* Rio de Janeiro: Campus, 2011. cap. 4, p. 63-72.

DARESTANI, S. A; PALIZBAN, T.; IMANNEZHAD, R. Maintenance Strategy Selection: A Combined Goal Programming Approach and BWM-TOPSIS for Paper Production Industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, United Kingdom, v. 28, n. 1, p. 14-36, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JQME-03-2019-0022>. Acesso em: 10 ago. 2024.

DAS, B.; VENKATADRI, U.; PANDEY, P. Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, United Kingdom, v. 71, p. 307-323, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5407-x>. Acesso em: 05 ago. 2024.

DEVI, K. S.; PARANITHARAN, K. P.; AGNIVEESH, A. I. Interpretive framework by analysing the enablers for implementation of Industry 4.0: an ISM approach. **Total Quality Management & Business Excellence**, United Kingdom, v. 32, n. 13-14, p. 1494–1514, 2021.

DEVI, K. S.; SREEDHARAN, V. R.; DEVADASAN, S. R. Process enhancement in a wet grinder manufacturing company through lean implementation framework – A case study. **International Journal of Business Excellence**, India, v. 22, n. 1, p. 33-51, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJBEX.2020.109223>. Acesso em: 12 março. 2023.

EBADIAN, M. *et al.* Hierarchical production planning and scheduling in make-to-order environments: reaching short and reliable delivery dates. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 47, n. 20, p. 5761-5789, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207540802010799>. Acesso em: 18 fev. 2023.

EBRAHIMI, A.; KHAKPOUR, R.; SAGHIRI, S. Sustainable setup stream mapping (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing, **Production Planning & Control**, United Kingdom, v. 34, n. 4, p. 1-24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1916637>. Acesso em: 12 março. 2024.

ELEMURE I. *et al.* Integration of lean green and sustainability in manufacturing: a review on current state and future perspectives. **Sustainability**, Switzerland, v. 15, n. 13, p. 10261, 2023.

- ELKINGTON, J. **Sustentabilidade**: canibais com garfo e faca. São Paulo: M. Books do Brasil, 2012.
- ENSSLIN, L. *et al.* ProKnow-C, Knowledge Development Process – Constructivist. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**. Rio de Janeiro: INPI, 2010.
- ERDMANN, R. H. **Administração da produção**: planejamento, programação e controle. Florianópolis: Papa Livro, 2000.
- ESTRADA-JIMENEZ, L. A.; NIKGHADAM-HOJJATI, S.; BARATA, J. Characteristics of Adaptable Control of Production Systems and the Role of Self-organization Towards Smart Manufacturing. *In*: ADVANCED DOCTORAL CONFERENCE ON COMPUTING, ELECTRICAL AND INDUSTRIAL SYSTEMS (DOCEIS), 12. 2021, Costa de Caparica, Portugal. **Proceedings** [...]. Costa de Caprica: Springer, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-78288-7_4. Acesso em: 12 março 2024.
- FARINHA, L. **Lean manufacturing**: uma história de sucesso em Portugal. 2015. 154 f. Dissertação (Mestrado em Auditoria e Análise Financeira) – Escola Superior de Gestão de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, 2015. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18514/1/Lean%20Manufacturing%20-%20Uma%20história%20de%20Sucesso%20em%20Portugal.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- FRANCISCO, C. E. S. *et al.* Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2643-2650.
- FRANKEN, J. C. M.; VAN DUN, D. H.; WILDEROM, C. P. M. Kaizen Event process factors for operational performance improvement: an archival study. **Production Planning & Control**, United Kingdom, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2358>. Acesso em: 14 maio 2024.
- GARCÍA ALCARAZ, J. L. *et al.* Effect of the sustainable supply chain on business performance— The Maquiladora Experience. **IEEE Access**, United States, v. 10, p. 40829-40842, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3166193>. Acesso em: 22 março 2024.
- GHINATO, P. **Elementos para a compreensão de princípios fundamentais do Sistema Toyota de Produção**: Autonomia e Zero Defeitos. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Transportes) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- GHIYASINASAB., M. *et al.* Production planning and project scheduling for engineer-to-order systems- case study for engineered wood production. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 59, n. 4, p. 1068-1087, 2021. Disponível em: [10.1080/00207543.2020.1717009](https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1717009). Acesso em: 22 jul. 2024.

GHOLAMI, H. *et al.* Social value stream mapping (Socio-VSM): methodology to societal sustainability visualization and assessment in the manufacturing system. **IEEE Access**, United States, v. 7, p. 131638–131648, 2019.

HAHN, T.; SCHEEMESSER, M. Approaches to Corporate Sustainability among German Companies. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, Malden, v. 13, n. 3, p. 121-181, 2006.

HARDING, H. A. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1981.

HAYES, R. H.; *et al.* **Produção, estratégia e tecnologia**: em busca da vantagem competitiva. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HUSSAIN, K. *et al.* Mapping Green, Lean, Six Sigma enablers through the lens of a construction sector: an emerging economy's perspective. **Journal of Environmental Planning Management**, United States, v. 66, n. 4, p. 779–812, 2023

IBRAHIM, M.; PUTRI, M.; UTAMA, D. M. A literature review on reducing carbon emission from supply chain system: drivers, barriers, performance indicators, and practices. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, United Kingdom, v. 722, p. 012034, 2020.

ISHARA, G. K. K.; MEKALA, K G. H. Introduction of Cleaner Production and Sustainable Development Goals. **Journal of Research Technology & Engineering**, Valencia, v. 4, n. 2, p. 160-172, 2023.

IVANOV, D. *et al.* Researchers' perspectives on industry 4.0: multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 59, n. 7, p. 2055–78, 2020.

JAMIL, N. *et al.* DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system. **Economy Research-Ekonomiska Istraživanja**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 331-360, 2020.

JAMWAL, A. *et al.* Two decades of research trends and transformations in manufacturing sustainability: a systematic literature review and future research agenda. **Production Engineering**, Germany, n. 1, p. 109-133, 2021.

JANAHI, N. A.; DURUGBO., C. M.; AL-JAYYOUSI, O. R. Eco-innovation strategy in manufacturing: A systematic review. **Cleaner Engineering and Technology**, Oxford, v. 5, p. 100343, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100343>. Acesso em: 22 março 2023.

JASTI, N.V.K., KOTA, S.; SANGWAN, K. S. An application of value stream mapping in auto-ancillary industry: a case study. **The TQM Journal**, United Kingdom, v. 32 n. 1, p. 162-182, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2018-0165>. Acesso em: 24 agosto 2023.

JING, S. *et al.* Investigating the effect of value stream mapping on procurement effectiveness: a case study. **Journal of Intelligent Manufacturing**, United Kingdom, v. 32, p. 935-946, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01594-x>. Acesso em: 22 maio 2024.

KARIMI, H.; SADEGHI-DASTAKI, M.; JAVAN, M. A fully fuzzy best-worst multi attribute decision making method with triangular fuzzy number: A case study of maintenance assessment in the hospitals. **Applied Soft Computing**, Netherlands, v. 86, p. 205-225, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105882>. Acesso em: 26 jun. 2024.

KHALILI-DAMGHANI, K.; TAVANA, M. A comprehensive framework for sustainable project portfolio selection based on structural equation modeling. **Project Management Journal**, United States, v. 45, n. 2, p. 83-97, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pmj.21404>. Acesso em: 26 abr. 2024.

KISWOYO, D.; MUTTAQIN, A. Z.; SUSANTO, D. Model Lean Manufacturing with the VSM method to reduce waste in the production process box electrical panel at PT.DMI. **Tibuana**, Indonesia, v. 7, n. 1, p. 65-71, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36456/tibuana.7.01.7937.65-71>. Acesso em: 20 set. 2024.

KUMAR, L. *et al.* Opportunities and constraints for cleaner production policy in the developing world: a case study of Sindh Region, Pakistan. **Environment, Development and Sustainability**, Netherlands, v. 26, n. 2, p. 4391-4434, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02889-0>. Acesso em: 20 set. 2024.

KUMAR, M. B.; PARAMESHWARAN, R. A comprehensive model to prioritise lean tools for manufacturing industries: a fuzzy FMEA, AHP and QFD-based approach. **International Journal of Services and Operations Management**, United Kingdom, v. 37, n. 2, p. 170–196, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2020.110337>. Acesso em: 11 set. 2023.

LEON-LUDENA, L.A.; DIESTRA-MEDROA, C.; FLORES-PEREZ, A. Improvement proposal to reduce the total cycle time in production through the application of SLP, 5S and TPM under a DMAIC approach in a Peruvian textile SME. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND APPLICATIONS, 10., 2023, New York. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2023. p. 71–77.

LIANG, F.; BRUNELLI, M.; REZAEI, J. Consistency Issues in the Best Worst Method: Measurements and Thresholds. **Omega**, Amsterdam, v. 96, p. 102175, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048319307479>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIU, Q.; YANG, H. An improved value stream mapping to prioritize lean optimization scenarios using simulation and multiple-attribute decision-making method, **IEEE Xplore**, United States, v. 8, p. 204914–204930, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3037660>. Acesso em: 16 jun. 2024.

LIU, Q.; YANG, H. Incorporating Variability in Lean Manufacturing: A Fuzzy Value Stream Mapping Approach. **Mathematical Problems in Engineering**, Netherlands,

v. 2020, n. 1, p. 1347054, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1155/2020/1347054>. Acesso em: 25 set. 2023.

LONGARAY, A. A. *et al.* Applying the PDCA Cycle for Continuous improvement in a bovine confinement system: a case study. **Systems & Management**, Niterói, v. 12, n. 3, p. 353-361, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2017.v12n3.1123>. Acesso em: 26 ago. 2024.

LORENZ, R. *et al.* Using process mining to improve productivity in make-to-stock manufacturing. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 59, n. 16, p. 4869–4880, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1906460>. Acesso em: 19 set. 2023.

LU, Y.; LIU, Z.; MIN, Q. A digital twin-enabled value stream mapping approach for production process reengineering in SMEs. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, United Kingdom, v. 34, n. 7-8, p. 764–782, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1872099>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MACHADO, C. G; WINROTH, M. P.; SILVA, E. H. D. R. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777>. Acesso em: 20 out. 2023.

MAHMOUDI, A. *et al.* A novel model for risk management of outsourced construction projects using decision making methods: A case study. **Grey Systems: Theory and Application**, United Kingdom, v. 10, n. 2, p. 87-123, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/GS-09-2019-0038>. Acesso em: 26 abr. 2024.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MCKENZIE, P.; JAYANTHI, S. Ball Aerospace Explores Operational and Financial Trade-Offs in Batch Sizing in Implementing JIT. **Interfaces**, United States, v. 37, n. 2, p. 108-119, 2007. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20141473>. Acesso em: 10 ago. 2024.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J. **Beyond the limits: confronting global collapse, envisioning a sustainable future**. Chelsea: Chelsea Green Publishing, 1992.

MEBRATU, D. Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. **Environmental impact assessment review**, United States, v. 18, n. 6, p. 493-520, 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00019-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00019-5). Acesso em: 10 ago. 2024.

MENON, R. B. *et al.* Cost value-stream mapping as a lean assessment tool in a surgical glove manufacturing company. **The South African Journal of Industrial Engineering**, Waterkloof, v. 32, n. 1, p. 157–170, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7166/32-1-2368>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MI, X. *et al.* The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: why, what, what for and what's next? **Omega**, England, v. 87, n. C, p. 205-225, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.01.009>. Acesso em: 26 jul. 2024.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MONDEN, Y. **Produção sem estoques**: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota. São Paulo: IMAM, 1984.

MONKS, J. G. **Administração da produção**. São Paulo: McGraw Hill, 1987.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1996.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MUDA, S.; HENDRY, L. Proposing a world-class manufacturing concept for the make-to-order sector. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 40, n. 2, p. 353-373, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00207540110081470>. Acesso em: 16 out. 2023.

MUNCK, L.; SOUZA, R. B. Gestão por competências e sustentabilidade empresarial: em busca de um quadro de análise. **Gestão e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 3, n. 6, p. 254-287, 2009.

MURALI, C. S.; PRABUKARTHI, A. Productivity improvement in furniture industry using lean tools and process simulation. **International Journal of Productivity and Quality Management**, United Kingdom, v. 30, n. 2, p. 214–233, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2020.107812>. Acesso em: 13 nov. 2023.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100005>. Acesso em: 26 ago. 2024.

NIMAWAT, D.; GIDWANI, B. D. Identification of cause-and-effect relationships among barriers of Industry 4.0 using decision-making trial and evaluation laboratory method. **Benchmarking: An International Journal**, Indonesia, v. 28, n. 8, p. 2407–2431, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2020-0429>. Acesso em: 11 out. 2023.

NKUNA, J.; PRETORIUS, J. H. C.L VERMEULEN, A. Feasibility of Lean Manufacturing Kaizen Teams' Approach to help the Plastic Manufacturing Industry with Continuous Improvement. *In*: AUSTRALIAN INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 2., 2023, Melbourne. **Proceedings** [...]. Melbourne: IOEM Society International, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46254/AU02.20230143>. Acesso em: 12 março 2024.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

ORTIZ, C. A. **Kaizen assembly**: designing, constructing, and managing a Lean assembly line. Boca Raton: CRC Press, 2006.

PAOLESCHI, B. **Almoxarifado e gestão de estoques**. 3. ed. São Paulo: Erica, 2019.

PASCAL, Dennis. **Produção Lean Simplificada**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

PASSET, R. **L'economique et le vivant**. Paris: Económica, 1996.

PEREIRA, C. A. S. **Lean Manufacturing**: aplicação do conceito a células de trabalho. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Departamento de Engenharia Electromecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.6/1921>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PERNA, J. L. S.; FERRAZ, F.T. Evolução do Sistema Toyota de Produção à Metodologia Lean; sua aplicação no setor privado e público. *In*: ENCONTRO FLUMINENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 6., 2016, Niterói. **Anais** [...]. Niterói: Editora SFEPPro, 2016.

PRAMANIK, P. K. D. *et al.* Ubiquitous manufacturing in the age of industry 4.0: a state-of-the-art primer. *In*: NAYYAR, A.; KUMAR, A. **A roadmap to industry 4.0**: smart production, sharp business and sustainable development. Cham: Springer, 2020. p. 73–112.

QUEIROZ, J. A. **Proposta de um método de gestão econômica para os sistemas produtivos tendo como base teórica os pressupostos que sustentam a contabilidade de ganhos da Teoria das Restrições e os princípios da produção enxuta**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-06112006-232607/publico/Tese.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2024.

RAMADAS, T.; SATISH, K. P. Identification and modeling of process barriers: Implementing lean manufacturing in small-and medium-size enterprises. **International Journal of Lean Six Sigma**, United Kingdom, v. 12, n. 1, p. 61-77, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2016-0044>. Acesso em: 14 nov. 2023.

RAOUF, Y. *et al.* Towards a smart and sustainable industry: cycle time optimization. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE RESEARCH IN APPLIED SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY (IRASET), 3., 2023, Morocco. **Proceedings** [...]. Morocco: IEEE, 2023. p. 1–7.

REZAEI, J. Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. **Omega**, Amsterdam, v. 53, p. 49-57, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>. Acesso em: 15 maio 2024.

RINI, S. Implementation of lean thinking through A3 report in plastic injection company. **International Journal of Industrial Optimization**, Ahmad Dahlan, v. 2, n. 1, p. 63–68, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.12928/IJIO.V2I1.3055>. Acesso em: 20 nov. 2023.

RODRIGUES, A. C.; CANELADA, M. **Utilização de KPI–Indicadores de desempenho na cadeia de suprimentos**. Um estudo de caso em indústria metalúrgica no setor da construção civil. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília, 2015. Disponível em: https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1418/TCC%20Finalizado_Altera%c3%a7%c3%b5es%20banca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 maio 2023.

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo o sistema de produção Lean Manufacturing**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo o Sistema de Produção Lean Manufacturing**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See** – Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. Massachusetts: The Lean Enterprise Institute, 1998.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See**: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, Inc., 2019.

SAMANT, S.; PRAKASH, R. Achieving lean through value stream mapping with constraint programming and simulation technique for complex production systems. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, United Kingdom, v. 37, n. 1, p. 119–148, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/ids/ijisen/v37y2021i1p119-148.html>. Acesso em: 20 março 2023.

SANTOS, A. F. *et al.* **Planejamento e Controle de Produção**. Porto Alegre: Grupo A, 2020.

SANTOS, P. V. *et al.* Integração do índice OEE e o método Heijunka: uma análise sobre uma possível relação. **Journal of Lean Systems**, Florianópolis, v. 5, n. 4, p. 01-25, 2020.

SAWIK, T. Hierarchical approach to production scheduling in make-to-order assembly. **International Journal of Production Research**, United Kingdom, v. 44, n. 4, p. 801-830, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207540500340969>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SCHNECKENREITHER, M.; HAEUSSLER, S.; PEIRÓ, J. Average reward adjusted deep reinforcement learning for order release planning in manufacturing. **Knowledge Based Systems**, Netherlands, v. 47, p. 108765, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108765>. Acesso em: 11 out. 2023.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito e o ciclo econômico. São Paulo: Nova Cultura, 1982.

SHARMA, A. K. A study on the background and the direction of the kaizen approach in lean manufacturing. **EPRA: International Journal of Multidisciplinary Research**, Nepal, v. 8, n. 11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36713/epra11868>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHUKOR, S. A.; NG, G. K. Environmental indicators for sustainability assessment in edible oil processing industry based on Delphi Method. **Cleaner Engineering and Technology**, Oxford, v. 10, p. 100558, 2022.

SINGH, C.; SINGH, D.; KHAMBA, J. S. Assessing lean practices in manufacturing industries through an extensive literature review. *In*: LI, X. *et al.* (ed.). **Emerging Trends in Mechanical and Industry Engineering**. Select Proceedings of ICETMIE 2022. Singapore: Springer Nature, 2023. p. 779–800.

SKINNER, W. Manufacturing: missing link in corporate strategy. **Harvard Business Review**, Massachusetts, v. 47, n. 3, p. 136-145, 1969.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SLACK, N.; LEWIS, M. **Estratégia de operações**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=O4N99vFBugAC>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SOLIS, M. M. *et al.* Model 1. Leadership Style and Its Impact on Operational Performance and Supply Chain Resilience. *In*: SOLIS, M. M. (ed.). **Leadership and Operational Indexes for Supply Chain Resilience**. Switzerland: Springer Nature, 2023. p. 43-57. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-32364-5_4. Acesso em: 17 nov. 2024.

SULLIVAN, W. G.; MCDONALD, T. N.; VAN AKEN, E. M. Equipment replacement decisions and lean manufacturing. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, United Kingdom, v. 18, n. 3-4, p. 255-265, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(02\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00016-9). Acesso em: 08 nov. 2023.

TELLO, S.; YOON, E. Examining drivers of sustainable innovation. **International Journal of Business Strategy**, United States, v. 8, n. 3, p. 164-169, 2008.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da inovação**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

TRIPATHI, V. *et al.* An agile system to enhance productivity through a modified value stream mapping approach in industry 4.0: a novel approach. **Sustainability**, Switzerland, v. 13, n. 21, p. 11997, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132111997>. Acesso em: 20 nov. 2023.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2007.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

UTAMA, D. M. AHP and TOPSIS integration for green supplier selection: a case study in Indonesia. *In*: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL AUTOMATION, SMART GRID AND ITS APPLICATION (ICIASGA), 2020, Jawa Timur. **Proceedings** [...]. Indonesia: ICIASGA, 2021.

UTAMA, D. M.; ARDIYANTI, N.; PUTRI, A. A. A new hybrid method for manufacturing sustainability performance assessment: a case study in furniture industry. **Production & Manufacturing Research**, United Kingdom, v. 10, n. 1, p. 760-783, 2022.

VALENTE, A. C. C.; AIRES, V. M. **Gestão de projetos e lean construction**: uma abordagem prática e integrada. Curitiba: Editora Appris, 2017.

VAN MARREWIJK, M.; WERRE, M. Multiple Levels of Corporate Sustainability. **Journal of Business Ethics**, Holanda, v. 44, n. 2-3, p. 107-119, 2003.

VASCONCELLOS, R. **A Filosofia Lean**: apresentada de forma simples e na prática. Rio de Janeiro: Planeta Azul Editora, 2021.

VERMA, N.; SHARMA, V.; BADAR, M. A. Entropy – Based Lean, Energy and Six Sigma Approach to Achieve Sustainability in Manufacturing System. **Arabian Journal for Science and Engineering**, United Kingdom, v. 46, n. 8, p. 8105–8117, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05826-x>. Acesso em: 18 nov. 2023.

VILLALBA-DIEZ, J.; ORDIERES-MERÉ, J. Improving Manufacturing Performance by Standardization of Interprocess Communication. **IEEE Transactions on Engineering Management**, United States, v. 62, n. 3, p. 351-360, 2015.

VOS, R. O. Defining sustainability: a conceptual orientation. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Malden, v. 82, n. 4, p. 334-339, 2007.

VOSS, C. Alternative paradigms for manufacturing strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, United Kingdom, v. 15, n. 4, p. 5-16, 1995. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/01443579510083587>. Acesso em: 20 ago. 2023.

WALTER, C.; RIES, O. A automação da Engenharia de Produto em um Ambiente ETO/OKP. **Revista Máquinas e Equipamentos**, São Paulo, p. 132-139, 1996.

WEETMAN, C. **Economia circular**: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. Tradução: Afonso Celso da Cunha Serra. São Paulo: Autêntica Business, 2019.

WILSON, L. **How to implement lean manufacturing**. New York: McGraw-Hill Education, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade Enxuta nas Empresas**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The Machine that changed the World**. New York: Simon and Schuster, 1990.

ZEBA, G. *et al.* Technology mining: artificial intelligence in manufacturing. **Technological Forecasting and Social Change**, United States, v. 171, p. 120971, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120971>. Acesso em: 28 jul. 2023.

ZHANG, Y. *et al.* Integrating lean production strategies, virtual reality technique and building information modeling method for mass customization in cabinet manufacturing. **Engineering, Construction and Architectural Management**, United Kingdom, v. 29, n. 10, p. 3970-3996, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-11-2020-0955>. Acesso em: 16 nov. 2023.

ZUO, Y. Making smart manufacturing smarter—a survey on blockchain technology in Industry 4.0. **Enterprise Information Systems**, United States, v. 15, n. 10, p. 1323–1353, 2021.

APÊNDICE A – Questionário para Definição de Pesos de Critérios

QUESTIONÁRIO PARA DEFINIÇÃO DE PESOS DE CRITÉRIOS

O presente questionário visa definir os pesos dos critérios a partir das respostas do tomador de decisão. Para isso, será utilizado o método multicritério Best Worst Method – BWM, Rezaei, 2016. O método BWM tem em sua fase inicial a necessidade de escolha do melhor ou mais importante critério e em seguida a escolha do pior ou menos importante critério.

1) Com base em seus conhecimentos técnicos e experiências profissionais, qual dos critérios abaixo você considera **mais** importante para a aplicação de estratégias de operações de produção no desenvolvimento sustentável da indústria?

Pilar do ESG	Critério
AMBIENTAL	Impacto ambiental dos fornecedores
	Conformidade regulatória ambiental
	Uso eficiente da água e energia
	Controle de Poluição
	Pegada de Carbono
	Gerenciamento De Resíduos
	Recursos Naturais
	Tratamento de efluentes
	Economia circular
	Eficiência Energética
SOCIAL	Ergonomia
	Promoção de diversidade e inclusão
	Manutenibilidade
	Desenvolvimento e capacitação
	Saúde e segurança
	Comunicação organizacional
	Emissões de Ruídos
	Qualidade de processos
GOVERNANÇA	Custo de Aquisição
	Inovação e Tecnologia
	Eficiência
	Inovação Sustentável

	Flexibilidade
	Produtividade
	Facilidade de implementação
	Segurança

2) Com base em seus conhecimentos técnicos e experiências profissionais, qual dos critérios abaixo você considera menos importante para a aplicação de estratégias de operações de produção no desenvolvimento sustentável da indústria?

Pilar do ESG	Critério
AMBIENTAL	Impacto ambiental dos fornecedores
	Conformidade regulatória ambiental
	Uso eficiente da água e energia
	Controle de Poluição
	Pegada de Carbono
	Gerenciamento De Resíduos
	Recursos Naturais
	Tratamento de efluentes
	Economia circular
	Eficiência Energética
SOCIAL	Ergonomia
	Promoção de diversidade e inclusão
	Manutenibilidade
	Desenvolvimento e capacitação
	Saúde e segurança
	Comunicação organizacional
	Emissões de Ruídos
Qualidade de processos	
GOVERNANÇA	Custo de Aquisição
	Inovação e Tecnologia
	Eficiência
	Inovação Sustentável
	Flexibilidade
	Produtividade
	Facilidade de implementação
	Segurança

3) Firmado nas respostas anteriores, você deverá fazer uma avaliação partindo do melhor ou mais importante critério em relação aos demais critérios. Para isso, será utilizado uma pontuação conforme tabela abaixo. Exemplo: Digamos que você, tomador de decisão, tenha considerado que “Custo de Aquisição” seja o critério mais importante, e que considere o critério “Custo de Aquisição” moderadamente mais importante que “Uso eficiente da água e energia”, você irá assinalar o valor 3.

Escala	Importância
1	Igual
2	Moderado
3	Moderadamente mais importante
4	Moderado e forte
5	Moderada
6	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
8	Muito forte e absoluto
9	Absolutamente mais importante

4) Firmado nas respostas anteriores, você deverá fazer uma avaliação partindo do pior ou menos importante critério em relação aos demais critérios. Para isso, será utilizado uma pontuação conforme tabela abaixo. Exemplo: Digamos que você, tomador de decisão, tenha considerado que “Uso eficiente da água e energia” seja o critério menos importante, e que considere o critério “Custo de Aquisição” moderadamente mais importante que “Uso eficiente da água e energia”, você irá assinalar o valor 3.

Escala	Importância
1	Igual
2	Moderado

3	Moderadamente mais importante
4	Moderado e forte
5	Moderada
6	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
8	Muito forte e absoluto
9	Absolutamente mais importante

Application of value stream mapping in mold copper coils for energy generators

Marcelo Miguel Tibes Peluso¹, Darcleia Forlin¹, Edson Pinheiro de Lima¹[0000-0001-9331-1569], Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa¹[0000-0002-9882-5857]

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, s/n-Km01 Fraron, Pato Branco – Brazil

pinheiro@utfpr.edu.br

Abstract. The product development process is becoming increasingly critical to the competitiveness of industries due to the growing internationalization of markets and the increase in the diversity and variety of products. Industries are increasingly looking for methods and tools to help locate waste and take action to eliminate it. This article aims to deal with concepts and presentations of the applicability of the VSM (Value Stream Mapping) tool on a production line that produces copper molded coils to order, manufactured for the stators of medium and high voltage hydroelectric power station generators. Using a case study methodology applied in an industry in the southwestern region of Paraná (Brazil), with the tool's competence in implementing the principles of lean production in operations, it showed that making maps of the current and future state in the language standardized by the Lean philosophy can be applied in the development process of this product. After analyzing the maps and the spaghetti diagram, it was possible to identify points of waste and operations that do not add value. Among the most important results were better visual management, a 20% reduction in lead time, elimination of bottlenecks, intermediate stocks and optimization of the production process.

Keywords: VSM, sustainable operations, operations strategy, hydroelectric generators, continuous improvement.

1 Introduction

The expansion of world trade and the evolution of production processes in recent decades have created a constantly changing industry environment. Technological innovations, continuous improvement in search of higher quality, reductions in waste and costs, and adaptation to the various markets are essential requirements for industries to remain competitive.

In Brazil, the hydroelectric sector is very important since 73.6% of electricity comes from hydroelectric plants [1]. With its great hydroelectric potential (many plateau rivers), the country makes use of its favorable geography for the production of electricity,

and water is a renewable source that contributes to this form of energy being widely used as an energy matrix that has consolidated technologies for harnessing it [2].

However, the process of producing components for hydroelectric power plants needs to be adapted for each new project due to the fact that the plants are unique since the design solutions for hydroelectric power plants are unique, specific to each case, with equipment that alters the size, power, voltage and rotation for each case of the plant, to characterize the manufacture of equipment as custom production or non-serial production [1].

Considering the segment's importance, this article aims to understand some of the factors that influence decision-making, the continuous improvement process, and the management of the production of molded copper coils for hydro generators using knowledge from Lean manufacturing through the VSM tool. According to Rother and Shook [3], VSM is a tool that performs a qualitative analysis to improve resources and avoid waste. According to [4], VSM is "a tool capable of looking at value-adding processes horizontally". It aims to analyze all processes in order to locate possible deviations and eliminate waste.

A hydroelectric plant can be defined as a set of works and equipment whose purpose is to generate electricity by harnessing the hydraulic potential of a river. Hydraulic potential is provided by the hydraulic flow and the concentration of gradients along the course of a river [5]. One of the main elements of a hydroelectric power station are the generators, which are coupled to a hydraulic turbine and connected to the power grid. The principle of how a generator works is based on the phenomena of electromagnetic induction to which a conductor or a coil is subjected when it undergoes a variation in magnetic flux [2].

The generator is divided into two large parts, the rotor (moving part) and the stator (fixed part). The rotor, which houses the field winding, rotates inside the stator and creates the variable magnetic field needed to induce voltage in the stator. The shaped coils are part of the stator assembly, where the alternating currents are generated when the rotor rotates. These coils are part of the armature winding and are used for higher voltage classes, equal to or above 2,200V. Molded copper coils are made up of rectangular copper wire with a layer of polygrass (fiberglass), layers of mica tape and impregnated with a special resin. On average, a medium-power generator has 150 molded coils per generator, as shown in figure 1. Generators with a voltage of less than 2,200V are made with coils of enameled copper wire according to the AWG standard. The importance of the study for the practical area is to standardize the manufacture of coils, which directly influence performance and electricity generation, with support for the pillars of sustainability in increasing product quality and reducing manufacturing lead time, and subsequent maintenance or replacement of coils when already installed in generators at hydroelectric plants.

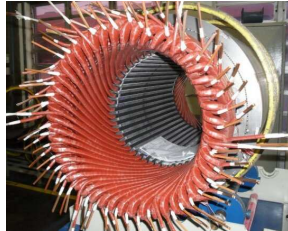


Fig. 1. Example of a coiled stator
Source: Martins (2010)

2 Literature review

2.1 Lean Manufacturing

The Lean philosophy provides tools and concepts to identify and eliminate waste in production processes while focusing on customer needs.

Industry 4.0 has begun to advance production with autonomous and flexible systems, thus revolutionizing production processes. It is known that the holistic integration of Lean Manufacturing (LM) tools, such as Just in Time (JIT), Kan-ban, Poka-Yoke, Value Stream Mapping (VSM), Kaizen, and Toyota Productive Maintenance (TPM), with digital technologies, such as Big Data, Cloud Computing, Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Virtual Simulation (VS) Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IOT), developed by Industry 4.0 offers companies a series of organizational gains, such as agility in the production process and product quality assurance throughout its manufacturing stages. In addition, it is known that Industry 4.0's contribution to creating more sustainable industrial value will be remarkable in the future. [6-8].

In the literature, this contribution is attributed to the economic, environmental and social dimensions of sustainability, since implementing lean manufacturing in smart manufacturing environments is advantageous for reducing costs. Therefore, the implementation of Industry 4.0 is identified as a cost-intensive operation, considering the investment required and the perceived benefits [4, 9].

The study presented by sets out the principles of Lean Manufacturing. These principles serve as a basis for adopting, implementing, and developing lean manufacturing. The first, the value principle, is considered to be the essential starting point for acquiring the lean mentality. Value is added for the customer during the process through various activities. The second principle refers to the flow of value, in which it is essential to develop an organizational mechanism aimed at creating a value chain by visualizing the entire process and eliminating waste completely. The third principle is continuous flow, which makes it possible to visually represent all the stages involved, both materials and information, from the supplier to the consumer. The fourth principle is the pull system. Pull production is a process in which the production of a good or service should not begin until the customer has requested it. The fifth and final principle is the perfection principle. It arises from the idea that the company should have the skills to specify

value accurately, identify the value chain as a whole and have the competence to develop steps that flow continuously and flexibly [4].

Presented by Ohno [10] the seven wastes of the Toyota Production System (STP) that must be eliminated:

- Overproduction: Making more than the quantity needed. According to Toyota, this is the biggest waste, as it leads to all the others;
- Stock (Inventory): Material held in stock, resulting in wasted space and investment in maintenance;
- Transportation: Unnecessary movement of materials and information, wasting time and resources;
- Waiting: People waiting or waiting for materials to be processed;
- Unnecessary processing: Unnecessary steps from the customer's point of view; activities that do not transform the product;
- Defect: Defective products, customer complaints, rework, returns;
- Handling: Unnecessary or slow handling.

2.2 Value Stream Mapping

One of the main waste elimination techniques proposed by this management philosophy stands out: Value Stream Mapping (VSM). This tool was proposed by [10] and is based on Value Stream Analysis.

The VSM or value stream map is used as a communication and planning tool [10], helping employees get to know their processes in detail. It establishes a common language between employees and subsequently initiates an improvement process.

According to Rother and Shook [3], it is a methodology for seeing the entire flow of information and material, allowing organizations to visualize and identify their waste streams or activities that don't add value and to direct their actions towards the search for better flow performance.

According to Ferro [4], the methodology developed is highly advantageous for industries, as it makes it possible to achieve sustainable organizational systems with minimal waste on the shop floor, thus achieving the goal of Industry 4.0.

The VSM represents the entire supply chain and involves the process as a whole, from raw materials to the finished product. It focuses on eliminating waste, reducing lead times, and identifying bottlenecks. The tool presents the company's current situation, allowing it to see possible improvements to the process [12].

For Kach et al. [13], the material flow represents the movement of materials within the factory, while the information flow tells each process what to manufacture and the sequence of work. Although the material flow is much more visible and, therefore, more addressed by improvement programs, the information flow must be treated with the same importance for lean production.

The VSM tool makes it possible to connect all the processes that make up the production flow, from the supplier to the end consumer identifying all the stages in order to apply lean thinking techniques. According to the authors, value stream mapping should follow the following steps [3]:

- a) Choosing the product family: selecting a product family made up of a group of products that go through similar processing stages;
- b) Drawing the current and future state: drawing the current and future state, based on information collected on the shop floor;
- c) Work and implementation plan: prepare an implementation plan describing how the future state is to be reached.

3 Methodology

The methodological approach of this article, in terms of its nature, is classified as a case study, as it is used to collect and evaluate data to support theoretical development in practical fields using the literature presented by [3].

The execution of the value stream map (VSM) begins by choosing a product family. From there, the production flow must be followed from the raw material supplier to the customer, with a detailed representation of the current state map, its material, and information flow [3]. The current map is then analyzed, and the seven losses must be considered.

In order to record the current process map, the customer and its demand were defined, the basic production processes and their main information were identified, the flows between the processes were drawn, the location of intermediate stocks and the quantities observed were established, and the suppliers and the flow of raw materials were identified.

The following points describe the step-by-step methodology for applying the VSM in more detail.

Step 0 - Define a team to carry out the production flow analysis. The team should be made up of members from different areas, a multidisciplinary team with experience, knowledge of the production process, knowledge of the VSM and Lean, and aptitude;

Step 1 - Define product families, with products that share the same production line, according to the frequency and volume of demand;

Step 2 - Draw a map of the current state of the production process;

Step 3 - Analyze the current state to support the construction of the future state map;

Step 4 - Build the future state map, with an action plan;

Figure 2 shows the representation of the current value stream map made by the Kaizen team and the molded coil manufacturing operators. The team is flexible, with new employees and some with decades of experience in the industry.

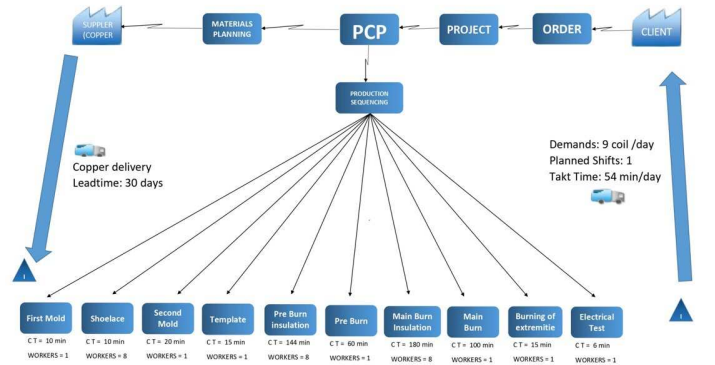
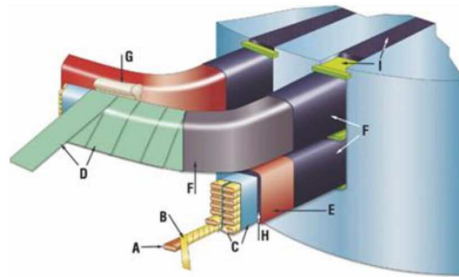


Fig. 2.: Current state VSM drawing
Source: Authors (2024)

The manufacturing process for molded coils can be classified into nine stages.

- Definition of the coil: Stage for separating the materials and analyzing the electrical design
- First mold: Stage for defining the size of the coil and setting up the machines
- Tying: Between the first mold and the second mold, the coil tying stage takes place.
- Second mold: Stage to define coil geometry and machine setup
- Template: The structured coil passes through the jig for final adjustments
- Pre-burn: The structured and insulated coil goes through a hot press to reduce the thickness of the insulation and consolidate the straight part.
- Main firing: Final hot press to prevent the insulation wall from having voids inside
- Applied voltage: All coils are tested to identify possible manufacturing faults or any short-circuits between turns
- Tip firing: Final cleaning and preparation for mounting the coils on the stator



- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| A) electrically conductive copper | F) Corona protection |
| B) Conductor insulation | G) Moring materials |
| C) Spiral consolidation materials | H) Impregnation resin |
| D) Main insulation | I) Filling materials of the slot |
| E) Finishing and sealing tapes | |

Fig. 3.: Cross-section in the straight part of the coil
Source: Martins [11]

By looking at the current value stream map, it is possible to identify that the industry's lead time is high due to the large volume of stocks in the process. Products are manufactured according to the production capacity of the coil burners, and the capacity of the following processes is not considered, thus generating a large stock of products in production, leading to wasted stock, movement, overproduction, and waiting.

The spaghetti diagram was also applied, which involves drawing the path taken by employees and/or materials in a unique layout, allowing waste to be seen through the movement of employees and the transportation of materials. This tool shows the mapping of irrelevant movement [3].

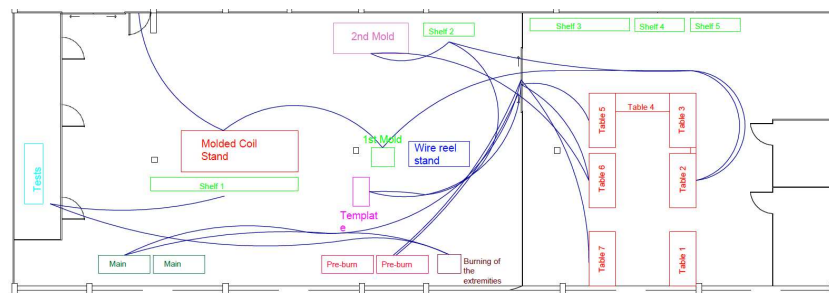


Fig. 4.: Spaghetti diagram for the coil process

4 Results e Discussion

Analyzing the value flow of the process studied provided a macro view of the operations that add value to the product, as well as identifying the seven wastes in the production process, analyzing capacity, cycle times and takt time. To do this, it was necessary to collect data inherent to the processes studied, which resulted in a presentation of the flow characteristics, identification of losses, and key points for possible improvements.

After analyzing the current flow map, the main points were identified and it was determined that the pre-firing and main firing process was the main bottleneck in leveling production. This led to the definition of an action plan for this process.

With the action plan in place, the layout analysis of the coil sector and the manufacture of mobile shelves, in order to achieve continuous production, the future state map was drawn up as shown in Figure 5.

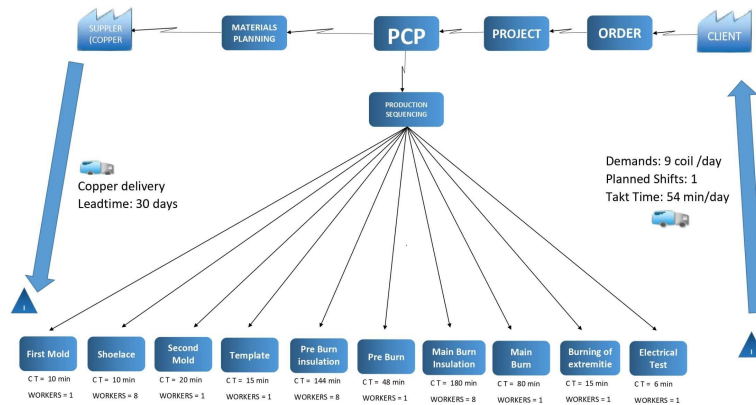


Fig. 5.: VSM drawing of the future state
Source: Authors (2024)

With the work of the Kaizen team, it was possible to arrive at the future value flow map. The map was assembled on the shop floor (gemba) with the help of the machine operators.

The results, in practice, represent a 20% reduction in lead time, a reduction in intermediate stocks, and optimization of the layout, minimizing handling.

5 Conclusion

In view of the above, the industry in question can achieve significant improvements if it implements the proposed improvements, gaining competitive advantages over its competitors.

The research was of great relevance to the company, enabling it to see the waste that had not been previously perceived, allowing the managers involved in the processes to look at them more critically.

An analysis of the current state was carried out in order to identify and propose improvements, and some activities that could be optimized and improved were identified. Through the study, it was possible to put their treatment into practice, and by measuring the processes, the bottlenecks that slowed down and made the processes more costly were noticed.

In this way, it was possible to observe the manufacturing processes of molded coils from the industrial reality and what the application of this tool could bring in terms of improvement. It was analyzed that if a company wants to remain competitive and maintain quality, it must be concerned about its processes, always examining whether there is any waste and whether the time spent on each activity is correct.

The two biggest difficulties in setting up this value stream mapping were the limitations encountered in the development of the study in relation to the lack of scientific studies that simultaneously relate Lean concepts and production to order or the restriction that industries have on not disclosing the data and results of studies and, as it is a very specific product, the issue of manufacturing coils is artisanal and manual. It mainly requires the commitment of the work teams.

The study's strategy contributes to the academic scene by stimulating studies in the area of made-to-order production linked to the principles of sustainable operations and the adoption of digital transformation.

It confirms the importance of using lean manufacturing methods in serial and made-to-order production industries in order to remain more competitive in the market.

References

1. AGENCIA BRASIL. Brasil bate recorde em geração de energia renovável. Available at <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-02/brasil-bate-recorde-em-geracao-de-energia-renovavel>. Accessed on 06/15/2024 (2024).
2. Felizola, E.R., Fonseca, M.R.S, Marocolo, J.F. Identificação de áreas potenciais para implantação de turbina hidrocinética através da utilização de técnicas de geoprocessamento. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Anais [...]. Florianópolis: INPE, 2007. Available in: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.52/doc/2549-2556.pdf>. Accessed on 06/11/2024 (2024).
3. Rother, M., Shook, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. Lean Institute Brasil, São Paulo (2003).
4. Ferro, J.R. A essência da ferramenta mapeamento de fluxo de valor. Lean Institute Brasil, São Paulo (2005).
5. Faria, I.D. O que são Usinas Hidrelétrica “a Fio d’água” e Quais os Custos Inerentes à sua construção? Brasil Economia e Governo. Available at www.brasil-economia-governo.org.br. Accessed on 09/21/2023 (2023).
6. Trentin, L. Manufatura enxuta: Contribuições para a obtenção da vantagem competitiva. Revista Espacios, 38(9), 6-15, (2017).
7. Biondo, D., Kai, D.A., Pinheiro de Lima, E., Benitez, G.B. The contradictory effect of lean and industry 4.0 synergy on firm performance: a meta-analysis. Journal of Manufacturing Technology Management, 35(3), 405-433 (2024).

8. Grudzien, D.I.D.O.P., Pfitzenreuter, T., Galli, F., Lima, E.P.D., Deschamps, F., Costa, S.G.D. Sustainable Strategic Operations Supported by I4.0 Digital Technologies. *Journal of Industrial Integration and Management*, 8(1), 39-64 (2023).
9. Mano, A.P., Gouvea da Costa, S.E., de Lima, E.P., Mergulhão, R.C. Exploratory factor analysis of barriers to lean construction based on Brazilian managers' perceptions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(1), 94-114 (2023)
10. Ohno, T. O Sistema Toyota de produção: Além da produção em larga escala. Bookman, Porto Alegre (1975).
11. Martins, A.L. Estudo comparativo de sistema de isolamento em motores. Master Dissertation. Universidade do Porto (2010).
12. Valamede, L., Akkari, A. Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 5(50), 851-868 (2020).
13. Kach S.C., Oliveira, R.J., Veiga, L.R. Mapeamento do fluxo de valor: Otimização do processo produtivo sob a ótica da engenharia de produção. *In: Simpósio De Excelência Em Gestão e Tecnologia*, Rio de Janeiro. Proceedings [...]. FAPERJ, Rio de Janeiro (2014).

Licence to Publish Proceedings Papers

SPRINGER NATURE

Licensee	Springer Nature Switzerland AG	(the 'Licensee')
Title of the Proceedings Volume/Edited Book or Conference Name:	Transactions of the 12th International Conference on Production Research Americas	(the 'Volume')
Volume Editor(s) Name(s):	Dusan Sormaz, Bopaya Bidanda, Omar Alhawari, Zhaohui Geng.	
Proposed Title of the Contribution:	Application of value stream mapping in mold copper coils for energy generators	(the 'Contribution')
Series: The Contribution may be published in the following series	A Springer book series Lecture Notes in Production Engineering	
Author(s) Full Name(s):	Marcelo Miguel Tibes Peluso, Darcleia Forlin, Edson Pinheiro de Lima, and Sergio E. Gouvea da Costa	(the 'Author')
<i>When Author is more than one person the expression "Author" as used in this Agreement will apply collectively unless otherwise indicated.</i>		
Corresponding Author Name:	Edson Pinheiro de Lima	
Instructions for Authors	https://www.springer.com/gp/authors- editors/conference-proceedings/conference-proceedings- guidelines	(the 'Instructions for Authors')

1 Grant of Rights

- a) For good and valuable consideration, the Author hereby grants to the Licensee the perpetual, exclusive, world-wide, assignable, sublicensable and unlimited right to: publish, reproduce, copy, distribute, communicate, display publicly, sell, rent and/or otherwise make available the contribution identified above, including any supplementary information and graphic elements therein (e.g. illustrations, charts, moving images) (the 'Contribution') in any language, in any versions or editions in any and all forms and/or media of expression (including without limitation in connection with any and all end-user devices), whether now known or developed in the future. Without limitation, the above grant includes: (i) the right to edit, alter, adapt, adjust and prepare derivative works; (ii) all advertising and marketing rights including without limitation in relation to social media; (iii) rights for any training, educational and/or instructional purposes; (iv) the right to add and/or remove links or combinations with other media/works; and (v) the right to create, use and/or license and/or sublicense content data or metadata of any kind in relation to the Contribution (including abstracts and summaries) without restriction. The above rights are granted in relation to the Contribution as a whole or any part and with or in relation to any other works.
- b) Without limiting the rights granted above, Licensee is granted the rights to use the Contribution for the purposes of analysis, testing, and development of publishing- and research-related workflows, systems, products, projects, and services; to confidentially share the Contribution with select third parties to do the same; and to retain and store the Contribution and any associated correspondence/files/forms to maintain the historical record, and to facilitate research integrity investigations. The grant of rights set forth in

this clause (b) is irrevocable.

- c) If the Licensee elects not to publish the Contribution for any reason, all publishing rights under this Agreement as set forth in clause 1a above will revert to the Author.

2 Copyright

Ownership of copyright in the Contribution will be vested in the name of the Author. When reproducing the Contribution or extracts from it, the Author will acknowledge and reference first publication in the Volume.

3 Use of Contribution Versions

- a) For purposes of this Agreement: (i) references to the "Contribution" include all versions of the Contribution; (ii) "Submitted Manuscript" means the version of the Contribution as first submitted by the Author prior to peer review; (iii) "Accepted Manuscript" means the version of the Contribution accepted for publication, but prior to copy-editing and typesetting; and (iv) "Version of Record" means the version of the Contribution published by the Licensee, after copy-editing and typesetting. Rights to all versions of the Manuscript are granted on an exclusive basis, except for the Submitted Manuscript, to which rights are granted on a non-exclusive basis.
- b) The Author may make the Submitted Manuscript available at any time and under any terms (including, but not limited to, under a CC BY licence), at the Author's discretion. Once the Contribution has been published, the Author will include an acknowledgement and provide a link to the Version of Record on the publisher's website: "This preprint has not undergone peer review (when applicable) or any post-submission improvements or corrections. The Version of Record of this contribution is published in [insert volume title], and is available online at [https://doi.org/\[insert DOI\]](https://doi.org/[insert DOI])".
- c) The Licensee grants to the Author (i) the right to make the Accepted Manuscript available on their own personal, self-maintained website immediately on acceptance, (ii) the right to make the Accepted Manuscript available for public release on any of the following twelve (12) months after first publication (the "Embargo Period"): their employer's internal website; their institutional and/or funder repositories. Accepted Manuscripts may be deposited in such repositories immediately upon acceptance, provided they are not made publicly available until after the Embargo Period. The rights granted to the Author with respect to the Accepted Manuscript are subject to the conditions that (i) the Accepted Manuscript is not enhanced or substantially reformatted by the Author or any third party, and (ii) the Author includes on the Accepted Manuscript an acknowledgement in the following form, together with a link to the published version on the publisher's website: "This version of the contribution has been accepted for publication, after peer review (when applicable) but is not the Version of Record and does not reflect post-acceptance improvements, or any corrections. The Version of Record is available online at: [http://dx.doi.org/\[insert DOI\]](http://dx.doi.org/[insert DOI]). Use of this Accepted Version is subject to the publisher's Accepted Manuscript terms of use <https://www.springernature.com/gp/open-research/policies/accepted-manuscript-terms>". Under no circumstances may an Accepted Manuscript be shared or distributed under a Creative Commons or other form of open access licence. Any use of the Accepted Manuscript not expressly permitted under this subclause (c) is

subject to the Licensee's prior consent.

- d) The Licensee grants to Author the following non-exclusive rights to the Version of Record, provided that, when reproducing the Version of Record or extracts from it, the Author acknowledges and references first publication in the Volume according to current citation standards. As a minimum, the acknowledgement must state: "First published in [Volume, page number, year] by Springer Nature".
- i. to reuse graphic elements created by the Author and contained in the Contribution, in presentations and other works created by them;
 - ii. the Author and any academic institution where they work at the time may reproduce the Contribution for the purpose of course teaching (but not for inclusion in course pack material for onward sale by libraries and institutions);
 - iii. to reuse the Version of Record or any part in a thesis written by the same Author, and to make a copy of that thesis available in a repository of the Author(s)' awarding academic institution, or other repository required by the awarding academic institution. An acknowledgement should be included in the citation: "Reproduced with permission from Springer Nature";
 - iv. to reproduce, or to allow a third party to reproduce the Contribution, in whole or in part, in any other type of work (other than thesis) written by the Author for distribution by a publisher after an embargo period of 12 months; and
 - v. to publish an expanded version of their Contribution provided the expanded version (i) includes at least 30% new material (ii) includes an express statement specifying the incremental change in the expanded version (e.g., new results, better description of materials, etc.).

4 Warranties & Representations

Author warrants and represents that:

- a)
- i. the Author is the sole copyright owner or has been authorised by any additional copyright owner(s) to grant the rights defined in clause 1,
 - ii. the Contribution does not infringe any intellectual property rights (including without limitation copyright, database rights or trade mark rights) or other third party rights and no licence from or payments to a third party are required to publish the Contribution,
 - iii. the Contribution has not been previously published or licensed, nor has the Author committed to licensing any version of the Contribution under a licence inconsistent with the terms of this Agreement,
 - iv. if the Contribution contains materials from other sources (e.g. illustrations, tables, text quotations), Author has obtained written permissions to the extent necessary from the copyright holder(s), to license to the Licensee the same rights as set out in clause 1 but on a non-exclusive basis and without the right to use any graphic

elements on a stand-alone basis and has cited any such materials correctly;

- b) all of the facts contained in the Contribution are according to the current body of research true and accurate;
- c) nothing in the Contribution is obscene, defamatory, violates any right of privacy or publicity, infringes any other human, personal or other rights of any person or entity or is otherwise unlawful and that informed consent to publish has been obtained for any research participants;
- d) nothing in the Contribution infringes any duty of confidentiality owed to any third party or violates any contract, express or implied, of the Author;
- e) all institutional, governmental, and/or other approvals which may be required in connection with the research reflected in the Contribution have been obtained and continue in effect;
- f) all statements and declarations made by the Author in connection with the Contribution are true and correct;
- g) the signatory who has signed this Agreement has full right, power and authority to enter into this Agreement on behalf of all of the Authors; and
- h) the Author complies in full with: i. all instructions and policies in the Instructions for Authors, ii. the Licensee's ethics rules (available at <https://www.springernature.com/gp/authors/book-authors-code-of-conduct>), as may be updated by the Licensee at any time in its sole discretion.

5 Cooperation

- a) The Author will cooperate fully with the Licensee in relation to any legal action that might arise from the publication of the Contribution, and the Author will give the Licensee access at reasonable times to any relevant accounts, documents and records within the power or control of the Author. The Author agrees that any Licensee affiliate through which the Licensee exercises any rights or performs any obligations under this Agreement is intended to have the benefit of and will have the right to enforce the terms of this Agreement.
- b) Author authorises the Licensee to take such steps as it considers necessary at its own expense in the Author's name(s) and on their behalf if the Licensee believes that a third party is infringing or is likely to infringe copyright in the Contribution including but not limited to initiating legal proceedings.

6 Author List

Changes of authorship, including, but not limited to, changes in the corresponding author or the sequence of authors, are not permitted after acceptance of a manuscript.

7 Post Publication Actions

The Author agrees that the Licensee may remove or retract the Contribution or publish a correction or other notice in relation to the Contribution if the Licensee determines that such

actions are appropriate from an editorial, research integrity, or legal perspective.

8 Controlling Terms

The terms of this Agreement will supersede any other terms that the Author or any third party may assert apply to any version of the Contribution.

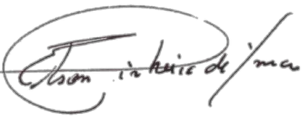
9 Governing Law

This Agreement shall be governed by, and shall be construed in accordance with, the laws of Switzerland. The courts of Zug, Switzerland shall have the exclusive jurisdiction.

Signed for and on behalf of the Author

Print Name:

Date:



Edson Pinheiro de Lima

08/06/2024

Address:

Avenida Sete de Setembro 3165, Curitiba, Brazil

Email:

pinheiro@utfpr.edu.br

Springer Nature Switzerland AG, Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland
ER_Book_ProceedingsPaper_LTP_ST_v.1.0 (10_2021)



Francisco Beltrão, 17 de Outubro de 2024

Atestado de Melhoria nos Processos ou Produto

Atestamos para os devidos fins que o projeto de pesquisa coordenado pelo aluno Marcelo Miguel Tibes Peluso e pelos especialistas da equipe Kaizen, produziu melhorias nas operações industriais, com a implantação da metodologia do Lean Manufacturing, construção do mapeamento do fluxo de valor nos setores e organização 5S com uma melhor gestão visual. As melhorias estão impactando na identificação dos desperdícios nas operações, diminuição do lead time, aumento da produtividade e padronização dos procedimentos. As práticas são de acordo com os pilares do desenvolvimento Sustentável ESG (ambiental, social e Governança) e correspondem aumento de produtividade de 20%.

O projeto desenvolvido contribui para os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável:


- 1. Erradicação da pobreza
- 2. Erradicação da fome
- 3. Saúde e Bem-Estar
- 4. Educação de qualidade
- 5. Igualdade de gênero
- 6. Água Potável e Saneamento
- 7. Energia acessível e limpa
- 8. Trabalho decente e crescimento econômico
- 9. Inovação e infraestrutura
- 10. Redução das desigualdades
- 11. Cidades e comunidades sustentáveis
- 12. Consumo e produção responsáveis
- 13. Ação contra a Mudança Global do Clima
- 14. Vida na Água
- 15. Vida Terrestre
- 16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes
- 17. Parcerias e Meios de Implementação

A inovação desenvolvida pode ser classificada como no nível de maturidade tecnológica (Technology Readiness Level - TRL):

- TRL 1 – Princípios básicos observados e reportados (pesquisa básica)
- TRL 2 – Formulação de conceitos tecnológicos e/ou de aplicação

- TRL 3 – Estabelecimento de função crítica de forma analítica ou experimental e/ou prova de conceito
- TRL 4 – Validação funcional dos componentes em ambiente de laboratório
- TRL 5 – Validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante
- TRL 6 – Demonstração de funções críticas do protótipo em ambiente relevante
- TRL 7 – Demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional
- TRL 8 – Sistema qualificado e finalizado
- TRL 9 – Sistema operando e comprovado em todos os aspectos de sua missão operacional

Por ser verdade, assino o presente atestado.

Documento assinado digitalmente
 MARCO ANTONIO PIRES FLESSAK
Data: 25/10/2024 17:50:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marco Antônio Flessak
Responsável Técnico
Flessak Eletro Industrial
CNPJ 77804.599/0001-40