

UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE – UNIPLAC

UNIVERSIDADE DO CONTESTADO – UNC

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS PRODUTIVOS - PPGSP

JÚLIO CÉSAR COTA ALVES

**GESTÃO DA EFETIVIDADE DE FABRICAÇÃO EM UM SISTEMA DE MANUFATURA: PUXADA,
POR TAREFA E EM PROCESSO DESCONTÍNUO**

LAGES/SC

2023

JÚLIO CÉSAR COTA ALVES

**GESTÃO DA EFETIVIDADE DE FABRICAÇÃO EM UM SISTEMA DE MANUFATURA: PUXADA,
POR TAREFA E EM PROCESSO DESCONTÍNUO**

Dissertação de Mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre(a) em Sistemas Produtivos.

Orientador: Prof Dr Leopoldo Pedro
Guimarães Filho

Coorientadora: Profa Dra Mariane Bonatti
Chaves

LAGES/SC

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha Catalográfica

A474g

Alves, Júlio César Cota

Gestão da afetividade de fabricação em um sistema de manufatura : puxada, por tarefa e em processo descontínuo / Júlio César Cota Alves ; orientador Prof. Dr. Leopoldo Pedro Guimarães Filho ; coorientadora Prof. Dra. Mariane Bonatti Chaves. – 2023.

118f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense ; Universidade do Contestado ; Universidade do Extremo Sul Catarinense ; Universidade da Região de Joinville. Lages, SC, 2023.

1. Planejamento estratégico. 2. Sistema de gestão da qualidade. 3. Controle de produção. I. Filho, Leopoldo Pedro Guimarães (orientador). II. Chaves, Mariane Bonatti (coorientadora). III. Universidade do Planalto Catarinense. IV. Universidade do Contestado. V. Universidade do Extremo Sul Catarinense VI. Universidade da Região de Joinville. VII. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos. VIII. Título.

CDD 658.5

FOLHA DE APROVAÇÃO
JÚLIO CÉSAR COTA ALVES

**GESTÃO DA EFETIVIDADE DE FABRICAÇÃO EM UM SISTEMA DE MANUFATURA: PUXADA,
POR TAREFA E EM PROCESSO DESCONTÍNUO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP, Linha de Pesquisa 1 (Gestão e Conhecimento em Sistemas Produtivos), em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, a Universidade do Contestado – UNC, a Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e a Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Sistemas Produtivos**.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 LEOPOLDO PEDRO GUIMARAES FILHO
Data: 26/03/2024 14:45:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leopoldo Pedro Guimarães Filho - UNESC
Presidente da Banca / Orientador

Mariane Bonatti Chaves

Profa. Dra. Mariane Bonatti Chaves - UNIVILLE
Coorientadora

Prof. Dr. Dimas Ailton Rocha - UNIBAVE
Membro externo da banca



Documento assinado digitalmente

MARI AURORA FAVERO REIS

Data: 26/03/2024 19:55:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Mari Aurora Favero Reis - UNC

Membro interno da banca

Lages, SC, 22 de novembro de 2023

AGRADECIMENTOS

“Ao meu alicerce emocional e fonte inesgotável de amor, minha esposa Valéria e às minhas filhas Laura e Gabrielle, dedico um profundo agradecimento. Durante esses dois anos de imersão na pesquisa, nos finais de semana, noites e madrugadas dedicados a este trabalho, o apoio inabalável delas foi meu farol. Seu apoio incondicional não apenas tornou possível este feito acadêmico, mas emprestou significado e inspiração a cada palavra escrita. Agradeço por serem a luz constante no meu caminho.”

Agradecimentos institucionais:

- À Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, a Universidade do Contestado – UNC, a Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e a Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES;
- À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC;
- À Coordenação Geral e Regional do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP que, além de conduzir de forma magnífica o Programa, em muitas vezes auxiliou na busca por literaturas e contribuiu com sugestões relevantes para o desenvolvimento da pesquisa;
- Aos professores orientadores por sua dedicação, devoção e apoio incondicional durante os anos de pesquisa e desenvolvimento da dissertação. Especial agradecimento ao professor orientador, por dedicar seus momentos de descanso para contribuir com o andamento do projeto;
- Aos professores das bancas de Seminários e Qualificação que contribuíram significativamente para a empolgação e continuação na pesquisa;
- Aos Coordenadores, Supervisores e Analistas da Engenharia de Processos e da Produção da IMEPEL Indústria Mecânica Ltda por não poupar esforços na implantação do sistema MES e na condução da proposta sugerida pelo pesquisador;
- Ao Conselho Executivo e Administrativo da IMEPEL Indústria Mecânica Ltda por financiar, acreditar, apoiar e implementar o projeto de pesquisa em sua unidade industrial.

RESUMO

ALVES, Júlio César Cota. **GESTÃO DA EFETIVIDADE DE FABRICAÇÃO EM UM SISTEMA DE MANUFATURA: PUXADA, POR TAREFA E EM PROCESSO DESCONTÍNUO.** (2023), 122 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos). Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, da Universidade do Contestado – UNC, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Lages, 2023.

A incessante busca por eficiência e efetividade no cenário produtivo se configura como um desafio perene. Dentro desse contexto, a filosofia *Lean Manufacturing* se destaca como uma abordagem eficaz na eliminação de desperdícios, incremento da eficiência e promoção da melhoria contínua nos processos produtivos. Contudo, seu sucesso pode ser potencializado quando integrada de maneira interdisciplinar com ferramentas do Sistema de Gestão da Qualidade e *Manufacturing Execution System* (MES). Esta pesquisa teve como objetivo elaborar uma proposta de estudo da efetividade em um sistema de corte de uma indústria mecânica de manufatura puxada por tarefa em processo descontínuo. A metodologia adotada compreende um estudo de caso e pesquisa ação de natureza aplicada, ancorada em uma abordagem quantitativa. Foi efetuada a implementação completa do sistema MES no setor de corte de uma indústria metalomecânica para a coleta de dados referentes à efetividade de fabricação. Os resultados indicam que é possível aplicar sistematicamente passos para o estudo da efetividade de fabricação em cada área da indústria, utilizando as ferramentas apresentadas. Observou-se que o *setup* figura como o motivo de parada não planejada com maior representatividade no estudo. Não foi possível, por meio do tratamento estatístico dos dados, identificar se o tamanho do lote de fabricação interfere no tempo de *setup*, mas observou-se que as características dimensionais do produto não exercem influência isolada no tempo de *setup*. Além disso, houve aprimoramento nas condições de trabalho e no conhecimento técnico dos operadores e líderes, com a introdução de inovações no processo produtivo, alinhando-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. Este estudo abre novas possibilidades para os projetos do Planejamento Estratégico da organização.

Palavras-chave: MES; Gestão de Processos; Sistema de Gestão da Qualidade; Gestão da Produção; Lean Manufacturing

ABSTRACT

ALVES, Júlio César Cota. **Management of Manufacturing Effectiveness in a: Pull-Based, Task-Oriented and Discontinuous Process System.** (2023), 122 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos). Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, da Universidade do Contestado – UNC, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Lages, 2023.

The relentless pursuit of efficiency and effectiveness in the production realm remains an ongoing challenge. In this context, Lean Manufacturing philosophy stands out as an effective approach in waste elimination, enhancing efficiency, and continuously improving production processes. However, its success can be further enhanced through the interdisciplinary integration of tools from the Quality Management System and Manufacturing Execution System (MES). This research aims to formulate a study proposal to augment manufacturing effectiveness in a task-driven, discontinuous manufacturing process. The methodology employed encompassed a case study and applied research with a quantitative approach. The MES system was fully implemented in the cutting sector of a metal-mechanical industry to gather manufacturing effectiveness data. Results indicate the systematic applicability of steps for studying manufacturing effectiveness in each area of the industry using the presented tools. It was identified that *setup* is the predominant reason for unplanned stops in the study. However, statistical analysis couldn't conclusively determine whether batch size influences *setup* time. It was observed that the dimensional characteristics of the product alone do not exert influence on *setup* time. The research contributed to improving working conditions and technical knowledge of operators and leaders by introducing innovations in the production process, aligning with the UN Sustainable Development Goals. Furthermore, it paved the way for new projects in the company's Strategic Planning.

Keywords: MES; Process Management; Quality Management System; Production Management; Lean Manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Taxa de Desocupação – Grandes Regiões, 1º trimestre 2017 a 4º trimestre 2022.....	3
Figura 2 Taxa de Desocupação – Santa Catarina, 1º trimestre 2017 a 4º trimestre 2022.....	3
Figura 3 Evolução do consumo aparente de produtos siderúrgicos em mil toneladas.....	6
Figura 4 Interdisciplinaridade: Gestão de Processos - Gestão de Produção - Gestão da Informação.....	9
Figura 5 Estrutura geral da dissertação.....	11
Figura 6 Linha cronológica dos sistemas produtivos de manufatura.....	15
Figura 7 Tipos de processo em operações de manufatura.....	20
Figura 8 Produção contínua e descontínua - diferenças conceituais.....	22
Figura 9 Produção empurrada versus puxada - analogia da gravidade.....	23
Figura 10 Variações do OEE conforme abrangência do sistema produtivo.....	24
Figura 11 Classificação das perdas de produção e principais índices de monitoramento.....	26
Figura 12 Demonstração de coleta manual de dados para cálculo de OEE – registro manual.....	30
Figura 13 Demonstração de coleta manual de dados para cálculo de OEE – classificação dos tipos de perda.....	31
Figura 14 Demonstração de coleta manual de dados para cálculo de OEE – cálculo manual OEE.....	31
Figura 15 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	40
Figura 16 Diagrama de Venn de relação dos ODS.....	41
Figura 17 Estrutura do referencial teórico.....	43
Figura 18 Classificação da Pesquisa.....	45
Figura 19 Método interdisciplinar proposto para a alcançar os objetivos da pesquisa.....	46
Figura 20 Planta baixa da empresa alvo com demarcação dos limites da pesquisa.....	48
Figura 21 Dados de entrada, transformação e saída de processo.....	50
Figura 22 Exemplo de coleta de dados de parada por duração.....	51
Figura 23 Exemplo de coleta de dados de transformação.....	52
Figura 24 Dados de entrada, transformação e saída de processo.....	53
Figura 25 Exemplo de diagrama de Espinha de Peixe.....	55
Figura 26 Exemplo de Mapas de Fluxo de Valor Atual e Futuro.....	57
Figura 27 Exemplo de Katá utilizado na pesquisa.....	58
Figura 28 Exemplo de plano de ação e gráfico de Gantt.....	58

Figura 29 Classificação por intervalos de diâmetro de tubo.....	63
Figura 30 Classificação por intervalos de comprimento de tubo.....	63
Figura 31 Classificação por intervalos de espessuras de tubo.....	64
Figura 32 Motivos de parada não-programada de produção no setor Corte.....	65
Figura 33 Histórico do OEE durante a pesquisa no setor Corte.....	67
Figura 34 Uso de ferramentas integradas para redução de parada não planejada.....	67
Figura 35 Diagrama de Pareto para o ‘tempo ativo’.....	70
Figura 36 Distribuição normal em função dos resíduos para o ‘tempo ativo’.....	70
Figura 37 Gráfico de tendências (aleatoriedade) para ‘tempo ativo’.....	71
Figura 38 Superfície de resposta para o ‘tempo ativo’ em função do ‘centro de trabalho’ e do número de ‘peças cortadas’.....	72
Figura 39 Diagrama de Pareto para as ‘paradas totais’.....	73
Figura 40 Distribuição normal em função dos resíduos para as ‘paradas totais’.....	74
Figura 41 Diagrama de Pareto para as ‘paradas totais’ após transformação lambda.....	75
Figura 42 Distribuição normal em função dos resíduos para as ‘paradas totais’ após transformação lambda.....	76
Figura 43 Gráfico de tendências (aleatoriedade) para ‘paradas totais’.....	76
Figura 44 Superfície de resposta para as ‘paradas totais’.....	77
Figura 45 Diagrama de Pareto para o ‘tempo de setup’.....	78
Figura 46 Distribuição normal em função dos resíduos para o ‘tempo de setup’.....	79
Figura 47 Gráfico de tendências (aleatoriedade) para ‘tempo de setup’.....	80
Figura 48 Superfície de resposta para o ‘tempo de setup’.....	80
Figura 49 Atendimento ao ODS 8.....	82
Figura 50 Atendimento ao ODS 9.....	84
Figura 51 Projeções de redução de poluentes, economia de água e preservação de árvores.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Distribuição nacional dos Programas de Pós-graduação na Área Interdisciplinar versus outras áreas.....	8
Tabela 2 Principais tipos de perda no processo.....	24
Tabela 3 Principais índices de rendimento de produção.....	25
Tabela 4 Benefícios e limitações do OEE.....	27
Tabela 5 Principais funções do MES segundo a MESA International.....	32
Tabela 6 Sete desperdícios do Lean Manufacturing.....	35
Tabela 7 Princípios da Gestão da Qualidade.....	36
Tabela 8 Motivos de parada.....	53
Tabela 9 Exemplo de análise 5W2H dos motivos de parada “Abastecer máquina” e “Desabastecer máquina”.....	56
Tabela 10 Intervalos de dimensões dos dados de entrada.....	62
Tabela 11 Intervalos de dimensões dos dados de entrada com maior predominância.....	64
Tabela 12 Tamanho de lote de produção versus volume produzido.....	65
Tabela 13 Tamanho de lote de produção versus paradas de produção.....	66
Tabela 14 Tabela do planejamento experimental não paramétrico.....	68
Tabela 15 Análise de variância para 'tempo ativo'.....	69
Tabela 16 Análise de variância para "paradas totais".....	73
Tabela 17 Análise de variância para as ‘paradas totais’ após transformação por Box-Cox.....	74
Tabela 18 Análise de variância para o ‘tempo de setup’.....	78
Tabela 19 Tempos de treinamento por pessoa.....	85
Tabela 20 Impressão e proteção de ordens de produção ao longo de 12 meses.....	85
Tabela 21 Proposta de estudo da efetividade de produção.....	88

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 Efetividade de um posto de trabalho.....	27
Equação 2 Índice de disponibilidade.....	28
Equação 3 Índice de desempenho ou performance.....	28
Equação 4 Índice de qualidade.....	29
Equação 5 modelo de regressão linear para o ‘tempo ativo’	72
Equação 6 Modelo de regressão linear para as ‘paradas totais’	77
Equação 7 Modelo de regressão linear para o ‘tempo de <i>setup</i>	81

LISTA DE ABREVIações

3BL	<i>Triple Botton Line</i> – Tripé da Sustentabilidade
APA	<i>American Psychological Association</i>
APICS	<i>American Production and Inventory Control Society</i> – Sociedade Americana de Produção e Controle de Estoque
APO	Administração de Produção e Operações
BDTD	Biblioteca Digital de Teses e Dissertações do Ministério da Ciência e Tecnologia
BPM	Business Process Management – Gestão de Processo de Negócios
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CN	Controle Numérico
CNC	Controle Numérico por Computador
CQI	<i>Continuous Quality Improvement</i> – Melhoria Contínua da Qualidade
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Planejamento de recursos empresariais
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHM	Interface Homem-Máquina
IoT	<i>Internet of Things</i> – <i>Internet</i> das coisas
IROG	Índice de Rendimento Operacional Global
MEC	Ministério da Educação
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> – Sistema de Execução de Produção
MESA	<i>Manufacturing Enterprise Solutions Association</i> – Associação de soluções corporativas de manufatura
MFV	Mapa de Fluxo de Valor
MRP II	<i>Manufacturing Resource Planning 2</i> – Planejamento de recursos de produção 2
MRP	<i>Manufacturing Resource Planning</i> – Planejamento de recursos de produção
MTBF	<i>Mean time Between Failures</i> – Tempo médio entre falhas
MTO	<i>Make To Order</i> – produção sob encomenda, produção puxada
MTS	<i>Make To Stock</i> – produção para estoque, produção empurrada
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> – Tempo médio para reparação
OAE	<i>Overall Asset Effectiveness</i> – Efetividade Global dos Ativos
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU

OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> – Eficiência Global de Equipamento
OFE	<i>Overall Factory Effectiveness</i> – Efetividade Global da Fábrica
ONU	Organização das Nações Unidas
OPE	<i>Overall Plant Effectiveness</i> – Efetividade Global da Planta
OT	Ordem de trabalho
OTE	<i>Overall Throughput Effectiveness</i> – Efetividade Global da taxa de transferência
P+L	Produção mais limpa
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i> – ciclo de melhoria contínua (planejar, executar, verificar e agir)
PEE	<i>Production Equipment Effectiveness</i> – Efetividade do equipamento de produção
PEE-cont	<i>Continuous Production Equipment Effectiveness</i> – Efetividade do equipamento de produção contínua
PEE-disc	<i>Discrete Production Equipment Effectiveness</i> – Efetividade do equipamento de produção discreta
PNADC	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PPG	Programa de pós-graduação
PPGSP	Programa de pós-graduação em Sistemas Produtivos
SESMT	Serviço Especializado de Medicina e Segurança do Trabalho
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i> – Unidade Individual de Estoque
TEEP	<i>Total Effective Equipment Productivity</i> – Produtividade efetiva total dos equipamentos
TOEE	<i>Total Overall Equipment Effectiveness</i> – Efetividade global total do equipamento
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> – Manutenção produtiva total
TQM	<i>Total Quality Management</i> – <i>Gestão da Qualidade Total</i>
TQO	<i>Total Quality Control</i> – Controle de Qualidade Total
UNC	Universidade do Contestado
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
UNIPLAC	Universidade do Planalto Catarinense
UNIVILLE	Universidade da Região de Joinville



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo geral.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 JUSTIFICATIVA.....	5
1.3.1 Inserção social esperada.....	7
1.4 CARACTERIZAÇÃO INTERDISCIPLINAR E ADERÊNCIA AO PROGRAMA.....	7
1.5 ESTRUTURA GERAL DO DOCUMENTO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 HISTÓRICO.....	12
2.2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES.....	14
2.2.1 Sistemas Produtivos.....	15
2.2.2 Gestão de Produção.....	19
2.2.3 Gestão da Informação.....	33
2.2.4 Gestão por processos.....	34
2.2.5 Gestão da Qualidade.....	36
2.2.6 Sustentabilidade.....	38
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	43
3.1 ABORDAGEM, OBJETIVOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	44
3.1.1 Treinamentos de líderes, operadores e engenharistas.....	48
3.1.2 Coleta de dados.....	49
3.1.3 Planificação e estudo dos indicadores de entrada, transformação e saída.....	52
3.1.4 Uso de 5W2H e Espinha de Peixe.....	54
3.1.5 Desenho do MFV atual e futuro.....	56
3.1.6 Desenvolvimento de katá e kaizen.....	57
3.1.7 Criação e implementação de planos de ação e gráficos de Gantt.....	58
3.1.8 Classificação dimensional, tabulação e equacionamento versus tempo de ciclo.....	59
3.1.9 Realização de informativo e validação do método.....	59
3.1.10 Atendimento aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	59

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1 ACHADOS CIENTÍFICOS.....	62
4.1.1 Interpretação dos dados coletados.....	62
4.1.2 Tratamento estatístico dos dados.....	68
4.1.3 Atendimento aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	81
4.1.4 Proposta de estudo da efetividade de produção.....	88
4.2 APLICABILIDADE DO ESTUDO.....	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICES.....	100

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas de manufatura, a busca por eficiência e efetividade é um desafio constante. No contexto de um sistema de manufatura puxada, por tarefa, em processo descontínuo, a gestão da efetividade se torna ainda mais complexa devido à natureza intermitente e à dependência de múltiplos fatores de produção. Nesse cenário, é fundamental desenvolver uma metodologia eficaz que permita medir, monitorar e aprimorar a efetividade do sistema, visando garantir a maximização dos resultados e a otimização dos recursos disponíveis (Slack et al., 2002). A busca por excelência na gestão da produção tem sido uma prioridade para empresas de manufatura em todo o mundo. Nesse contexto, o conceito de *Lean Manufacturing* tem se destacado como uma abordagem eficaz para a eliminação de desperdícios, aumento da eficiência e melhoria contínua dos processos produtivos. Para implementar com sucesso os princípios do *Lean*, é essencial contar com ferramentas e sistemas adequados, como o *Manufacturing Execution System* (MES) e os Sistemas da Qualidade (Berti, 2010; Joaquim & Caurin, 2006).

O presente estudo investigou e propôs uma estratégia de implementação de um sistema integrado de gestão *lean* na manufatura, utilizando o MES em conjunto com os Sistemas da Qualidade. A integração dessas ferramentas permite uma gestão mais eficaz e abrangente dos processos produtivos, promovendo a redução de desperdícios, o aumento da eficiência e a garantia da qualidade dos produtos finais (Perico et al., 2019).

Inicialmente, será realizada uma revisão da literatura sobre os princípios e fundamentos do *Lean Manufacturing*, bem como sobre os benefícios e desafios associados à sua implementação. Serão explorados os principais conceitos, como fluxo contínuo, produção puxada, padronização e melhoria contínua, com o objetivo de estabelecer uma base teórica sólida para o desenvolvimento da estratégia proposta.

Em seguida, será abordada a importância do *Manufacturing Execution System* como uma ferramenta fundamental para a coleta, monitoramento e análise de dados em tempo real, permitindo uma visão holística dos processos produtivos. Serão destacadas as funcionalidades do MES, como o rastreamento de produção, o controle de qualidade e o gerenciamento de recursos, que são essenciais para a implementação eficaz do *Lean Manufacturing*.

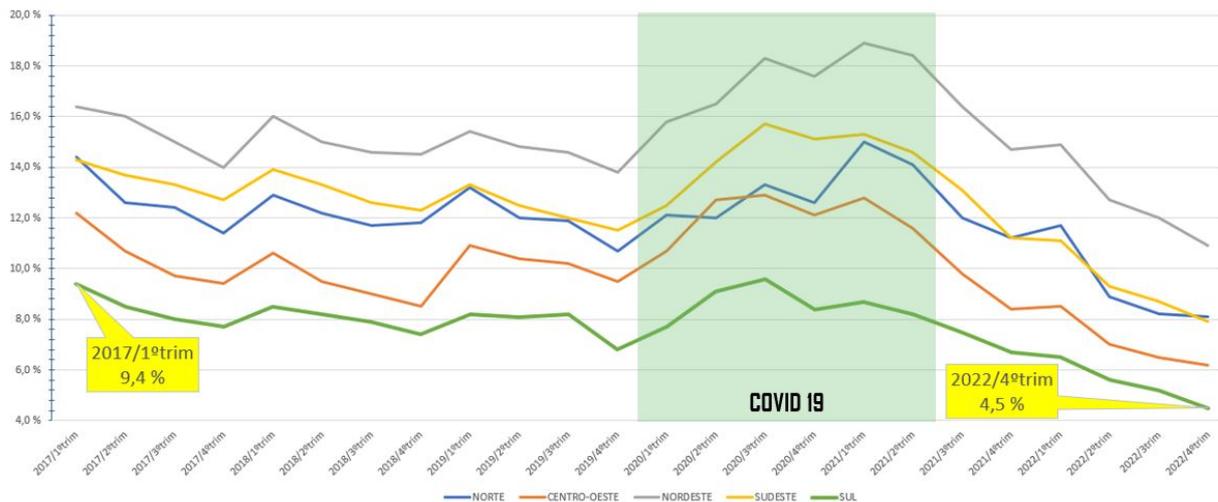
Baseado no referencial teórico, será proposta uma metodologia composta por etapas sequenciais e inter-relacionadas, que abordarão desde a definição de indicadores de efetividade até a implementação de ações corretivas e preventivas para a melhoria contínua do sistema. A metodologia considerará a integração de tecnologias de automação e sistemas de informação, a fim de potencializar a eficácia da gestão da efetividade.

Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam significativamente para o avanço do conhecimento na área de sistemas de manufatura puxada por tarefa em processo descontínuo, fornecendo uma abordagem prática e robusta para a gestão da efetividade. Além disso, a aplicação dessa metodologia poderá gerar impactos positivos em empresas do setor manufatureiro, promovendo a otimização dos recursos, a redução de custos e o aumento da satisfação dos clientes.

1.1 PROBLEMA

O debate em torno da escassez de mão de obra ganhou relevância devido à dificuldade enfrentada pelas empresas de manufatura em preencher suas vagas de emprego com profissionais que atendam aos requisitos de qualidade, custo e velocidade necessários. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, nos últimos cinco anos houve um aumento significativo no número de empregos em todas as Grandes Regiões (Figura 1), sendo que a região Sul se destaca como aquela com o menor índice de desocupação no país (IBGE, 2022).

Figura 1
Taxa de Desocupação – Grandes Regiões, 1º trimestre 2017 a 4º trimestre 2022



Fonte: IBGE (2022) dados atualizados em 01/03/2023

Segundo as análises de *Cavalcante (2022)* e *Sólides (2022)*, a região Sul do Brasil apresenta o menor índice de desocupação nos últimos cinco anos. Esta tendência é destacada na Figura 1, indicando um mercado aquecido que resulta em escassez de mão de obra e alta rotatividade na indústria, devido à abundância de oportunidades de empregos. Em 2017, o índice de desocupação no estado de Santa Catarina era de 7,9% de desocupados, enquanto no último trimestre de 2022 este número diminuiu para 3,2%, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2
Taxa de Desocupação – Santa Catarina, 1º trimestre 2017 a 4º trimestre 2022



Fonte: IBGE (2022) dados atualizados em 01/03/2023

É possível observar queda substancial na taxa de desocupação no Estado de Santa Catarina, refletindo a escassez de mão de obra na região. De acordo com a PNADC do IBGE (2022) este é o Estado brasileiro com a menor taxa de desocupação com redução de 302 mil desocupados em 2017 para 133 mil no último trimestre de 2022.

Com a crescente demanda de aço observada nas indústrias siderúrgicas nacionais reportada pelo Instituto Aço Brasil (2022), analistas estimam aumento de fabricação nas indústrias mecânicas do país. Analistas internacionais entendem que o conflito na Europa aliado ao inverno do final de 2022 e o retorno de casos da pandemia do Covid 19 obrigarão a China, maior produtor mundial, a abrir espaço para outros mineradores, como a brasileira Vale, que está entre os maiores produtores mundiais que juntos aumentarão sua produção em 50 milhões de toneladas de minério de ferro (Infomoney, 2022 ; Moneytimes, 2022).

Diante de tal contexto as indústrias de manufatura não têm outra opção senão melhorar seus processos, buscando aumentar a efetividade industrial e reduzir os tempos de processamento, desde a matéria prima até o produto acabado. No entanto, isso pode ser um grande desafio em sistemas de produção puxada, nos quais a fabricação é orientada por tarefas e possui uma natureza descontínua. Diante desse desafio, surge a pergunta de pesquisa: **como aumentar a efetividade de fabricação em sistema de manufatura puxada, por tarefa, em processo descontínuo?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar uma proposta de estudo da efetividade em um sistema de corte de uma indústria mecânica de manufatura puxada por tarefa em processo descontínuo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar dados e informações de entrada, transformação e saída do processo;
- Implementar ferramentas integradas de gestão de produção, qualidade e processos;
- Analisar a produtividade no processo de corte por meio de técnicas de planejamento experimental estatístico, a correlação entre tamanho de lote e número de paradas.

1.3 JUSTIFICATIVA

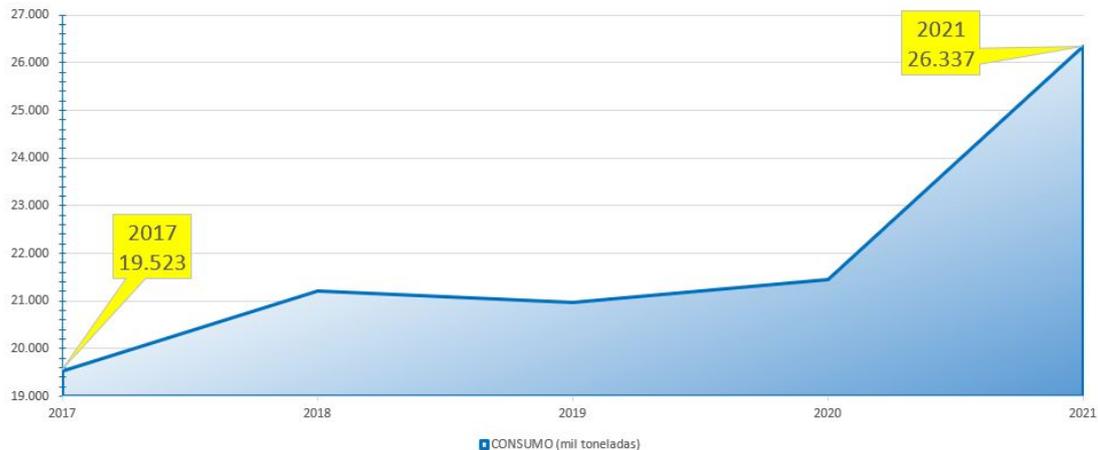
Nos últimos tempos, temos visto um aumento nas vendas e, conseqüentemente, na produção do setor metalomecânico nacional. Isso tem gerado uma demanda por profissionais em várias áreas, incluindo operações industriais (Castro, 2022; Nascimento, 2022; Scaliotti, 2022; Mawakdiye, 2022). Com um mercado aquecido, a região Sul do Brasil se destaca como a região do país com o menor índice de desocupação nos últimos cinco anos, o que tem causado escassez de mão de obra e alta rotatividade na indústria (Cavalcante, 2022; Sólides, 2022).

Segundo a PNADC do IBGE (2022), o Estado de Santa Catarina apresentou uma redução de 302 mil desocupados no primeiro trimestre de 2017 para 133 mil no terceiro trimestre de 2022, o que corresponde a uma queda na taxa de desocupação de 7,9% para 3,2%. Esses dados indicam que a situação do Estado em relação ao desemprego é ainda melhor do que antes da pandemia de 2019.

No cenário comercial, há expectativa de aumento nas vendas para o ano de 2023, como observado em Infomoney (2022) e em Moneytimes (2022) e isso é corroborado pelo relatório do Instituto Aço Brasil (2022) que mostra um aumento no consumo de aço entre 2017 e 2021, superando o período da pandemia. O mercado espera que os principais produtores de aço do mundo, incluindo a brasileira Vale, aumentem sua produção em 50 milhões de toneladas, devido a conflitos e inverno na Europa.

A Figura 3 apresenta a evolução do consumo de produtos siderúrgicos nos últimos cinco anos, em milhares de toneladas.

Figura 3
Evolução do consumo aparente de produtos siderúrgicos em mil toneladas



Fonte: (Instituto Aço Brasil, 2022)

Observa-se um aumento significativo de 35% no consumo de produtos siderúrgicos, especialmente após a pandemia de coronavírus em 2019. Diante desse cenário, a necessidade de aumentar a mão de obra nas indústrias para impulsionar a produtividade emerge como um novo desafio a ser investigado.

No contexto do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), Logiúdice et al. (2021) constataram que a maioria dos estudos sobre melhorias na cadeia de produção possui pouca abordagem na identificação de problemas, uma vez que o foco principal do SGQ é o produto final. Eles observaram que, embora os aspectos tangíveis das operações internas da organização sejam facilmente visualizados e tratados com ações corretivas, as características intangíveis da qualidade nos elos produtivos da cadeia de valor não recebem a devida atenção nesse tipo de gestão.

Como hipótese, a aplicação da filosofia de produção enxuta, conhecida como *Lean Manufacturing*, combinada com a coleta de indicadores de desempenho dos postos de trabalho, pode ser uma alternativa para melhorar a eficiência dos equipamentos e aumentar a produtividade, sem a necessidade de contratar mais mão de obra, que está se tornando cada vez mais escassa na região.

Segundo Matsubara & Mello (2014), o uso de um sistema de execução de produção chamado *Manufacturing Execution System* (MES) resulta em redução de custos e melhoria da eficiência global dos equipamentos de produção, medido pelo *Overall Equipment*

Effectiveness (OEE). Cottyn *et al.* (2011) propuseram um método para analisar o alinhamento entre a filosofia Lean e o MES, enquanto Berić *et al.* (2018) observaram que o MES por si só não garante a eficiência de produção se não for aplicado com outras ferramentas ou filosofias de gestão.

1.3.1 Inserção social esperada

A Gestão do Conhecimento e a Gestão da Informação são áreas intrinsecamente ligadas de acordo com Edwards (2022). Este estudo apresenta o uso da informação e dos dados coletados durante o projeto para alcançar o controle e aumento da efetividade de fabricação de itens industrializados.

A pesquisa está voltada no uso padronizado e integrado de ferramentas de gestão para a obtenção e aplicação de informações coletadas diretamente no ambiente fabril, eliminando a necessidade de intermediários humanos. Esse enfoque pode trazer grande valor para qualquer indústria de manufatura.

Esta pesquisa representa uma oportunidade para avaliar as condições de trabalho dos profissionais de produção, alinhada com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 8 da ONU (Trabalho decente e crescimento econômico). Ao estimular a aprendizagem e a inovação no ambiente fabril, busca-se contribuir para o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), assegurando padrões de produção e consumo sustentáveis, de acordo com o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e o controle de recursos naturais (ONU, 2022).

1.4 CARACTERIZAÇÃO INTERDISCIPLINAR E ADERÊNCIA AO PROGRAMA

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) publicou a tabela de áreas do conhecimento, organizada em quatro níveis, sendo: Grande área; Área de avaliação; Subárea; e Especialidade (CAPES, 2020b).

O Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos (PPGSP), foi aprovado em 2020 na 198ª reunião do Conselho Técnico-Científico da Educação Superior (CTC-ES) da CAPES (UNIPLAC, 2021). O programa é resultado da associação entre quatro universidades comunitárias sendo elas a UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE e está inserido na área de avaliação interdisciplinar, especialidade Engenharia/Tecnologia/Gestão (CAPES, 2020a).

A CAPES definiu interdisciplinaridade como a convergência entre áreas do conhecimento não pertencentes à mesma classe, de forma que haja contribuição para os avanços da ciência e tecnologia, com mútua transferência de métodos e geração de novos conhecimentos (Ministério da Educação, 2019).

Raynaut (2014) estudou o modelo das escolas e universidades comparando com o tema da interdisciplinaridade e concluiu que estão em outro caminho, sem favorecer a flexibilidade e intercâmbio entre as áreas de conhecimento.

A Tabela 1 apresenta a distribuição nacional dos programas de pós-graduação na área Interdisciplinar, onde se identificam 8,0% de programas interdisciplinares de pós-graduação no Brasil.

Tabela 1
Distribuição nacional dos Programas de Pós-graduação na Área Interdisciplinar versus outras áreas

Região	Número Programas Interdisciplinares	Número total de Programas	Percentual de Programas interdisciplinares
Norte	29	305	9,5%
Nordeste	73	765	9,5%
Centro-oeste	33	419	7,9%
Sudeste	147	1.996	7,4%
Sul	78	1.002	7,8%
Total	360	4.487	8,0%

Nota: O número de programas da Área interdisciplinar é referente ao ano 2019, enquanto o número total de programas é de 2021. Fonte: (Ministério da Educação, 2019; Plataforma Curupira, 2021)

O Ministério da Educação (2019), com base no alerta de Raynaut (2014), desenvolveu em 1999 a Área 45 – Interdisciplinar com espaço privilegiado na CAPES em relação ao sistema nacional de pós-graduação, estimulando e fortalecendo a formação interdisciplinar de mestres e doutores, com 368 programas em 2019, sendo mais de 40% com atingimento da nota máxima 7, nas quatro últimas avaliações.

As ferramentas de gestão da pesquisa que foram utilizadas na integração entre as equipes possuem, por si só, formações interdisciplinares. A interdisciplinaridade apresenta múltiplas faces e entendimentos promovendo a facilidade de práticas diferentes serem tratadas em consonância e harmonia.

Raynaut (2014) comparou o modelo de ensino das escolas e universidades se certificando de que estão totalmente na contramão do caminho proposto pelo tema, onde o pensamento no processo como um todo que favorece a flexibilidade e intercâmbio entre áreas de conhecimento deveria ser colocado em evidência.

Jeston & Nelis (2006) já anunciavam a interdisciplinaridade da Gestão de Processos uma vez que possui alinhamento com Gestão de Pessoas, Gestão de Finanças, Gestão da Informação e outras disciplinas tradicionais da gestão.

A Gestão da Informação e a Gestão do Conhecimento têm entre si uma ligação intrínseca (Edwards, 2022). As áreas da Gestão de Produção e Gestão de Processos estão, como mostra a Figura 4, associadas à Gestão da Informação na interdisciplinaridade desta pesquisa. Agrega-se a Gestão da Qualidade como outra área que apoia este estudo na contribuição com ferramentas de gestão.

Figura 4
Interdisciplinaridade: Gestão de Processos - Gestão de Produção - Gestão da Informação



Fonte: adaptado de (CAPES, 2022; Barbosa, 2008; Davenport & Cronin, 2000 e Sveiby, 1998)

Barbosa (2008), Davenport & Cronin (2000) e Sveiby (1998) concordam que a Gestão do Conhecimento tem ênfase em novas tecnologias e em pessoas, sendo distribuída em três conceitos bastante distantes Ciência da Informação, Engenharia de Processos e Teoria Organizacional. Tudo isso direcionou os autores a enquadrar a Gestão do Conhecimento em três disciplinas fundamentais: a Ciência Administrativa, a Tecnologia da Informação e a Ciência de Informação. Então, a Gestão do Conhecimento, bem como a Gestão da Informação, são intrinsecamente interdisciplinares.

Segundo a CAPES (2022), a Gestão da Produção possui vieses com Planejamento, Suprimentos, Higiene e Segurança do Trabalho, Custos, Economia, Gestão de Pessoas e da Qualidade. Desta forma, ao integrar a Gestão de Processos com Gestão da Qualidade e Gestão da Produção são integradas Áreas do Conhecimento como Ciência Administrativa, Tecnologia da Informação, Ciência da Informação e Biblioteconomia, Gestão de Pessoas, Gestão de Finanças, Gestão de Operações, Engenharias.

A Figura 4 apresenta a conexão interdisciplinar entre as áreas do conhecimento em Gestão de Processos, Gestão de Produção e na Gestão da Informação.

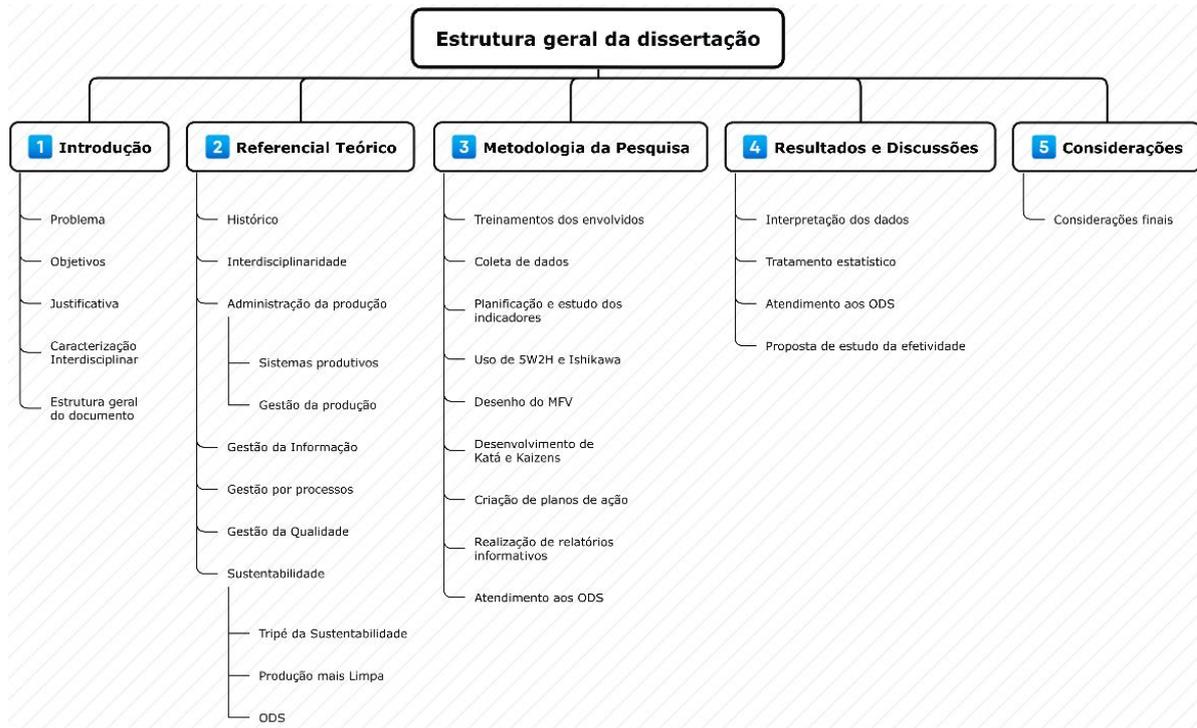
De modo geral Raynaut (2014) afirma que nenhum processo técnico pode estar restrito a apenas um ou outro domínio de competência, isto é, unir conhecimentos e experiências já é uma prática comum em decorrência da complexidade dos projetos técnicos, não acadêmicos. Nesse interim, a divisão em disciplinas e departamentos isolados acaba sendo uma prática exclusiva da academia, pois no mundo corporativo as empresas estariam fadadas à extinção.

A aderência deste estudo que busca inovação, sustentabilidade, gestão de produção, qualidade e processos, está definida pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos, de forma associativa entre as instituições UNIPLAC, UNC, UNESC, UNIVILLE na Linha de Pesquisa 1 – Gestão e Conhecimento em Sistemas Produtivos, cujo foco é investigar por meio de métodos científicos a atuação de forma interdisciplinar os temas Gestão do Conhecimento; Estratégia e Aprendizagem Organizacional; Inovação e Sustentabilidade; Inteligência Empresarial; Gestão de Processos e Produção (PPGSP, 2021).

1.5 ESTRUTURA GERAL DO DOCUMENTO

No intuito de facilitar a leitura desse documento foi elaborado o mapa com a estrutura utilizada para sua construção, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5
Estrutura geral da dissertação



Fonte: os autores

A dissertação se inicia com a introdução, destacando o problema de pesquisa, o objetivo geral e específicos, a justificativa, e a caracterização interdisciplinar do estudo. O referencial teórico abrange os temas tratados, desde um breve histórico da indústria mundial desde o século XVI, passando pelas revoluções industriais até os dias atuais. Além disso, explora tópicos como administração de produção, gestão da qualidade, gestão de processos, informação e sustentabilidade.

Na sequência, a metodologia detalha os passos adotados para realizar a pesquisa, desde o treinamento dos envolvidos, coleta e planejamento de dados até a aplicação de ferramentas de qualidade, processo e produção, culminando no atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Na fase dos resultados, apresentam-se as interpretações dos dados, incluindo seu tratamento estatístico e como se alinham aos ODS. Por fim, a proposta de estudo do objetivo geral da pesquisa é delineada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão bibliográfica foi conduzida através de uma análise abrangente e sistemática da literatura relacionada ao tema de pesquisa. Este processo visou obter uma compreensão aprofundada do assunto, proporcionando uma base teórica sólida para o estudo.

2.1 HISTÓRICO

As indústrias vieram desde o século XVI passando por lentas mudanças de conceitos de produção quando, no século XVII, a Revolução Industrial obrigou cada organização a rever seus processos a fim de buscar melhorias nos prazos de entrega, custos e produtividade. No século XVIII, o modo de fabricação orientado por melhorias em processos na busca da redução de desperdícios foi originado por uma sucessão de invenções que contribuíram para o limiar da Revolução Industrial que foi resultado de desafios e oportunidades criados pela economia global (Lima & Neto, 2017).

Mudanças tecnológicas foram fundamentais neste período entre 1760 e 1860 conhecido como a primeira revolução industrial: 1) o homem foi substituído pela máquina; 2) fontes de energia foram dominadas; 3) melhorias nos processos foram vistas como necessárias (Lima & Neto, 2017). Sakurai & Zuchi (2018) observam que naquela época a ciência já contribuía com importantes invenções tais como a descoberta do carvão como fonte de energia que gerou avanços, da máquina à vapor e da locomotiva. O êxodo do homem do campo para o trabalho na indústria foi um marco importante.

Segundo Coggiola (2015), durante esta fase da História a classe operária teve progresso ao custo de abuso de carga horária diária de até 16 horas de trabalho, sem descansos semanais e emprego escravocrata de crianças e jovens. Em 1835, na Inglaterra, a classe trabalhadora abaixo dos 18 anos de idade correspondia a 42%, das quais muitas sofriam degenerações irreversíveis devido a movimentos indevidos durante sua fase de crescimento. Crianças entre 9 e 13 anos de idade correspondiam a 13% da massa operacional da Inglaterra naquele ano.

Há diferença entre “revolução industrial” (em letras minúsculas) e “Revolução Industrial” (em letras maiúsculas). Quando se usam letras minúsculas, está sendo dada

referência ao uso de máquinas e tecnologias em substituição ao trabalho em série a partir da força humana. Para uma rápida e significativa mudança tecnológica em um determinado período ou setor usa-se o termo “revolução industrial”. No entanto, quando as primeiras letras das palavras são capitais, “Elas denotam a primeira instância histórica do avanço de uma economia agrária e artesanal para uma economia dominada pela indústria e manufatura de máquinas” (Landes, 1969).

A segunda revolução industrial, em 1870, caracterizada pelo capitalismo industrial surgiu a partir da invenção da eletricidade, transformação de ferro em aço, modernização dos meios de transporte e comunicação, avanços na indústria química. Foi neste período que, segundo a pesquisa de Sakurai & Zuchi (2018), surgiu o fordismo em 1914, termo que se referia aos sistemas de produção em massa, quando Henry Ford introduziu a primeira linha de montagem automatizada com uso de esteiras rolantes.

Na década de 1990 indústrias norte-americanas, então preocupadas com seu posicionamento internacional, principalmente ante as indústrias japonesas que vinham crescendo vertiginosamente, buscaram iniciativas para aprimorar a postura competitiva e capitalista das empresas do país. Uma área relativamente nova voltada ao desenvolvimento dessas melhorias foi o gerenciamento de processos que, em conjunto com os conceitos de gestão da qualidade total (TQM), controle de qualidade total (TQC), melhoria contínua da qualidade (CQI), tornou-se alvo de estudos em busca da melhoria de processos (Elzinga et al., 1995).

A terceira revolução industrial, chamada Indústria 3.0, não teve uma data específica de início, mas caracterizou-se pelas melhorias em relação à segunda revolução nas modernizações culturais, sociais e econômicas. No estudo de Boettcher (2015) o movimento foi marcado por avanços no campo da tecnologia de informação, telecomunicações, química fina, robótica. Suas características são aumento da consciência ambiental, globalização, popularização de produtos tecnológicos, utilização de outras formas de energia.

No levantamento bibliográfico feito por Sakurai & Zuchi (2018) o planeta está em sua quarta revolução industrial, porém ainda de forma muito sutil. Os pesquisadores alemães Kagermann & Wahlster (2011) criaram o termo “indústria 4.0” em 2011 na feira de Hannover em meio à crise financeira global com o objetivo de tornar a economia alemã mais resiliente e competitiva, fortalecendo a adaptabilidade e eficiência de recursos. Sakurai &

Zuchi (2018) explanam que o fundamento principal deste movimento industrial é baseado na criação de redes inteligentes por meio da conectividade entre máquinas, sistemas e ativos a fim de controlar de forma autônoma os sistemas produtivos. Os autores esclarecem que a ligação entre o mundo real e o virtual nasce como preceito para melhor geração de valor em sistemas de produção.

A indústria como um todo tem visões capitalistas, principalmente desde a segunda revolução industrial, como observado por Sakurai & Zuchi (2018). Sua busca por melhorias nos processos e a redução da dependência por pessoas foi observada por Coggiola (2015) em seu estudo nos territórios britânico e francês após episódios de greves, doenças e ideologias sindicais, até que os direitos empregatícios fossem conquistados com melhores jornadas de trabalho e salários dignos, o que criou expectativa de melhores empregos e dificuldades de se encontrar mão de obra disponível em períodos de mercado aquecido.

A busca por melhorias em processos alinhada com melhores práticas de gestão de produção e de sistemas de qualidade aprendidas ao longo dos séculos permitiu às indústrias contemporâneas reduzirem sua necessidade do recurso humano, substituindo-o por máquinas, sistemas e até meios de inteligência artificial, ainda que o ser humano seja o foco principal para se atingir o sucesso (Kagermann & Wahlster, 2022).

2.2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

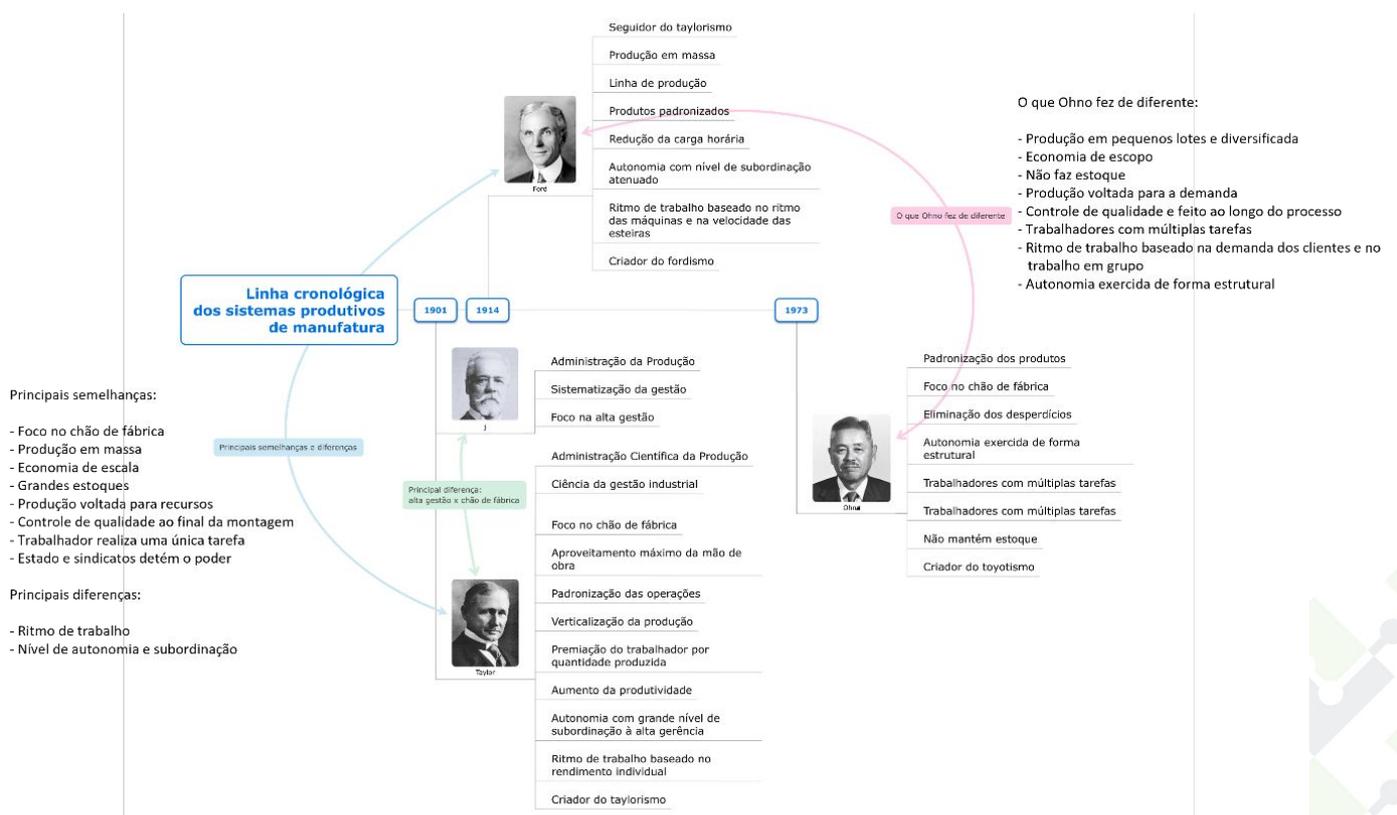
A administração da produção, de acordo com Slack et al. (2002), é a disciplina que conduz as organizações na fabricação de seus bens e serviços. O autor propõe que tais bens ou serviços são produzidos por meio de dados de entrada (recursos) que, após um processo, são tratados, transformados ou convertidos em dados de saída.

Brown et al. (2006) vão mais além e englobam a importância estratégica entre a administração e as operações de produção, uma vez que elas, as operações, são as que efetivam tudo aquilo que a administração em si preconiza. Ainda assim, os escritores deixam claro que as operações não devem limitar a visão das organizações, mas que devem ser usadas para aumentar o seu desempenho perante a concorrência e o mercado. O cuidado na administração das operações pode agregar valor ou melhorar a competitividade e a lucratividade (Gaither & Frazier, 2005).

2.2.1 Sistemas Produtivos

Os sistemas produtivos são divididos entre Sistemas de Manufatura e de Serviços. A Figura 6 apresenta a evolução cronológica dos grandes pensadores dos sistemas produtivos de manufatura, foco deste projeto de dissertação, desde a Administração e o aprimoramento dos modelos produtivos até a filosofia da produção enxuta.

Figura 6
Linha cronológica dos sistemas produtivos de manufatura



Fonte: os autores

No início do século XX, na França, Fayol (1916 p.20) observou 14 princípios da administração: “divisão do trabalho; autoridade; disciplina; unidade de comando; unidade gestora; subordinação dos interesses particulares ao interesse geral; remuneração; centralização; hierarquia; ordem; patrimônio; estabilidade do pessoal; iniciativa; união dos funcionários”. Os estudos de Jules Henry Fayol, nascido na Turquia, são considerados contribuições valiosas, pois especialistas os consideram como os primeiros fundamentos da teoria da administração como ela existe hoje (Rahman, 2012).

Na mesma época, nos Estados Unidos, o engenheiro metalúrgico Frederick Winslow Taylor dava origem ao conjunto de ideias, conceitos, ensinamentos, doutrinas e práticas então conhecidas como Taylorismo que foram precursores da Administração Científica onde a administração da organização é considerada sob olhar acadêmico (Silva, 1989). Focado em maximizar o potencial de cada trabalhador da indústria, o método foi criticado por sindicatos na época, até alcançar prestígio na comunidade industrial, influenciando significativamente a segunda revolução industrial.

2.2.1.1 Taylorismo

Taylor instituiu a verticalização da produção e a premiação por produtividade do trabalhador. Antes de sua participação no meio industrial o trabalhador atuava conforme lhe conviesse, criando sua própria maneira de operar, escolhendo suas ferramentas. Sua filosofia de seleção científica do empregado baseava-se em estudar, instruir e treinar o trabalhador sem permitir que ele mesmo criasse seus processos ou se aperfeiçoasse por acaso (Boettcher, 2015; Trindade, 2004).

Rahman (2012) comparou o modelo de Fayol e Taylor que acreditavam que a abordagem científica na gestão das pessoas e de outros recursos eram a chave para o sucesso organizacional. O autor considerou que, embora seus trabalhos fossem essencialmente complementares, Fayol e Taylor possuíam orientações diferentes. Enquanto o turco era prático, com perspectiva na alta gestão e focado em melhorar a administração por meio de princípios gerais, Taylor tinha a personalidade científica com perspectiva no chão de fábrica, focado em simplificar o trabalho pela padronização e simplificação das operações. O autor enfatiza que a maior contribuição de Fayol foi a teoria sistemática da gestão, enquanto o americano instituiu a ciência da gestão industrial.

Slack et al. (2002) criticaram o modelo da Administração Científica proposto por Taylor, uma vez que não permitia o desenvolvimento intelectual do operador, condenando-o a uma rotina monótona. Os autores notaram que havia inevitável padronização do trabalho, com privação da contribuição ativa dos envolvidos nas operações e conseqüente falta de motivação, frustração e alienação no trabalho.

2.2.1.2 Fordismo

Em 1914, o empresário norte-americano Henry Ford fundador da *Ford Motor Company* aprimorou os conceitos de Taylor ao implantar o sistema de produção em massa considerado revolução na indústria automobilística. Este movimento, conhecido como fordismo, tinha como premissa o uso de inovações técnicas para gerar economia na produção dos veículos, a fim de atender um consumo em massa que se iniciava naquela época. Ford criou o processo de semi-automatização introduzindo a primeira linha de montagem automatizada, com esteiras rolantes (Sakurai & Zuchi, 2018).

O fordismo aproveitou-se de conceitos do taylorismo como produção em massa, economia de escala, manutenção de grandes estoques, produção voltada para recursos, controle de qualidade voltado para o final da montagem, trabalhador realiza e se especializa em uma única tarefa e o poder está nas mãos do sindicato e do Estado (Ribeiro, 2015). No entanto, Ford aprimorou o modelo do compatriota aumentando a produtividade por meio de esteiras rolantes que reduziram a movimentação do trabalhador, controlando o ritmo do trabalho, já que Ribeiro (2015) observou indolência sistemática nos operários do sistema de Taylor.

A partir de 1927 atentou-se ao fato de que o ser humano, se bem conduzido, com ajuda de técnicas psicológicas aplicadas à organização do relacionamento de trabalho, poderia aprimorar o processo produtivo com a participação não apenas do alto escalão da indústria, mas com os operários na troca de ideias e sugestões de melhorias (Sandrini & Cardoso, 2014). Taylor e, conseqüentemente, Ford treinavam e instruíam seus trabalhadores, no entanto, os mantinha presos às rotinas da operação sem chance de participação em melhorias (Rahman, 2012).

Womack *et al.* (1990) analisaram que Ford, na busca da intercambialidade das peças, ajuste e facilidade de produção do seu modelo T de 1908, aumentou o lote de produção, levou as peças necessárias para a linha de montagem e decidiu que cada operador iria realizar uma única tarefa movimentando-se de veículo para veículo pela linha de fabricação, conseguindo reduzir o tempo de ciclo de 514 minutos para 2,3 minutos por veículo. Ford ainda implementou a linha de montagem móvel por meio de esteiras, em 1913, o que fez com que o ciclo de montagem de cada veículo fosse reduzido de 2,3 para 1,9 minutos.

Ribeiro (2015) analisou o período pós-fordismo e identificou uma crise motivada pela indignação pública em relação ao modo rotinizado, hierarquizado e demasiadamente disciplinado imposto pelo padrão de produção em série aprimorado por Ford e empregado em outras instituições como indústrias, construtoras e sistemas de ensino. O autor enfatiza que essa crise foi fortalecida pela saturação do mercado que levou ao decréscimo do consumo de bens duráveis menos heterogêneos e diferenciados. Ao mesmo tempo a crise do petróleo em 1973 e o crescimento da economia japonesa sustentado por altos índices de produtividade no trabalho foram motivos para busca de novos sistemas produtivos.

2.2.1.3 Toyotismo

A partir da Segunda Guerra Mundial e destruição do Japão, o governo apelou para a população o trabalho de reconstrução do país e reerguimento da economia. O quadro cultural e histórico nascido nesta época foi, para Ribeiro (2015), a principal contribuição para o novo padrão de produção conhecido como toyotismo ou ohnismo.

Entre os anos de 1947 e 1973, Taiichi Ohno desenvolveu, no Japão, o Sistema Toyota de Produção, conhecido como Produção Enxuta ou *Lean Manufacturing* com foco na eliminação dos desperdícios e produção voltada para demanda (conhecido como *just in time*) para a redução de estoques desnecessários (Ohno, 1988; Womack et al., 1990).

Para Ohno (1988) o Sistema Toyota de Produção se baseava no trabalho em equipe e na divisão de tarefas para sempre eliminar desperdícios seguindo cinco princípios 1) identificar o valor – aquilo que o cliente ou processo seguinte considera importante; 2) mapear o fluxo de valor – soma das fases que levam o produto da primeira até a última etapa produtiva; 3) criar fluxo – cada parte do produto é feita por vez, seguindo um estágio de processo onde cada etapa é realizada sem parada ou desperdício entre elas; 4) estabelecer o sistema de produção puxada – somente se produz a necessidade da fase seguinte ou do cliente, de acordo com a sua demanda; e 5) buscar a perfeição – rever cada um dos princípios anteriores constantemente a fim de eliminar os desperdícios dos processos.

Em relação ao fordismo, Ohno implementou a produção em pequenos lotes em contradição à produção em massa do modelo norte-americano. A partir dessa inovação

eliminou-se a necessidade de estoques ao produzir somente a demanda do cliente ou da próxima etapa do processo, já que Ford produzia em larga escala, independente do consumo.

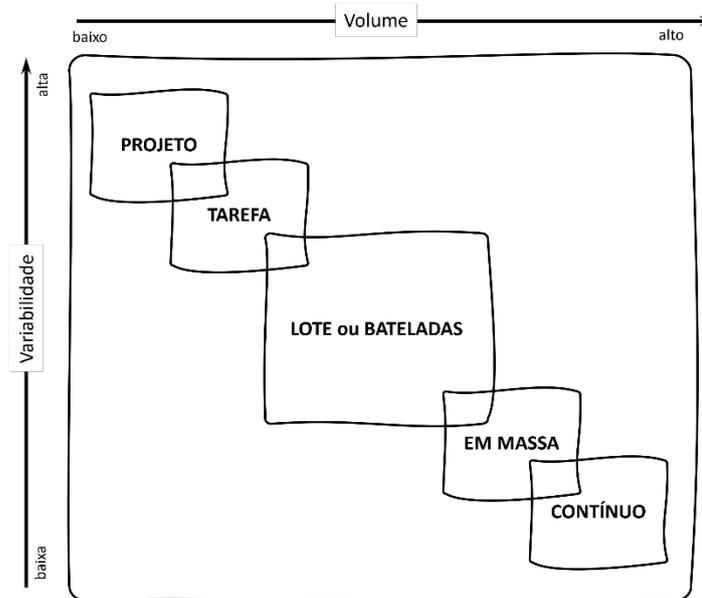
2.2.2 Gestão de Produção

Ainda que a área de transformação tenha suas rotinas já estabelecidas e regularizadas, a busca por melhoria do desempenho das operações deve ser constante e obrigatória na gestão da produção de forma atender novas expectativas de mercado ou superação da concorrência (Slack et al., 2002). Gaither & Frazier (2005) sugerem a importância de conhecer o foco e a política de estoque de produção para formação estratégica de operações. Os autores salientam que conhecer o tipo de *design* de produto é importante para posicionar o sistema de produção da atividade manufatureira.

Gaither & Frazier (2005) classificam a produção com foco no produto ou com foco no processo. Os autores explicam que quando a produção tem foco no produto (chamada de produção em linha de montagem ou em linha de produção) há operadores e máquinas específicos para determinadas operações agrupadas em conjuntos. Este tipo de produção é comumente aplicado em altos volumes e baixa variabilidade de produtos (SKU). Por outro lado, Brown et al. (2006) definem que quando a produção é focada no processo se observa uma alta variabilidade de produtos (SKU) com baixos volumes, onde cada área da produção executa, usualmente, apenas um tipo de operação. Os autores indicam este tipo de foco de produção para produtos personalizados devido a flexibilidade das operações.

A produção com foco no processo, objeto desta pesquisa, foi subdividida em ordem de volume crescente e variedade decrescente, conforme Figura 7, em 1) projeto; 2) tarefa; 3) lote ou bateladas; 4) linha ou massa e 5) processo contínuo (Brown et al., 2006; Slack et al., 2002). Fransoo & Rutten (1994) avançaram nos estudos e dividiram em processo contínuo e descontínuo esse tipo de focalização da produção. Sandrini & Cardoso (2014) consideraram como discretos ou descontínuos os processos de fabricação de itens que podem ser identificados isoladamente, ou seja, separados por lotes ou unidades, e subdivide esse tipo de produção em 1) projeto; 2) tarefa; 3) lote e 4) em massa, vistos na Figura 7.

Figura 7
Tipos de processo em operações de manufatura



Fonte: Slack et al., (2002)

Processos descontínuos por projeto possuem baixo volume de produção com elevada variabilidade de itens. Para Brown et al. (2006) este tipo de produção é evidenciado por produtos basicamente exclusivos por não serem repetidos de forma exata. Segundo Slack et al. (2002) os produtos são customizados e passam por um período de fabricação relativamente longo, dividido em operações ou atividades que podem até ser incertas passando por correções ao longo da execução, no entanto, com início e fim bem definidos. Os recursos transformadores são organizados de forma especial e individual para cada etapa da fabricação do produto e geralmente o produto não é movido ao longo da fabricação, mas sim os recursos que o transformam (Slack et al., 2002).

Processos descontínuos por tarefa atendem elevada variedade e baixo volume. Sua diferença em relação ao processo por projeto é a utilização dos recursos transformadores que, segundo Slack et al. (2002) já não são exclusivos para o produto final, pois são compartilhados com fabricações de outros produtos. Brown et al. (2006) ainda posicionam que o produto em questão se move e compete com outros diferentes produtos entre os recursos transformadores. Os autores enfatizam que muitos produtos diferenciados são processados na mesma unidade fabril, de forma que o ajuste dos recursos acontece com

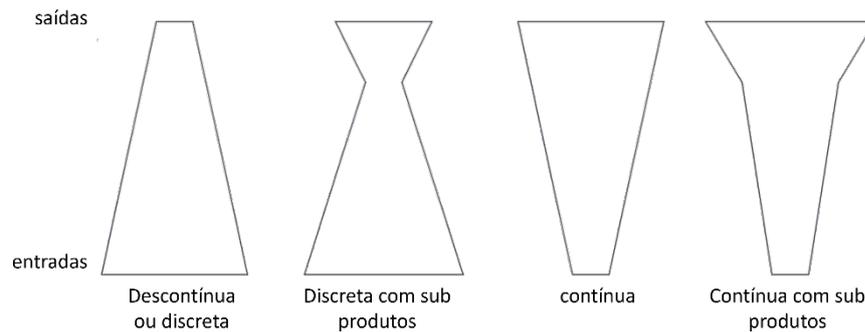
grande frequência, obrigando um planejamento detalhado de acordo com a capacidade de cada centro de trabalho e prioridades de entrega.

Processos descontínuos por lote ou batelada são aqueles com maior volume e menor variedade de itens do que os processos anteriores, similar ao processo por tarefas, mas, de acordo com Slack et al. (2002), com um diferente grau de variância. Neste tipo de processo, cada vez que se está fabricando um lote de produto, são produzidas várias pequenas unidades de forma que cada parte da operação tem períodos em que é repetida até o final da batelada. Brown et al. (2006) enfatizam que a dificuldade neste tipo de manufatura é o foco competitivo, já que as melhorias de processo são feitas para otimizar as condições do lote em detrimento do atendimento ao cliente. O autor pondera que o processo em lote é de difícil administração e programação com revisões regulares. Neste tipo de processo os operadores precisam ser flexíveis e realizar mais de uma função, já que são diferentes operações e postos de trabalho por onde passa o produto em transformação (Brown et al., 2006).

Processos descontínuos por linha ou massa são os que produzem bens em alto volume com estreita variedade em termos dos aspectos fundamentais do projeto (Slack et al., 2002). Neste tipo de processo é possível valer-se de padronização, diferentemente do processo em lote, uma vez que os volumes altos assim o permitem. Brown et al. (2006) defendem a possibilidade de se obter vantagem competitiva com a simplificação do planejamento, o controle da produção e o uso de automação de processo. Os autores alertam para desvantagens relacionadas à falta de flexibilidade e altos investimentos à medida que o volume é incrementado.

Processo contínuo foi estudado por Fransoo & Rutten (1994) que aproveitaram a definição dada pela *Association for Supply Chain Management* (antiga *American Production and Inventory Control Society* – APICS) ser aquele cuja transformação do material em outro por meio de reações químicas, mistura, separação ou conformação não permite que o produto final obtido seja revertido no material original. Este é o tipo de processo que possui o maior volume de produção com a menor variabilidade de itens, operando em longos períodos de tempo ou fluxo ininterrupto (Slack et al., 2002). A Figura 8 apresenta as diferenças conceituais entre produção contínua e descontínua.

Figura 8
Produção contínua e descontínua - diferenças conceituais



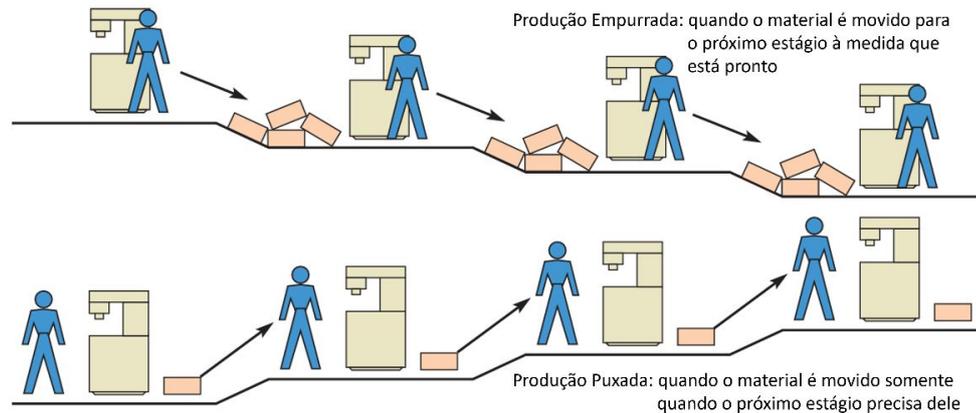
Fonte: traduzido de Fransoo & Rutten (1994)

Em resumo, a produção com foco no processo do tipo descontínua possui um maior número de variáveis de entrada em relação à saída, enquanto o contrário acontece na produção com foco do tipo contínua.

A política de estoque de produtos acabados é dividida por Gaither & Frazier (2005) como a produção para estoque (MTS - *make to stock*) ou sob encomenda (MTO - *make to order*). No primeiro caso os autores identificam que os produtos são produzidos antecipadamente e colocados em estoque, onde esperam encomenda ou pedido de compra do cliente. Na política de estoque de produção sob encomenda, as operações de fabricação são iniciadas somente quando a encomenda ou pedido de compra do cliente é percebida e na quantidade exata solicitada.

Desta forma, se o cliente não necessita receber material, mas mesmo assim o posto fornecedor o entrega, movendo seu produto à medida que fica pronto em direção ao próximo estágio, observa-se um tipo de produção com política de estoque empurrada. Por outro lado, Slack et al. (2013) considera produção puxada quando a produção do posto antecedente só é acionada e tem o seu produto movido, quando o posto de trabalho cliente tem necessidade. A Figura 9 mostra a visão de Slack et al. (2013) quanto a MTS (produção empurrada) x MTO (produção puxada) em sua analogia da gravidade.

Figura 9
Produção empurrada versus puxada - analogia da gravidade



Fonte: adaptado de Slack et al. (2013)

Na produção empurrada considera-se que cada operação esteja um nível abaixo da anterior de forma que o produto “desce” até a próxima etapa pela “ação da gravidade”. De outro lado, na produção puxada depende da operação posterior “puxar para si” o produto desejado, já que a gravidade, por si só, não permite o movimento espontâneo do estoque.

Gaither & Frazier (2005) e Slack et al. (2013) concordam que nenhuma das duas políticas de estoque pode ser considerada certa ou errada, pois depende da estratégia de operações adotada pela administração da produção. Entretanto, os autores enfatizam que os efeitos são diferentes na propensão do acúmulo de estoque, de forma que a produção puxada favorecida pela produção enxuta, possui menor tendência de geração de estoque desnecessário.

A efetividade global de equipamento, tradução direta de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), foi concebida na política japonesa de gestão industrial conhecida como Manutenção Preventiva Total, tradução do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM) com o objetivo de melhorar a produtividade dos equipamentos a partir da participação ativa dos operadores na busca da redução das perdas produtivas (Piran et al., 2015). O OEE é um índice de medição de rendimento de produção que depende de três dimensões 1) disponibilidade; 2) performance e 3) qualidade, cujo impacto é demonstrado pelas perdas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2
Principais tipos de perda no processo

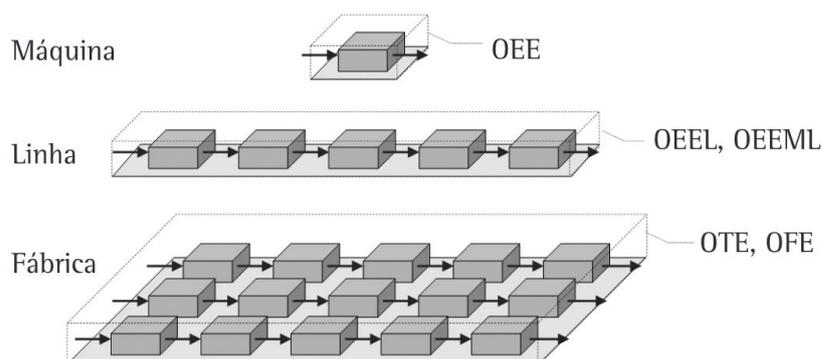
Tipo de perda	Dimensão	Descrição
Falha no equipamento	Disponibilidade	Quando o equipamento fica indisponível sem programação prévia
Setup e ajustes	Disponibilidade	Quando há mudanças de SKU com ajustes no equipamento até que seja obtida a primeira peça em conformidade
Ociosidade e microparadas	Performance	Quando há interrupções no ciclo dos equipamentos com geração de partidas e paradas que reduzem o tempo efetivo
Redução de velocidade	Performance	Quando a velocidade real é menor do que a velocidade planejada para o equipamento
Defeitos no processo	Qualidade	Quando são gerados produtos não-conforme com necessidade de dupla fabricação ou de retrabalhos
Queda no rendimento	Qualidade	Quando há período de estabilização, devido restrições técnicas do equipamento, após início ou parada no processo

Nota: Fonte: Traduzido e adaptado de (Nakajima, 1988; Piran et al., 2015)

Nakajima (1988) foi o precursor do conceito da TPM e descreveu seis grandes perdas que afetam de maneira negativa a produtividade dos equipamentos, conforme Tabela 2. Piran et al. (2015) concluíram que o cálculo da eficiência global dos equipamentos surgiu, no desenvolvimento da TPM, da necessidade de manter as máquinas disponíveis para a fabricação.

A Figura 10 apresenta as principais variações do OEE conforme a abrangência do sistema produtivo.

Figura 10
Variações do OEE conforme abrangência do sistema produtivo



Fonte: Busso & Miyake, (2012)

Há outros índices de medição do rendimento da produção alternativos ao OEE. Busso & Miyake (2012) dividiram em dois grupos, sendo o primeiro de variantes do próprio OEE que ampliam a abrangência do sistema produtivo, conforme apresentado na Figura 10, e o segundo grupo aqueles índices que ampliam a classificação das perdas àquelas que o OEE

em si não considera por definição pura. Busso & Miyake (2012) concluíram que, entre as suas variantes, o OEE é o índice utilizado para medir a efetividade de um equipamento, enquanto os outros índices são usados para conjuntos de equipamentos, sendo que OEEL e OEEML para linha de produção, enquanto OTE e OFE para a fábrica inteira.

Os principais índices de monitoramento do rendimento de produção alternativos ao OEE estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3

Principais índices de rendimento de produção

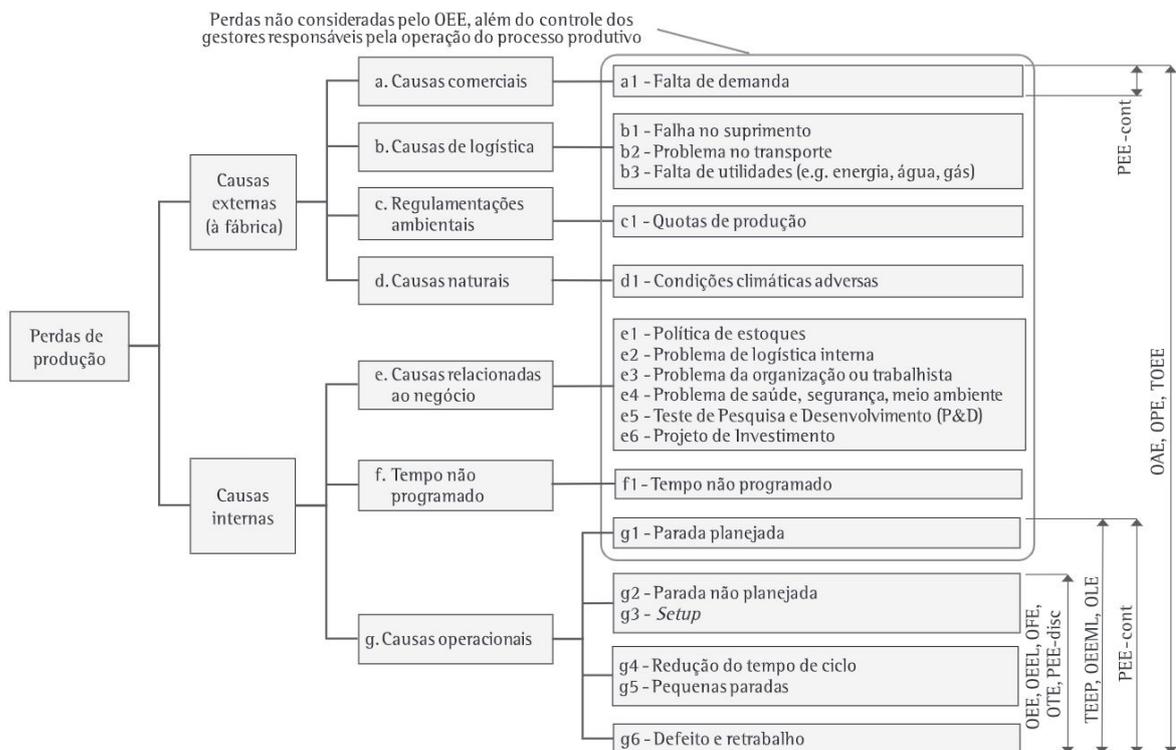
Grupo	Sigla	Índice	Resumo
	OEE	Efetividade global do equipamento	Comparação entre a capacidade de fabricação de um equipamento e o que foi de fato entregue dentro do tempo planejado. Usado em postos de trabalho que não são restritivos (gargalos).
1	IROG	Índice de rendimento operacional global	Quando o posto de trabalho medido for restritivo, o IROG é chamado TEEP; quando o posto de trabalho não é restritivo, o IROG é chamado OEE.
1	OEEML	Eficiência global do equipamento da linha de produção	Considera, além das perdas de disponibilidade e qualidade, aquelas decorrentes de problemas de alimentação da linha de produção, ineficiências do gargalo e paradas programadas.
1	OEEL	Eficiência global do equipamento da célula da linha	Considera dados de saída de produtos conforme, tempo médio de ciclo e tempo de carregamento da célula.
1	OLE	Eficiência global da linha de produção	Considera, além das seis grandes perdas da Tabela 2 aquelas relacionadas às paradas programadas.
1	OFE	Efetividade Global da Fábrica	Mede a efetividade geral da fábrica, considerando a interação de diferentes máquinas e processos, decisões e ações dos sistemas e subsistemas.
1	OTE	Efetividade Global da Taxa de transferência	Mede a efetividade entre as saídas de produto em comparação com a entrada, considerando a conexão existente entre os equipamentos (série, paralelo, montagem alimentada por múltiplos equipamentos, equipamento que fornece para vários outros), o que vai além de um cálculo simplificado de OEE, pois se considera a ineficiência individual e independente dos sistemas
2	TEEP	Produtividade efetiva total do equipamento	Comparação entre a capacidade de fabricação de um equipamento e o que foi de fato entregue dentro do tempo total disponível, considerando as paradas planejadas. Usado em postos de trabalho que são restritivos (gargalos).
2	PEE	Efetividade do equipamento de produção	No caso de produção discreta considera as mesmas três dimensões do OEE (disponibilidade, performance, qualidade), mas no caso de produção contínua inclui outros componentes externos como falta de demanda.
2	PEE-disc	Efetividade do equipamento de produção discreta	Subdivisão do PEE que considera pesos diferentes para cada dimensão em uma produção discreta, já que para

			o OEE as três dimensões têm pesos iguais.
2	PEE-cont	Efetividade do equipamento de produção contínua	Subdivisão do PEE que considera pesos diferentes para cada dimensão em uma produção contínua, já que para o OEE as três dimensões têm pesos iguais.
2	TOEE	Efetividade global total do equipamento	Considera o efeito de paradas não inerentes ao equipamento, como falta de operador, falta de insumo, falta de inspeção que não condizem com o funcionamento do equipamento em si.
2	OPE	Efetividade global da planta	Mede a efetividade geral da planta completa, considerando perdas fora da alçada da produção como causas comerciais, logística externa, regulamentações ambientais, causas climáticas ou impactos da gestão do negócio que afetam a fábrica. A forma de cálculo considera dados em unidades de produto.
2	OAE	Efetividade global dos ativos	Mede a efetividade geral dos ativos, considerando perdas fora da alçada da produção como causas comerciais, logística externa, regulamentações ambientais, causas climáticas ou impactos da gestão do negócio que afetam a fábrica. A forma de cálculo considera dados em tempo de produção.

Nota: Grupo 1 = variantes do OEE; Grupo 2 = consideram perdas diferentes das consideradas pelo OEE Fonte: adaptado de Busso & Miyake, (2012)

A Figura 11 apresenta a classificação das perdas de produção para avaliação do desempenho da produção em relação às variantes do OEE.

Figura 11
Classificação das perdas de produção e principais índices de monitoramento



Fonte: Busso & Miyake (2012)

Os motivos de paradas ou perdas de produção foram separados em causas internas e externas à área industrial, de forma que cada variante estivesse contemplada àquelas perdas que o OEE, por definição, não considera no cálculo da efetividade de produção.

A Tabela 4, Busso & Miyake (2012) reúnem os benefícios e as limitações deste índice, uma vez que analisar a efetividade da produção por meio do OEE tem vantagens e desvantagens.

Tabela 4
Benefícios e limitações do OEE

Benefícios	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Torna possível analisar problemas de fábrica ou de manutenção com atuação na causa raiz; • Facilita a identificação de quais equipamentos devem ser foco de atenção; • Permite comparação direta entre máquinas e processos da mesma planta; • Registros de paradas para identificação das perdas complementam planos de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Quando aplicado a um escopo maior que uma única máquina, não direciona adequadamente ações para melhoria contínua; • Por não considerar interações entre os equipamentos, não fornece visão sistêmica das perdas do negócio; • A área de Produção pode ser responsabilizada por ações causadas em outras áreas; • Dificuldade de reconhecer outras perdas, com base na taxonomia das seis grandes perdas da Tabela 2.

Nota: Fonte: adaptado de Busso & Miyake (2012)

Como supracitado, o OEE foi um índice criado durante o desenvolvimento da TPM, voltado para análises de eficiência das manutenções em máquinas e seus impactos na disponibilidade do equipamento para o gestor da produção. Hansen (2002) e Slack et al. (2018) indicam que sua resposta para a gestão da produção é dada pelo tempo entre falhas do mesmo equipamento, do inglês *Mean Time Between Failures* (MTBF) e o tempo de reparação do equipamento parado, que em inglês é conhecido como *Mean Time To Repair* (MTTR). No entanto, o mercado utiliza o termo OEE para outros tipos de perdas, não apenas as descritas na Tabela 2, confundindo o estudo de Busso & Miyake (2012).

A Equação 1 demonstra como é feito o cálculo do índice de OEE, ou TOEE valendo-se das três dimensões observadas na Tabela 2.

Equação 1
Efetividade de um posto de trabalho

$$OEE = \mu_1 \times \mu_2 \times \mu_3$$

Fonte: adaptado de Hansen (2002)

Em que:

μ_1 = índice de disponibilidade

μ_2 = índice de desempenho ou performance

μ_3 = índice de qualidade

Para Antunes et al. (2013) o índice de disponibilidade (μ_1) equivale ao tempo em que a máquina esteve ativamente disponível, excluindo-se todas as paradas dentro do período esperado de trabalho. A Equação 2 demonstra como se calcula o índice em questão.

Equação 2

Índice de disponibilidade

$$\mu_1 = \frac{Td - \sum T_p}{Td}$$

Fonte: Antunes et al. (2013)

Em que:

μ_1 = índice de disponibilidade

Td = tempo disponível

Tp = tempo de paradas

Antunes et al. (2013) calcularam o índice de desempenho ou performance por meio da Equação 3. Os autores explicam que o valor reflete a redução de velocidade de fabricação em relação àquilo que se espera do equipamento. Para Hansen (2002) a perda da velocidade ou a performance do equipamento é a diferença entre o tempo teórico da taxa ou ciclo em relação ao tempo real utilizado para processar o produto.

Equação 3

Índice de desempenho ou performance

$$\mu_2 = \frac{Tt}{Tr}$$

Fonte: Antunes et al. (2013)

Em que:

μ_2 = índice de desempenho ou performance

Tt = tempo de produção teórico

Tr = tempo de produção realizado

O índice de qualidade está relacionado com a qualidade do produto fabricado, ou a capacidade do equipamento em fornecer um item em conformidade com a especificação durante sua operação (Piran et al., 2015). Há duas formas de se calcular o índice de qualidade, apresentadas por Antunes et al. (2013) na Equação 4. A primeira equação é usada quando são conhecidos os tempos de agregação de valor e o tempo total de produção na diferenciação de produtos conformes e não conformes. A segunda equação pode ser usada quando esses tempos não são conhecidos.

Equação 4

Índice de qualidade

$$\mu_3 = \frac{TA_v}{Tr} \quad \text{ou} \quad \mu_3 = \frac{Q_{ic}}{Q_{nc}}$$

Fonte: Antunes et al. (2013)

Em que:

μ_3 = índice de qualidade

TA_v = tempo de agregação de valor

Tr = tempo de produção realizado

Q_{ic} = quantidade de itens conforme

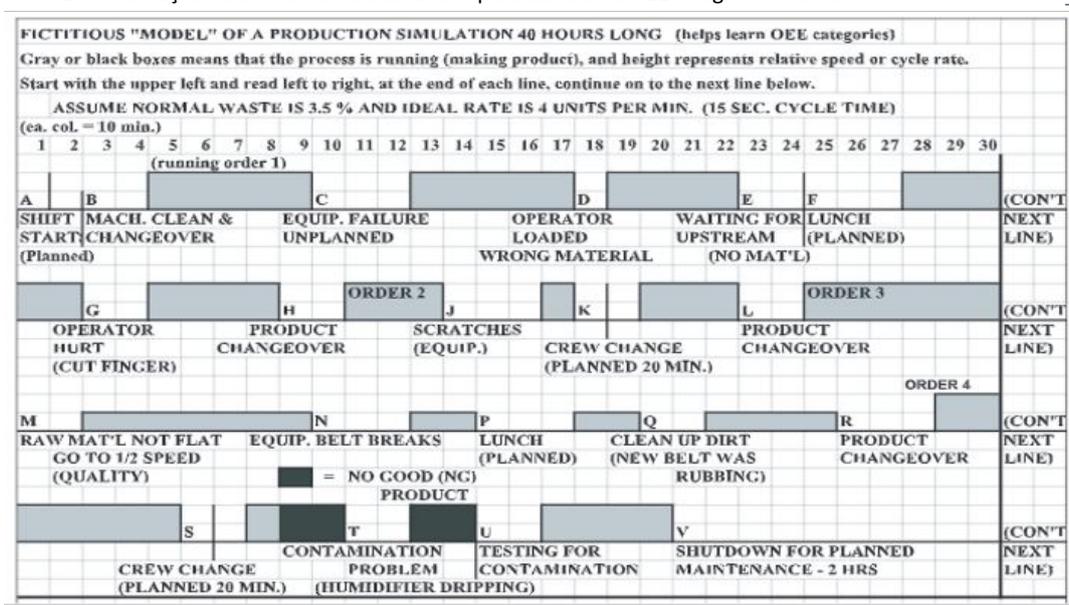
Q_{nc} = quantidade de itens não conforme

Para Piran et al. (2015) a elevação do índice OEE auxilia a redução de custos na organização. Hansen (2002) p.65 encontrou vantagens financeiras na condução do OEE: “1) é diretamente vinculado a índices financeiros; 2) melhorias no OEE podem trazer grande mudança no lucro operacional; 3) programas agressivos de OEE podem ser até 10 vezes mais eficazes do que programas de capacidade de capital; 4) uma força de trabalho que entende e

aplica continuamente projetos de melhoria de OEE geram dividendos compostos ano a ano; e 5) se a melhoria de OEE for usada como estratégia de negócios agressiva, uma fábrica produtiva evoluirá mais rapidamente”.

O controle das perdas de produção, bem como sua mensuração e classificação são necessários para elevar o índice de efetividade de produção (Antunes et al., 2013; Hansen, 2002; Nakajima, 1988). Foi testado por Hansen (2002) uma metodologia de coleta de tempos de produção, perdas e motivos com o uso de planilha de apontamento manual de eventos de produção, conforme Figura 12.

Figura 12
Demonstração de coleta manual de dados para cálculo de OEE – registro manual



Fonte: Hansen (2002)

Uma planilha com relatório de fabricação de 40 horas é usada para registro manual e identificação dos eventos ocorridos ao longo do tempo produtivo os quais foram classificados na planilha da Figura 13 de acordo com o tipo de perda e dimensão no processo (disponibilidade, performance ou qualidade).

Figura 13
Demonstração de coleta manual de dados para cálculo de OEE – classificação dos tipos de perda

OEE AND TEEP DISCUSSION SHEET (refer to production simulation example)			
DT=DOWNTIME unplanned (could be TECHNICAL, OPERATIONS, OR QUALITY)			
ST=STOP TIME (could be planned OPERATIONS i.e. changeovers, planned mtgs, etc. or INDUCED (unplanned external to the machine events, lack of mat'l, people or info.)			
RCH 2/4/98			
DOWN ITEM	MIN.	DESCRIPTION	CATEGORY
A	10	SHIFT STARTS	EXCLUDED
B	30	MACH. CLEAN AND C/O	ST OPERATIONS
C	30	EQUIP. FAILURE	DT TECHNICAL
D	10	WRONG MATERIAL LOADED	DT OPERATIONS
E	20	WAITING FOR RAW MAT'L	ST INDUCED
F	30	LUNCH--NO RELIEF PLANNED	EXCLUDED
G	20	OPERATOR HURT	DT OPERATIONS
H	20	PRODUCT CHANGEOVER	ST OPERATIONS
J	30	SCRATCHES--EQUIP. CAUSED	DT TECHNICAL
K	20	CREW CHANGE (PLANNED)	EXCLUDED
L	20	PRODUCT CHANGEOVER	ST OPERATIONS
M	20	FLATNESS PROBLEM	DT QUALITY
N	30	EQUIP. BELT BREAKS	DT TECHNICAL
P	30	LUNCH--NO RELIEF PLANNED	EXCLUDED
Q	20	DIRT CLEAN UP (EQUIP.)	DT TECHNICAL
R	30	PRODUCT CHANGEOVER	ST OPERATIONS

SUMMARY OF CATEGORIES	
TOTAL CLOCK TIME =	2400 MIN.
EXCLUDED TIME =	570 MIN.
RUN TIME @ 100% =	1000 MIN. (INCLUDES 40 MIN. FOR WASTE)
RUN TIME @ 50% =	340 MIN.
ST OPERATIONS =	170 min. 7 freq.

Fonte: Hansen (2002)

Utilizaram-se as equações sugeridas por Nakajima 1988) na Figura 14 para cálculo do OEE. É visível que é um processo trabalhoso e dependente do discernimento do operador em registrar manualmente os tempos dos eventos.

Figura 14
Demonstração de coleta manual de dados para cálculo de OEE – cálculo manual OEE

$$\text{Loading Time} = \text{Total Time} - \text{Excluded Time} = 2400 \text{ min} - 570 \text{ min} = 1830 \text{ min}$$

$$\text{Availability} = \frac{\text{Loading Time} - (\sum \text{DT} + \sum \text{ST})}{\text{Loading Time}}$$

$$= \frac{1830 \text{ min} - (490 \text{ min})}{1830 \text{ min}} = 0.7322 = 73.22 \text{ percent}$$

From above, Total Units Produced = 4680

$$\text{Actual Cycle Time} = \frac{\text{Runtime}}{\text{Actual Amount Produced}}$$

$$= \frac{(1000 \text{ min} + 340 \text{ min}) \times 60 \text{ sec/min}}{4680} = 17.18 \text{ sec}$$

$$\text{Operating Speed Rate} = \frac{\text{Theoretical Cycle Time}}{\text{Actual Cycle Time}} = \frac{15 \text{ sec}}{17.18 \text{ sec}} = 0.873$$

$$\text{Performance Efficiency} = 1 \times \text{Operating Speed Rate} = 1 \times 0.873 = 0.873$$

$$\text{OEE} = \text{Availability} \times \text{Performance Efficiency} \times \text{Quality Rate}$$

$$= 73.2 \text{ percent} \times 0.873 \times 0.932 = 59.6 \text{ percent}$$

Fonte: Hansen (2002)

Joaquim & Caurin (2006) observaram que há demanda nos levantamentos de dados e informações no meio fabril na busca de ganhos estratégicos, e que há necessidade do aprimoramento da comunicação entre as áreas de manufatura com as demais áreas da organização para suprir dados e informações para as necessidades de tomada de decisão.

Para Sandrini & Cardoso (2014) há uma lacuna entre os métodos de controle de equipamentos de chão de fábrica e os sistemas informatizados de planejamento de manufatura (ERP, MRP, MRP II) que precisa ser preenchida para acelerar a tomada de decisão pela gestão da produção. Vargas (2016) analisou que sistemas de informação têm sido progressivamente introduzidos nos ambientes de manufatura a fim de gerar dados, otimizar processos e gerar informações ágeis e eficientes em tempo real para a tomada de decisão assertiva pela gestão da produção. Castillo et al. (2021) assinalam que na quarta revolução industrial pela qual o mundo está passando é imprescindível que dados se transformem em informação em tempo real para uma tomada de decisão mais rápida e aprimorada levando a um melhor desempenho da empresa perante o mercado.

A *MESA International*, uma instituição internacional sem fins lucrativos voltada à inovação, educação, aproximação e divulgação de boas práticas entre as indústrias de manufatura, identificou onze funções principais para o MES, descritas na Tabela 5 (Joaquim & Caurin, 2006).

Tabela 5
Principais funções do MES segundo a *MESA International*

Função	Comentários
Programação detalhada das operações	em conjunto com as áreas de planejamento de produção, o MES controla a sequência de produção por atividade ou operação com funções de tempo para aproveitar a performance de cada equipamento.
Alocação e situação de recursos	o MES atua como um mapa geral da unidade fabril informando quais equipamentos estão em operação ou parados e quais operações estão sendo realizadas naquele instante.
Despachos de produção	O MES automaticamente envia comandos para equipamentos ou postos de trabalho receberem materiais ou ordens de fabricação.
Controle de documentação	O MES controla a documentação necessária para a operação de forma que esteja disponível no momento adequado para o uso, com proteção às obsolescências.
Rastreamento e genealogia de produtos	O monitoramento histórico do progresso de fabricação de cada lote de produção fica registrado no banco de dados do MES.
Análise de performance	O índice de desempenho é medido automaticamente pelo MES de acordo com a demanda esperada teórica ou determinada.

Gestão de pessoas	O MES permite o rastreo e direcionamento do uso de operações manuais de acordo com qualificações e padrões de trabalho.
Gerenciamento da manutenção	O controle do planejamento do tempo da manutenção, bem como os motivos de paradas e impactos sobre a entrega pode ser realizado com o MES.
Gestão dos processos	O MES direciona o fluxo de trabalho entre as operações e equipamentos, de acordo com o prescrito no roteiro de fabricação
Gerenciamento da qualidade	É possível registrar e rastrear características de inspeções de processos e produtos, até mesmo de forma automática, com o MES.
Coleta de dados	Além dos dados de fabricação como tempos, inspeções, é possível coletar variáveis do processo por meio de sensores como velocidades, temperaturas, umidade, vibrações com o MES, e registro no histórico de fabricação.

Nota: Fonte: adaptado de (Berti, 2010; Joaquim & Caurin, 2006)

Para Sandrini & Cardoso (2014) p.47 o Sistema de Execução de Produção, do inglês *Manufacturing Execution System (MES)*, é “um sistema integrado e informatizado on-line que reúne todos os métodos e instrumentos necessários para realizar a produção”. Joaquim & Caurin (2006) vão mais além e conceituam MES como um sistema informatizado e sensorizado que guia, inicializa, responde e reporta eventos à medida que ocorrem na planta industrial, apoiando ações imediatas para situações inesperadas, além de sugerir foco nas melhorias de processos em atividades sem valor agregado. O MES reduz ou elimina a dependência de pessoas nos registros dos eventos do processo.

2.2.3 Gestão da Informação

A Tecnologia da Informação e Comunicação, juntamente com a expansão da globalização favoreceu, a partir da década de 1980, a consolidação da Era da Informação através das mudanças nos ambientes organizacionais e abertura do mercado internacional (Yafushi et al., 2019). Corroborando com as autoras, Barbosa (2008) concorda que o tema da Gestão da Informação vem merecendo atenção dos gestores, profissionais e pesquisadores, uma vez que o contínuo crescimento da Tecnologia da informação potencializa a produção e disseminação de informações em escala inimagináveis.

As origens da Gestão da Informação foram estudadas por Barbosa (2008) que encontrou nos trabalhos de Paul Otlet o marco fundamental do desenvolvimento da disciplina no livro em francês *Traité de documentation*, publicado em 1934, base para o que hoje se conhece como gerência de recursos informacionais. Barbosa (2008) encontrou em seus estudos que outros dois autores Vanevar Bush e Frederick Hayek se destacaram como

precursores da moderna gestão da informação e do conhecimento no ano de 1945, quando publicaram trabalhos importantes que, inclusive, contribuíram para a moderna gestão eletrônica de documentos e para a *World Wide Web*.

Yafushi et al. (2019) diferenciam dado, informação e conhecimento. Dados são encontrados ou registrados em dispositivos, manuais ou eletrônicos, e podem ser transferidos entre interessados. Por outro lado, a informação exige análise do dado e inferência para dar significado, enquanto o conhecimento exige reflexão e aprendizado frente à realidade observada.

2.2.4 Gestão por processos

Gonçalves (2000) define processo como um grupo de atividades realizada em sequência lógica a fim de produzir um bem ou serviço que atenda ao interesse de um determinado expectador. Para Kipper et al. (2011) a gestão por processos favorece a criação de valor dentro das organizações por meio da interação do funcionamento de todas as suas atividades com o objetivo comum de atender sempre a próxima etapa do processo, cliente a cliente interno até o externo.

A Gestão por Processos ultrapassa os conceitos de ferramenta de gestão, tornando-se um conceito de gestão com foco em melhoria contínua dos processos críticos (Kipper et al., 2011). Para Gonçalves (2000) p.16 adotar a gestão por processos nas empresas favorece a “liderança, a ligação entre as pessoas, a facilitação dos mecanismos grupais, o desenvolvimento do conhecimento e o suporte ao funcionamento das equipes”.

Gonçalves, (2000) conclui que o emprego do conceito da gestão por processos torna-se cada vez mais importante e crucial à medida que as organizações passam a entregar bens ou serviços cada vez mais ricos em valor para o cliente.

2.2.4.1 Produção enxuta

Womack et al. (1990) resumiram a produção enxuta na constante eliminação de desperdícios que implicam na cadeia de valor para o cliente. Ohno (1988), precursor da filosofia *Lean Manufacturing* ou Sistema Toyota de Produção, definiu como desperdício o

conjunto de impactos na fabricação de um item que não acrescenta valor ao produto final, sendo sua eliminação o alicerce para redução de custos desnecessários.

Os desperdícios, ao fazer parte das operações de manufatura, são muitas vezes confundidos como etapa inerente ao processo produtivo, no entanto, na visão de Ohno (1988) eles devem ser identificados e eliminados com veemência, em uma busca por melhorias constantes e ininterruptas. O precursor da filosofia *Lean Manufacturing* definiu sete desperdícios que devem ser eliminados nos processos de manufatura, descritos na Tabela 6.

Tabela 6
Sete desperdícios do *Lean Manufacturing*

Desperdício	Comentário
Produção em excesso	Implica na produção de produtos intermediários ou finais não esperados pela próxima etapa do processo ou cliente, gerando estoque e uso de recursos desnecessários.
Tempos de espera	Percebido ao se encontrar recurso parado quando deveria estar produzindo, seja uma pessoa ou equipamento. Tem origem na instabilidade ou desbalanceamento entre etapas.
Processamento desnecessário	Ocorre quando atividades desnecessárias à agregação de valor ao produto são executadas.
Estoque	Geração de estoques sem controle ou necessidade durante o processo de atendimento ao cliente.
Transporte	Ocorre quando peças, partes ou o produto é movimentado durante sua fabricação até seu uso no processo.
Movimentação	Ocorre quando pessoas necessitam sair do seu posto de trabalho durante operação do processo.
Retrabalho	Significa repetir etapas de processos já realizadas e que deveriam estar em conformidade com a necessidade esperada.

Nota: Fonte: adaptado de (Ohno, 1988; Womack et al., 1990)

De acordo com Womack & Jones (2004) existem cinco princípios básicos e fundamentais na eliminação dos desperdícios: 1) identificar o valor – esforço incluído na etapa do processo que verdadeiramente é esperada pelo cliente ou etapa seguinte; 2) mapear o fluxo de valor – avaliar todas as etapas que adicionam valor ao produto e separar daquelas que são desperdício; 3) criar fluxo – buscar um fluxo contínuo de fabricação ou transformação sem interrupções no processo; 4) estabelecer o sistema de produção puxada – transformar somente o necessário para a etapa seguinte; e 5) buscar a perfeição – rever cada um dos princípios anteriores constantemente a fim de eliminar os desperdícios dos processos.

2.2.5 Gestão da Qualidade

Juran (1992) definiu inicialmente qualidade como ausência de defeitos com o esperado atendimento ao desempenho do bem ou serviço. Por outro lado, Paladini (2000) apresenta que a qualidade surgiu para identificar o grau de melhoria dos produtos dentro das empresas, enquanto Falconi (2014) vai mais a fundo e define qualidade como sendo o atendimento perfeito, confiável, acessível, seguro e no prazo esperado de um serviço ou bem.

2.2.5.1 Princípios e pilares da Gestão da Qualidade

Paladini (1998) estudou as influências dos princípios da Administração empregada por Fayol e Taylor e encontrou que a Gestão da Qualidade foi formulada considerando o desenvolvimento das escolas clássicas de Administração. A Gestão da Qualidade, para Paladini (1998) p.184, aprendeu “o que fazer e como fazer; o que se evitar; a que atribuir relevância; e o que desconsiderar”.

Para Juran (1992) há três princípios básicos para a qualidade, conhecidos como “A trilogia Juran”: 1) planejamento, onde o autor defende que a qualidade deve ser planejada; 2) Controle, de forma que se deve estar em constante acompanhamento do que foi planejado; e 3) aperfeiçoamento, a prática diária auxilia no melhor atendimento aos processos. Falconi (2014) defende liderança, conhecimento técnico e gestão como pilares.

A *International Standardization for Organization ISO* (2015) definiu 7 pilares que devem servir de apoio para a Gestão da Qualidade, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7
Princípios da Gestão da Qualidade

Princípio	Comentário	Benefícios
Foco no cliente	Atender a expectativa do cliente para manter a sustentabilidade do negócio é o principal foco da Gestão da Qualidade.	Maior valor para o cliente; fidelização; aprimoramento das rotinas de negócio; elevação da reputação da organização; aumento na base de clientes; e aumento da receita e participação no mercado
Liderança	A liderança é o princípio que motivará os envolvidos na busca	Atingimento dos objetivos com maior eficácia e eficiência; processos com melhor coordenação;

	das metas da Qualidade com a criação de condições de alinhamento de estratégias, processos e recursos para alcançar os objetivos.	comunicação aprimorada entre níveis; entrega de resultados com mais foco.
Melhoria contínua	A criação constante de situações internas e externas para o favorecimento da busca por aprimoramentos essenciais para manter bons níveis de desempenho e reagir adequadamente às mudanças.	Desempenho aprimorado no fluxo dos processos; investigação de causa-raiz das situações adversas prevenindo-se e adotando medidas protetivas; melhoria na capacidade de antecipação de riscos e oportunidades; ambiente propício à inovação.
Decisão baseada em fatos	Entendimento da relação de causa e efeito implicadas em uma deliberação.	Processo de tomada de decisão com tendência à acertividade; avaliação de desempenho dos processos e da capacidade de se atingir resultados aprimorada; melhor eficácia operacional; opiniões e revisões com possibilidade de serem revisadas; demonstração da eficácia das decisões com maior acertividade
Gestão de relacionamento	Manter relacionamentos sustentáveis com fornecedores, clientes, comunidade e público interno (partes interessadas) para adequar a sua influência no desempenho dos processos.	Resposta de influências e restrições das partes interessadas com melhor desempenho; objetivos e valores bem compreendidos; compartilhamento de recursos e experiências com maior capacidade de criação de valor para os envolvidos; melhor gerenciamento de riscos relacionados à qualidade e ao negócio; cadeia de suprimentos mais bem administrada.
Visão sistêmica	A abordagem sistêmica deve ser empregada para garantir o inter-relacionamento dos processos, no intuito de aprimorar o desempenho da organização.	As metas globais são entendidas e absorvidas pelos envolvidos; a comunicação tem melhor fluidez; os resultados passam a ser vistos como méritos das equipes; eleva-se o alinhamento de propósito dos objetivos.
Gerenciamento por processos	O funcionamento da organização com o um conjunto coerente de forma que as atividades são geridas de acordo com sua interação em outras atividades.	Concentração de esforços nos processos-chave e suas oportunidades de progresso; resultados previsíveis e consistentes; desempenho otimizado a partir do uso eficiente de recursos e redução de barreiras multifuncionais; propósitos consistentes a partir da confiança das partes interessadas.

Nota: texto adaptado e traduzido pelos autores Fonte: (ISO, 2015)

Os princípios da Qualidade serão usados nesta pesquisa com o intuito de seguir padrão de gestão ao se compreender o foco da Gestão da Qualidade no cliente e ao se considerar cada etapa do processo de produção como cliente do processo anterior.

2.2.5.2 Ferramentas da Gestão da Qualidade

As ferramentas da Gestão da Qualidade estudadas por muitos autores buscam, de uma forma ampla, desmembrar causas gerais em causas mais específicas, ou apoiar na organização dos passos de execução de tarefas do cotidiano empresarial (Paladini, 1998).

César (2011) descreveu como ferramentas básicas para a Gestão da Qualidade as 1) estratificação; 2) folha de verificação; 3) gráficos; 4) gráfico de Pareto; 5) diagrama de causa e efeito; 6) histograma; 7) diagrama de dispersão; 8) gráfico de controle; 9) fluxograma; 10) *Brainstorming*; 11) Cincos por quês. O mesmo autor continuou suas pesquisas e listou, como ferramentas gerenciais da qualidade 1) diagrama de afinidade; 2) diagrama de relações; 3) diagrama em árvore; 4) matriz de decisão; 5) matriz de relações; 6) diagrama de processo decisório; 7) diagrama de atividades; 8) matriz de análise de dados.

De acordo com Paladini (1998), o conjunto de ferramentas de cartas de controle de processo foi influenciado diretamente pela Administração Científica de Taylor. Para o autor o controle das variações dos processos é uma preocupação de muitas áreas da Gestão da Qualidade que busca, em sua essência, a eliminação das causas de todas as variações não aceitas, agrupadas no diagrama de causa e efeito (conhecido como diagrama de espinha de peixe ou Ishikawa), nos diagramas de árvore (ou árvore de decisão) ou nos estudos de histogramas de defeitos.

Paladini et al. (2005) apresentaram ferramentas estatísticas para análise dos dados da Gestão da Qualidade, enquanto Falconi (2014) trouxe à tona os ciclos PDCA; círculos de controle de qualidade e planos de ação.

2.2.6 Sustentabilidade

De acordo com Esmael et al. (2018a), quando relacionaram *Lean Manufacturing* e *Overall Equipment Effectiveness* em outra publicação, estes consideram sustentabilidade como um método de classificação de oportunidades econômicas ao longo do tempo, levando em consideração uma série de aspectos ambientais, econômicos e sociais. Os autores definiram manufatura sustentável como a criação de produtos que usam processos não poluentes, reduzem o consumo de recursos naturais, economizam energia, são economicamente viáveis, e com fabricação segura para seus empregados, para a

comunidade e, também, os consumidores, de forma que exista estabilidade entre demanda e capacidade.

2.2.6.1 Tripé da sustentabilidade

Para Slack et al. (2013) o tripé da sustentabilidade (do inglês Triple Bottom Line – 3BL) é uma ideia na qual as organizações devem se analisar não unicamente pelo resultado econômico ou financeiro, mas pelo impacto que suas operações têm na sociedade e no meio ambiente. Segundo o autor, um negócio sustentável é aquele que gera lucro aceitável para os investidores, minimiza os efeitos colaterais ao meio ambiente e dá valor às pessoas envolvidas direta ou indiretamente em sua cadeia. Slack et al. (2013) complementa que os interesses econômicos, ambientais e sociais devem estar em equilíbrio para aumentar a probabilidade de sucesso no longo prazo.

Neste contexto, Swarnakar et al. (2022) estudaram os vários indicadores sugeridos por outros autores para avaliação de sustentabilidade nos processos de fabricação, nas dimensões ambiental, social e econômica, e elencaram uma lista consensual de indicadores de sustentabilidade necessários para a avaliação de processos de fabricação, indicando desta forma os indicadores mais críticos para os aspectos de sustentabilidade, como por exemplo, a liberação de gases do efeito estufa/nocivos para o meio ambiente; a taxa de contribuição para a sociedade e o custo operacional. Pereira (2016) utilizou o modelo *Grid* de Sustentabilidade Empresarial e bem como Escores de Sustentabilidade Empresarial para encontrar o posicionamento da organização em estudo perante o pilar da sustentabilidade, 3BL.

2.2.6.2 Produção mais limpa

Para Rahim et al. (2010) o termo “produção mais limpa (P+L)” é um conceito que se concentra no bem-estar do meio ambiente, sem ignorar o resultado econômico do negócio. Considerando o tema desta pesquisa, isto é estudo para aumento da efetividade em um sistema produtivo, e o que Rahim et al. (2010) preconizam, o aumento da produtividade por

si só já é um fator que contribui para o conceito P+L, uma vez que o tempo de fabricação, o uso de materiais, utilidades e recursos humanos por unidade de produto ou serviço são reduzidos.

No ano de 1989 o termo foi utilizado pela primeira vez pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente que desde então vem promovendo programas de produção mais limpa com o objetivo de fomentar o desenvolvimento industrial sustentável nos países subdesenvolvidos (Franco & Arias, 2018). De acordo com Franco & Arias (2018) p.142, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente define P+L como “a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada em processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência geral e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente”.

2.2.6.3 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU

Em setembro de 2015 o mundo comprometeu-se a, até 2030, melhorar as condições de vida das pessoas por meio de ação junto à Organização das Nações Unidas que definiu a Agenda 2030, como um conjunto de ações e compromissos que os Estados-membros reconheceram como de extrema importância para a melhoria da vida no planeta.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são a união de ações globais com o intuito de erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima para garantir que todos os seres humanos alcancem paz e prosperidade em suas vidas, dentro dos limites do planeta. A Figura 15 apresenta os 17 objetivos os quais abordam os principais desafios enfrentados por pessoas ao redor do planeta.

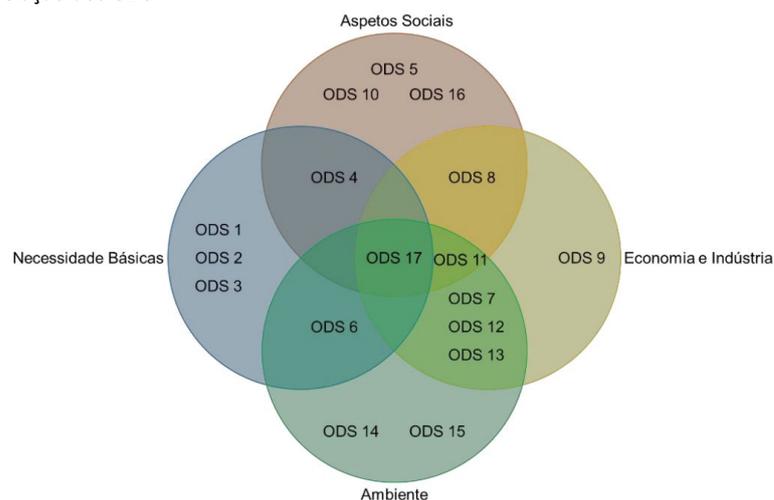
Figura 15
Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2022)

Dentre os ODS propostos pela ONU, esta pesquisa pretende contribuir com os ODS 08, ODS 09 e ODS 12, que, de acordo com a Figura 16 proposta por Marques & Oliveira (2019), fazem parte da dimensão Economia e Indústria, relacionados ao desenvolvimento tecnológico e à inovação empresarial.

Figura 16
Diagrama de Venn de relação dos ODS



Fonte: Marques & Oliveira (2019)

O ODS 08 – Trabalho decente e crescimento econômico, que une aspectos sociais à economia e indústria, visa promover o crescimento econômico de forma inclusiva e

sustentável, bem como o emprego pleno com trabalho adequado às condições humanas favoráveis. Por meio deste Objetivo pretende-se criar condições estáveis para os países com a promoção de políticas que incentivem o empreendedorismo com criação de empregos inclusivos. Este ODS reconhece a necessidade urgente de erradicar trabalho forçado ou análogo ao escravo, provendo condições para que todas as pessoas alcancem seu potencial e capacidade plenos.

O ODS 09 – Indústria, inovação e infraestrutura, busca a construção de infraestruturas resilientes, a promoção de industrialização sustentável e inclusiva, além de promover a inovação no âmbito industrial. Toda Nação se desenvolve com investimento em infraestrutura e inovação, garantindo mobilidade, comunicação, eficiência energética e inclusão social.

O ODS 12 – Consumo e produção responsáveis, quer assegurar que padrões de produção e de consumos sejam controlados e mantidos em níveis sustentáveis de pegada de carbono sobre o meio ambiente. O uso eficiente dos recursos naturais e energéticos devem fazer parte do cotidiano dos países. Para Marques & Oliveira (2019) a indústria precisa desenvolver seu produto em uma perspectiva de economia circular com redução de geração de resíduos durante toda a cadeia.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa adotou uma abordagem metodológica baseada em procedimentos racionais e sistemáticos, na busca por encontrar respostas para as questões de pesquisa propostas. Seguindo a definição de Silva & Menezes (2005), a pesquisa foi concebida como uma organização de ações formalmente estruturadas, com o intuito de promover o desenvolvimento científico.

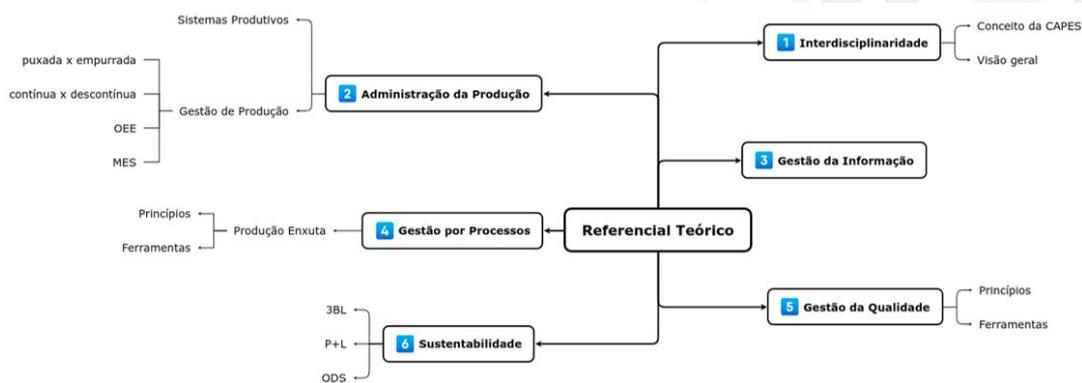
A fim de garantir a disciplina e a estrutura necessárias, esta dissertação adotou um trabalho dividido em etapas, como proposto por Triviños (1987). Reconhecendo a importância dessa abordagem, a metodologia da pesquisa foi considerada como a fase mais crucial do processo, conforme destacado por Yin (1981).

Ao longo do desenvolvimento deste estudo, foram empregados métodos e técnicas adequados para a coleta, análise e interpretação dos dados, de modo a obter resultados confiáveis e significativos. A seguir, apresentam-se as etapas da metodologia utilizada nesta pesquisa:

A revisão bibliográfica foi realizada por meio de um estudo abrangente e sistemático da literatura pertinente ao tema de pesquisa, com o objetivo de obter uma compreensão aprofundada do assunto e embasar teoricamente o estudo.

Inicialmente foi realizado levantamento bibliográfico no qual foi utilizado o *software Elsevier Mendeley* para fichamento das fontes encontradas. As bases teóricas utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa são apresentadas neste capítulo conforme mostra o mapa de estrutura da Figura 17.

Figura 17
Estrutura do referencial teórico



Fonte: os autores

Foi realizada revisão sistemática narrativa de literatura com os termos “*Lean Manufacturing*” e “*Manufacturing Execution System*” nas bases de dados Scopus, BDTD e SciELO, que, segundo Galvão & Ricarte (2019) é o tipo de revisão apropriada quando estudos quantitativos se valem de diferentes tipos de metodologias ou partem de conceituações teóricas distintas. As revisões sistemáticas narrativas reúnem os resultados de estudos individuais para interpretação ou interconexão a fim de se desenvolver uma nova teoria, além de fornecer descrição histórica do desenvolvimento da pesquisa e sua teoria sobre o assunto em pauta.

Considerando a pergunta da pesquisa sobre efetividade de produção, a realidade, o tipo e foco de fabricação onde se enquadra a organização alvo da pesquisa, foi criado levantamento terminológico em português e inglês que gerou buscas sobre “gestão da produção”; “administração da produção”; “gestão por processos”; “sistemas produtivos”; “gestão da qualidade” e “gestão da informação” (Alves et al., 2023).

Com base na revisão bibliográfica, foi construído um referencial teórico consistente, que serviu como fundamento teórico-conceitual para a pesquisa. Essa etapa visou estabelecer os conceitos, teorias e abordagens que orientarão a análise dos dados coletados.

Durante o planejamento da pesquisa definiram-se os objetivos da pesquisa, as questões de pesquisa, as hipóteses e os procedimentos metodológicos que foram adotados. Foi elaborado um plano de pesquisa detalhado, incluindo a descrição das técnicas de coleta de dados e os critérios de seleção das áreas envolvidas no experimento.

O processo de coleta de dados: Foi realizado de acordo com os procedimentos definidos no planejamento da pesquisa, envolvendo análises de documentos, sensorização de equipamentos e relatórios gerenciais da empresa alvo do estudo. Os dados foram organizados, tabulados e analisados com o auxílio de software Statistica versão 14.0.0.15. Foram aplicadas análises estatísticas, além de análises qualitativas para compreender e interpretar os resultados obtidos.

3.1 ABORDAGEM, OBJETIVOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

A abordagem metodológica deste estudo teve como principal objetivo gerar conhecimento aplicado para lidar com um problema prático e específico, relacionado à

escassez de mão de obra e à necessidade de aumentar o volume de produção. Seguindo a caracterização de Prodanov & Freitas (2013), essa pesquisa é classificada como de natureza aplicada.

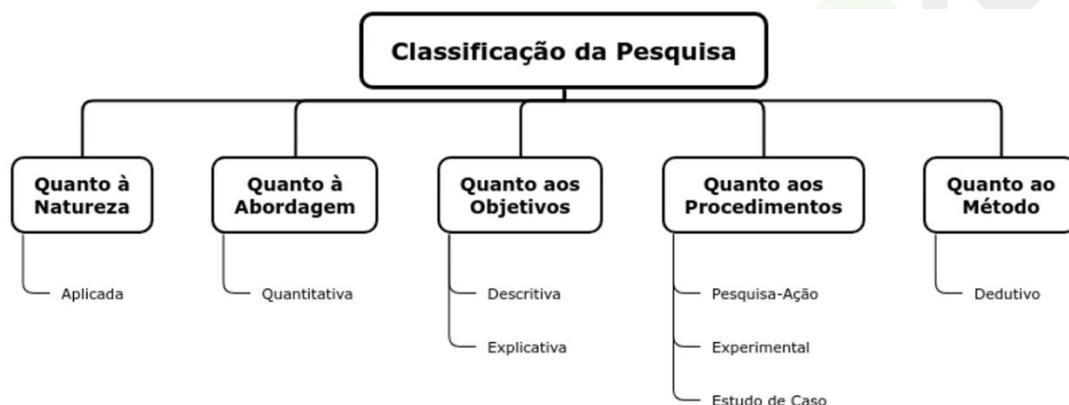
Para alcançar esse objetivo, foram levantados e comparados dados objetivos de entrada e saída do processo ao longo do período de janeiro a julho de 2023. Esses dados foram tratados estatisticamente por meio do software *Statistica* versão 14.0.0.15, o que caracteriza o estudo como uma abordagem quantitativa (Sampieri et al., 2013).

Os dados analisados foram utilizados para selecionar e implementar métodos e ferramentas de gestão de produção, qualidade e processos, com o intuito de gerar ações voltadas para o controle da efetividade da produção. Nesse sentido, esta pesquisa foi caracterizada quanto aos objetivos como descritiva e explicativa. Conforme mencionado por Prodanov & Freitas (2013), a pesquisa descritiva busca observar, registrar, analisar e ordenar os dados, enquanto a pesquisa explicativa procura identificar os fatores determinantes que explicaram como foi possível controlar a efetividade produtiva do objeto de estudo, após a interpretação dos resultados.

Por meio da aplicação dessa abordagem metodológica, esperava-se obter resultados que contribuíssem para a solução do problema prático em questão, fornecendo subsídios para o controle efetivo da produção no contexto específico de estudo.

A Figura 18 apresenta uma representação gráfica da classificação desta pesquisa em termos de sua natureza, abordagem, objetivos, procedimentos e método.

Figura 18
Classificação da Pesquisa



Fonte: os autores

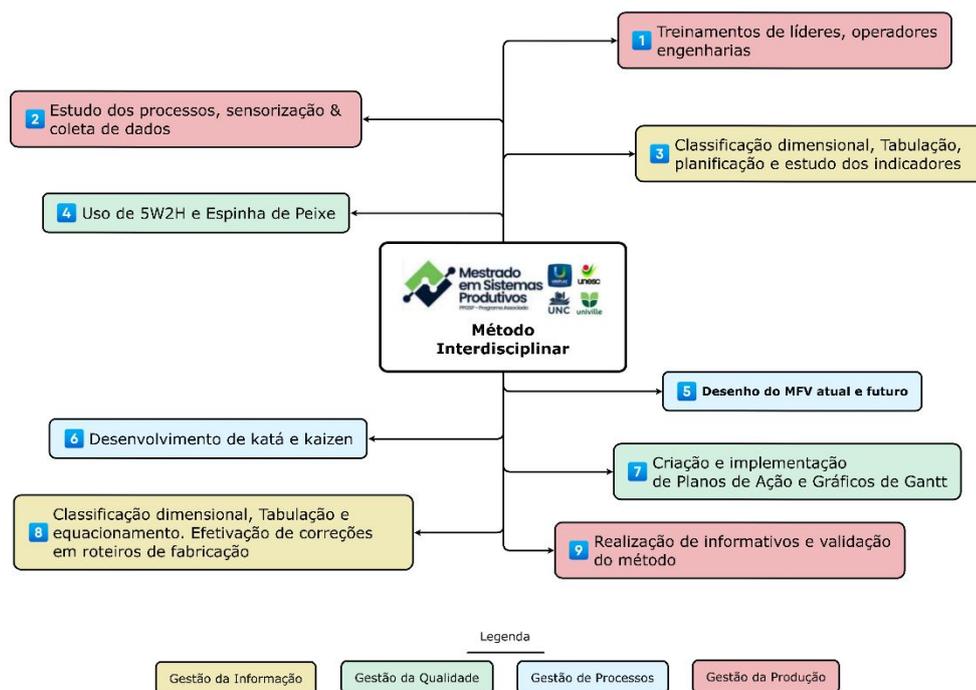
Quanto aos procedimentos, foi realizado estudo de caso em uma seção de processamento de materiais em aço de uma indústria metalomecânica, o que Silva & Menezes (2005) consideram ser o olhar aprofundado em um objeto piloto de forma ser possível amplo e detalhado conhecimento das suas variáveis para posterior aplicação em ambiente semelhante.

Esta foi uma pesquisa experimental uma vez que foram selecionadas as variáveis capazes de influenciar o objeto de estudo e definidas as formas de controle e observação dos seus efeitos sobre o objeto (Silva & Menezes, 2005).

Prodanov & Freitas (2013) consideram que quando a pesquisa tem associação de ação ou resolução de problema coletivo com participação ativa e conjunta do pesquisador e do pesquisado, como o caso deste estudo que trata da escassez de mão de obra e necessidade de aumento no volume produzido, define-se o procedimento do trabalho científico como pesquisa-ação.

A Figura 19 apresenta a sequência de etapas do método interdisciplinar da pesquisa com envolvimento da Gestão da Informação; Gestão da Qualidade; Gestão de Processos e Gestão da Produção.

Figura 19
Método interdisciplinar proposto para a alcançar os objetivos da pesquisa



Fonte: os autores

A empresa selecionada como alvo desta pesquisa é uma indústria metalomecânica de porte médio, com faturamento anual de até R\$ 500 milhões e mais de 200 funcionários. Seu ramo de atuação envolve a fabricação de produtos de logística para grandes mineradoras, portos, aeroportos, agricultura e montadoras de veículos. Trata-se de uma empresa familiar, porém com gestão profissional, que está em processo de transformação digital e orientada para processos, incluindo a implementação da filosofia *Lean Manufacturing*. Seu objetivo é se posicionar como a maior fabricante nacional em seu segmento até 2027, atualmente já figurando entre as três maiores indústrias do ramo no país. Além disso, a companhia busca melhorar o planejamento de produção por meio da implementação de sistemas de *Advanced Planning and Scheduling (APS)*, os quais dependem das informações de tempos de produção fornecidas pelo *Manufacturing Execution System – Sistema de Execução de Produção (MES)*.

A organização possui três principais linhas de produtos divididos nas fábricas 01, 02 e 03 da Figura 20 , com processos de corte, solda, conformação, usinagem, pintura e montagem, e decidiu implementar o MES antes do APS, visando alcançar um nível de efetividade de produção de 70% em toda a sua unidade industrial até 2027.

Compreensão da efetividade da fabricação e dos impactos das variáveis operacionais do processo; 2) Registro de eventos durante a fabricação; 3) Utilização efetiva dos dados do *Manufacturing Execution System* (MES) para embasar a tomada de decisões; 4) Aplicação de ferramentas do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e do *Lean Manufacturing* para coordenar melhorias nos processos.

Esses treinamentos foram registrados no *Business Process Management* (BPM) e, como resultado da pesquisa, foram apresentados em forma de total de horas de treinamento realizadas. Além dos temas mencionados anteriormente, os participantes do projeto receberam informações sobre o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, bem como a justificativa para o estudo, com base na inserção social esperada.

Os treinamentos foram conduzidos de forma periódica, tanto para líderes como para operadores, aplicados diariamente no período compreendido entre janeiro e julho de 2023 no chão de fábrica quando envolviam aspectos operacionais ou na sala de aula quando abordavam conceitos teóricos. Os tópicos abordados incluíam: 1) Apresentação dos conceitos de efetividade de produção; 2) Apresentação dos conceitos do MES; 3) Uso e funcionalidades do sistema; 4) Análise de indicadores e acompanhamento de resultados.

O processo de treinamento foi gerenciado utilizando a ferramenta de Plano de Ação do Sistema de Gestão da Qualidade, na qual foram estabelecidas datas e equipes a serem capacitadas, além da quantidade de repetições necessárias.

Dessa forma, os treinamentos tiveram como objetivo capacitar os líderes, operadores e engenheiros envolvidos no projeto, fornecendo-lhes conhecimentos e habilidades necessários para a implementação das melhorias propostas e para alcançar uma maior eficiência na fabricação dos produtos.

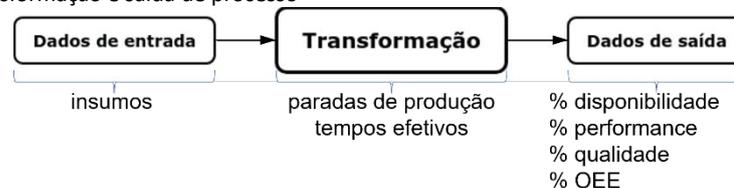
3.1.2 Coleta de dados

Para a coleta de dados executada entre os meses de janeiro e julho de 2023, foram implementados planos de ação e mapas mentais contendo as seguintes etapas básicas para a implementação dos sistemas, hardwares e equipamentos:

- **Análise de instalação:** Nesta etapa, foram estudados os diferentes tipos de máquinas e processos, identificando como os sinais elétricos seriam obtidos através dos coletores IoT (*Internet of Things* – Internet das Coisas).
- **Infraestrutura:** Foi realizada uma análise dos tipos de rede de comunicação e computadores necessários para cada máquina, a fim de garantir a adequada transmissão de dados.
- **Sensoriamento:** Esta etapa tratou da instalação dos sensores de coleta de dados, estabelecendo a comunicação com os coletores IoT e validando os sinais obtidos.
- **Treinamentos operacionais e gerenciais:** Foram conduzidos treinamentos para os operadores e gestores envolvidos no processo, garantindo o correto manuseio dos sistemas e equipamentos utilizados na coleta de dados.
- **Acompanhamento:** Foi realizado um acompanhamento constante do processo de coleta de dados, visando garantir a qualidade e integridade das informações obtidas.

A coleta de dados foi realizada por meio de um programa computadorizado do tipo MES (*Manufacturing Execution System*), integrado a coletores de dados IoT genéricos e sensores de contagem instalados nas máquinas. Os principais dados coletados incluíram o tempo de processo de agregação de valor, o tempo de parada das máquinas e o tempo gasto em atividades que não agregam valor. Para o propósito da pesquisa, a Figura 21 demonstra a estrutura dos dados.

Figura 21
Dados de entrada, transformação e saída de processo



Fonte: os autores

Entrada:

- Dados dimensionais dos insumos - diâmetro, comprimento, espessura.

Transformação:

- Tempos de paradas - planejadas e não planejadas.
- Motivos das paradas.

- Tempo de ciclo por classe dimensional de produto - grupos de comprimentos, espessuras, diâmetros.

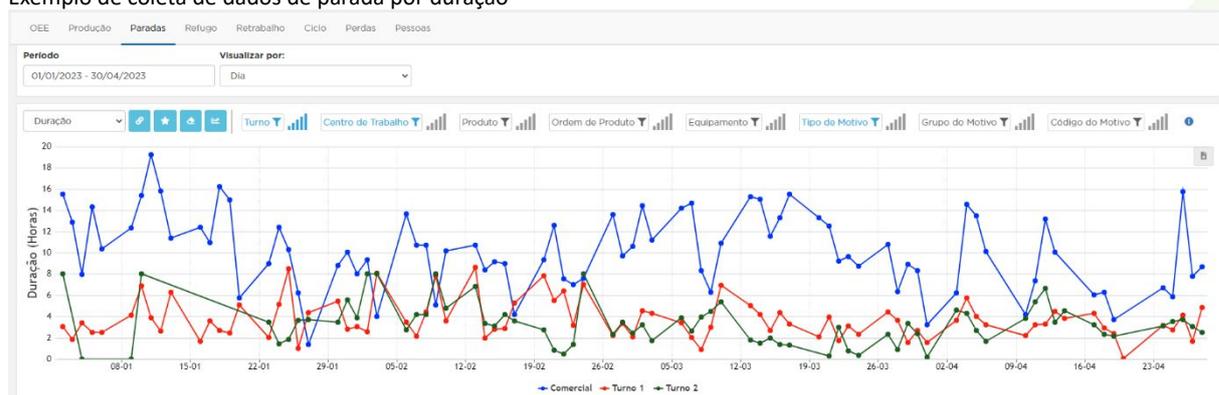
Saída:

- Índices de OEE, disponibilidade, performance e qualidade por máquina.
- Quantidade de lotes fabricados.
- Quantidades fabricadas por lote.

Como entrada, os dados dimensionais (diâmetro, comprimento e espessura) foram coletados diretamente das Ordens de Trabalho (OT), que foram alimentadas pela estrutura do *Stock Keeping Unit* – Unidade de manutenção de estoque (SKU) proveniente do ERP.

Os dados de transformação foram coletados diretamente do sistema MES utilizado pela indústria alvo de pesquisa, que oferece relatórios consolidados, históricos e analíticos com os dados de paradas planejadas ou não planejadas, motivos das paradas e tempos de ciclo por SKU. Esses dados foram enviados para planilha eletrônica e relacionados de acordo com o agrupamento dos dados de entrada. A Figura 22 apresenta um exemplo da tela utilizada na coleta de dados referente às paradas de produção, ao longo de um determinado período.

Figura 22
Exemplo de coleta de dados de parada por duração



Fonte: MES da organização

A coleta dos dados de saída foi realizada de forma automática pelo sistema MES da indústria alvo da pesquisa. O sistema oferece recursos de estratificação e filtros que

permitem a análise dos dados por turno, centro de trabalho, ordem de produto, equipamento, tipo de motivo, grupo de motivo e código de motivo.

A Figura 22 mostrou, os dados foram estratificados por turno e filtrados pelo centro de trabalho específico do setor de corte, que é o foco da pesquisa. Além disso, foram consideradas apenas as paradas não planejadas para análise.

Essa abordagem permitiu obter informações detalhadas sobre os índices de OEE, disponibilidade, performance e qualidade por máquina, bem como a quantidade de lotes fabricados e as quantidades fabricadas por lote.

A Figura 23 apresenta exemplo de coleta de dados de OEE, disponibilidade, performance e qualidade.

Figura 23
Exemplo de coleta de dados de transformação



Fonte: sistema computadorizado de MES da organização alvo da pesquisa

A coleta automática dos dados pelo sistema MES garantiu a precisão e confiabilidade das informações obtidas, proporcionando uma base sólida para a análise e interpretação dos resultados da pesquisa.

Foram definidos planos de ação conforme preconiza a ferramenta do Sistema de Gestão da Qualidade para melhoria do quesito Disponibilidade, bem como *Kaizen* e *Katá* apoiados pelo *Lean Manufacturing*. Para melhoria da Performance foi implantado procedimento operacional de coleta de dados por classificação dimensional de tubo (diâmetro, comprimento e espessura) cujo dado de saída é a média aritmética simples dos tempos de ciclo da peça processada. Este dado foi usado para correção dos roteiros de fabricação e atualizado a cada mês pela área de Engenharia.

3.1.3 Planificação e estudo dos indicadores de entrada, transformação e saída

Nesta seção, serão apresentados a planificação e o estudo dos indicadores de entrada, transformação e saída utilizados durante a pesquisa. A Figura 24 ilustra os dados considerados para cada fase do processo.

Figura 24
Dados de entrada, transformação e saída de processo



Fonte: os autores

No que diz respeito aos dados de entrada, os insumos foram classificados de acordo com o tipo de material, diâmetro, comprimento e espessura. Os dados de processamento e transformação envolveram a tabulação e análise das paradas não planejadas e dos tempos de ciclo efetivos para cada SKU. Os dados de saída foram obtidos por meio da medição, em cada centro de trabalho, do tempo de disponibilidade efetiva, do índice de perda de velocidade de transformação (performance), das perdas por qualidade no processo (como operações em falso, retrabalhos ou refugos), do percentual de efetividade OEE de produção, além do volume fabricado por lote e da quantidade de lotes diferentes. Utilizou-se análise de Pareto para escolher os dados de entrada, saída e transformação com maior percentual de representatividade para o estudo.

No que diz respeito aos dados de transformação, as paradas de máquina foram reportadas ao setor de Engenharia de Processos por meio de informativos diários consolidados, extraídos do programa computadorizado MES. Esses informativos continham informações sobre as causas e durações das paradas, estratificadas por máquina. As causas das paradas foram tabuladas e ordenadas com base na duração, permitindo que o setor, em colaboração com as equipes envolvidas, utilizasse essas informações para elaborar planos de ação, com base na ferramenta Espinha de Peixe do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), e implementar melhorias por meio da metodologia *Kaizen do Lean Manufacturing*.

A Tabela 8 apresenta os principais motivos de parada encontrados durante um período de 120 dias, entre janeiro e abril de 2023.

Tabela 8
Motivos de parada

Motivo da parada	Duração (horas)	Duração (%)	MTTR (horas)	MTBF (horas)
Setup para troca de OT	961,67	27,4	0,09	0,70
Falta de mão de obra	595,6	17,0	0,79	3,25
Ajuste de dispositivos	360,9	10,3	0,12	1,19
Abastecer máquina	274,2	7,8	0,15	2,28
Abastecer palete	185,8	5,3	0,10	0,73
Retirada de cavaco/rejeito	183,0	5,2	0,97	10,87
Buscar palete	174,5	5,0	0,08	1,25
Manutenção corretiva	113,2	3,2	0,16	2,72
Café/ água/ banheiro	101,07	2,9	0,11	2,51
Outros motivos	556,0	15,9	0,35	80,83

Nota: tempos apresentados em horas; Fonte: os autores

Observa-se que o motivo de parada com maior representatividade é o "Setup para troca de OT", seguido pela "Falta de mão de obra", por isso este motivo de parada foi escolhido para realização do estudo dos dados de saída. Além disso, "Abastecer Máquina", "Abastecer palete" e "Buscar palete", relacionados à logística interna, podem ser interpretados como desperdícios de transporte de acordo com os conceitos Lean.

Além desses dados, com o objetivo de atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), à abordagem Triple Bottom Line (3BL) e à Produção mais Limpa (P+L), foram coletados dados de consumo de papel A4 e plástico de proteção para papel A4 no sistema ERP (*Enterprise Resource Planning* – Planejamento dos Recursos da Organização) da empresa, antes e depois da implementação do uso de desenho eletrônico em substituição ao uso de desenhos impressos. Utilizando a calculadora de emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Giegrich (2021), foram calculados os efeitos ambientais da diferença entre o uso de desenhos impressos protegidos por plástico e o uso de desenhos digitais.

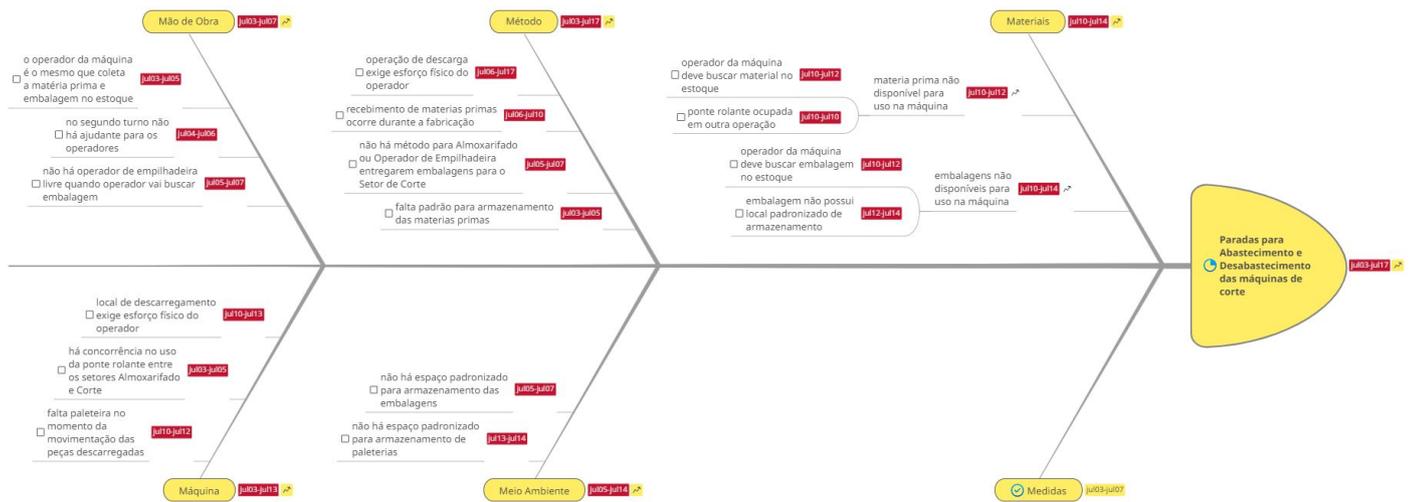
3.1.4 Uso de 5W2H e Espinha de Peixe

A partir dos dados de entrada, processamento e saída coletados, foram conduzidos estudos utilizando ferramentas da gestão da qualidade, como o 5W2H e a Espinha de Peixe. Essas ferramentas foram empregadas com o objetivo de identificar as causas de cada tipo de

parada e perda de qualidade, que resultam na redução da efetividade das três máquinas específicas abordadas no escopo do projeto.

A Figura 25 mostra exemplo de diagrama de Espinha de Peixe usado no projeto na busca de redução de tempo de parada pelos motivos "Abastecer Máquina", "Abastecer palete" e "Buscar palete".

Figura 25
Exemplo de diagrama de Espinha de Peixe



Fonte: dados da empresa alvo da pesquisa

Para realizar essa análise das causas, contou-se com a participação ativa dos operadores de produção, líderes e profissionais das áreas de Engenharia de Produção e Engenharia de Processo. Essa abordagem colaborativa envolveu todos os agentes relevantes no processo de análise, a fim de garantir uma compreensão abrangente das causas subjacentes às paradas de produção.

Além disso, profissionais do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), estiveram envolvidos no processo, contribuindo com sua *expertise* na identificação de possíveis melhorias e na proposição de soluções para mitigar as causas raiz das paradas e perdas de qualidade identificadas.

Dessa forma, a combinação das ferramentas 5W2H e Espinha de Peixe, aliada à colaboração dos diversos profissionais envolvidos, possibilitou uma análise abrangente e estruturada das causas das paradas de produção no setor piloto, visando à implementação de medidas corretivas eficazes para aumentar a efetividade das máquinas estudadas.

Com base nos dados apresentados na Tabela 13, foi levado em consideração o aspecto comercial da empresa alvo da pesquisa, que consiste na venda de lotes com menos de 50 unidades. Diante dessa análise, decidiu-se que este não seria o momento adequado para abordar o motivo de parada relacionado ao "Setup para troca de OT". Além disso, o motivo de parada denominado "Falta de mão de obra" foi analisado pelo setor de Recursos Humanos e identificado como resultado de baixo comprometimento dos funcionários em relação ao trabalho. Portanto, os motivos relacionados ao desperdício de transporte, como "Abastecer máquina" e "Desabastecer máquina", foram selecionados para estudo detalhado na ferramenta 5W2H, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9

Exemplo de análise 5W2H dos motivos de parada "Abastecer máquina" e "Desabastecer máquina"

O quê (What)	Por quê? (Why)	Onde? (Where)	Quem? (Who)	Como? (How)	Quanto? (How much)
Matéria prima não disponível para uso na máquina	Matéria prima é separada no momento da necessidade	Máquina de corte	Equipe Kaizen	Criar <i>kaban</i> de matéria prima com base na programação	
Embalagens não disponíveis para uso na máquina	Embalagem é coletada no momento da necessidade	Máquina de corte	Equipe Kaizen	Criar <i>kaban</i> de embalagem	
Operação de descarga exige esforço físico do operador	Depois do corte a peça é descarregada na altura do piso e operador deve mover para palete	Máquina de corte	Equipe Kaizen	Desenvolver carrinho para operador não precisar trocar de embalagem	
Recebimento de matéria prima ocorre durante a fabricação	Não há comunicação entre os setores	Almoxarifado	Equipe Kaizen	Criar planilha de programação de recebimento de matéria prima	
Falta padrão para armazenamento de matéria prima	Não houve instrução e não há regra de local de armazenamento	Almoxarifado	Equipe Kaizen	Delimitar áreas de acordo com o tipo de matéria prima	
Não há espaço padronizado para armazenamento de embalagens	Não houve instrução e não há regra de local de armazenamento	Almoxarifado	Equipe Kaizen	Delimitar áreas específicas para embalagens	
Não há espaço padronizado para estacionamento de paleteiras	Não houve instrução e não há regra de local de estacionamento	Setor de Corte	Equipe kaizen	Delimitar áreas específicas para estacionamento	

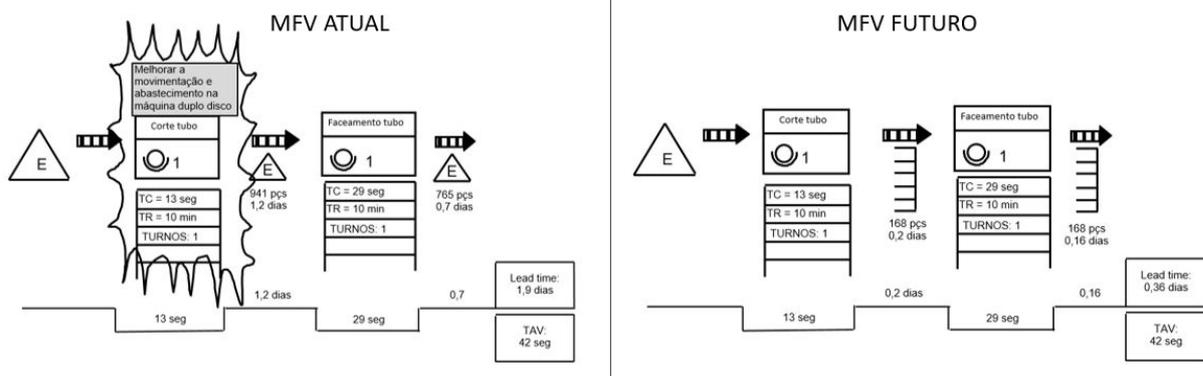
Nota: Foram realizados estudos somente para as três máquinas do setor de corte; os números das máquinas condizem com os apresentados na Figura 19 Fonte: dados da empresa alvo da pesquisa

A partir da análise das causas foram criados planos para atuar de forma corretiva. Observa-se, neste caso específico, tendência de ocorrências em processos logísticos, que não impactam no produto tecnicamente.

3.1.5 Desenho do MFV atual e futuro

A ferramenta de desenho do Mapa de Fluxo de Valor atual e futuro do *Lean Manufacturing* foi utilizada para apresentação visual dos processos já com as indicações de *kaizen* de acordo com as causas dos motivos de parada encontradas por centro de trabalho ou operação. Cada MFV será construído com apoio dos envolvidos em cada processo e máquina, onde será usado, para o MFV atual, os tempos de ciclo coletados automaticamente das máquinas antes das melhorias de processo. A Figura 26 mostra exemplo com os Mapas de Fluxo de Valor Atual e Futuro da área de corte.

Figura 26
Exemplo de Mapas de Fluxo de Valor Atual e Futuro



Fonte: dados da empresa alvo da pesquisa

No MFV Atual é possível observar estoques intermediários durante o fluxo do material e a possibilidade de aplicação de *Kaizen* no primeiro processo. O MFV Futuro já apresenta proposta de redução dos estoques intermediários com a aplicação de *kanban* com possibilidade de redução do tempo de atravessamento (*lead time*) de 1,9 dias para 0,36 dias.

3.1.6 Desenvolvimento de *katá* e *kaizen*

Após a construção do MFV do estado futuro foi utilizado o método *katá* do *Lean Manufacturing* para condução da implementação de ações específicas de melhorias em

processo, bem como a ferramenta *kaizen* para estudo e implementação de ações macro. A Figura 27 apresenta exemplo de mapa de *Katá* utilizado durante a pesquisa.

Figura 27
Exemplo de *Katá* utilizado na pesquisa



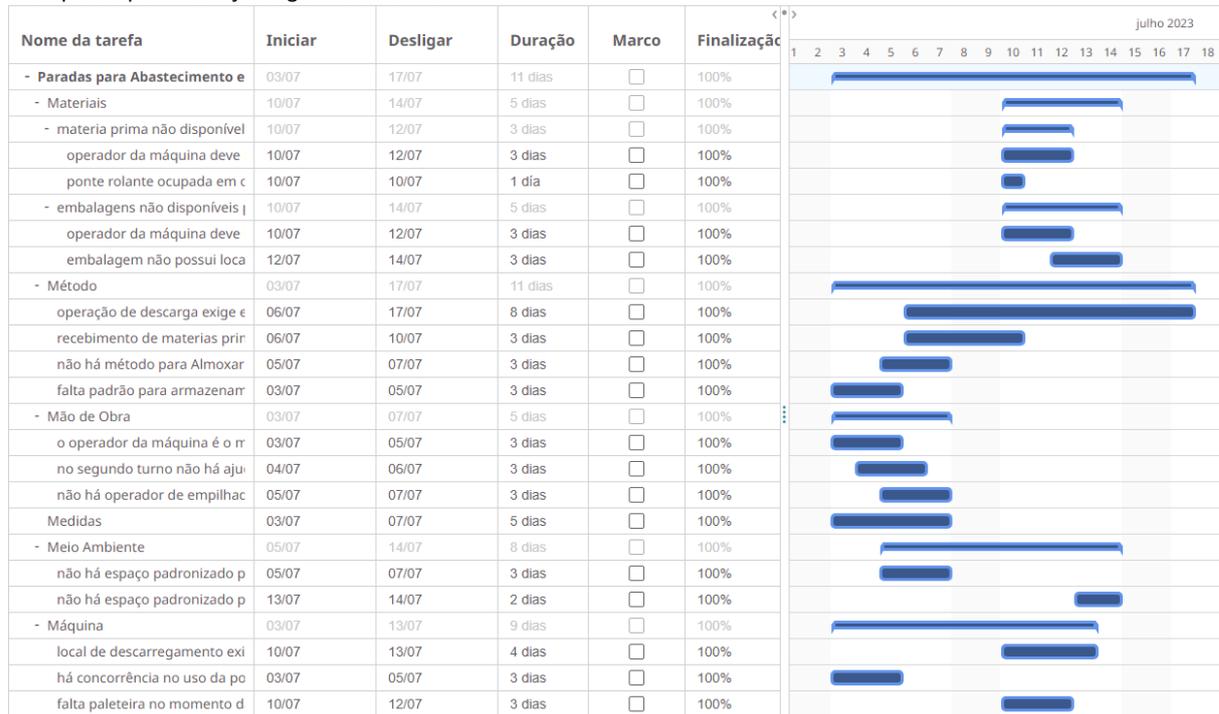
Fonte: dados da empresa alvo da pesquisa

3.1.7 Criação e implementação de planos de ação e gráficos de Gantt

Em conjunto com as ferramentas do *Lean Manufacturing* foi utilizado o programa computadorizado de BPM para registro dos planos de ação com responsáveis de acordo com o processo em questão e geração de gráficos de Gantt para monitoramento e gestão das ações.

A Figura 28 mostra exemplo de planos de ação e gráfico de Gantt.

Figura 28
Exemplo de plano de ação e gráfico de Gantt



Fonte: dados da empresa alvo da pesquisa

Com base nas causas identificadas no diagrama de Espinha de Peixe representado na Figura 25 foram desenvolvidas ações, conforme detalhado na Tabela 9. Estas ações foram posteriormente consolidadas em um plano de ações e representadas em um gráfico de Gantt. Estas etapas serviram como base para conduzir as etapas de *katá* e *kaizen*, como da Figura 27.

3.1.8 Classificação dimensional, tabulação e equacionamento versus tempo de ciclo

O sistema MES da organização-alvo proporcionou informações detalhadas acerca da produção e das paradas de produção, as quais foram categorizadas por ordem de fabricação, SKU, dimensões (comprimento, espessura e diâmetro), tempo ativo, tempo de parada, tempo de parada por *setup*. Todos os dados relacionados a tempo de processo ou parada foram convertidos para minutos.

Esses dados foram importados para uma planilha, na qual as ordens de produção de retrabalho, desenvolvimento e manutenção foram excluídas. Foram selecionados apenas os

centros de trabalho que participaram do experimento, descrito na Figura 20. A planilha resultante foi importada no software *Statistica* versão 14.0.0.15 para análise de dados.

3.1.9 Realização de informativo e validação do método

O informativo final com os indicadores de efetividade por máquinas (OEE) e da área estudo do projeto (OPE) foi preparado com a inclusão das variáveis de entrada, processamento e saída para uso como resultado desta pesquisa.

As áreas envolvidas contribuíram com comentários e análises que foram registrados no relatório final do projeto da organização alvo da pesquisa.

3.1.10 Atendimento aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Para medir o atendimento aos ODS foram seguidas as metodologias descritas abaixo que foram desenvolvidas pelos autores.

3.1.10.1 ODS 8 - Promoção de ambiente seguro para o trabalhador

Utilizando os dados resultantes das análises das causas das paradas não planejadas de produção, identificou-se um setor que necessita da implementação de ações corretivas. Nesse contexto, além da busca pela efetividade de produção e redução de paradas no processo, a atenção foi direcionada para medidas que visam aprimorar as condições ergonômicas dos operadores, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na Norma Regulamentadora NR17 do Ministério do Trabalho e Previdência Social, (2022). Antes de efetivar essas medidas de melhoria, foram apresentadas ao Setor de Serviço Especializado de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) para avaliação e aprovação.

3.1.10.2 ODS 9 – Promoção da inovação na indústria e do desenvolvimento individual

Segundo os estudos conduzidos por Sveiby et al., (2012), a inovação pode ser percebida como algo completamente novo por um indivíduo e, ao mesmo tempo, já estar

em prática há algum tempo para outro. No contexto desta pesquisa se busca identificar a integração entre ferramentas do Sistema de Gestão da Qualidade, *Lean Manufacturing* e *Manufacturing Execution System*. É importante ressaltar que as duas primeiras abordagens já estavam em uso na organização investigada antes do início desta pesquisa, no entanto, os conceitos do MES eram genuinamente novos para toda a gestão e operação da empresa alvo da pesquisa, os quais sequer tinham conhecimento da existência da tecnologia apresentada pelo pesquisador.

Foi constatado a implementação do MES no setor de Corte por meio de fotos das máquinas sensorizadas e pelos treinamentos direcionados às áreas envolvidas. Os dados relacionados aos treinamentos foram coletados diretamente do sistema BPM da organização alvo da pesquisa, em número de horas e quantidade de pessoas divididas em áreas de atuação de liderança, operação e apoio.

3.1.10.3 ODS 12 - Estudo do consumo de papel e plástico para impressão de Ordens de Trabalho

Os dados referentes ao consumo de papel na impressão de Ordens de Trabalho foram obtidos com base no sistema informatizado da indústria alvo da pesquisa que separa por usuário e por setor todas as impressões realizadas. Foi escolhido o período de 12 meses, o setor PPCP, com todos os seus usuários, sendo que todos geram impressões em papel sulfite A4 em uma única máquina impressora dedicada para Ordens de Trabalho de todas as fábricas. Foram coletados do sistema ERP as quantidades de Ordens de Trabalho geradas e impressas no mesmo período. Foram usados dados da ISO536, (2019) para encontrar o peso de uma folha de papel e A4 com gramatura 75 g/m² consumida na impressão de ordens de produção.

A obtenção da quantidade e peso de sacos plásticos de polipropileno para proteção das folhas de sulfite A4 foi realizada com base nas diferentes vias de subordens de produção impressas por família de produto.

A partir dos estudos de Bowyer et al., (2020) calcularam-se quantas árvores seriam salvas com a possível redução de consumo de papel, enquanto a pesquisa de Van Oel & Hoekstra, (2010) apresentou referência para o cálculo de volume de água consumido na fabricação das folhas de papel A4.

Com o uso da Calculadora de emissões de gases do efeito estufa (GEE) de Giegrich, (2021) foi calculada a emissão de gases poluentes a partir da possível redução de consumo de papel e plástico com a implementação da proposta da pesquisa na totalidade dos processos da indústria alvo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ACHADOS CIENTÍFICOS

4.1.1 Interpretação dos dados coletados

Esta seção apresentará as discussões sobre os dados encontrados ao longo da pesquisa.

4.1.1.1 Dados de entrada

Os dados de entrada relacionados ao tipo de insumo foram agrupados em planilha eletrônica de acordo com os grupos dimensionais, conforme apresentado na Tabela 10.

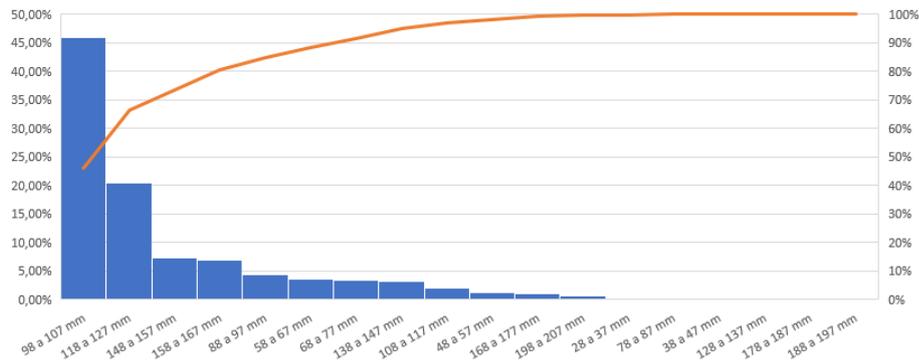
Tabela 10
Intervalos de dimensões dos dados de entrada

Intervalos de diâmetro	Intervalos de comprimento	Intervalos de espessura
28 a 37	0 a 199	1,0 a 2,9
38 a 47	200 a 399	3,0 a 4,9
48 a 57	400 a 599	5,0 a 6,9
58 a 67	600 a 799	7,0 a 8,9
68 a 77	800 a 999	9,0 a 10,9
78 a 87	1.000 a 1.199	11,0 a 12,9
88 a 97	1.200 a 1.399	13,0 a 14,9
98 a 107	1.400 a 1.599	15,0 a 16,9
108 a 117	1.600 a 1.799	17,0 a 18,9
118 a 127	1.800 a 1.999	19,9 a 20,9
128 a 137	2.000 a 2.199	21,0 a 22,9
138 a 147	2.200 a 2.399	23,0 a 24,9
148 a 157	2.400 a 2.599	
158 a 167	2.600 a 2.799	
168 a 177	2.800 a 2.999	
178 a 187		
188 a 197		
198 a 207		

Nota: a unidade de medida é milímetro; período 120 dias Fonte: os autores

Observa-se que há ampla variedade de intervalos de diâmetro, comprimento e espessura, os quais, em conjunto, corroboram com o título da pesquisa relacionada à fabricação puxada por lote em processo descontínuo. A Figura 29 apresenta o gráfico de Pareto com a classificação dimensional por intervalos de diâmetro de tubo.

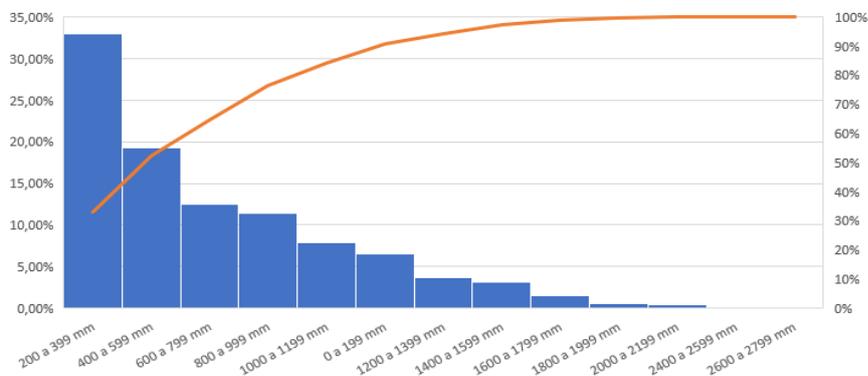
Figura 29
Classificação por intervalos de diâmetro de tubo



Fonte: os autores

Entre os diâmetros encontrados, observou-se predominância no consumo de tubos compreendidos entre 98 e 107 mm e entre 118 e 127 mm, ambos representando 66% do total de medidas observadas. A Figura 30 apresenta o gráfico de Pareto com a classificação dimensional por intervalos de comprimento de tubo.

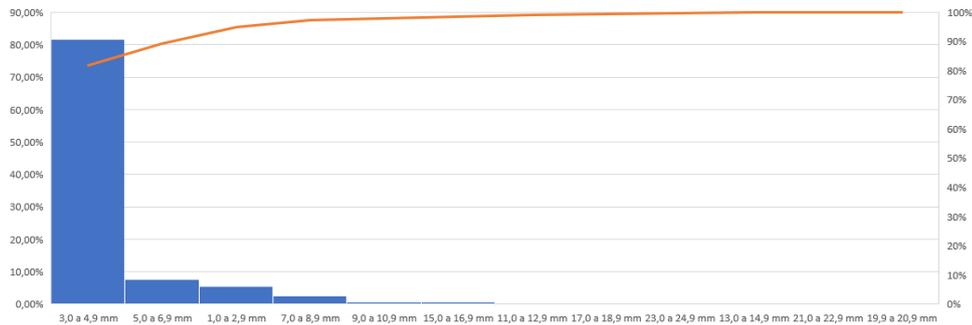
Figura 30
Classificação por intervalos de comprimento de tubo



Fonte: os autores

Entre os comprimentos encontrados, observou-se predominância no consumo de tubos compreendidos entre 200 e 399 mm, 400 e 599 mm, 600 e 799 mm e 800 e 999 mm, juntos representando 76% do total de medidas observadas. A Figura 31 apresenta o gráfico de Pareto com a classificação dimensional por intervalos de espessura de tubo.

Figura 31
Classificação por intervalos de espessuras de tubo



Fonte: os autores

Entre as espessuras encontradas observou-se predominância no consumo de tubos compreendidos entre 3,0 e 4,9 mm, representando 82% do total de medidas observadas. Com base nas informações de consumo coletadas como dados de entrada da matéria-prima tubo, considerando-se aquelas classificações com maior predominância observada nos respectivos gráficos de Pareto, na Tabela 11 apresentam-se as dimensões diâmetro, comprimento e espessura.

Tabela 11
Intervalos de dimensões dos dados de entrada com maior predominância

Intervalos de diâmetro	Intervalos de comprimento	Intervalos de espessura
98 a 107 = 45,8%	200 a 399 = 33,0%	3,0 a 4,9 = 81,8%
118 a 127 = 20,5%	400 a 599 = 19,3%	
	600 a 799 = 12,6%	
	800 a 999 = 11,4%	

Nota: a unidade de medida é milímetro; período 120 dias Fonte: os autores

4.1.1.2 Dados de transformação

Como dados de transformação, na Tabela 12 comparou-se o tamanho do lote individual de cada Ordem de Trabalho com o volume de tubos cortados.

Tabela 12
Tamanho de lote de produção versus volume produzido

Tamanho do lote de produção	OT produzidas
-----------------------------	---------------

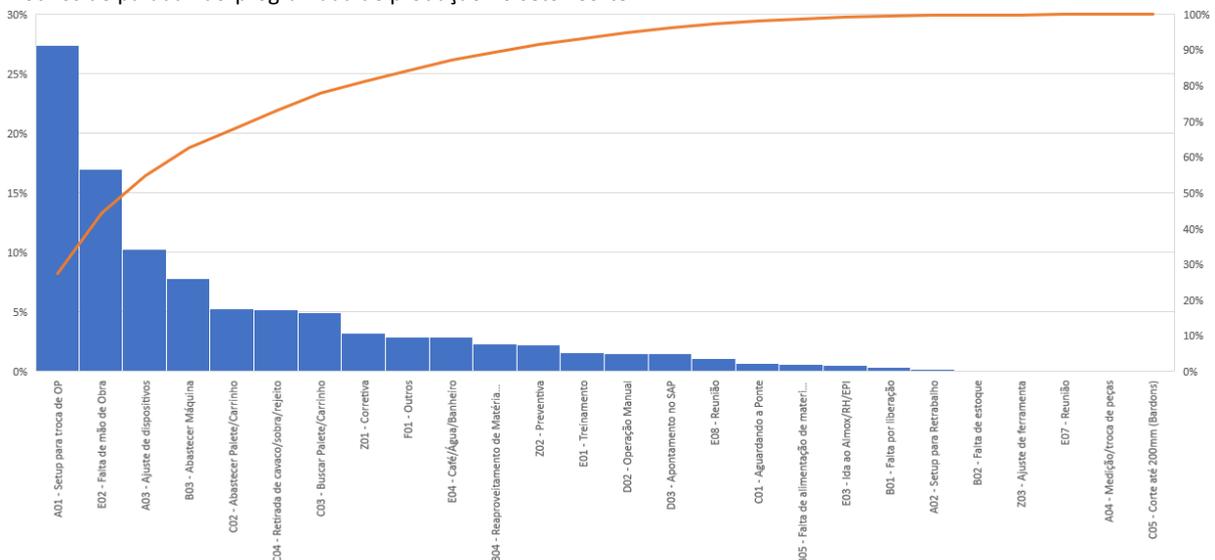
(tubos cortados)	(%)
1 a 10	41,23
11 a 20	17,47
21 a 30	10,72
31 a 40	5,30
41 a 50	6,65
Acima de 50	18,63

Nota: período de 120 dias Fonte: os autores

Observa-se maior volume produzido com lotes inferiores a 10 unidades, corroborando a situação da empresa alvo como manufatura por lote. A troca de lotes durante a fabricação, se não houver um planejamento de produção pensado para isso, pode ser responsável por desperdício de tempo de processo de preparação de equipamento (*setup*).

A Figura 32 apresenta o gráfico de Pareto com os tipos de paradas de produção não programadas coletadas automaticamente pelos coletores IoT conectados a sensores elétricos instalados nos equipamentos de corte e discriminadas via sistema MES pelos operadores de produção.

Figura 32
Motivos de parada não-programada de produção no setor Corte



Fonte: os autores

Entre os motivos de parada encontrados observou-se que “*Setup para troca de OP*” corresponde a 27,4%, “*Falta de mão de obra*” corresponde a 17,0% e “*Ajuste de dispositivos*” a 10,3%. Os três motivos juntos equivalem a 54,7% do total de paradas não programadas

encontradas no período. Buscou-se relacionar os dados dos tamanhos de lote encontrados na Tabela 12 com os dados de paradas de produção da Tabela 8, o que deu origem à Tabela 13.

Tabela 13
Tamanho de lote de produção versus paradas de produção

Tamanho do lote de produção (tubos cortados)	Total de paradas (%)	Paradas por motivo <i>Setup</i> (%)
1 a 10	22,78	26,98
11 a 20	13,18	16,01
21 a 30	6,74	7,17
31 a 40	5,11	3,48
41 a 50	8,47	7,23
51 a 60	1,94	1,82
61 a 70	1,79	1,26
71 a 80	2,54	1,10
81 a 90	1,02	0,46
91 a 100	4,93	2,35
101 a 110	1,09	0,28
111 a 120	2,19	1,04
121 a 130	0,29	0,05
Acima de 130	27,94	30,77

Nota: período de 120 dias Fonte: os autores

Observa-se que quanto menor a quantidade de tubos cortados no lote, maior a quantidade de paradas, bem como a quantidade de paradas pelo motivo “*Setup*”.

4.1.1.3 Dados de saída

A Figura 33 apresenta os dados de coleta de efetividade global do equipamento (do inglês *Overall Equipment Effectiveness – OEE*) durante o período do estudo e implantação do projeto na área do setor de Corte da organização alvo da pesquisa.

Figura 33
Histórico do OEE durante a pesquisa no setor Corte

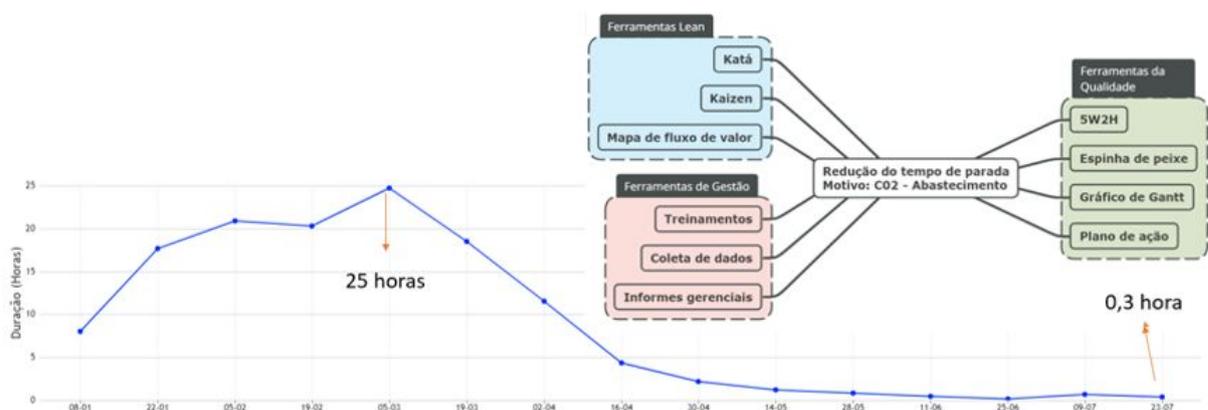


Fonte: sistema computadorizado da empresa alvo da pesquisa

Observa-se aumento do OEE no setor ocorrido em virtude das ações definidas em planos de ação de melhoria onde foram usadas ferramentas de 1) Gestão de produção: treinamentos operacionais; estudo dos processos; 2) *Lean Manufacturing*: *Kaizen*, *Katá*, MFV atual e futuro; e 3) Sistema de Gestão da Qualidade: plano de ação, mapa de Gantt, 5W2H, Espinha de Peixe.

A Figura 34 mostra a redução das horas paradas após a integração das ferramentas interdisciplinares do *Lean Manufacturing*, Gestão da Qualidade e Gestão de Produção.

Figura 34
Uso de ferramentas integradas para redução de parada não planejada



Fonte: os autores e sistema computadorizado da empresa alvo da pesquisa

Observa-se que se alcançou até 25 horas paradas na quinzena destacada e, após a implementação das ferramentas em evidência, praticamente eliminaram-se paradas pelo

motivo “abastecimento”. Este fato foi um dos contribuintes para o aumento da efetividade de fabricação no período estudado.

4.1.2 Tratamento estatístico dos dados

Os dados de paradas de produção não planejadas foram organizados, tabulados e analisados com o auxílio de software Statistica versão 14.0.0.15. Foi buscado avaliar o impacto do tamanho do lote de fabricação nas paradas por *setup*, uma vez que este é o maior motivo por paradas não planejadas encontrado na área pesquisada e o tamanho dos lotes é relativamente pequeno se comparado com o tempo individual de cada peça cortada.

Foi projetado um planejamento experimental não-paramétrico onde as variáveis independentes, fatores de controle do planejamento, foram os ‘centros de trabalho’, ou seja, as máquinas de corte 1, 2 e 3, resultando em 3 níveis, e o número de ‘peças cortadas’, em lotes de 1 a 5, 6 a 10, até 46 a 50, resultando em 10 níveis, de acordo com a Tabela 14. As variáveis de resposta foram o ‘tempo ativo’, as ‘paradas totais’, e o ‘tempo de *setup*’. Foram consideradas 5 réplicas.

Tabela 14
Tabela do planejamento experimental não paramétrico

Centros de trabalho	Peças cortadas	Tempo ativo (min)	Paradas totais (min)	Tempo de <i>setup</i> (min)
Máquina de corte 01	1 a 5	0,8333	19,8000	1,8000
Máquina de corte 01	6 a 10	1,0083	13,2000	2,4000
Máquina de corte 01	11 a 15	8,3833	2,7000	0,6000
Máquina de corte 01	16 a 20	9,1833	16,8000	0,6000
Máquina de corte 01	21 a 25			
Máquina de corte 01	26 a 30			
Máquina de corte 01	31 a 35			
Máquina de corte 01	36 a 40			
Máquina de corte 01	41 a 45			
Máquina de corte 01	46 a 50			
Máquina de corte 02	1 a 5	0,9167	1,8000	1,8000
Máquina de corte 02	6 a 10	3,1958	5,5500	4,5000
Máquina de corte 02	11 a 15	5,8833	5,4750	3,0000
Máquina de corte 02	16 a 20	5,2333	6,9000	2,7000
Máquina de corte 02	21 a 25	6,9583	4,5000	3,9000
Máquina de corte 02	26 a 30	14,6333	13,2000	1,5000
Máquina de corte 02	31 a 35	11,9667	5,4000	1,2000
Máquina de corte 02	36 a 40	14,9917	8,1000	0,9000
Máquina de corte 02	41 a 45			
Máquina de corte 02	46 a 50			
Máquina de corte 03	1 a 5	1,3500	9,8500	7,8500

Máquina de corte 03	6 a 10	5,0788	6,9273	3,5455
Máquina de corte 03	11 a 15	13,4611	11,0000	2,4000
Máquina de corte 03	16 a 20	4,6944	18,8000	9,4000
Máquina de corte 03	21 a 25	13,7833	21,0000	4,2000
Máquina de corte 03	26 a 30			
Máquina de corte 03	31 a 35			
Máquina de corte 03	36 a 40	22,4167	30,0000	0,6000
Máquina de corte 03	41 a 45	32,6833	107,4000	6,0000
Máquina de corte 03	46 a 50	53,0833	31,2000	5,4000

Nota: somente se representa nesta tabela uma das cinco réplicas, pois a tabela ficou grande; vide Apêndice 01 Fonte: os autores

Há combinações de tamanhos de lote (coluna “peças cortadas”) que não tiveram ocorrências durante o período da pesquisa, por isso observam-se espaços vazios na tabela e no Apêndice 01, os quais afetaram a análise, mas ainda assim evidenciou-se significância estatística para as três respostas (tempo ativo, paradas totais, tempo de setup).

4.1.2.1 Análise do ‘tempo ativo’

A análise de variância para o ‘tempo ativo’ da produção em função do ‘centro de trabalho’ e do nº de ‘peças cortadas’ é mostrada na Tabela 15.

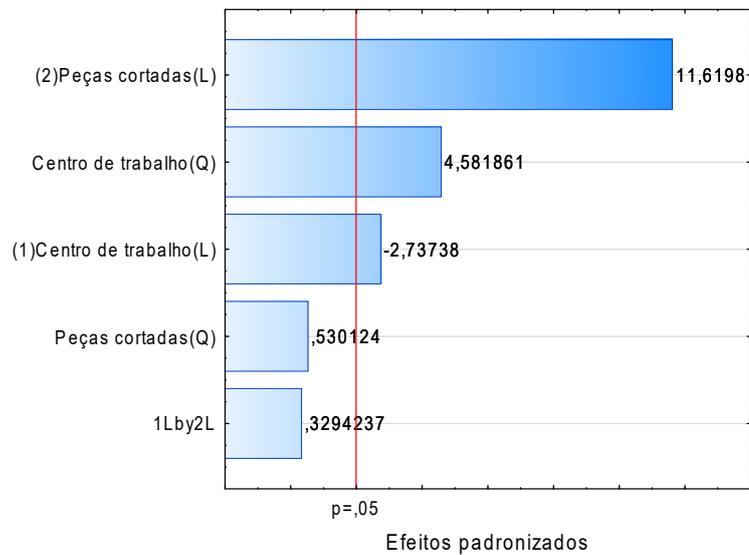
Tabela 15
Análise de variância para ‘tempo ativo’

Fator	SS	df	MS	F	p
Centro de trabalho (L)	249,4	1	249,4	7,49	0,00757
Centro de trabalho (Q)	698,6	1	698,6	20,99	0,000016
Peças cortadas (L)	4493,0	1	4493,0	135,02	<0,00001
Peças cortadas (Q)	9,35	1	9,35	0,28	0,60
Centro de trabalho (L) × Peças cortadas (L)	3,61	1	3,61	0,11	0,74
Erro	2762,0	83	33,3		
Total SS	8863,2	88			

Nota: em azul estão destacados os fatores com significância estatística Fonte: os autores

Os fatores individuais ‘centro de trabalho’ para a função linear e quadrática, e ‘peças cortadas’, para a função linear, são significativos a 95% para o ‘tempo ativo’ de produção, com $\alpha \ll 0,05$. O diagrama de Pareto para o ‘tempo ativo’ é mostrado na Figura 35

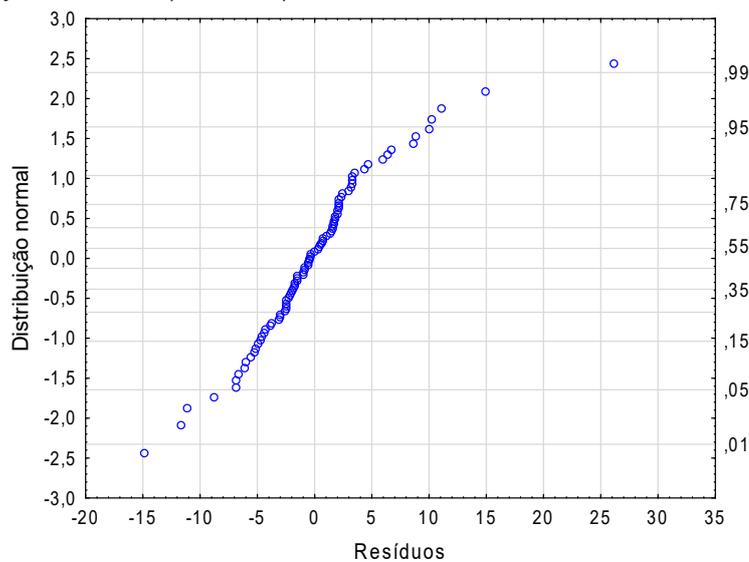
Figura 35
Diagrama de Pareto para o 'tempo ativo'



Fonte: os autores

O fator 'peças cortadas', modelo linear, é o que mais afeta o 'tempo ativo', seguido do 'centro de trabalho' em modelo quadrático. Para 'tempo ativo', a variação do 'centro de trabalho' e das 'peças cortadas' segue uma distribuição normal, conforme demonstrado na Figura 36.

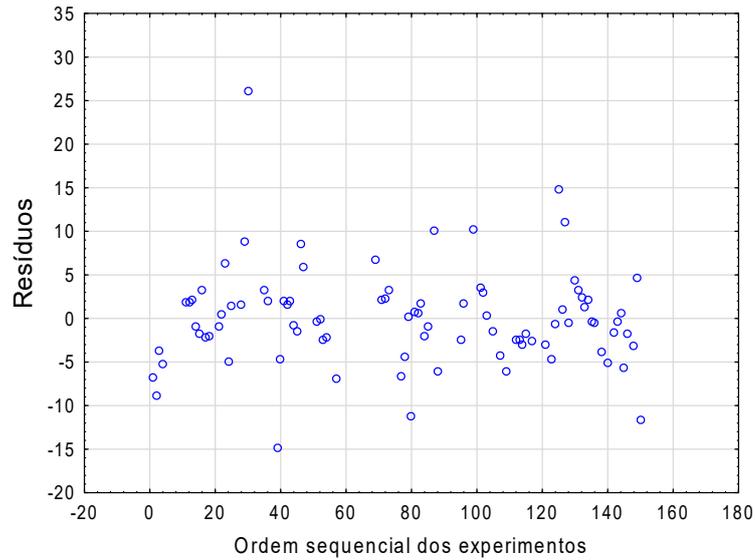
Figura 36
Distribuição normal em função dos resíduos para o 'tempo ativo'



Fonte: os autores

No entanto, o ajuste dos pontos experimentais ao modelo de distribuição normal, dado pelo coeficiente de determinação R^2 , é de 0,69. Ou seja, 69% dos pontos experimentais são representados pelo modelo. Observar que o ajuste do modelo não foi melhor devido à falta de resultado para várias réplicas. Mas, mesmo assim, o modelo é muito significativo estatisticamente, acima de 99,99%, de acordo com a Tabela 15. O experimento foi executado em ordem aleatória, como pode ser observado pelo gráfico da Figura 37.

Figura 37
Gráfico de tendências (aleatoriedade) para 'tempo ativo'

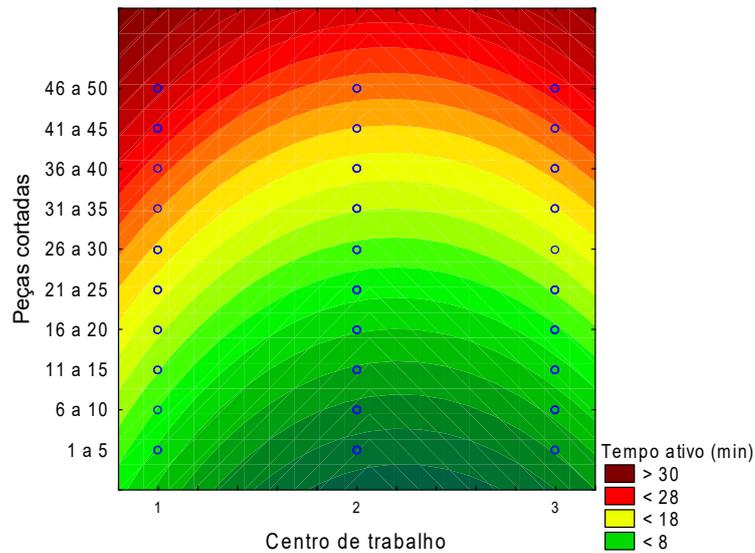


Fonte: os autores

Não há tendência para a distribuição, mostrando aleatoriedade para a variável de resposta 'tempo ativo'. O efeito da variação do 'centro de trabalho' em função do número de 'peças cortadas' para a variável 'tempo ativo' é mostrado na superfície de resposta da Figura 38.

Figura 38

Superfície de resposta para o 'tempo ativo' em função do 'centro de trabalho' e do número de 'peças cortadas'



Fonte: os autores

O 'tempo ativo' é maior para os 'centros de trabalho' 1 e 3, para o lote de 'peças cortadas' de 46 a 50 peças, com tempo ativo maior que 30 min. O menor 'tempo ativo', inferior a 8 min, ocorre para os lotes de 1 a 5 'peças cortadas' com o 'centro de trabalho' 2.

O modelo de regressão linear para o 'tempo ativo' em função do 'centro de trabalho' e de 'peças cortadas' é representado pela Equação 5. O 'centro de trabalho' tem forte efeito na redução do 'tempo ativo', expoente negativo da equação. Ou seja, o tipo de máquina de corte afeta fortemente o 'tempo ativo' nas operações de corte.

Equação 5
modelo de regressão linear para o 'tempo ativo'

$$\text{tempo ativo} = 25,9 - 25,2CT + 5,8CT^2 + 1,9PC \pm 6,8$$

Fonte: os autores

Em que:

CT = centro de trabalho

PC = peças cortadas

4.1.2.2 Análise das 'paradas totais'

A análise de variância para as 'paradas totais' da produção em função do 'centro de trabalho' e do número de 'peças cortadas' é mostrada na Tabela 16, com $R^2 = 0,23$.

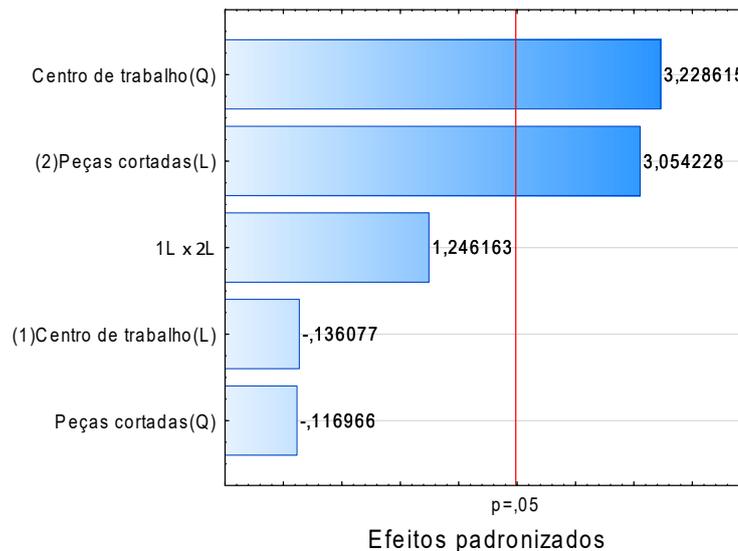
Tabela 16
Análise de variância para "paradas totais"

Fator	SS	df	MS	F	p
Centro de trabalho (L)	4,03	1	4,03	0,0185	0,892
Centro de trabalho (Q)	2265,93	1	2265,93	10,424	0,002
Peças cortadas (L)	2027,76	1	2027,76	9,328	0,003
Peças cortadas (Q)	2,97	1	2,97	0,0137	0,907
Centro de trabalho (L) × Peças cortadas (L)	337,57	1	337,57	1,553	0,216
Erro	18042,2	83	217,38		
	7				
Total SS	23320,1	88			
	6				

Nota: em azul estão destacados os fatores com significância estatística Fonte: os autores

Os fatores individuais 'centro de trabalho' para modelo quadrático, e 'peças cortadas', para o modelo linear, são significativos a 95% para as 'paradas totais' de produção, com $\alpha \ll 0,05$. O diagrama de Pareto para as 'paradas totais' é mostrado na Figura 39.

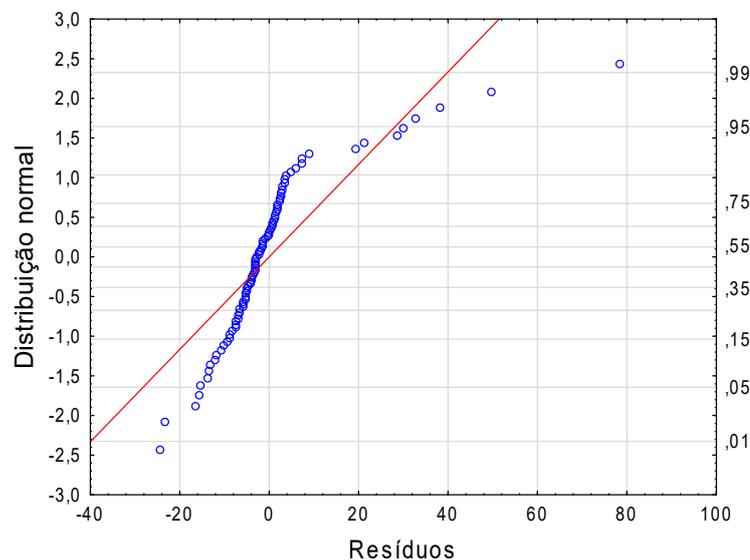
Figura 39
Diagrama de Pareto para as 'paradas totais'



Fonte: os autores

O fator 'centro de trabalho' em modelo quadrático, é o que mais afeta as 'paradas totais', seguido de 'peças cortadas', modelo linear. Porém, para as 'paradas totais', a variação do 'centro de trabalho' e das 'peças cortadas' não segue uma distribuição normal, como observado na Figura 40, o que explicaria a falta de ajuste dos pontos experimentais ao modelo de distribuição normal, $R^2 = 0,23$. Ou seja, apenas 23% dos pontos experimentais são representados pelo modelo, apesar da alta significância estatística, 99,9%, de acordo com a Tabela 16.

Figura 40
Distribuição normal em função dos resíduos para as 'paradas totais'



Fonte: os autores

Devido aos pontos experimentais para as 'paradas totais' não seguirem uma distribuição normal, foi feita uma transformação das variáveis utilizando o modelo de Box-Cox. O experimento foi executado em ordem aleatória, como pode ser observado pelo gráfico da Figura 37. Não há tendência para a distribuição, mostrando aleatoriedade para a variável de resposta 'tempo ativo'.

Foi obtido um coeficiente lambda de 0,0077 e a análise de variância foi recalculada para a nova base de dados após transformação, conforme Tabela 17.

Tabela 17
Análise de variância para as ‘paradas totais’ após transformação por Box-Cox

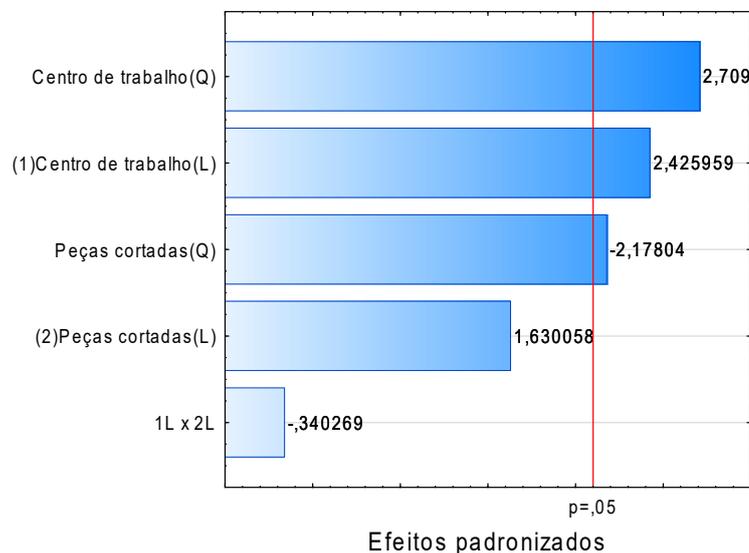
Fator	SS	df	MS	F	p
Centro de trabalho (L)	181,2	1	181,2	5,89	0,026
Centro de trabalho (Q)	226,1	1	226,1	7,34	0,014
Peças cortadas (L)	81,8	1	81,8	2,66	0,120
Peças cortadas (Q)	146,1	1	146,1	4,74	0,043
Centro de trabalho (L) × Peças cortadas (L)	3,56	1	3,56	0,12	0,738
Erro	554,22	18	30,7901463		
Total SS	1791,37	23			

Nota: em azul estão destacados os fatores com significância estatística Fonte: os autores

Após transformação lambda, os fatores individuais ‘centro de trabalho’, linear e quadrático, e ‘peças cortadas’, quadrático, foram as variáveis independentes mais significativas no planejamento, com $\alpha < 0,05$. Agora o ajuste do modelo é melhor, $R^2 = 0,69$.

O diagrama de Pareto para as ‘paradas totais’ após a transformação lambda é mostrado na Figura 41.

Figura 41
Diagrama de Pareto para as ‘paradas totais’ após transformação lambda

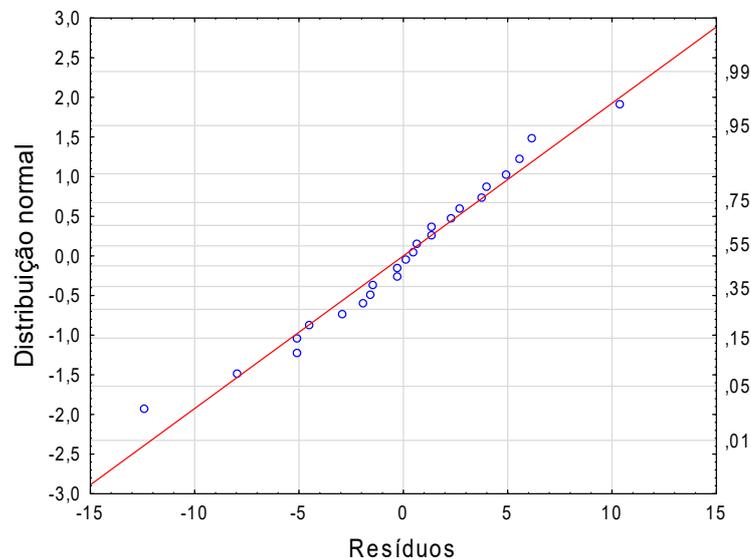


Fonte: os autores

O fator ‘centro de trabalho’, modelo quadrático e linear, é o que mais afeta as ‘paradas totais’, seguido de ‘peças cortadas’ em modelo quadrático.

Após transformação, as 'paradas totais', em função da variação do 'centro de trabalho' e das 'peças cortadas' segue uma distribuição normal como observado na Figura 42.

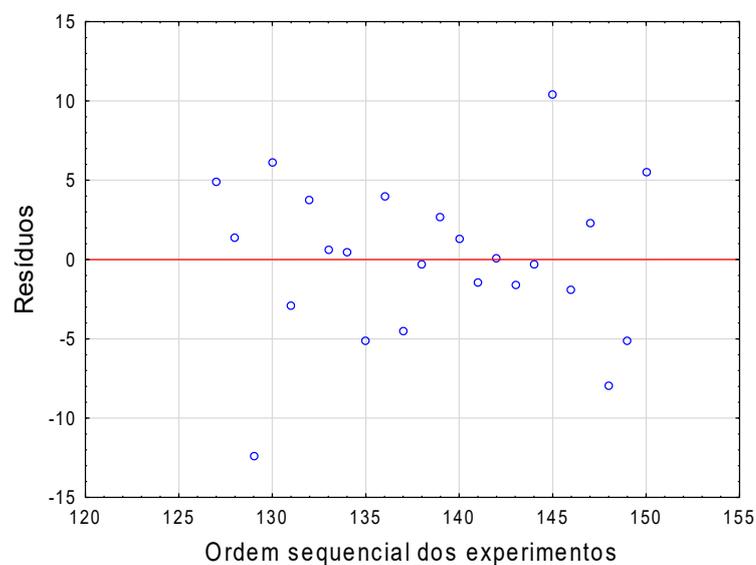
Figura 42
Distribuição normal em função dos resíduos para as 'paradas totais' após transformação lambda



Fonte: os autores

O experimento é considerado aleatório, de acordo com a Figura 37. Não há tendência para a distribuição, mostrando aleatoriedade para a variável de resposta 'paradas totais'.

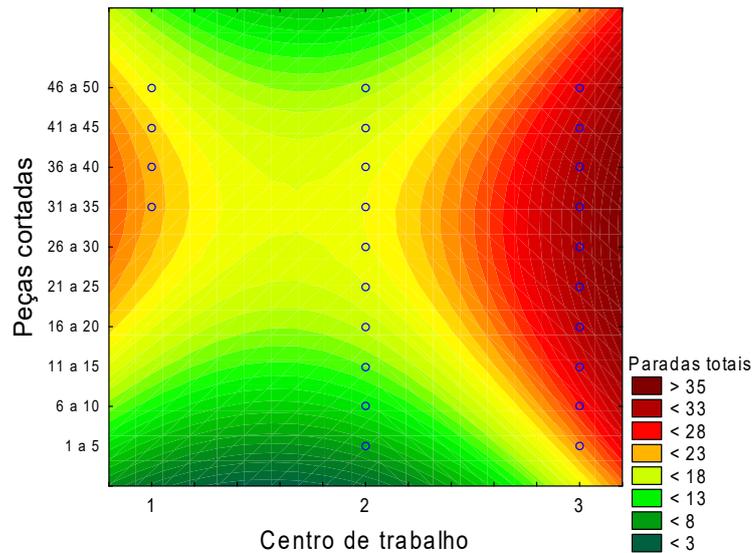
Figura 43
Gráfico de tendências (aleatoriedade) para 'paradas totais'



Fonte: os autores

O efeito da variação do 'centro de trabalho' em função do número de 'peças cortadas' para a variável 'paradas totais' é mostrado na superfície de resposta da Figura 44.

Figura 44
Superfície de resposta para as 'paradas totais'



Fonte: os autores

As 'paradas totais' são maiores principalmente para o 'centro de trabalho' 3 para todo o intervalo de 'peças cortadas', com 'paradas totais' maiores que 35. A menor 'parada total', inferior a 3 minutos, ocorre para os lotes de 1 a 5 'peças cortadas' com os 'centros de trabalho' 1 e 2.

O modelo de regressão linear para as 'paradas totais' em função do 'centro de trabalho' e de 'peças cortadas' é representado pela eq.2. O 'centro de trabalho' tem o maior efeito na redução das 'paradas totais', expoente negativo da equação. Ou seja, o tipo de máquina de corte afeta fortemente as 'paradas totais' nas operações de corte.

Equação 6
Modelo de regressão linear para as 'paradas totais'

$$\text{'paradas totais'} = 21,7 - 25,2CT + 8,1C T^2 - 0,35PC^2 \pm 16,6$$

Fonte: os autores

Em que:

CT = centro de trabalho

PC = peças cortadas

4.1.2.3 Análise do 'tempo de *setup*'

Finalmente, a análise de variância para o 'tempo de *setup*' da produção em função do 'centro de trabalho' e do nº de 'peças cortadas' é mostrada na Tabela 18.

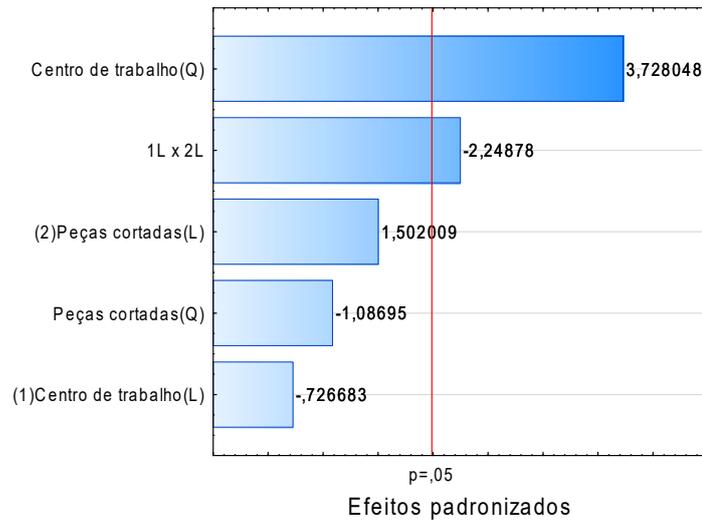
Tabela 18
Análise de variância para o 'tempo de *setup*'

Fator	SS	df	MS	F	p
Centro de trabalho (L)	6,27	1	6,27	0,53	0,469
Centro de trabalho (Q)	165,03	1	165,03	13,90	0,000351
Peças cortadas (L)	26,79	1	26,79	2,26	0,137
Peças cortadas (Q)	14,03	1	14,03	1,18	0,280
Centro de trabalho (L) × Peças cortadas (L)	60,05	1	60,05	5,06	0,0272
Erro	985,57	83	11,874342		
Total SS	1282,39	88			

Nota: em azul estão destacados os fatores com significância estatística Fonte: os autores

Os fatores individuais 'centro de trabalho' para a função linear e quadrática, e 'peças cortadas', para a função linear, são significativos a 95% para o 'tempo ativo' de produção, com $\alpha \ll 0,05$. O diagrama de Pareto para o 'tempo de *setup*' é mostrado na Figura 45.

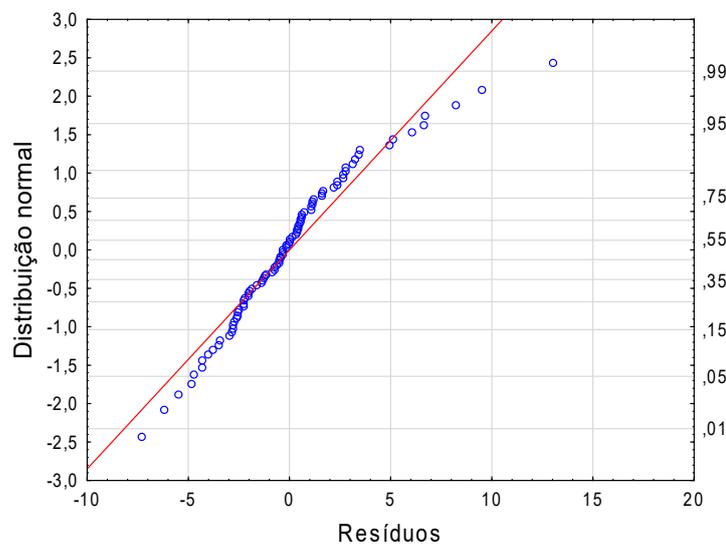
Figura 45
Diagrama de Pareto para o 'tempo de setup'



Fonte: os autores

O fator 'centro de trabalho' em modelo quadrático é o que mais afeta o 'tempo de setup', seguido da interação entre 'centro de trabalho' × 'peças cortadas', modelo linear. Para o 'tempo de setup', a variação do 'centro de trabalho' e das 'peças cortadas' segue uma distribuição normal (Figura 46), apesar do ajuste ruim dos pontos experimentais ao modelo de distribuição normal, onde $R^2 = 0,23$. Ou seja, apenas 23% dos pontos experimentais são representados pelo modelo. Como observado, faltam várias réplicas para melhor ajuste do modelo, mas, o modelo é muito significativo, acima de 99,9% (Tabela 18).

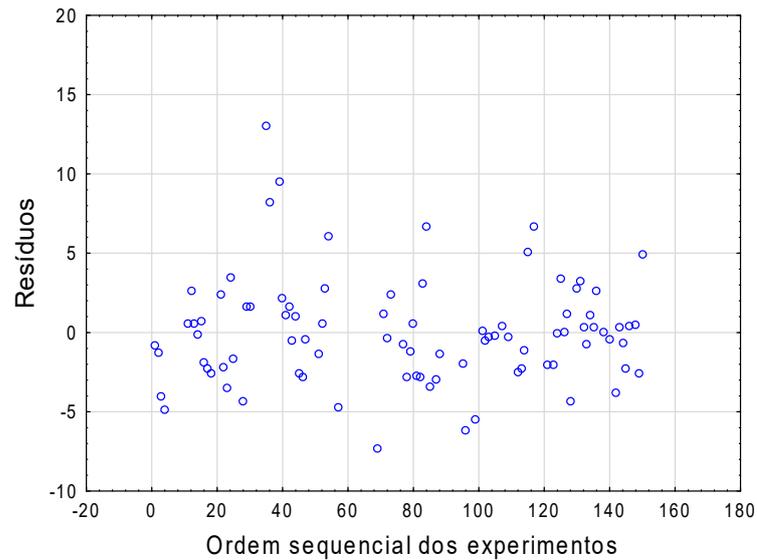
Figura 46
Distribuição normal em função dos resíduos para o 'tempo de setup'



Fonte: os autores

O experimento foi executado em ordem aleatória, como pode ser observado pelo gráfico da Figura 47. Não há tendência para a distribuição, mostrando aleatoriedade para a variável de resposta 'tempo de *setup*'.

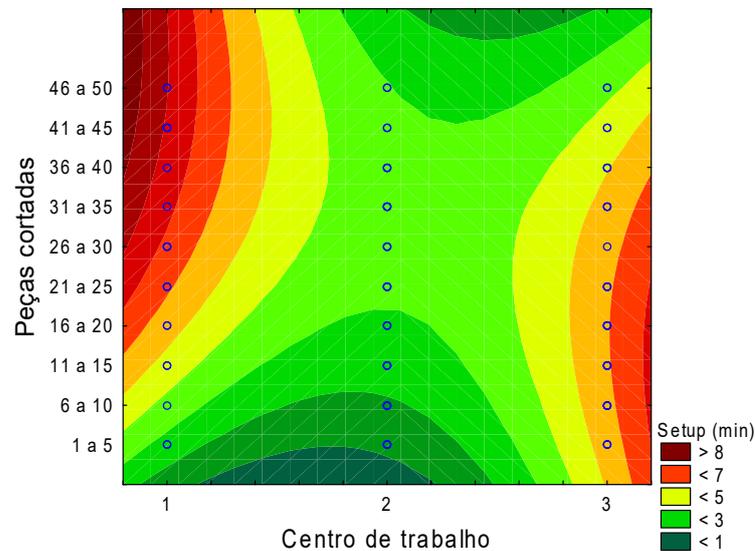
Figura 47
Gráfico de tendências (aleatoriedade) para 'tempo de *setup*'



Fonte: os autores

O efeito da variação do 'centro de trabalho' em função do número de 'peças cortadas' para a variável 'tempo de *setup*' é mostrado na superfície de resposta da Figura 48.

Figura 48
Superfície de resposta para o 'tempo de *setup*'



Fonte: os autores

O maior 'tempo de *setup*' ocorre para os 'centros de trabalho' 1 e 3, para 46 a 50 'peças cortadas' para o centro 1, e para 11 a 20 'peças cortadas' para o centro 3, com tempo ativo maior que 8 minutos. O menor 'tempo de *setup*', inferior a 1 minuto, ocorre para os lotes de 1 a 5 'peças cortadas' com o 'centro de trabalho' 2.

O modelo de regressão linear para o 'tempo de *setup*' em função do 'centro de trabalho' e de 'peças cortadas' é representado pela Equação 7. O 'centro de trabalho', mais uma vez, tem forte efeito no aumento do 'tempo de *setup*', expoente positivo da equação. Ou seja, o tipo de máquina de corte afeta fortemente o 'tempo de *setup*' nas operações de corte.

Equação 7
Modelo de regressão linear para o 'tempo de *setup*'

$$\text{'tempo de setup'} = 8,17 + 2,8CT^2 - 0,4PC \times CT \pm 0,76$$

Fonte: os autores

Em que:

CT = centro de trabalho

PC = peças cortadas

4.1.3 Atendimento aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Na busca pela inserção social desta pesquisa foram avaliados os quesitos que atendam aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas. Foram avaliadas as condições de trabalho dos profissionais de produção, alinhada com o ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico). Ao estimular a aprendizagem e a inovação no ambiente fabril, foi avaliada a contribuição para o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura) e, ao assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, bem como o controle de recursos naturais, foi observado o atendimento ao ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) (ONU, 2022).

4.1.3.1 ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico

De acordo com a Norma Regulamentadora NR17 do Ministério do Trabalho e Previdência Social, (2022), o transporte manual de cargas não pode comprometer a saúde ou a segurança do trabalhador sendo que no levantamento de cargas não deve haver sujeitar o operador a realizar flexões, extensões ou rotações excessivas do corpo, principalmente quando a altura de levantamento for superior a 60 cm. A Figura 49 apresenta exemplo de contribuição da pesquisa ao ODS 8, na busca pelas melhores condições de trabalho do operador.

Figura 49
Atendimento ao ODS 8



Cocho antigo da Duplo Disco



Carrinho da Duplo Disco

Fonte: relatório gerencial de kaizen da empresa alvo da pesquisa

A análise detalhada da primeira imagem revela um cenário caracterizado pela ineficiência, esforço físico e potencial risco ergonômico para o trabalhador, uma vez que o operador da máquina chamada “Duplo Disco” era confrontado com a tarefa de abaixar-se para coletar tubos cortados de até 25kg, seguido pelo desafio adicional de erguê-los da altura do piso e transportá-los manualmente até outra posição dentro do entorno da área fabril. Essa condição era comprometedora para o bem-estar e saúde do operador e impunha restrições à produtividade e à qualidade do processo.

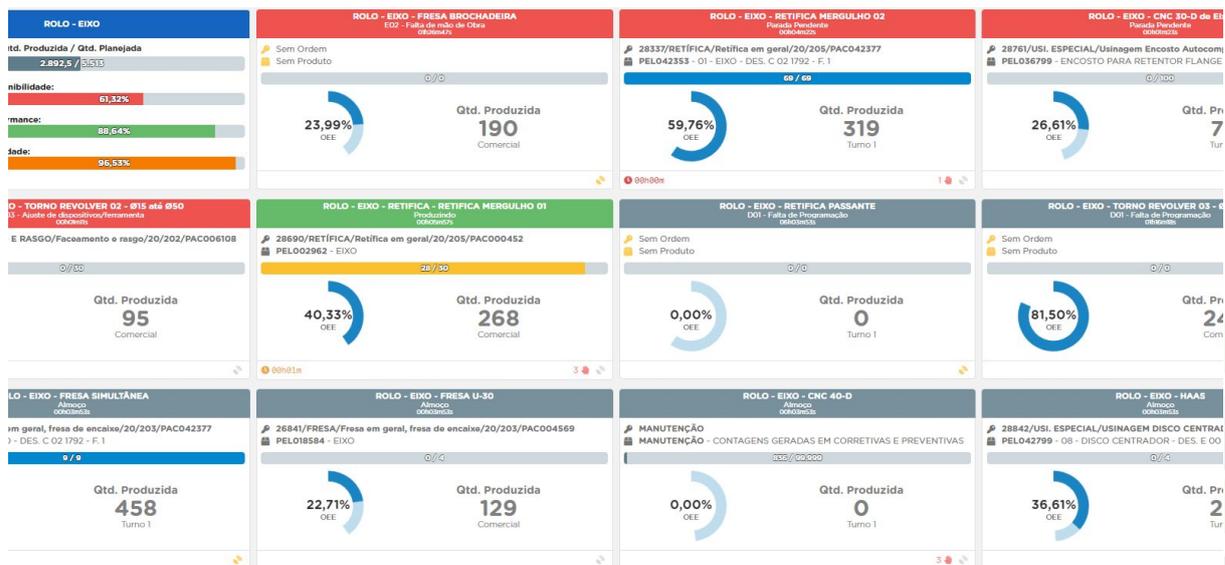
No âmbito da inovação operacional, visando o trabalho decente e crescimento econômico preconizados pelo ODS 8, desenvolveu-se processo em que o tubo então cortado da máquina “Duplo Disco” é depositado em um carrinho com rodas suaves o qual é utilizado como meio de transporte para encaminhar o material processado ao local necessário. O conceito do carrinho surgiu como uma inovação simples e prática que solidificou o compromisso com a ergonomia, eficiência e bem-estar do operador, eliminando por completo o abaixamento e elevação manual de tubos cortados. A otimização do processo de corte através da introdução do carrinho resultou em significativa melhoria na eficiência operacional.

De acordo com a ONU, (2022), a meta 8.8 que diz “Proteger os direitos trabalhistas e promover ambientes de trabalho seguros e protegidos para todos os trabalhadores, incluindo os trabalhadores migrantes, em particular as mulheres migrantes, e pessoas com emprego precário” a promoção de ambiente de trabalho seguro e protegido para todos os trabalhadores foi realizada atendendo a Norma Regulamentadora 17 do Ministério do Trabalho e Previdência Social, (2022).

4.1.3.2 ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura

A Figura 50 representa a materialização da inovação na indústria na interface gráfica do sistema MES implementado na organização alvo da pesquisa durante o período de estudos.

Figura 50
Atendimento ao ODS 9



Fonte: sistema informatizado da empresa alvo da pesquisa

A implementação do sistema MES representou um marco significativo no panorama industrial da empresa alvo da pesquisa. Com o investimento financeiro somado às horas de treinamento gerencial e operacional, a organização demonstra compromisso contundente com a alavancagem da inovação no ambiente fabril. Esse esforço foi observado na implantação de sensores, computadores e tecnologias disruptivas aos operadores propiciando atmosfera propícia à evolução tecnológica e à otimização de processos com

melhoria da efetividade de produção. A implementação impulsionou a companhia na elevação de seus anseios de automatização dos processos e da inteligência do negócio.

Ao favorecer a introdução de novas tecnologias e inovações no ambiente fabril o sistema MES ressoa com o nono objetivo do desenvolvimento sustentável, cuja meta 9.4 fomenta maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados, enquanto a meta 9.5 aborda a questão de trazer melhorias e inovações para os operadores da indústria, pois se concentra na expansão do acesso a tecnologias que podem aprimorar o desenvolvimento e capacitação dos trabalhadores. A melhoria da efetividade de produção favorece o consumo consciente e efetivo no uso de recursos naturais (ONU, 2022). No sistema BPM da indústria alvo da pesquisa foram registrados os treinamentos conforme distribuídos na Tabela 19.

Tabela 19
Tempos de treinamento por pessoa

Sector treinado	Tempo de treinamento (horas)	Quantidade de pessoas	Tempo de treinamento por pessoa (horas/pessoa)
Coordenação	160,65	13	12,36
Engenharia	38,75	5	7,75
Produção	229,40	77	2,98
Manutenção	5,00	2	2,50
Tecnologia	2,50	1	2,50
PPCP	6,50	4	1,63
Qualidade	0,75	3	0,25

Nota: período de 6 meses, jan/23 a jun/23 Fonte: sistema computadorizado da empresa alvo da pesquisa

Observa-se treinamento per capita maior no grupo de liderança representado como Coordenação, seguido pelo setor Engenharia e depois Produção. Os treinamentos foram 1) Compreensão da efetividade da fabricação e dos impactos das variáveis operacionais do processo; 2) Registro de eventos durante a fabricação; 3) Utilização efetiva dos dados do MES (*Manufacturing Execution System*) para embasar a tomada de decisões; 4) Aplicação de ferramentas do SGQ (Sistema de Gestão da Qualidade) e do *Lean Manufacturing* para coordenar melhorias nos processos. Orientou-se os líderes a gerirem valendo-se dos dados fornecidos pelo sistema MES.

4.1.3.3 ODS 12 – Consumo e produção responsáveis

O resultado da pesquisa, em conformidade com o ODS 12, envolveu a avaliação do consumo de papel e plástico polipropileno na organização-alvo. Durante o período de investigação, embora não tenha sido possível eliminar completamente o uso de papel impresso nas ordens de produção e os sacos plásticos protetores das ordens de produção em polipropileno, foi possível, no setor usado como piloto para este estudo, determinar uma redução prevista.

A Tabela 20 apresenta uma análise detalhada do consumo de papel e plástico ao longo de doze meses entre julho de 2022 e junho de 2023 para a impressão de ordens de produção.

Tabela 20
Impressão e proteção de ordens de produção ao longo de 12 meses

Mês	Folhas impressas (unidades)	Peso de papel (kg)	Sacos em polipropileno (unidades)	Peso de sacos em polipropileno (kg)
Primeiro	15.603	72,99	1.816	2,59
Segundo	2.326	10,88	1.453	2,08
Terceiro	2.986	13,97	1,683	2,40
Quarto	3.854	18,03	1,347	1,92
Quinto	16.743	78,32	1.788	2,55
Sexto	16.676	78,01	1.685	2,41
Sétimo	15.745	73,65	1.366	1,95
Oitavo	10.489	49,06	1.319	1,88
Nono	12.543	58,67	1.605	2,29
Décimo	12.867	60,19	1.145	1,63
Décimo primeiro	10.563	49,41	1.706	2,43
Décimo segundo	9.739	45,56	1.402	2,00
Total	130.134	608,73	15.288	26,13

Nota: papel utilizado na empresa alvo para impressão de OP é sulfite A4 gramatura 75g/m²; plástico usado para proteção da OP é polipropileno 22 g/m²; não há relação entre quantidades de papel e plástico, uma vez que, produtos diferentes têm quantidades de vias diferentes protegidas por plástico Fonte: dados da empresa alvo

O processo na área de corte foi reformulado de modo que os operadores recebam de forma eletrônica, diretamente em suas máquinas, as programações de produção definidas pelo setor de PPCP. Isso permite que eles acessem os desenhos com as especificações necessárias para a fabricação diretamente em uma tela computadorizada, eliminando a necessidade de impressão em papel protegido por plástico polipropileno. Como resultado, podemos concluir que todo o papel e plástico usado para impressões de ordens de produção serão eliminados assim que os processos apresentados nesta pesquisa forem implementados

em todas as áreas industriais da empresa alvo, o que corresponde a uma redução de 608,73 kg de papel e 26,13 kg de plástico ao longo de 12 meses.

A Figura 51 apresenta as projeções de redução de poluentes, economia de água e preservação de árvores ao longo de um período de doze meses, após a plena implementação das recomendações da pesquisa na organização-alvo.

Figura 51
Projeções de redução de poluentes, economia de água e preservação de árvores



Fonte: os autores

De acordo com a ISO536, (2019) uma folha de papel A4 com gramatura de 75g/m² pesa 6,25g. Bowyer et al., (2020) concluíram que são necessárias 24 árvores para produzir 1.000 kg de papel. Considerando que, ao longo de doze meses seriam deixados de ser impressos 608,73 kg de papel, os resultados deste estudo, quando completamente implementados na unidade industrial da indústria-alvo da pesquisa, contribuirão para evitar o corte de 15 árvores ao ano ($608,73 \text{ kg} \times 24 \text{ árvores} \div 1.000 \text{ kg} = 14,6 \text{ árvores}$)

Da mesma forma, de acordo com Van Oel & Hoekstra, (2010) a produção de uma folha de papel no Brasil requer o consumo de 2,54 litros de água por folha A4. Portanto, nos doze meses em que foram utilizadas 130.134 folhas, foram gastos um total de 330.540 litros de água. Essa quantidade significativa de água poderá ser conservada por completo com a implementação total dos resultados desta pesquisa.

Com o uso da calculadora de emissões de GEE adaptada às condições brasileiras por Giegrich (2021), a fabricação de papel *Kraft* branqueado, para todo o mundo, exceto na Europa, é responsável pela emissão de 1,55 kg CO₂eq/kg de papel produzido. Com isso, ao considerar a redução do volume de 608,73 kg de papel, pode-se calcular que a redução de emissão de poluentes poderá alcançar 943,53 kg CO₂eq no ano quando implementada por completo na empresa alvo. No caso do polipropileno, sua produção é responsável pela emissão de 1,63 kg CO₂eq/kg, sendo que, ao considerar a redução de 26,13 kg de plástico, estaria se reduzindo a emissão de 42,49 kg CO₂eq no ano. Somando-se a redução da emissão de poluentes obtida com a eliminação de papel e plástico na impressão de ordens de produção o resultado é de 986,02 kg CO₂eq no ano.

4.1.4 Proposta de estudo da efetividade de produção

Com o intuito de investigar a efetividade da produção em um sistema produtivo que adota política de estoque de fabricação por encomenda (MTO) e enfatiza um processo do tipo descontínuo por tarefa, a proposta delinea os procedimentos conduzidos na presente pesquisa, conforme sumarizado na Tabela 21. Recomenda-se a aplicação da seguinte proposta em setores de produção nos quais as operações sejam comparáveis.

Tabela 21
Proposta de estudo da efetividade de produção

Item	Etapas	Comentários
01	Apresentação aos envolvidos	Apresentar o projeto e seus objetivos através de um treinamento abrangendo conceitos de gestão de processos, qualidade e produção, bem como os resultados esperados. Abordar temas como: a) desperdícios e princípios do Lean Manufacturing; b) causa raiz, planos de ação, gestão de indicadores do Sistema de Gestão da Qualidade; c) efetividade de produção, coleta de dados, treinamentos e aprendizagem, informe de resultados da Gestão de Produção; d) estudos estatísticos, planificação e classificação de dados da Gestão da Informação. Os envolvidos incluem operação, engenharia, administração da produção, produto, qualidade e processo.
02	Implementação de sistema MES	Implementar um sistema MES para a captação automática, online e prática da efetividade de produção. Capacitar os envolvidos nos conceitos de disponibilidade, performance e qualidade, destacando os fatores que impactam nos resultados. Observação: Embora seja possível a coleta analógica de dados em planilhas manuais, não é recomendado devido à dependência da cooperação de pessoas.
03	Planificação e estudo dos	Planilhar e estudar os dados que afetam a efetividade de produção em colaboração com as lideranças das áreas envolvidas. Realizar estudos

	indicadores	estatísticos para identificar padrões e orientar ações. É crucial que os líderes das áreas medidas realizem estudos diários dos dados, e os envolvidos no projeto, estudos semanais.
04	Determinação das causas de perda de efetividade	Preencher o diagrama de Ishikawa com dados que impactam negativamente no OEE da área estudada, envolvendo todos os participantes. Elencar causas individuais que geram motivos que impedem o aumento da efetividade. Utilizar a ferramenta "5 Por quês" para explicar cada causa encontrada no diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe. É crucial tratar cada motivo de forma específica em diagramas separados por atividade, consolidando os resultados posteriormente.
05	Levantamento do estado atual	Desenhar o MFV do estado atual em colaboração com todos os envolvidos, considerando todas as perdas identificadas nas etapas anteriores.
06	Planos de ação	Desenvolver planos de ação para abordar as causas identificadas nas etapas anteriores. Gerar gráficos de Gantt para cada plano. A fim de evitar sobrecarregar as equipes, tratar cada plano individualmente por área ou motivo, sem intercalar ações que não atendam ao mesmo objetivo
07	Mapa do estado futuro (MFV)	Propor o MFV em colaboração com todos os envolvidos, considerando todas as ações identificadas nas etapas anteriores.
08	Implementação das ações corretivas	Implementar cada ação do plano desenvolvido, utilizando as ferramentas de implementação de ações do <i>Lean Manufacturing</i> , como Katá e Kaizen. Aproveitar essas abordagens para otimizar o processo de implementação.
09	Análise dos dados de efetividade	A cada análise diária e semanal executada respectivamente pelo líder da área e pelos envolvidos no projeto se deve avaliar o resultado das ações implementadas e buscar corrigir eventuais desvios de análises anteriores. Analisar diária e semanalmente e os resultados das ações implementadas assim como descrito na linha 3 desta tabela. Buscar corrigir eventuais desvios em relação às análises anteriores, assegurando uma constante melhoria no processo.
10	Criação de informe de resultados	Apresentar os resultados em relatório de gestão de produção abrangente, abordando as causas identificadas, diagramas, mapas de fluxo, tabelas, dados e propostas. Destacar especialmente as melhorias realizadas em termos de tempos de processo e redução de desperdícios.
11	Promoção da melhoria contínua	Repetir todos os passos em cada área da indústria em estudo. A metodologia deve ser consistente e permanecer a mesma ao retornar a uma área já estudada. O objetivo é garantir uma evolução constante e sustentável do processo.

Nota: proposta feita com base no setor Corte Fonte: os autores

As etapas propostas são fundamentadas na experiência adquirida ao longo da pesquisa e estão sujeitas a ajustes, dependendo das características do ambiente e da equipe envolvida. Cada macroprocesso da indústria alvo deve ser examinado de forma individual, possibilitando que, à medida que as fases de estudo e implementação são concluídas em uma área específica, a pesquisa progrida para outras áreas. A sequência apresentada é importante, uma vez que direciona envolvimento gradual das equipes envolvidas, aumentando sua maturidade a medida que o projeto avança na execução.

4.2 APLICABILIDADE DO ESTUDO

A pesquisa foi conduzida nas instalações da indústria metalomecânica de porte médio em Santa Catarina, Brasil proporcionando um avanço significativo no desenvolvimento profissional de Coordenadores, Supervisores e Operadores de Produção. Juntos, esses profissionais adquiriram habilidades em análise de dados e implementação de planos de ação para aprimorar processos, impulsionando a adoção das mais recentes tecnologias na esfera industrial.

O foco da pesquisa foi a busca pela integração efetiva entre a gestão de produção, gestão da qualidade e gestão de processos, utilizando ferramentas como *Manufacturing Execution System*, análise de dados, Espinha de Peixe, Plano de Ação, Kaizen, Katá, MFV, entre outras. A constatação fundamental foi a aplicação prática do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e *Lean Manufacturing* na melhoria de processos.

Em sintonia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a pesquisa identificou oportunidades para aprimorar a ergonomia e segurança dos trabalhadores, introduzindo inovações nos processos e práticas de gestão. Além disso, contribuiu para a sustentabilidade no contexto industrial.

Os resultados evidenciaram um aumento significativo na efetividade de produção nas máquinas analisadas, com repetição de resultados positivos nas implementações pós-pesquisa (de acordo com a proposta aqui apresentada). Houve um aumento de 47% na média mensal de fabricação entre o segundo semestre de 2022 e o segundo semestre de 2023, período em que a pesquisa estava em andamento e as ações de melhoria foram aplicadas. Paralelamente, observou-se um aumento de 60% nos atendimentos ao prazo de entrega relacionados a problemas industriais, passando de 53% no primeiro semestre de 2023, para 85% no segundo semestre deste ano.

Além disso, o desenvolvimento da pesquisa antecipou a implementação do projeto de planejamento estratégico de 2024, o *Advanced Planning System* (APS). A pesquisa não apenas forneceu os dados essenciais para dar início ao projeto, mas também consolidou o entendimento dos conceitos fundamentais, garantindo a segurança da equipe na aplicação abrangente do APS.

Para o pesquisador, destaca-se a relevância do tratamento estatístico dos dados que orientou a componente quantitativa desta pesquisa, proporcionando respostas fundamentais sobre as práticas comerciais adotadas pela empresa. A integração sinérgica de ferramentas de gestão, ancorada na interdisciplinaridade entre gestão de produção, gestão da qualidade e gestão de processos, emerge como um marco crucial no desenvolvimento integral da investigação e na consecução de resultados significativos.

A presente pesquisa contribuiu substancialmente para o aprimoramento do conhecimento do pesquisador, particularmente no que concerne à inovação de processos, ao desvelar as potencialidades do *Manufacturing Execution System* (MES), anteriormente desconhecido por este e por toda a organização.

A constatação de que este estudo possui aplicabilidade em diversas empresas metalomecânicas, independentemente de sua localização geográfica, reforça sua relevância e potencial generalizável. A pesquisa se destaca significativamente por sua importância, impactando não apenas a indústria nacional, mas, reverberando no cenário internacional, uma vez que pode ser aplicada em qualquer sistema produtivo de manufatura. Sua singularidade reside na promoção da integração de ferramentas de gestão que, comumente, são adotadas de maneira isolada ou competitiva.

Os resultados da pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos - PPGSP traduziram-se em benefícios tangíveis para a indústria metalomecânica de porte médio estudada, contribuindo para seu crescimento e sustentabilidade, preparando a empresa para os desafios futuros da indústria.

Além disso, a pesquisa abriu caminho para investigar a causa mais comum de paradas não planejadas, o '*setup*', incentivando profissionais das áreas envolvidas a desenvolverem ações específicas para lidar com a manufatura por tarefa e descontínua, com política de fabricação sob encomenda adotada pela indústria estudada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A organização pesquisada possui um sistema de produção descontínua com foco no processo, por tarefa, e uma política de fabricação puxada, o que guiou a escolha da interdisciplinaridade entre as gestões de processos, qualidade e produção para controlar a efetividade global dos equipamentos.

Ao longo desta pesquisa, empreendeu-se uma investigação aprofundada sobre os efeitos decorrentes da integração das ferramentas de Gestão de Processos, Gestão da Qualidade e Gestão de Produção na efetividade de fabricação em um setor de corte da indústria metalomecânica, objeto da pesquisa. O uso de ferramentas do *Lean Manufacturing* em consonância com as do Sistema de Gestão da Qualidade foi solidificado ao longo da pesquisa com contribuições significativas da Gestão de Produção para alcançar os objetivos delineados na proposta de estudo da efetividade no sistema produtivo em questão.

O objetivo específico que buscou analisar dados e informações de entrada, transformação e saída do processo foi atendido quando, após a coleta, os dados foram submetidos a análises estatísticas e Pareto.

A implementação de ferramentas integradas de gestão de produção, qualidade e processos, que atendeu o segundo objetivo específico, demonstrou que o uso de *Lean Manufacturing*, *Manufacturing Execution System*, Sistema de Gestão da Qualidade e Gestão da Produção são eficazes na melhoria da efetividade de produção de uma indústria do setor metalomecânico.

Constatou-se que houve redução nos tempos de paradas não planejadas de fabricação, aumento da efetividade global de equipamento (OEE), melhoria nas análises de dados por parte das lideranças, maior envolvimento entre as pessoas participantes dos processos, identificação e redução de tempos de desperdício, e melhoria na assertividade da aderência de produção. Foi observado que a implementação do MES forneceu dados essenciais para futura implementação de *Advanced Planning and Scheduling* (APS).

O terceiro objetivo específico sobre a análise a produtividade no processo de corte por meio de técnicas de planejamento experimental estatístico e a correlação entre tamanho de lote e número de paradas não forneceu resultados conclusivos. A expectativa de que lotes pequenos, devido à sua natureza, seriam mais afetados pelo tempo de *setup* não foi

confirmada devido à alta variabilidade de produtos com baixos volumes, e à falta de repetibilidade entre os lotes. Ainda assim, concluiu-se que o tipo de processo utilizado nos centros de corte diferentes tem significância estatística nos tempos de *setup* e de paradas de produção.

Por fim, para atender o objetivo geral da pesquisa, foi proposta uma abordagem de estudo da efetividade de produção que pode ser adaptada a qualquer indústria metalomecânica ou outra do sistema produtivo de manufatura, fundamentada na integração interdisciplinar de ferramentas de gestão da qualidade, gestão de processos e gestão de produção. No entanto, a disciplina na execução das etapas propostas é crucial para multiplicar profissionais comprometidos com o propósito de reduzir desperdícios nas operações industriais.

Em termos de contribuição social, esta pesquisa não só atendeu aos requisitos acadêmicos, mas contribuiu com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas. As melhorias nas condições de trabalho, alinhadas com o ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), e a promoção de inovação e aprendizado no ambiente fabril contribuíram para o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura). Da mesma forma, ao assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis e controlar recursos naturais, foram observadas contribuições para o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis).

Esta pesquisa destaca-se por sua relevância tanto para a indústria nacional quanto internacional, ao promover a integração de ferramentas de gestão frequentemente implementadas de forma separada ou competitiva.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se o acompanhamento das implementações da proposta deste estudo nas outras áreas desta empresa ou em outras organizações que porventura venham a ser estudadas.

REFERÊNCIAS

- Antunes, J., Klippel, A. F., Seidel, A., & Klippel, M. (2013). Uma Revolução na Produtividade - A Gestão Lucrativa dos Postos de Trabalho. Bookman. https://www.google.com.br/books/edition/Uma_Revolu%C3%A7%C3%A3o_na_Produtividade_A_Gest/y_rbKk7CvUgC?hl=pt-BR&gbpv=1
- Barbosa, R. R. (2008). Gestão da informação e do conhecimento: origens, polêmicas e perspectivas/Gestión de información y del conocimiento: origen, polêmicas y perspectivas. *Informação & Informação, 13*(1esp), 1–25. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/1843>
- Berić, D., Stefanović, D., Lalić, B., & Ćosić, I. (2018). The implementation of ERP and MES Systems as a support to industrial management systems. *International Journal of Industrial Engineering and Management, 9*(2), 77–86.
- Berti, R. de M. (2010). Implantação de um MES (Sistema De Execução De Manufatura) em um ambiente de manufatura enxuta - um estudo de caso em uma linha de montagem de produtos da linha branca [Dissertação]. Em *Universidade Federal De Santa Catarina*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Boettcher, M. (2015). *Revolução Industrial - Um pouco de história da*. LinkedIn. <https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>
- Bowyer, J. L., Erickson, G., Fernholz, K., Groot, H., Jacobs, M., Mcfarland, A., & Pepke, E. (2020). *Selection of Printing and Writing Paper for Minimum Environmental Impact*. www.dovetailinc.org
- Brown, S., Lamming, R., Bessant, J., & Jones, P. (2006). *Administração da produção e operações - um enfoque estratégico na manufatura e nos serviços* (2ª ed). Elsevier.
- Busso, C. M., & Miyake, D. I. (2012). Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. *Production, 23*(2), 205–225. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000068>
- CAPES. (2022). *Tabela de Áreas de Conhecimento/Avaliação*. <https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/instrumentos/documentos-de-apoio-1/tabela-de-areas-de-conhecimento-avaliacao>
- Castillo, A. C. del, Patsavellas, J., Salonitis, K., & Emmanouilidis, C. (2021). The productivity impact of the digitally connected 5 - Layer stack in manufacturing enterprises. *Procedia CIRP, 104*, 342–350. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.058>
- Castro, A. (2022). *PIB pode crescer 2% este ano, mas 2023 terá desaceleração, diz IFI* Fonte: Agência Senado. Agência Senado. <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/08/17/pib-pode-crescer-2-este-ano-mas-2023-tera-desaceleracao-diz-ifi>
- Cavalcante, L. (2022). *Estudo: Falta de mão de obra qualificada piora, e Brasil é 9º em ranking*. UOL Economia. <https://economia.uol.com.br/empregos-e-carreiras/noticias/redacao/2022/06/20/falta-mao-de-obra-qualificada-brasil-manpowergroup.htm>
- Cesar Cota Alves, J., Bonatti Chaves, M., & Pedro Guimarães Filho, L. (2023). *Estudo bibliométrico do gerenciamento integrado de processos administrativos e industriais relacionados à produção mais limpa*.

- César, F. I. G. (2011). *Ferramentas básicas da qualidade* (1º ed, Vol. 1). Biblioteca24horas.
<https://books.google.com.br/books?id=CniEMu69GTgC&lpq=PA11&ots=HcaCNFlmCT&dq=livro%20ferramentas%20da%20qualidade&lr&hl=pt-BR&pg=PA2#v=onepage&q=livro%20ferramentas%20da%20qualidade&f=false>
- Coggiola, O. (2015). *Da Revolução Industrial ao movimento operário - As origens do mundo contemporâneo*.
- Costa, B. A. D. da. (2014). *Integração da manufatura enxuta, seis sigma e teoria das restrições: um modelo conceitual incluindo sistemas de execução da manufatura e sistemas avançados de planejamento e programação*. Universidade Nove de Julho.
- Davenport, E., & Cronin, B. (2000). Knowledge Management: Semantic Drift or Conceptual Shift? *Journal of Education for Library and Information Science*, 41(4), 294. <https://doi.org/10.2307/40324047>
- De Lima, E. C., & Neto, C. R. de O. (2017). Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. *Revista Espaço Acadêmico*, 194, 102–113.
- Edwards, J. S. (2022). Where knowledge management and information management meet: Research directions. *International Journal of Information Management*, 63(November 2021), 102458. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102458>
- Elzinga, D. J., Horak, T., Chung-Yee Lee, & Bruner, C. (1995). Business process management: survey and methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42(2), 119–128. <https://doi.org/10.1109/17.387274>
- Esmaeel, R. I., Zakuan, N., Jamal, M. N., & Taherdoost, H. (2018). Understanding of business performance from the perspective of manufacturing strategies: fit manufacturing and overall equipment effectiveness. *Procedia Manufacturing*, 22, 998–1006. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.142>
- Falconi, V. C. (2014). *TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)* (9º ed, Vol. 1). Editora Falconi.
- Fayol, H. (1916, março). Administration Industrielle et Générale. *Bulletin de la Société de l'Industrie Minérale*, 3, 17–47.
- Franco, P. C., & Arias, J. L. (2018). Sistemas de gestión ambiental y procesos de producción más limpia en empresas del sector productivo de Pereira y Dosquebradas. *Entre ciencia e ingeniería*, 12(23), 140. <https://doi.org/10.31908/19098367.3714>
- Fransoo, J. C., & Rutten, W. G. M. M. (1994). A Typology of Production Control Situations in Process Industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(12), 47–57. <https://doi.org/10.1108/01443579410072382>
- Gaither, N., & Frazier, G. (2005). *Administração da produção e operações* (8º ed). Pioneira Thomson Learning.
- Galvão, M. C. B., & Ricarte, I. L. M. (2019). Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da Informação*, 6(1), 57–73. <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>
- Giegrich, J. (2021). *Calculadora de emissões de GEE para resíduos*.

- Gonçalves, J. E. L. (2000). As empresas são grandes coleções de processos. *Revista de Administração de Empresas*, 40(1), 6–9. <https://doi.org/10.1590/s0034-75902000000100002>
- Hansen, R. C. (2002). *Overall equipment effectiveness: a powerful production/maintenance tool for increased profits* (J. Carleo, Org.; 1º ed). Industrial Press.
- IBGE, I. B. de G. e E. (2022). *PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua*. IBGE. <https://painel.ibge.gov.br/pnadc/>
- Infomoney. (2022). *Cenário para minério de ferro é nublado por problemas de demanda global e riscos de oferta*. <https://www.infomoney.com.br/mercados/cenario-para-minerio-de-ferro-e-nublado-por-problemas-de-demanda-global-e-riscos-de-oferta/>
- Instituto Aço Brasil. (2022). *Mercado Brasileiro De Aço: Análise Setorial E Regional Séries Históricas Até 2021* (Vol. 1). https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/08/MBA_Edição_2022.pdf
- ISO, I. O. for S. (2015). *Quality Management Principles*.
- ISO536. (2019). *Paper and board - Determination of grammage*.
- Jeston, J., & Nelis, J. (2006). *Business Process Management Practical Guidelines to Successful Implementations* (1º ed). Elsevier.
- Joaquim, R. C., & Caurin, G. A. de P. (2006). *Novas tecnologias para comunicação entre o chão de fábrica e o sistema corporativo* [Dissertação]. Universidade de São Paulo.
- Juran, J. M. (1992). *Planejando para a Qualidade* (2º ed).
- Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *Sci*, 4(3), 26. <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
- Kipper, L. M., Ellwanger, M. C., Jacobs, G., Nara, E. O. B., & Frozza, R. (2011). Gestão por processos: Comparação e análise entre metodologias para implantação da gestão orientada a processos e seus principais conceitos. *Revista de tecno-Logica*, 15, 89–99. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v15i2.2425>
- Logiúdice, R., Pacchini, A. P. T., & Lucato, W. C. (2021). Mapeamento da percepção dos clientes internos sobre a qualidade dos processos: estudo de caso na indústria automotiva. *Exacta*, Volume 19, Issue 3, 550–563. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.13378>
- Marques, M. F. C., & Oliveira, A. V. C. (2019). *Agenda 2030 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU - Desafios ao Desenvolvimento Tecnológico e à Inovação Empresarial* [Dissertação]. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Matsubara, R. Y., & Mello, A. M. de. (2014). *Redução de custos através do Manufacturing Execution System (MES) e sua integração com o Enterprise Resource Planning (ERP)*. Universidade de São Paulo.
- Mawakdiye, A. (2022). *Alacero prevê recuo de 8% no consumo de aço na AL em 2022 e recuperação de 4% em 2023*. Ipesi Digital. <https://ipesi.com.br/alacero-preve-recuo-de-8-no-consumo-de-aco-na-al-em-2022-e-recuperacao-de-4-em-2023/>
- Ministério da Educação. (2019). INTERDISCIPLINAR. *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES*.

- Ministério do Trabalho e Previdência Social. (2022). *NR 17 - ERGONOMIA*. <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2022.pdf>
- Moneytimes. (2022). *Minério de ferro cai após salto nos estoques chineses de aço*. <https://www.moneytimes.com.br/minerio-de-ferro-cai-apos-salto-nos-estoques-chineses-de-aco/>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM (Total Productive Maintenance)* (N. Bodek, Org.). Productivity Press.
- Nascimento, S. (2022). *Usiminas planeja ápice de contratações em Ipatinga em março de 2023*. O Tempo. <https://www.otempo.com.br/economia/usiminas-planeja-apice-de-contratacoes-em-ipatinga-em-marco-de-2023-1.2757727>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System Beyond Large-Scale Production* (1º ed, Vol. 1). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- ONU, O. N. U. B. (2022). *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. ONU. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- Paladini, E. P. (1998). As bases históricas da Gestão da Qualidade: a abordagem clássica da Administração e seu impacto na moderna Gestão da Qualidade. *Gestão & Produção*, 5(3), 168–186.
- Paladini, E. P. (2000). *Gestão da Qualidade - teoria e prática* (1º ed, Vol. 1). Editora Atlas.
- Paladini, E. P., Bouer, G., Ferreira, J. J. do A., Carvalho, M. M., Miguel, P. A. C., Samohyl, R. W., & Rotondaro, R. G. (2005). *Gestão da Qualidade: teoria e casos* (1º ed, Vol. 3). Elsevier.
- Pereira, L. M. (2016). Análise da Sustentabilidade Empresarial: Um Estudo Envolvendo uma Indústria Mineradora. *Revista Pretexto*, 17(3), 11–26. <https://doi.org/10.21714/pretexto.v17i3.2016>
- Perico, P., Arica, E., Powell, D. J., & Gaiardelli, P. (2019). MES as an enabler of lean manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.306>
- Piran, F. A. S., Trapp, G. S., Neves, C. T., & Nunes, F. de L. (2015). A Utilização do Índice de Rendimento Operacional Global (IROG) na Gestão dos Postos de Trabalho: Estudo Aplicado em uma Empresa do Segmento Metal Mecânico. *Revista ESPACIOS*, 36(24), 14–14. <https://www.revistaespacios.com/a15v36n24/15362414.html#metodol>
- Plataforma Curupira. (2021). Distribuição dos programas de pós-graduação no Brasil. *GEOCAPES - Sistema de Informações Georreferenciadas - CAPES*.
- PPGSP. (2021). *Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivas, de forma associativa entre as instituições UNIPLAC, UNC, UNESC, UNIVILLE - Linha de Pesquisa*. <https://ppgsp.net/544-2/>
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico* (2º ed). Universidade Feevale.
- Rahim, R., Meriam, N., Sulaiman, N., & Aroua, M. K. (2010). *Cleaner Production: A Do It Yourself Manual*. December 2014. <https://doi.org/10.13140/2.1.1964.1925>
- Rahman, Md. H. (2012). Henry Fayol and Frederick Winslow Taylor's Contribution to Management Thought: An Overview. *ABC Journal of Advanced Research*, 1(2), 94–103. <https://doi.org/10.18034/abcjar.v1i2.10>

- Raynaut, C. (2014). Os desafios contemporâneos da produção do conhecimento: o apelo para interdisciplinaridade. *Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.5007/1807-1384.2014v11n1p1>
- Ribeiro, A. de F. (2015). Taylorismo, fordismo e toyotismo. *Lutas Sociais*, 19(35), 65–79.
- Sakurai, R., & Zuchi, J. D. (2018). Revoluções industriais até a Indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, 15(2), 480–491. <https://doi.org/10.31510/inf.v15i2.386>
- Sampieri, R., Callado, C., & Lucio, M. (2013). *Metodologia de pesquisa* (5^o ed). Penso.
- Sandrini, P. de T., & Cardoso, M. A. (2014). *O sistema MES como ferramenta para aplicação da gestão do conhecimento visando a melhoria do aprendizado de um sistema complexo adaptativo de manufatura sendo um atrator de melhoria do desempenho produtivo* [Dissertação]. Universidade Federal do Amazonas.
- Scaliotti, O. (2022). *Novos empregos chegam ao interior, em 2023*. Investece. <https://investece.com.br/novos-empregos-chegam-ao-interior-em-2023/>
- Silva, B. (1989). *Taylor e Fayol* (1^o ed, Vol. 1). Escola Brasileira de Administração Pública - EBAP.
- Silva, E. L. da, & Menezes, E. M. (2005). Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. *Portal*, 29(1), 121.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management* (7^o ed). Pearson Education Limited. www.pearson-books.com
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2018). *Administração da Produção* (8^o ed). Editora Atlas Ltda.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2002). *Administração da produção* (H. Correa, Org.; 2^o ed). Editora Atlas Ltda.
- Sólides. (2022). *Índice de turnover: conheça as porcentagens pelos setores no Brasil*. Sólides. <https://blog.solides.com.br/indice-de-turnover-no-brasil/>
- Sveiby, K.-E. (1998). *A nova riqueza das organizações: gerenciando e avaliando patrimônios de conhecimento* (Campos, Org.).
- Sveiby, K.-E., Gripenberg, P., & Segercrantz, B. (2012). *Challenging the Innovation Paradigm* (K.-E. Sveiby, P. Gripenberg, & B. Segercrantz, Orgs.; 1^o ed). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203120972>
- Swarnakar, V., Singh, A. R., Antony, J., Jayaraman, R., Tiwari, A. K., Rath, R., & Cudney, E. (2022). Prioritizing Indicators for Sustainability Assessment in Manufacturing Process: An Integrated Approach. *Sustainability*, 14(6), 3264. <https://doi.org/10.3390/su14063264>
- Trindade, F. E. (2004). *Administração científica de Taylor e as “novas formas” de organização do trabalho: possibilidades de coexistência? Um estudo de caso da indústria catarinense* (1^o ed) [Dissertação, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina]. <http://www.livrosgratis.com.br>
- Triviños, A. (1987). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação* (1^o ed). Atlas.
- van Oel, P. R., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green and blue water footprint of paper products: Methodological considerations and quantification. *Unesco-IHE Institute for Water Education*, 46(46),

1–36. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://research.utwente.nl/files/5146588/IHE-46_2010.pdf

Vargas, E. J. de. (2016). *Modelagem para distribuição de importâncias entre funcionalidades que compoem os pilares de Manufacturing Execution System em aplicações Industriais* [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2004). *A mentalidade enxuta nas empresas: Lean Thinking* (11° ed). Elsevier.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *A máquina que mudou o mundo* (10° ed). Elsevier.

Yafushi, C. A. P., Almeida, M. F. I. de, & Vitoriano, M. C. de C. P. (2019). Gestão da Informação, Gestão do Conhecimento, Cultura Organizacional e Competência em Informação: o quarteto estratégico para a construção e uso competente da Memória Organizacional. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, 9(3). <https://doi.org/10.21714/2236-417x2019v9n3p4>

Yin, R. K. (1981). The Case Study Crisis: Some Answers. *Administrative Science Quarterly*, 26(1), 58. <https://doi.org/10.2307/2392599>

APÊNDICES

Apêndice 1: Tabela do planejamento experimental não paramétrico

Centros de trabalho	Peças cortadas	Tempo ativo (min)	Paradas totais (min)	Tempo de <i>setup</i> (min)
Máquina de corte 01	1 a 5	0,8333	19,8000	1,8000
Máquina de corte 01	6 a 10	1,0083	13,2000	2,4000
Máquina de corte 01	11 a 15	8,3833	2,7000	0,6000
Máquina de corte 01	16 a 20	9,1833	16,8000	0,6000
Máquina de corte 01	21 a 25			
Máquina de corte 01	26 a 30			
Máquina de corte 01	31 a 35			
Máquina de corte 01	36 a 40			
Máquina de corte 01	41 a 45			
Máquina de corte 01	46 a 50			
Máquina de corte 02	1 a 5	0,9167	1,8000	1,8000
Máquina de corte 02	6 a 10	3,1958	5,5500	4,5000
Máquina de corte 02	11 a 15	5,8833	5,4750	3,0000
Máquina de corte 02	16 a 20	5,2333	6,9000	2,7000
Máquina de corte 02	21 a 25	6,9583	4,5000	3,9000
Máquina de corte 02	26 a 30	14,6333	13,2000	1,5000
Máquina de corte 02	31 a 35	11,9667	5,4000	1,2000
Máquina de corte 02	36 a 40	14,9917	8,1000	0,9000
Máquina de corte 02	41 a 45			
Máquina de corte 02	46 a 50			
Máquina de corte 03	1 a 5	1,3500	9,8500	7,8500
Máquina de corte 03	6 a 10	5,0788	6,9273	3,5455
Máquina de corte 03	11 a 15	13,4611	11,0000	2,4000
Máquina de corte 03	16 a 20	4,6944	18,8000	9,4000
Máquina de corte 03	21 a 25	13,7833	21,0000	4,2000
Máquina de corte 03	26 a 30			
Máquina de corte 03	31 a 35			
Máquina de corte 03	36 a 40	22,4167	30,0000	0,6000
Máquina de corte 03	41 a 45	32,6833	107,4000	6,0000
Máquina de corte 03	46 a 50	53,0833	31,2000	5,4000
Máquina de corte 01	1 a 5			
Máquina de corte 01	6 a 10			
Máquina de corte 01	11 a 15			
Máquina de corte 01	16 a 20			
Máquina de corte 01	21 a 25	20,1500	48,6000	19,2000
Máquina de corte 01	26 a 30	21,4500	15,0000	15,0000
Máquina de corte 01	31 a 35			
Máquina de corte 01	36 a 40			
Máquina de corte 01	41 a 45	12,8500	17,4000	17,4000
Máquina de corte 01	46 a 50	25,8833	43,2000	10,2000
Máquina de corte 02	1 a 5	1,1722	3,0667	2,3333
Máquina de corte 02	6 a 10	2,9917	4,2000	3,5000
Máquina de corte 02	11 a 15	5,7083	5,8000	1,9000
Máquina de corte 02	16 a 20	5,3750	3,9000	3,9000
Máquina de corte 02	21 a 25	7,2500	12,6000	0,6000
Máquina de corte 02	26 a 30	20,0000	3,0000	0,6000
Máquina de corte 02	31 a 35	20,1167	50,4000	3,0000

Centros de trabalho	Peças cortadas	Tempo ativo (min)	Paradas totais (min)	Tempo de <i>setup</i> (min)
Máquina de corte 02	36 a 40			
Máquina de corte 02	41 a 45			
Máquina de corte 02	46 a 50			
Máquina de corte 03	1 a 5	1,8526	7,2462	4,1077
Máquina de corte 03	6 a 10	4,5750	7,3000	6,3000
Máquina de corte 03	11 a 15	4,6000	10,0286	8,6571
Máquina de corte 03	16 a 20	7,4167	65,4000	12,0000
Máquina de corte 03	21 a 25			
Máquina de corte 03	26 a 30			
Máquina de corte 03	31 a 35	10,9667	0,6000	0,6000
Máquina de corte 03	36 a 40			
Máquina de corte 03	41 a 45			
Máquina de corte 03	46 a 50			
Máquina de corte 01	1 a 5			
Máquina de corte 01	6 a 10			
Máquina de corte 01	11 a 15			
Máquina de corte 01	16 a 20			
Máquina de corte 01	21 a 25			
Máquina de corte 01	26 a 30			
Máquina de corte 01	31 a 35			
Máquina de corte 01	36 a 40			
Máquina de corte 01	41 a 45	34,4167	14,4000	0,6000
Máquina de corte 01	46 a 50			
Máquina de corte 02	1 a 5	1,2222	3,0000	2,4000
Máquina de corte 02	6 a 10	3,6857	1,5429	1,5429
Máquina de corte 02	11 a 15	7,0000	6,6000	4,8000
Máquina de corte 02	16 a 20			
Máquina de corte 02	21 a 25			
Máquina de corte 02	26 a 30			
Máquina de corte 02	31 a 35	7,4833	3,9000	2,7000
Máquina de corte 02	36 a 40	12,5833	7,2000	0,6000
Máquina de corte 02	41 a 45	20,1583	4,8000	2,1000
Máquina de corte 02	46 a 50	11,7500	3,6000	3,6000
Máquina de corte 03	1 a 5	2,9879	3,4364	2,7273
Máquina de corte 03	6 a 10	5,2104	3,4500	2,9250
Máquina de corte 03	11 a 15	8,7583	34,2000	9,0000
Máquina de corte 03	16 a 20	7,5667	12,6000	12,6000
Máquina de corte 03	21 a 25	11,3500	13,2000	2,4000
Máquina de corte 03	26 a 30			
Máquina de corte 03	31 a 35	27,9333	27,0000	2,4000
Máquina de corte 03	36 a 40	14,7333	14,4000	3,6000
Máquina de corte 03	41 a 45			
Máquina de corte 03	46 a 50			
Máquina de corte 01	1 a 5			
Máquina de corte 01	6 a 10			
Máquina de corte 01	11 a 15			
Máquina de corte 01	16 a 20			
Máquina de corte 01	21 a 25	14,4667	4,8000	4,2000

Máquina de corte 01	26 a 30	21,2000	28,2000	0,6000
Centros de trabalho	Peças cortadas	Tempo ativo (min)	Paradas totais (min)	Tempo de <i>setup</i> (min)
Máquina de corte 01	31 a 35			
Máquina de corte 01	36 a 40			
Máquina de corte 01	41 a 45	37,9333	6,6000	2,4000
Máquina de corte 01	46 a 50			
Máquina de corte 02	1 a 5	2,6000	2,5500	1,3500
Máquina de corte 02	6 a 10	4,2958	4,9500	1,3500
Máquina de corte 02	11 a 15	4,1250	2,1000	2,1000
Máquina de corte 02	16 a 20			
Máquina de corte 02	21 a 25	7,2167	7,5000	3,0000
Máquina de corte 02	26 a 30			
Máquina de corte 02	31 a 35	9,8750	7,5000	3,9000
Máquina de corte 02	36 a 40			
Máquina de corte 02	41 a 45	13,9000	45,6000	3,0000
Máquina de corte 02	46 a 50			
Máquina de corte 03	1 a 5			
Máquina de corte 03	6 a 10	2,1905	7,0286	3,2571
Máquina de corte 03	11 a 15	4,6556	4,2000	3,6000
Máquina de corte 03	16 a 20	6,6333	12,0000	4,8000
Máquina de corte 03	21 a 25	10,5417	17,1000	10,9500
Máquina de corte 03	26 a 30			
Máquina de corte 03	31 a 35	15,3333	12,0000	12,0000
Máquina de corte 03	36 a 40			
Máquina de corte 03	41 a 45			
Máquina de corte 03	46 a 50			
Máquina de corte 01	1 a 5	4,6667	3,0000	0,6000
Máquina de corte 01	6 a 10			
Máquina de corte 01	11 a 15	7,4667	23,0000	2,6000
Máquina de corte 01	16 a 20	13,8667	15,3000	5,4000
Máquina de corte 01	21 a 25	31,8000	52,8000	9,6000
Máquina de corte 01	26 a 30	20,5500	13,6000	6,8000
Máquina de corte 01	31 a 35	33,2167	20,4000	8,4000
Máquina de corte 01	36 a 40	24,2917	17,1000	3,3000
Máquina de corte 01	41 a 45			
Máquina de corte 01	46 a 50	34,9167	32,7000	10,8000
Máquina de corte 02	1 a 5	2,3633	7,0800	4,4400
Máquina de corte 02	6 a 10	3,8561	10,5273	2,2364
Máquina de corte 02	11 a 15	5,1000	2,9250	1,6500
Máquina de corte 02	16 a 20	8,2917	8,3000	3,9500
Máquina de corte 02	21 a 25	8,4500	3,8250	3,5250
Máquina de corte 02	26 a 30	10,9563	10,7250	6,0000
Máquina de corte 02	31 a 35			
Máquina de corte 02	36 a 40	13,1400	6,4800	3,4800
Máquina de corte 02	41 a 45			

Máquina de corte 02	46 a 50	17,7778	7,0000	2,6000
Centros de trabalho	Peças cortadas	Tempo ativo (min)	Paradas totais (min)	Tempo de <i>setup</i> (min)
Máquina de corte 03	1 a 5			
Máquina de corte 03	6 a 10	3,0563	3,3750	1,9500
Máquina de corte 03	11 a 15	6,6667	12,1091	6,2182
Máquina de corte 03	16 a 20	10,3167	12,3500	5,3000
Máquina de corte 03	21 a 25	6,6667	4,8000	3,6000
Máquina de corte 03	26 a 30	13,3148	16,0000	6,0667
Máquina de corte 03	31 a 35			
Máquina de corte 03	36 a 40	17,6500	21,4500	5,4000
Máquina de corte 03	41 a 45	28,5000	4,8000	1,8000
Máquina de corte 03	46 a 50	15,2370	22,3333	8,6667