

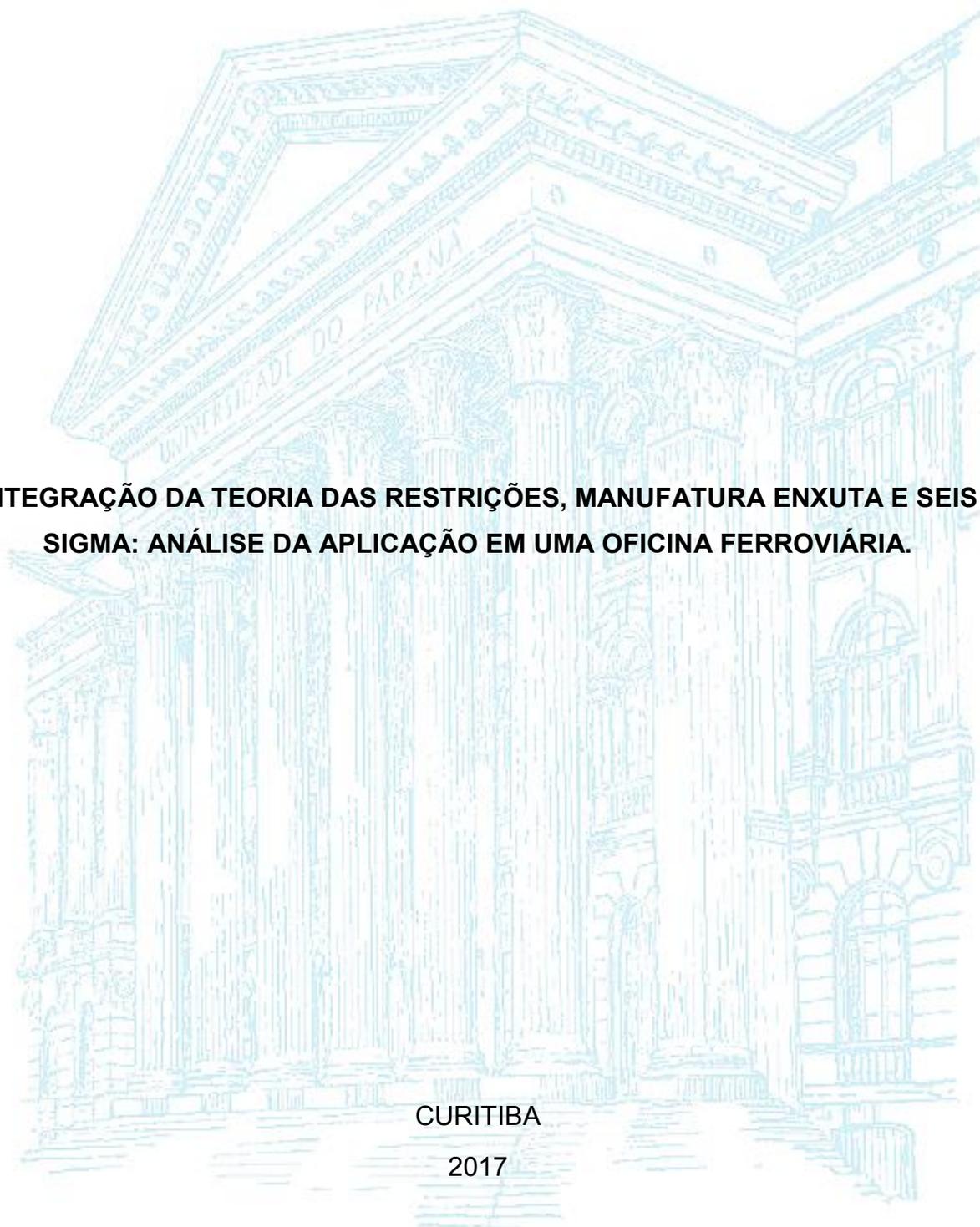
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CEZAR AUGUSTO GONÇALVES DE OLIVEIRA

INTEGRAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES, MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA: ANÁLISE DA APLICAÇÃO EM UMA OFICINA FERROVIÁRIA.

CURITIBA

2017



CEZAR AUGUSTO GONÇALVES DE OLIVEIRA

INTEGRAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES, MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA: ANÁLISE DA APLICAÇÃO EM UMA OFICINA FERROVIÁRIA.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto

CURITIBA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR
BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

OL48i Oliveira, Cezar Augusto Gonçalves de
 Integração da teoria das restrições, manufatura enxuta e seis sigma: análise da aplicação em uma
 oficina ferroviária / Cezar Augusto Gonçalves de Oliveira. – Curitiba, 2017.
 133 f. : il. color. ; 30 cm.

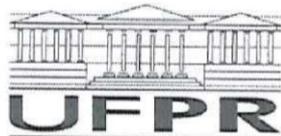
 Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia de Produção, 2017.

 Orientador: Marcelo Gechele Cleto.

 1. Teoria das restrições. 2. Manufatura enxuta. 3. Seis sigma. 4. Ferrovia. 5. Oficina ferroviária.
 I. Universidade Federal do Paraná. II. Cleto, Marcelo Gechele. III. Título.

CDD: 658.5

Bibliotecária: Romilda Santos - CRB-9/1214



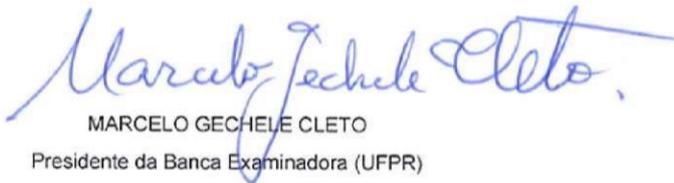
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

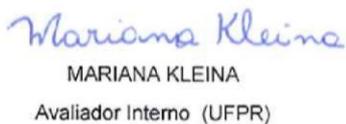
TERMO DE APROVAÇÃO

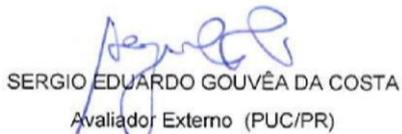
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **CEZAR AUGUSTO GONÇALVES DE OLIVEIRA** intitulada: **INTEGRAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES , MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA: ANÁLISE DA APLICAÇÃO EM UMA OFICINA FERROVIÁRIA**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 21 de Fevereiro de 2018.


MARCELO GECHELE CLETO
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


MARIANA KLEINA
Avaliador Interno (UFPR)


SERGIO EDUARDO GOUVÊA DA COSTA
Avaliador Externo (PUC/PR)


MARCOS AUGUSTO MENDES MARQUES
Avaliador Interno (UFPR)

A Deus, pelo dom da vida.

A minha amada esposa, pelo apoio, incentivo e companheirismo.

A minha família e amigos, com quem eu compartilho essa vitória.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Marcelo G. Cleto, pela orientação fundamental, dedicação e apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFPR, pelo conteúdo e ensinamentos das aulas ministradas.

A empresa utilizada como estudo deste trabalho, pela colaboração, ajuda e permissão para a realização da pesquisa.

A todos que, de alguma forma, estão envolvidos no processo.

“Não ter problemas é o maior problema de todos”

Taiichi Ohno

RESUMO

O aumento da produtividade de processos vai além de otimizar o retorno financeiro das empresas, pois está profundamente relacionado ao crescimento da geração de riquezas nos países dessas organizações. Segundo um estudo do Banco Interamericano de Desenvolvimento, os países da América Latina poderiam gerar um PIB 50% maior, se o nível de produtividade de sua população acompanhasse os níveis norte-americanos desde a década de 60. Compreendendo a relevância desse tema, o presente trabalho tem como objetivo avaliar qual é o impacto, sob a perspectiva de produtividade, nos resultados operacionais de uma oficina ferroviária ao se aplicar um modelo de integração da Teoria das Restrições, da Manufatura Enxuta e do Seis Sigma. Por meio de uma pesquisa-ação, foram registrados os detalhes das aplicações das ferramentas propostas no modelo. Ao final do trabalho, os resultados operacionais da oficina melhoraram de forma significativa, o que pode ser verificado nos indicadores de *lead time*, que foi reduzido em 46%, e de atendimento ao cliente, que antes do projeto possuía uma média de 7,7 locomotivas aguardando peças e, após a aplicação das ferramentas, foi reduzida para 0,7. Foi possível concluir que o modelo de integração forneceu um sequenciamento lógico eficiente para aplicação dos conceitos propostos pelas três abordagens, também foi possível identificar alguns pontos de melhoria no modelo de integração, que poderá ser aplicado em estudos futuros.

Palavras Chaves: Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta, Seis Sigma, Integração, Ferrovia, Oficina Ferroviária.

ABSTRACT

The productivity increase goes beyond the financial returns, it is deeply related to the wealth creation growth in the nations in which they are held. A research made by the *Banco Interamericano de Desenvolvimento* (BID) states that the Latin America's GDP would be 50% higher if its productivity kept the North American pace since the 1960's. In this scenario, the current work has the goal to evaluate the impact in the productivity process indicators in a railroad repair shop, by the implementation of an integration model of the Theory of Constraints, Lean Manufacturing and Six Sigma. Applying the action research methodology, the tools and concepts application of each approach were registered. At the end, the operational results were improved in a significant way, the lead time was reduced in 46%, the client delivery had reached a higher level, so that, before the integration there was an average of 7,72 locomotives waiting for spare parts and after the project it was reduced to 0,7. The results lead to the conclusion that the integration model had provided a valued logical guide to the efficient application of the tools and concepts of the 3 philosophies, it was also possible to identify some improvements that should be applied to the model in future researches.

Key Words: Theory of Constraints, Lean Manufacturing, Six Sigma, Integration Model, Railroad, Repair Shop.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - O CICLO DA FERROVIA E SUA BASE	19
FIGURA 2 - LOCOMOTIVA DIESEL-ELÉTRICA	32
FIGURA 3 - ARQUITETURA DE UMA LOCOMOTIVA DIESEL-ELÉTRICA	33
FIGURA 4 - MOTOR DE TRAÇÃO	33
FIGURA 5 - PROCESSO DE REPARAÇÃO DO MOTOR DE TRAÇÃO	34
FIGURA 6 - EXEMPLO DE CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA ATINGIR UMA META FINAL	35
FIGURA 7 - ETAPAS DE MELHORIA CONTÍNUA DA TOC	37
FIGURA 8 - EXEMPLO DE PROCESSO COM RESTRIÇÃO QUE UTILIZA DBR ...	37
FIGURA 9 - EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DE ARA	39
FIGURA 10 - EXEMPLO DA FERRAMENTA DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA NUVEM	40
FIGURA 11 - EXEMPLO DA FERRAMENTA ÁRVORE DE REALIDADE FUTURA .	41
FIGURA 12 - EXEMPLO DO MAPA DO ESTADO ATUAL - VSM	44
FIGURA 13 - CICLO DMAIC	48
FIGURA 14 - ETAPAS DA METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO	52
FIGURA 15 - ENTRADAS E SAÍDAS DA PRIMEIRA ETAPA DA METODOLOGIA .	53
FIGURA 16 - ENTRADAS E SAÍDAS DA SEGUNDA ETAPA DA METODOLOGIA .	54
FIGURA 17 - ENTRADAS E SAÍDAS DA TERCEIRA ETAPA DA METODOLOGIA .	56
FIGURA 18 - ENTRADAS E SAÍDAS DA QUARTA ETAPA DA METODOLOGIA....	57
FIGURA 19 - ENTRADAS E SAÍDAS DA QUINTA ETAPA DA METODOLOGIA	58
FIGURA 20 - ENTRADAS E SAÍDAS DA SEXTA ETAPA DA METODOLOGIA.....	58
FIGURA 21 - ENTRADAS E SAÍDAS DA SÉTIMA ETAPA DA METODOLOGIA	58
FIGURA 22 - ETAPAS DA PESQUISA-AÇÃO	61
FIGURA 23 - LAYOUT SIMPLIFICADO DO SETOR DE REPARAÇÃO DO MT.....	65
FIGURA 24 - MOTOR DE TRAÇÃO AGUARDANDO DESMONTAGEM	66
FIGURA 25 - MOTOR DE TRAÇÃO AGUARDANDO REPARAÇÃO	67
FIGURA 26 - EXEMPLO DE LIGAÇÃO DE CABOS REPARADA EM UM MOTOR DE TRAÇÃO	68
FIGURA 27 - MACRO FLUXOGRAMA DO PROCESSO DO MT	68
FIGURA 28 - MOTORES DE TRAÇÃO AVARIADOS	69

FIGURA 29 - FLUXO DO MATERIAL E DA INFORMAÇÃO	70
FIGURA 30 - EXEMPLO DE INDICADOR DE PERFORMANCE.....	72
FIGURA 31 - EXEMPLO DE INDICADOR TAXA DE UTILIZAÇÃO	73
FIGURA 32 - HISTÓRICO DO INDICADOR DE ADERÊNCIA A CB	74
FIGURA 33 - HISTÓRICO DO INDICADOR DE QUANTIDADE DE LOCOMOTIVAS RETIDAS AGUARDANDO MOTORES DE TRACÇÃO	74
FIGURA 34 - HISTÓRICO DOS INDICADORES DE PERFORMANCE E TAXA DE UTILIZAÇÃO	75
FIGURA 35 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO MT DO ESTADO ATUAL	77
FIGURA 36 - ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DOS EFEITOS INDESEJÁVEIS DO FLUXO DO MT.....	80
FIGURA 37 - PROJECT CHARTER DAS 7 ETAPAS DE INTEGRAÇÃO.....	82
FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DEMANDAS MENSAIS DE CADA ETAPA	85
FIGURA 39 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA	87
FIGURA 40 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA, COM DIVISÃO POR TIPO DE ATIVIDADE.....	89
FIGURA 41 - DIAGRAMA DE NUVEM PARA O OBJETIVO DETERMINADO	90
FIGURA 42 - EXCESSO DE MATERIAIS NA OFICINA.....	93
FIGURA 43 - FERRAMENTAS SEM IDENTIFICAÇÃO	94
FIGURA 44 - FLUXO FÍSICO DO MT NA OFICINA.....	94
FIGURA 45 - EXCESSO DE MATERIAIS NO FLUXO DO MT	95
FIGURA 46 - POSTO DE TRABALHO PADRONIZADO.....	96
FIGURA 47 - ÁRMARIO DE FERRAMENTAS PADRONIZADO.....	97
FIGURA 48 - BANCADA DE TESTE DO MT	97
FIGURA 49 - PROCEDIMENTO TÉCNICO DO MT	98
FIGURA 50 - LAYOUT DO MT - ANTES E DEPOIS.....	99
FIGURA 51 - ATIVIDADES DA MUDANÇA DE LAYOUT	99
FIGURA 52 - CONTROLE DE PRODUÇÃO DO MT.....	101
FIGURA 53 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA	102
FIGURA 54 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA, COM DIVISÃO POR TIPO DE ATIVIDADE.....	103

FIGURA 55 - VALORES DO INDICADOR DE PERFORMANCE.....	105
FIGURA 56 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR DE PERFORMANCE.....	105
FIGURA 57 - VALORES DO INDICADOR DE TAXA DE UTILIZAÇÃO	106
FIGURA 58 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR DE TAXA DE UTILIZAÇÃO	106
FIGURA 59 - EXEMPLO DE FERRAMENTA UTILIZADA NO MASP	109
FIGURA 60 - PROCEDIMENTO OPERACIONAL DISPONIBILIZADO NO POSTO	111
FIGURA 61 - CRITÉRIOS DE AUDITORIA APLICADOS NA OFICINA	112
FIGURA 62 - RESULTADOS DAS AUDITORIAS	113
FIGURA 63 - RESULTADOS DO INDICADOR DE CESTA BÁSICA	115
FIGURA 64 - RESULTADO DO INDICADOR DE LOCOMOTIVAS AGUARDANDO PEÇAS	116
FIGURA 65 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR PERFORMANCE.....	117
FIGURA 66 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR TAXA DE UTILIZAÇÃO ..	117
FIGURA 67 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO MT DO ESTADO FUTURO	118
GRÁFICO 1 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE TEORIA DAS RESTRIÇÕES, MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA DESDE 1997	26
GRÁFICO 2 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE INTEGRAÇÃO DAS FILOSOFIAS.....	27
GRÁFICO 3 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE FERROVIA DESDE 1997	27
GRÁFICO 4 - PUBLICAÇÕES SOBRE MANUTENÇÃO DE MATERIAIS RODANTES.	28
GRÁFICO 5 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE FERROVIAS E FILOSOFIAS DE GESTÃO	29
GRÁFICO 6 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE FERROVIA DESDE 1997	29

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1 - PALAVRAS CHAVES PESQUISADAS.....	25
QUADRO 2 - CATEGORIAS DE TRABALHOS PESQUISADAS.....	25
QUADRO 3 - RELAÇÃO DAS FERRAMENTAS DO TP	39
QUADRO 4 - MÉTRICA UTILIZADAS NA MANUFATURA ENXUTA	45
QUADRO 5 - MÉTRICAS CP E CPK	46
QUADRO 6 - CORRELAÇÃO ENTRE TOC, MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA.	51
QUADRO 7 - DEFINIÇÕES DA FERRAMENTA CNX	55
QUADRO 8 - RELAÇÃO DAS FILOSOFIAS MAIS APLICADAS EM CADA ETAPA	59
QUADRO 9 - CRITÉRIOS E CLASSIFICAÇÕES DE UMA PESQUISA	60
QUADRO 10 - ETAPAS DA PESQUISA.....	62
QUADRO 11 - LISTA DE EFEITOS INDESEJÁVEIS DO FLUXO DO MT	78
QUADRO 12 - RELAÇÕES DOS EFEITOS INDESEJÁVEIS DO FLUXO DO MT....	79
QUADRO 13 - EFEITOS INDESEJÁVEIS DO "PROCESSO DA PRODUÇÃO"	80
QUADRO 14 - CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES AV, NAV E W	89
TABELA 1 - PERIÓDICOS COM MAIORES PUBLICAÇÕES SOBRE FERROVIAS DESDE 1997	28
TABELA 2 - ESCALA SIGMA E NÚMERO DE DEFEITOS CORRESPONDENTES	47
TABELA 3 - EXEMPLO DE INDICADOR DE ADERÊNCIA A CB	71
TABELA 4 - TABELA COM VALORES DAS DEMANDAS MENSAIS DE CADA ETAPA	85
TABELA 5 - TEMPOS MÉDIOS PARA EXECUÇÃO DE CADA ETAPA.....	86
TABELA 6 - DADOS DOS TEMPOS MÉDIOS DE CADA ETAPA	87
TABELA 7 - INDICADORES DE BALANCEAMENTO DE LINHA DO FLUXO DE VALOR NA ETAPA 2	88
TABELA 8 - DADOS DOS TEMPOS MÉDIOS DE CADA ETAPA	102
TABELA 9 - DADOS DOS INDICADORES DE BALANCEAMENTO DA LINHA.....	102
TABELA 10 - DADOS DOS INDICADORES DE PERFORMANCE E TAXA DE UTILIZAÇÃO	107
TABELA 11 - DADOS DOS INDICADORES DE PERFORMANCE E TAXA DE UTILIZAÇÃO	118

LISTA DE SIGLAS

5W2H – *What, Who, When, Where, Why, How, How Much* (O que, Quem, Quando, Onde, Por que, Como, Quanto)

ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção

ANOVA – Análise de Variância

ANTF – Associação Nacional dos Transportes Ferroviários

ARA – Árvore da Realidade Atual

ARF – Árvore da Realidade Futura

AT – Árvore de Transição

AV – *Added Value* (Agregação de Valor)

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

CE – *Cause Effect* (Causa-Efeito)

CB – Cesta Básica (Nível Mínimo de Estoque)

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil

CNX – *Constant, Noise, Factor* (Constante, Ruído, Fator)

DBR – *Drum, Buffer, Rope* (Tambor, Pulmão, Corda)

DDN – Diagrama de Dispersão da Nuvem

DPMO – Defeitos por Milhão de Oportunidades

ED – Efeitos Desejáveis

EI – Efeitos Indesejáveis

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de Modos de Falhas e Efeitos)

GBO – Gráfico de Balanceamento do Operador

ISI - *Institute for Science Information*

JIT – *Just in Time*

KPI – *Key Process Indicator* (Indicador Chave do Processo)

LAE - Índice de Capacidade de Linha

LBR - Índice de Distribuição de Linha

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSE – Limite Superior de Especificação

MASP - Método de Análise e Solução de Problemas

MT – Motor de Tração

MOO - Mão de Obra Ótima

NAV – *Non Added Value* (Não Agregação de Valor)

OPT – *Optimized Production Timetables*

PCM – Programação e Controle da Manutenção

PCP – Programação e Controle da Produção

PF – *Process Flow* (Fluxo do Processo)

PND – Plano Nacional de Desestatização

SAT – Sistema de Apontamento de Tarefas

STP – Sistema Toyota de Produção

SOP – *Standard Operational Procedure* (Procedimento Operacional Padrão)

TOC – *Theory of Constraints* (Teoria das Restrições)

TP – *Thinking Process*

VSM – *Value Stream Mapping* (Mapeamento do Fluxo de Valor)

WCE – *Work Cycle Efficiency* (Ciclo Eficiente de Trabalho)

W – *Waste* (Desperdício)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1.	CONTEXTO	18
1.2.	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	22
1.3.	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	24
1.4.	JUSTIFICATIVA.....	24
1.5.	LIMITAÇÕES	30
1.6.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	30
2	REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1.	MANUTENÇÃO FERROVIÁRIA – MOTOR DE TRACÇÃO	32
2.2.	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	34
2.3.	MANUFATURA ENXUTA.....	42
2.4.	SEIS SIGMA	46
2.5.	MODELO PRÁTICO DE INTEGRAÇÃO	50
2.5.1.	Etapa 1 – Mobilizar e focar	53
2.5.2.	Etapa 2 – Explorar a restrição.....	54
2.5.3.	Etapa 3 – Eliminar as fontes de desperdícios	55
2.5.4.	Etapa 4 – Controlar a variação do processo	56
2.5.5.	Etapa 5 – Controlar as atividades de suporte	57
2.5.6.	Etapa 6 – Remover a restrição e estabilizar	58
2.5.7.	Etapa 7 – Reavaliar o sistema	58
3	MÉTODO DE PESQUISA	60
3.1.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	60
3.2.	PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	62
3.2.1.	Revisão bibliográfica	62
3.2.2.	Aplicação prática.....	63

4	PESQUISA DE CAMPO	64
4.1.	GENERALIDADES DA EMPRESA	64
4.2.	O FLUXO DE VALOR “MOTOR DE TRAÇÃO”	65
4.3.	DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA.....	68
4.4.	ETAPA 1 – MOBILIZAR E FOCAR	76
4.4.1.	Mapeamento do fluxo de valor do MT	76
4.4.2.	Árvore da realidade atual	78
4.4.3.	Identificação da restrição	80
4.4.4.	Determinação do objetivo	81
4.4.5.	<i>Project charter</i>	81
4.4.6.	Resultados da etapa	82
4.5.	ETAPA 2 – EXPLORAR A RESTRIÇÃO.....	83
4.5.1.	Valor do WCE do fluxo de valor	83
4.5.2.	Análise de valor da restrição.....	84
4.5.3.	Injeção de melhoria.....	90
4.5.4.	Resultados da etapa	91
4.6.	ETAPA 3 – ELIMINAR AS FONTES DE DESPERDÍCIOS	92
4.6.1.	Análise atual.....	93
4.6.2.	Padronização dos postos de trabalho	96
4.6.3.	Melhoria do <i>layout</i>	99
4.6.4.	Planejamento e programação das atividades	100
4.6.5.	Impacto da injeção de melhoria	101
4.6.6.	Resultados da etapa	103
4.7.	ETAPA 4 – CONTROLAR A VARIAÇÃO DO PROCESSO	104
4.8.	ETAPA 5 – CONTROLAR AS ATIVIDADES DE SUPORTE.....	107
4.8.1.	<i>Checklists</i> de tarefas.....	107
4.8.2.	MASP – Método de análise e solução de problemas.....	108

4.8.3.	Resultados da etapa	109
4.9.	ETAPA 6 – REMOVER A RESTRIÇÃO E ESTABILIZAR.....	110
4.9.1.	Padronização das etapas.....	110
4.9.2.	Auditoria das ferramentas	111
4.9.3.	Resultados da etapa	113
4.10.	ETAPA 7 – REAVALIAR O SISTEMA.....	114
4.10.1.	Indicadores de aderência a cesta básica e quantidade de locomotivas aguardando peças	114
4.10.2.	Resultado dos indicadores de performance e taxa de utilização	116
4.10.3.	Mapeamento do fluxo de valor do estado futuro	118
5	CONCLUSÕES.....	120
	REFERÊNCIAS	123
	ANEXO I – VISTA EM CORTE DE UMA LOCOMOTIVA DIESEL ELÉTRICA.....	130
	APÊNDICE I – VSM ESTADO ATUAL.....	132
	APÊNDICE II – VSM ESTADO FUTURO	133

1 INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Para que uma nação consiga crescer de forma sustentável a longo prazo, segundo especialistas, é necessário aumentar a produtividade nos três setores econômicos – primário (extrativismo), secundário (industrial) e terciário (serviços). Ser mais produtivo é particularmente crucial para economias em desenvolvimento, como a do Brasil, que possuem necessidade de alcançar níveis maiores de bem-estar social (PINHEIRO, FIGUEIREDO, 2015).

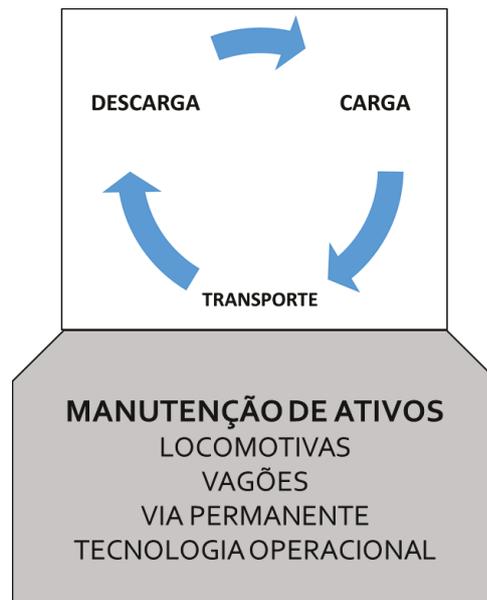
A importância de ser uma economia mais eficiente, pode ser comprovada no estudo feito pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) (MOST LATIN, 2011), que concluiu que, se a produtividade dos países da América Latina tivesse acompanhado o nível de produtividade dos Estados Unidos desde a década de 60, a renda per capita desses países seria 50% maior. No estudo, é ressaltado que, na América Latina, o único setor da economia em que houve crescimento de produtividade significativo foi na agricultura e que os níveis de produtividade dos setores de indústria e de serviço cresceram em taxas inferiores ao resto do mundo.

Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2015), no ano de 2014, o total de exportações brasileiras somaram 225,1 bilhões de dólares. Desse montante, 96,7 bilhões de dólares (47% do total) se originaram do agronegócio. Em 2014, 193,4 milhões de toneladas de grãos foram exportados e, de acordo com os dados da Associação Nacional dos Transportes Ferroviários (ANTF, 2015), 46,69% (90 milhões de toneladas) dessa produção foi transportada pelo modal ferroviário. Portanto é evidente a importância que as ferrovias possuem no escoamento da produção agrícola no Brasil, que por sua vez representou quase metade das exportações brasileiras em 2014.

De acordo com Armstrong (1990), o ciclo de trabalho da ferrovia pode ser dividido em três etapas (FIGURA 1). A primeira etapa é a carga, cuja operação acontece em terminais na origem dos produtos. A segunda etapa é o transporte, executado por materiais rodantes (locomotivas e vagões) e de materiais permanentes (vias férreas e equipamentos de sinalização). A terceira etapa é a descarga, feita nos terminais de destino.

Para que o serviço de transporte ferroviário seja executado de forma eficiente e segura, são necessárias várias atividades de suporte. Essas atividades se estendem desde o planejamento da carga, passando pelo suporte dos recursos humanos e financeiro, chegando até a operação de carregamento diário (LI *et al*, 2008). Segundo Armstrong (1990), a manutenção dos ativos é uma atividade de suporte essencial e seu correto funcionamento oferece a base para o ciclo ferroviário.

FIGURA 1 - O CICLO DA FERROVIA E SUA BASE



FONTE: Adaptada de ARMSTRONG (1990)

Em um estudo do Banco Mundial, foi constatado que, apesar do potencial de se tornar uma peça importante no sistema logístico de muitos países, as ferrovias eram caracterizadas por uma administração lenta e burocrática, e, portanto, eram carentes de reformas que as permitisse ser um impulso no desenvolvimento desses países (MOYER, THOMPSON, 1992). Esse estudo reforçou a necessidade de resolver três pontos críticos:

- a) Remover as restrições de competitividade nos modelos de concessões;
- b) Aplicar novos métodos de gerenciamento das operações ferroviárias;
- c) Garantir a assertividade dos investimentos, ou seja, elevar o retorno sobre o capital investido ao máximo.

Moyer e Thompson (1992) ressaltaram que, para manter uma ferrovia lucrativa é essencial estabelecer uma estrutura organizacional que seja focada em resultados operacionais, com o intuito de garantir a competitividade desse modal.

Durante a década de 1990, as ferrovias experimentaram uma mudança drástica em seu ambiente regulatório. Nos Estados Unidos da América, houve uma grande onda de privatizações, que resultou em um domínio total de empresas privadas nos corredores mais significativos (REFORM, 2011).

No Brasil, o processo de privatização iniciou em 1992, com o PND (Plano Nacional de Desestatização). O Governo Federal, que antes de privatização, amargurava prejuízos na ordem de 1 bilhão de reais ano após ano, passou a arrecadar centenas de milhões de reais por ano com as concessões (COELI, 2004).

Um estudo feito pelo *Rocky Mountain Rail Authority* (2008) do *Colorado Department of Transportation* (Departamento de Transportes do Colorado) sobre as despesas na operação ferroviária, concluiu que a manutenção dos ativos nesse modal possui grande relevância financeira e operacional. A manutenção dos ativos está relacionada a todas as atividades executadas nos equipamentos envolvidos no transporte, cujo objetivo final é aumentar a eficiência e a confiabilidade. De acordo com a pesquisa, essas atividades podem consumir até 28% do orçamento anual das empresas.

A maior parte dos estudos acadêmicos que tratam da ferrovia são trabalho com enfoque na manutenção e na análise de falhas da via férrea, ou seja, poucos pesquisadores se dedicam a estudar a manutenção dos materiais rodantes (DINMOHAMMADI *et al*, 2016).

Tendo em vista a relevância e a complexidade nas operações de manutenções ferroviária, o conjunto de conceitos e filosofias de gestão aplicados nesses processos possuem impacto direto na saúde financeira das ferrovias, que por sua vez, possuem um papel fundamental no escoamento de produtos (e geração de riquezas) em seus países.

Segundo Corrêa e Corrêa (2004), considerando os sistemas produtivos no século XX, três abordagens ou filosofias revolucionaram e impactaram a forma de trabalho nas operações de manufatura e na prestação de serviços. Elas são a Teoria das Restrições (TOC), o Sistema Toyota de Produção (STP) e o Seis Sigma.

A TOC, desenvolvida por Eliyahu Goldratt no final da década de 1970, define que um sistema produtivo é um conjunto de processos interdependentes, e seu

resultado final é determinado pelo processo com o pior desempenho (chamado de “restrição ou “gargalo”). A abordagem dessa filosofia é fundamentada em cinco etapas, com objetivo de melhorar o resultado do sistema como um todo, priorizando o tratamento dos piores resultados do processo (GOLDRATT, 2002). As etapas são: 1- Identificar a restrição; 2-Explorar a restrição; 3-Subordinar outros processos a restrição; 4-Elevar a restrição e 5-Repetir o ciclo (NAVE, 2002).

O STP despertou a atenção das empresas do ocidente, após o estudo de Womack, publicado no livro *The machine that changed the world* (A máquina que mudou o mundo) (WOMACK *et al*, 1990). Chamado também de Manufatura Enxuta, sua principal característica é a busca pela eliminação total de desperdícios, utilizando ferramentas como o Mapeamento de Fluxo de Valor e conceitos bem definidos de agregação de valor (OHNO, 1997).

O Seis Sigma foi originalmente desenvolvido na Motorola, em 1987, com o objetivo de obter 3,4 defeitos por milhão de oportunidade em seus produtos (FOLARON, 2003). Segundo Slater (1998), após a aplicação bem-sucedida na General Electric nos anos 90, o Seis Sigma se popularizou e vários livros e artigos foram escritos a respeito dessa filosofia. Harry e Schroeder (2006) definiram o Seis Sigma como um processo corporativo que permite melhorar drasticamente seus resultados, por meio do monitoramento e melhoria diária das operações, com o objetivo de reduzir os desperdícios e aumentar a satisfação dos clientes.

Li *et al* (2008) apontam que, as ferramentas da manufatura enxuta podem ser aplicadas em uma empresa ferroviária nas suas mais variadas operações com resultados práticos positivos. Os pesquisadores apresentaram as vantagens de se aplicar metodologias de gestão da manutenção dos ativos ferroviários. Pode-se destacar a redução nos níveis de estoque de peças sobressalentes, a aderência aos prazos das tarefas envolvidas no transporte, rápida respostas a incidentes ferroviários e, o principal, uma operação ferroviária balanceada.

Baykut (2011) analisou as operações de uma oficina ferroviária americana e aplicou ferramentas de Manufatura Enxuta e Seis Sigma, com destaque para o Mapeamento do Fluxo de Valor e para as Cartas de Controle. Os resultados indicaram um grande potencial de redução de desperdícios nesses processos, que devido a sua complexidade, demandam uma gestão diferenciada de seus líderes.

Outros estudos demonstram a aplicabilidade das ferramentas de gestão na manutenção ferroviária, por exemplo, Hani *et al* (2007) analisaram a melhoria de

layout em uma oficina de manutenção ferroviária. Dinmohammadi *et al* (2016) aplicaram uma ferramenta do Seis Sigma para mapear as causas e os efeitos de possíveis defeitos em um subsistema das locomotivas.

Nos últimos anos, é possível verificar, em publicações acadêmicas, tentativas de integrar a Manufatura Enxuta com a Teoria das Restrições, como em Dettmer (2001), Wang *et al* (2009) e Pacheco *et al* (2013). A combinação do Seis Sigma e Teoria das Restrições são destacados por Ehie e Sheu (2005) e Jin *et al* (2009). A integração da Manufatura Enxuta com o Seis Sigma é demonstrada por George (2002), Harnden (2004), Laureani e Antony (2011) e Pinheiro *et al* (2013).

Pirasteh e Fox (2010) sugerem um modelo que une as três filosofias ao aplicar uma metodologia de sete etapas. Nesse modelo, é sugerido que haja primeiramente um enfoque na restrição do sistema, em seguida a eliminação dos desperdícios, e por último, o controle da variabilidade do sistema como um todo.

Mercado (2014) aplicou a metodologia recomendada por Pirasteh e Fox (2010) em um determinado setor de manufatura de uma empresa de eletrodomésticos no Brasil. Os resultados da pesquisa foram positivos, pois após aplicar as sete etapas do modelo proposto houve melhora significativa dos indicadores de processos.

O presente trabalho tem como objetivo aplicar o modelo proposto por Pirasteh e Fox (2010) em uma empresa de serviços de transporte ferroviário, mais especificamente em uma oficina de reparação de componentes de locomotivas, e propor recomendações para o modelo de integração para o ambiente estudado, baseando-se nos resultados obtidos.

1.2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Para fazer a manutenção de locomotivas, é necessário que os equipamentos sejam submetidos a um processo composto de várias etapas complexas, em que são revisados sistemas mecânicos, pneumáticos, elétricos e eletrônicos. As estruturas construídas para suportar esse processo são únicas, e pelas suas características, fornecem uma capacidade limitada de produção (liberação de locomotivas) (HANI *et al*, 2007). Apesar desses desafios, poucos estudos foram direcionados para analisar possíveis ganhos em processos dessa natureza (DINMOHAMMADI *et al*, 2016).

Sob a ótica da manufatura enxuta, o processo de manutenção pode ser interpretado como um fluxo de valor, que compreende todas as ações necessárias para transformar os materiais, processar informações e entregar serviços de manutenção. Esse termo é essencial dentro da filosofia da manufatura enxuta, que prioriza o mapeamento desse fluxo “porta-a-porta”, ou seja, dentro de departamento ou planta a ser estudado, da entrada do produto bruto a entrega ao cliente (ROTHER, SHOOK, 2003). O mapeamento do fluxo de valor (*Value Stream Mapping – VSM*) é uma ferramenta que permite enxergar e entender o fluxo de material e de informação em todas as etapas do processo, focando na identificação de desperdícios no fluxo (SHINGO, 1996).

Algumas organizações, com o objetivo de reduzir os desperdícios em seus processos, aplicam metodologias de forma isolada, que se tornam limitadas e por fim não atingem seu objetivo, não reduzindo os desperdícios no fluxo de valor. Os desperdícios que não são eliminados geram problemas adjacentes, como produtos com defeito, falta de metodologia, restrições nas linhas de montagem dentre vários outros (DE ARAUJO, 2004).

Vários estudos têm comprovado que, apesar de algumas empresas conseguirem implementar projetos de melhoria baseados em uma ou mais filosofias de gestão, uma quantidade significativa de projetos não atinge os resultados esperados (MARTINEZ, MOYANO, 2014; ALBLIWI *et al*, 2014). Bhasin e Burcher (2006) demonstraram que menos de 10% das organizações no Reino Unido, que se propuseram a aplicar as ferramentas da manufatura enxuta obtiveram sucesso. McLean e Antony (2014) indicam que 60% dos projetos de Seis Sigma não atingem seus objetivos.

Feld (2000) e Corrêa e Corrêa (2004) concluíram que um desempenho baixo no fluxo do sistema produtivo é fruto da dificuldade em eliminar a causa raiz dos problemas. Isso é devido a tendência nas empresas de, na maioria das vezes, tratar problemas com o objetivo de se ter resultados imediatos, em detrimento a uma análise profunda e eficiente para eliminar a causa raiz.

Na empresa estudada nesse trabalho, esse tipo de situação é recorrente, metodologias e ferramentas são aplicadas de forma isoladas, não existe visão do fluxo de valor nos processos e existe foco em melhorias de curto prazo. Por consequência, os resultados de longo prazo não satisfatórios dificultam o controle de variabilidade no processo de eliminação de restrições e desperdícios.

Considerando o problema apresentado, a seguinte questão orienta o desenvolvimento da pesquisa: Qual é a influência da aplicação do modelo de integração da Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta e Seis Sigma nos resultados operacionais de uma oficina ferroviária de manutenção de componentes de locomotivas?

1.3. OBJETIVOS DA PESQUISA

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os resultados operacionais da integração dos conceitos de TOC, da Manufatura Enxuta e do Seis Sigma em um fluxo de valor em uma oficina ferroviária de componentes de locomotivas no Brasil.

Para que o objetivo geral seja atingido, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Aplicar o modelo de integração, criado por Pirasteh e Fox (2010), e discutir os resultados obtidos em uma oficina de locomotivas em uma empresa do setor ferroviário.
- b) Propor recomendações para o modelo de integração, baseando-se nos resultados obtidos, para um ambiente de manutenção ferroviário.

1.4. JUSTIFICATIVA

O presente estudo poderá contribuir com avanços da ciência no sentido de promover conhecimento experimental sobre os fatores envolvidos e suas interações, sendo possível analisar quais são as etapas dessa metodologia que mais facilitam e impactam os resultados e por consequência, esse conhecimento irá auxiliar futuras pesquisas na aplicação dessa metodologia de integração das abordagens em ambientes com outros tipos de operação.

A aplicação das abordagens de forma integrada, foi feita em uma oficina ferroviária utilizando o método de pesquisa-ação e, portanto, proporcionará elucidações sobre quais fatores podem afetar os resultados dessa metodologia em um ambiente de manutenção ferroviária.

Foi desenvolvida uma revisão bibliográfica da literatura, buscando trabalhos na base de periódicos *Web of Science*, que é um sistema de base de dados

multidisciplinar desenvolvido pela *Thomson Scientific – Insitute for Science Information* (ISI). A *Web of Science* permite filtrar os resultados da pesquisa de acordo com a área de conhecimento e é reconhecida na literatura científica e técnica como uma ferramenta de indexação que fornece dados relevantes das áreas da ciência e tecnologia (BOYACK *et al*, 2005)

Foram pesquisadas palavras e combinações de palavras que se relacionam com o tema da pesquisa (QUADRO 1). O presente trabalho busca analisar técnicas de gestão da produção aplicadas em uma ferrovia, portanto, foram escolhidas categorias de linha de pesquisa que estão enquadradas no objeto de pesquisa (QUADRO 2).

QUADRO 1 - PALAVRAS CHAVES PESQUISADAS.

	PALAVRAS
PESQUISA 1	"THEORY OF CONSTRAINTS"
PESQUISA 2	"LEAN MANUFACTURING"
PESQUISA 3	"SIX SIGMA"
PESQUISA 4	"THEORY OF CONSTRAINTS" AND "SIX SIGMA"
PESQUISA 5	"THEORY OF CONSTRAINTS" AND "LEAN MANUFACTURING"
PESQUISA 6	"LEAN MANUFACTURING" AND "SIX SIGMA"
PESQUISA 7	"THEORY OF CONSTRAINTS" AND "LEAN MANUFACTURING" AND "SIX SIGMA"
PESQUISA 8	"RAILROAD"
PESQUISA 9	"RAILROAD" AND COUNTRY="BRAZIL"
PESQUISA 10	"THEORY OF CONSTRAINTS" AND "RAILROAD"
PESQUISA 11	"LEAN MANUFACTURING" AND "RAILROAD"
PESQUISA 12	"SIX SIGMA" AND "RAILROAD"
PESQUISA 13	"ROLLING STOCK" AND "MAINTENANCE"

FONTE: O autor

QUADRO 2 - CATEGORIAS DE TRABALHOS PESQUISADAS

CATEGORIAS - WEB OF SCIENCE
MANAGEMENT
ENGINEERING INDUSTRIAL
OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE
ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY
ENGINEERING MANUFACTURING
BUSINESS

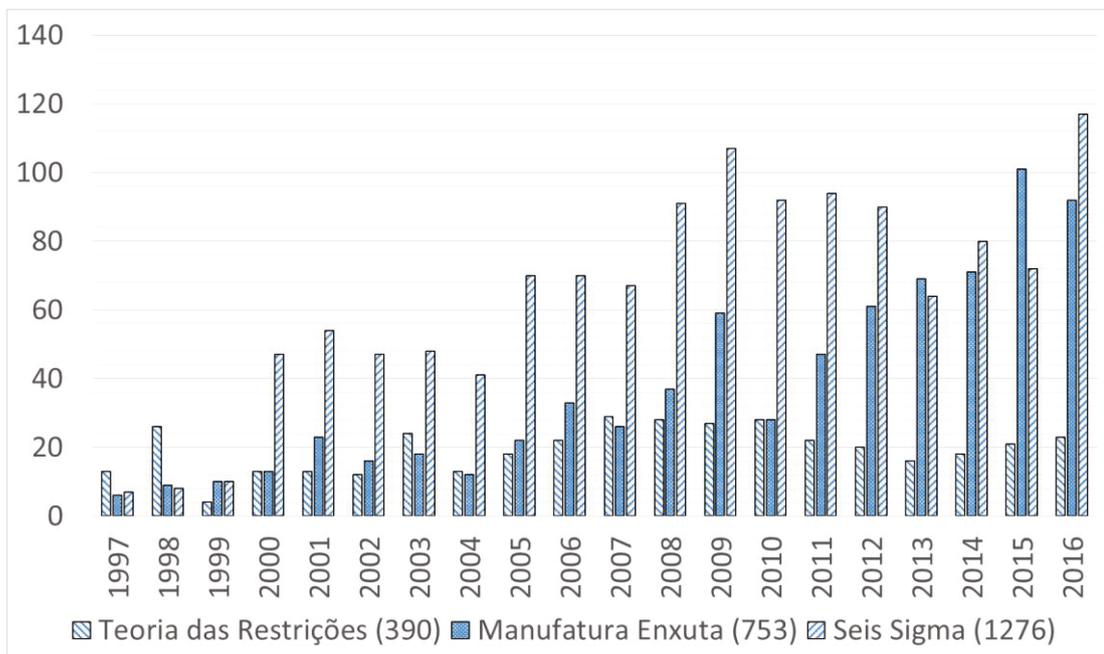
FONTE: O autor

Considerando os últimos 20 anos, a quantidade total de publicações sobre a Teoria das Restrições encontrada na base de periódicos foi de 390 trabalhos, sobre a

Manufatura Enxuta foram 753 publicações e sobre o Seis Sigma foram encontrados 1276 trabalhos (GRÁFICO 1).

Ao analisar o GRÁFICO 1, é possível concluir que nos últimos dez anos, as publicações sobre a Teoria das Restrições e ao Seis Sigma se mantiveram praticamente constantes, com uma média de publicações anuais de 23 e 87, respectivamente. Houve um aumento significativo na quantidade de publicações relacionadas a Manufatura Enxuta. Entre 2006 e 2016, o aumento foi de quase três vezes.

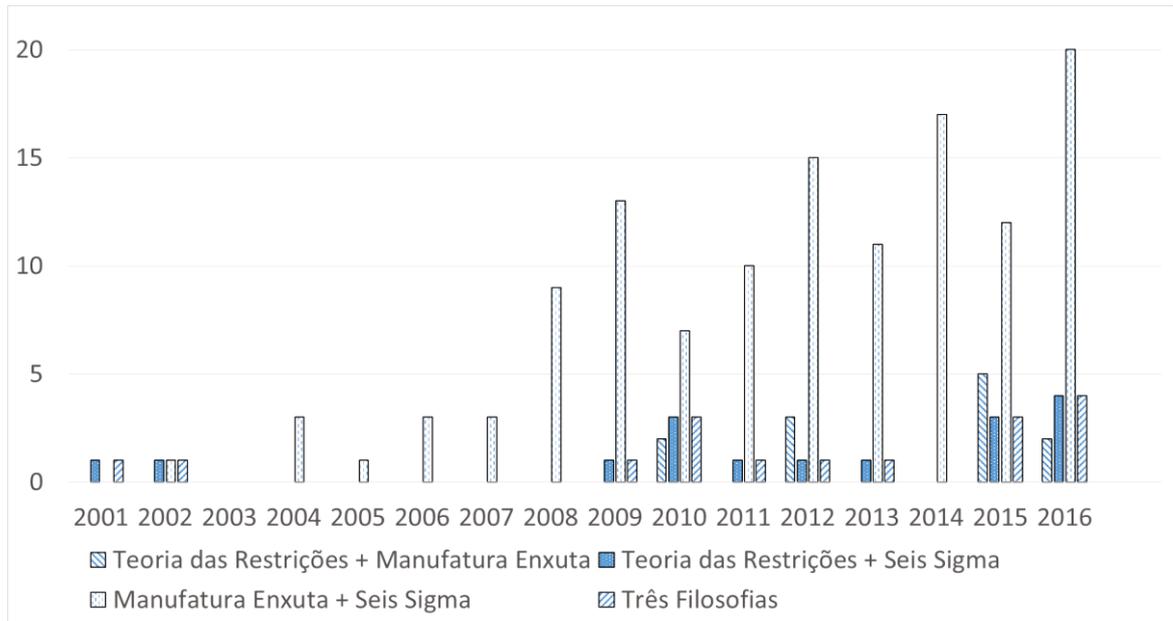
GRÁFICO 1 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE TEORIA DAS RESTRIÇÕES, MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA DESDE 1997



FONTE: O autor

Analisando as publicações sobre a integração das filosofias, pode-se concluir que a união entre Manufatura Enxuta e Seis Sigma tem sido o maior objeto de estudo, com 125 publicações, apresentando ainda aumento na quantidade de publicações nos últimos 7 anos (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE INTEGRAÇÃO DAS FILOSOFIAS.

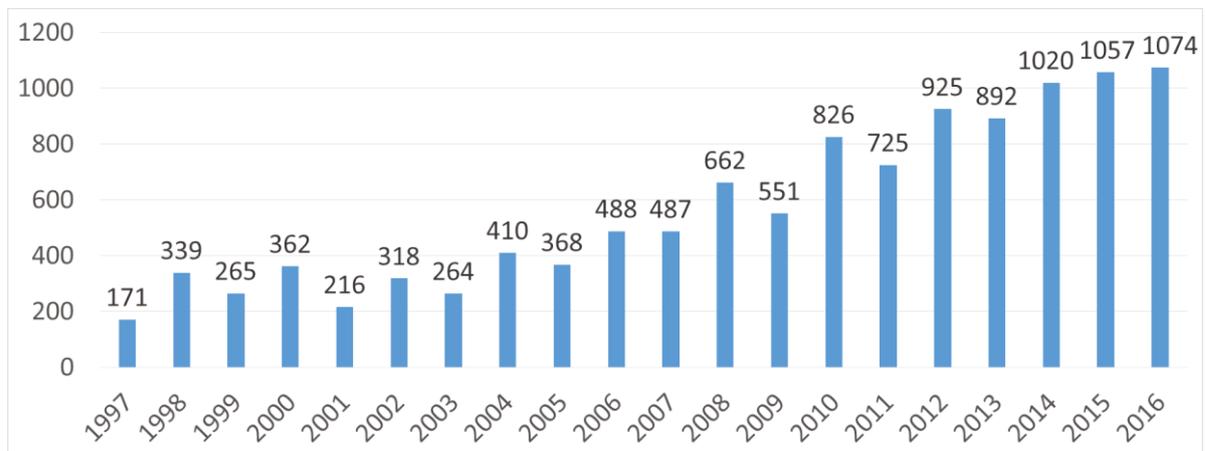


FONTE: O autor

A integração da Teoria das Restrições e do Seis Sigma foi abordada em 16 publicações, e a integração da Teoria das Restrições com a Manufatura Enxuta em 12 publicações. A quantidade total de trabalhos sobre integração das três filosofias é de 16, sendo 9 deles publicados nos últimos 5 anos.

Em relação as publicações sobre a ferrovia, a análise dos resultados permitiu concluir que os trabalhos sobre o tema vêm crescendo de forma constante nos últimos 20 anos (GRÁFICO 3). Foram encontradas 11420 publicações no total, tal quantidade permite concluir que esse tema possui relevância no meio acadêmico

GRÁFICO 3 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE FERROVIA DESDE 1997



FONTE: O autor

Os cinco periódicos relacionados a Engenharia de Produção, com maior quantidade de publicações sobre ferrovias nos últimos 20 anos estão listados na TABELA 1.

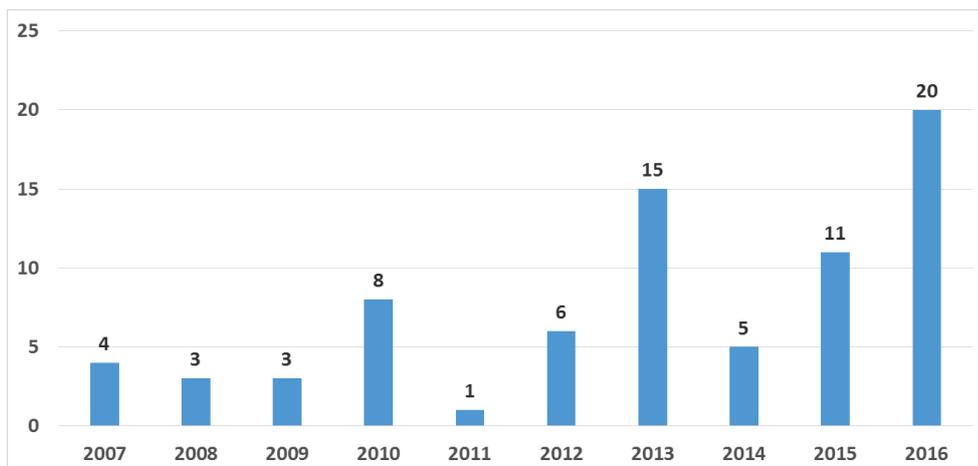
TABELA 1 - PERIÓDICOS COM MAIORES PUBLICAÇÕES SOBRE FERROVIAS DESDE 1997

PERIÓDICO	PUBLICAÇÕES
TRANSPORTATION JOURNAL	117
EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	88
TRANSPORTATION SCIENCE	66
COMPUTERS IN RAILWAYS	65
ADVANCES IN TRANSPORT	64
LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW	39
COMPUTERS OPERATIONS RESEARCH	31
COMPUTERS AND GEOTECHNICS	31
INTERFACES	29
REVIEW OF INDUSTRIAL ORGANIZATION	22
TOTAL	552

FONTE: O autor

Os trabalhos sobre ferrovia relacionados à manutenção de materiais rodantes representam quase 2% (20 de 1074) do total de trabalhos publicados em 2016 (GRÁFICO 4). Essa baixa representatividade repetiu-se nos anos anteriores e indica que esse é um tema ainda não explorado de forma significativa por pesquisadores na academia.

GRÁFICO 4 - PUBLICAÇÕES SOBRE MANUTENÇÃO DE MATERIAIS RODANTES.

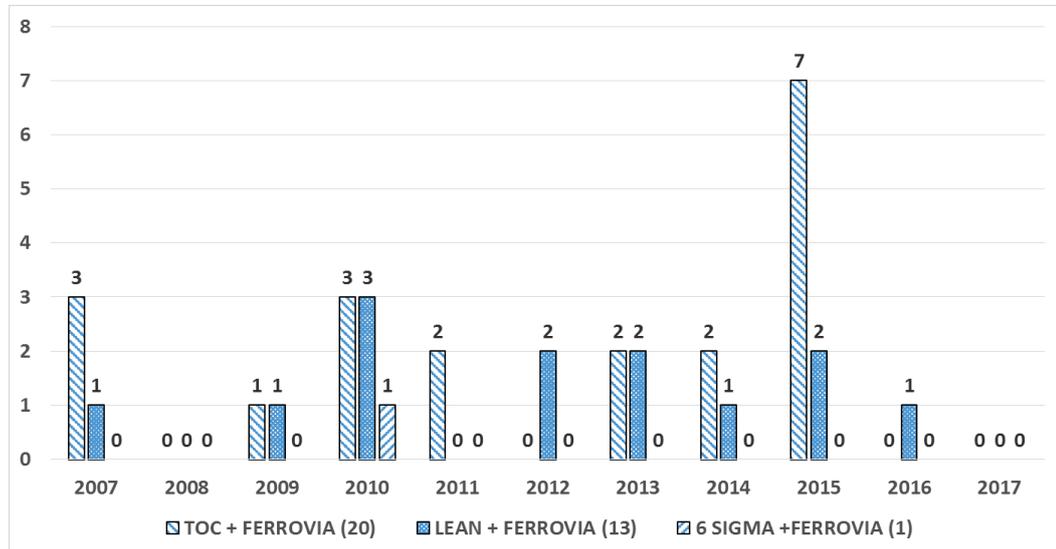


FONTE: O autor

Por meio da análise das quantidades de trabalhos desenvolvidos sobre ferrovias e as filosofias de gestão (TOC, Manufatura Enxuta e Seis Sigma) é possível concluir que essas publicações não são representativas, se comparadas ao total de

trabalhos sobre ferrovia. Existe apenas um estudo sobre Seis Sigma na ferrovia nos últimos 10 anos (GRÁFICO 5).

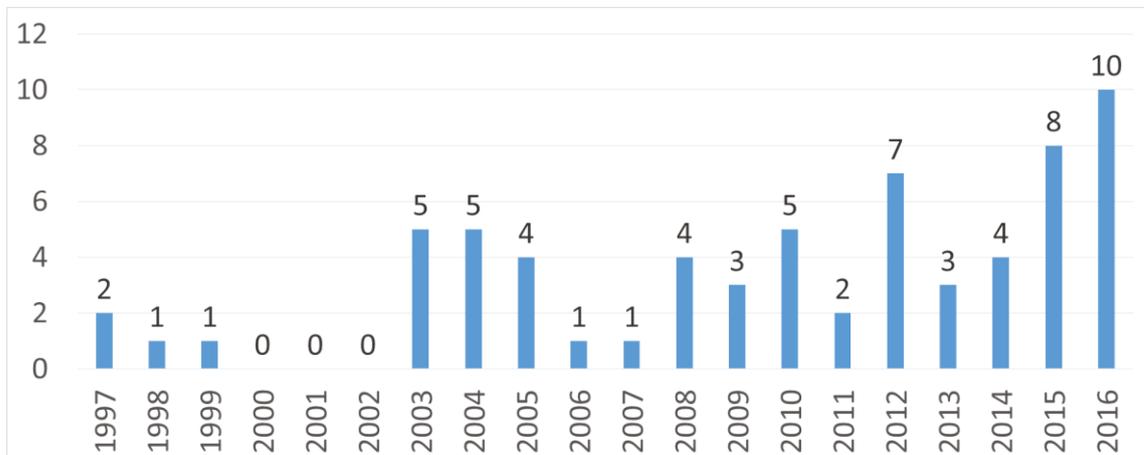
GRÁFICO 5 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES SOBRE FERROVIAS E FILOSOFIAS DE GESTÃO



FONTE: O autor

Por fim, analisando as publicações brasileiras sobre ferrovia (GRÁFICO 6), em 2016 elas atingiram seu maior número, no entanto, elas representaram menos de 1% do total de publicações encontradas (10 de 1074 publicações). Pode-se perceber que elas não acompanharam o crescimento de publicações mundiais e não representam uma parcela significativa dos trabalhos. Na base de publicações pesquisadas, não foi possível encontrar trabalhos brasileiros sobre a manutenção de ativos na ferrovia.

GRÁFICO 6 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE FERROVIA DESDE 1997



FONTE: O autor

Ao realizar a pesquisa bibliográfica sistemática é possível concluir que os temas relativos às três filosofias de gestão de produção ainda despertam o interesse da comunidade acadêmica, com destaque para o crescimento de publicações sobre manufatura enxuta nos últimos anos. Existe um número pequeno de publicações sobre a manutenção de ativos ferroviários e um número ainda menor de trabalhos sobre as três filosofias aplicadas a ferrovia. Também é possível concluir que existe uma grande lacuna de trabalhos brasileiros sobre a ferrovia e, portanto, a proposta dessa pesquisa irá contribuir com o conhecimento científico brasileiro a respeito das operações ferroviárias, abordando também as filosofias de gestão de produção, em um estudo detalhado sobre o processo produtivo de manutenção de componentes de locomotivas.

De acordo com a classificação feita pela ABEPRO (2008), a pesquisa proposta pode ser enquadrada na área denominada Engenharia de Operações e Processos da Produção, na sub área 1.2. Planejamento, Planejamento e Controle da Produção. De acordo com esse enquadramento, é possível dizer que a proposta de pesquisa contribuirá para o avanço das pesquisas em Engenharia de Produção no Brasil e essa é mais uma justificativa para o presente trabalho.

1.5. LIMITAÇÕES

A pesquisa é limitada pelos seguintes fatores:

- a) O trabalho de campo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa-ação, em uma oficina de manutenção de componentes de locomotivas;
- b) O setor da oficina estudado é responsável pelo componente das locomotivas que geram a tração (movimento), chamado nesse trabalho de “Motor de Tração” ou “MT”;
- c) Não serão apresentados resultados financeiros, por terem caráter confidencial.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo são apresentados a introdução ao tema, e a contextualização sobre as abordagens. Também é apresentado o problema de

pesquisa e são definidos os objetivos deste trabalho, bem como sua justificativa e limitações.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico, que serve de embasamento teórico para o desenvolvimento da dissertação. Os temas abordados nesse capítulo são as características da manutenção ferroviária, os fundamentos da Teoria das restrições, Manufatura Enxuta e Seis Sigma. Por fim é apresentada a metodologia de integração dessas abordagens.

O terceiro capítulo discorre sobre o método de pesquisa utilizado neste trabalho. As seções deste capítulo apresentam a classificação e os procedimentos de pesquisa.

O quarto capítulo trata da pesquisa de campo, apresenta a empresa, as etapas e as ferramentas aplicadas no modelo de integração.

O quinto e o sexto capítulo apresentam as discussões relativas aos resultados da integração e as conclusões do pesquisador, respectivamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico tem como objetivo apresentar os conceitos da manutenção ferroviária e das três filosofias: 1. Teoria das restrições, 2. Manufatura Enxuta e 3. Seis Sigma.

2.1. MANUTENÇÃO FERROVIÁRIA – MOTOR DE TRAÇÃO

Nas operações ferroviárias são utilizados ativos (equipamentos e materiais) que, pelas suas características, são divididos em duas categorias. Os chamados “materiais rodantes” são compostos pelas locomotivas e vagões, eles são chamados assim pois durante sua utilização, se movimentam pela malha ferroviária. Os trilhos, dormentes, fixações e lastro, que formam a via férrea, bem como, a estrutura de sinalização, unidades elétricas, terminais, estações e oficinas são parte da categoria denominada “infraestrutura”, cuja principal característica é a imobilidade (CHANDRA, 2008).

As locomotivas são os equipamentos que produzem a força motriz necessária para movimentar os vagões pela linha férrea. Existem dois tipos de locomotivas modernas, utilizadas para operações comerciais de grande porte. As locomotivas elétricas, que por meio de equipamentos instalados na própria locomotiva, captam a energia elétrica distribuída na estrutura férrea e transformam em movimento, e as locomotivas diesel-elétricas (FIGURA 2) que, para gerar energia elétrica, utilizam um motor a combustão interna movido a diesel (REFORM, 2011).

FIGURA 2 - LOCOMOTIVA DIESEL-ELÉTRICA

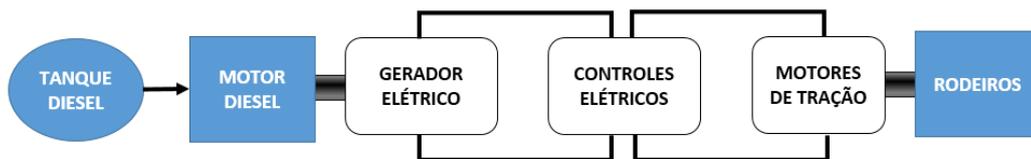


FONTE: O autor

As locomotivas diesel-elétrica se tornaram o modelo padrão nas ferrovias mundiais, devido a menor complexidade de manutenção e menores custos de operação em relação aos outros tipos de locomotivas. Uma operação ferroviária eficiente é dependente da disponibilidade e da confiabilidade das locomotivas, portanto uma manutenção eficiente desses ativos é a base para uma operação economicamente viável (CHANDRA, 2008).

Nesse modelo de locomotiva, a geração da força motriz tem como base o combustível fóssil (FIGURA 3). A fonte de energia é o diesel que, por meio do motor a combustão, é queimado para ser gerada energia mecânica que movimenta o eixo que está acoplado ao gerador elétrico, então, a energia elétrica gerada é controlada e repassada aos motores elétricos, que transmitem a energia elétrica aos eixos dos rodéis que acabam por movimentar a locomotiva.

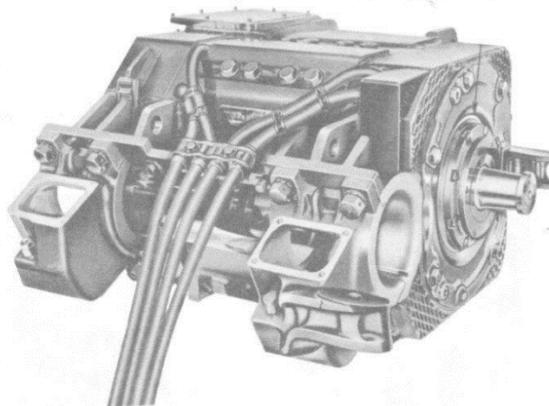
FIGURA 3 - ARQUITETURA DE UMA LOCOMOTIVA DIESEL-ELÉTRICA



FONTE: Adaptada de LETROUVE *et al* (2014)

Os motores elétricos (FIGURA 4) das locomotivas são chamados de “Motores de Tração” (REFORM, 2011). A eficiência das locomotivas diesel-elétrica está relacionada com a quantidade de energia do motor a combustão que pode ser convertida em força motriz pelos motores de tração (LETROUVE *et al*, 2014).

FIGURA 4 - MOTOR DE TRACÇÃO

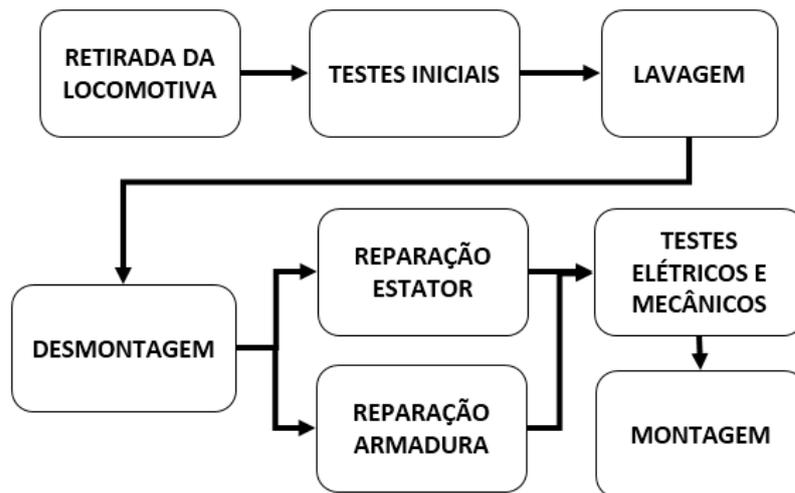


FONTE: EMD (1986)

Os motores de tração são submetidos a grandes esforços elétricos, principalmente durante o início do movimento das locomotivas, e a grandes esforços mecânicos, durante o regime de movimento da locomotiva (HAPEMAN *et al*, 1986).

De acordo com Baykut (2011), o motor de tração é componente crítico na operação ferroviária e possui um processo complexo de manutenção composto de várias etapas (FIGURA 5). Cada locomotiva pode ter quatro, seis ou oito motores de tração.

FIGURA 5 - PROCESSO DE REPARAÇÃO DO MOTOR DE TRAÇÃO



FONTE: Adaptada de BAYKUT (2011)

A manutenção dos motores de tração tem como objetivo a reutilização dos componentes cuja vida útil chegou ao fim e a ampliação da utilização dos componentes cuja vida útil ainda não chegou a fim, portanto, segundo Ramani *et al* (2010), esse processo está relacionado a um produto com um ciclo de vida com princípios sustentáveis, tornando-o um objeto de estudo relevante e alinhado com a tendência de se aplicar conceitos de sustentabilidade a todos processos de produção.

O Anexo I é uma visão em corte de uma locomotiva diesel-elétrica, nesse desenho técnico estão destacados os principais componentes. Os motores de tração estão identificados com o número 21.

2.2. TEORIA DAS RESTRIÇÕES

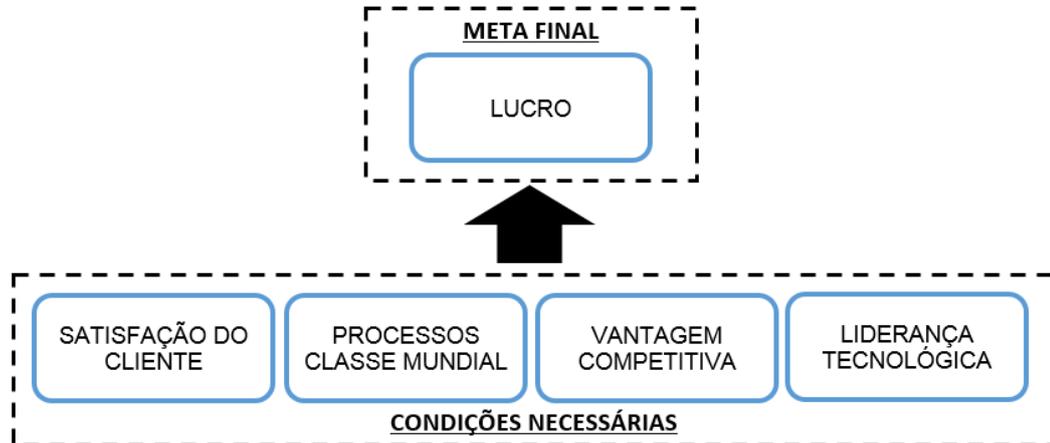
O desenvolvimento da *Theory of Constraints* (TOC), chamada de Teoria das Restrições, se iniciou no final da década de 70, com a criação de um *software* de

planejamento de produção, chamado de OPT (*Optimized Production Timetables*) (GOLDRATT; COX, 1984). Desde então, a TOC evoluiu de um simples *software* de planejamento para um conjunto de filosofias e ferramentas gerenciais que se aplicam em diversas áreas, como em operações, logística, medição de resultados e resolução de problemas (COSTAS *et al*, 2015).

Segundo Dettmer (1997), a TOC é baseada na análise de desempenho de sistemas, que são definidos como um conjunto de processos interdependentes que agem em conjunto para atingir um objetivo.

Para Goldratt (2002), a meta final de uma empresa competitiva é o lucro, que deve ser alcançado por meio da melhoria contínua de seus processos. É imprescindível que os responsáveis pelos sistemas saibam qual é a meta final de sua organização, e que sejam definidas as condições necessárias para que o sistema suporte essa meta (FIGURA 6). Dessa forma a organização, no curto e no longo prazo, terá condições de se manter competitiva no mercado (DETTMER, 1997).

FIGURA 6 - EXEMPLO DE CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA ATINGIR UMA META FINAL



FONTE: Adaptada de DETTMER (1997)

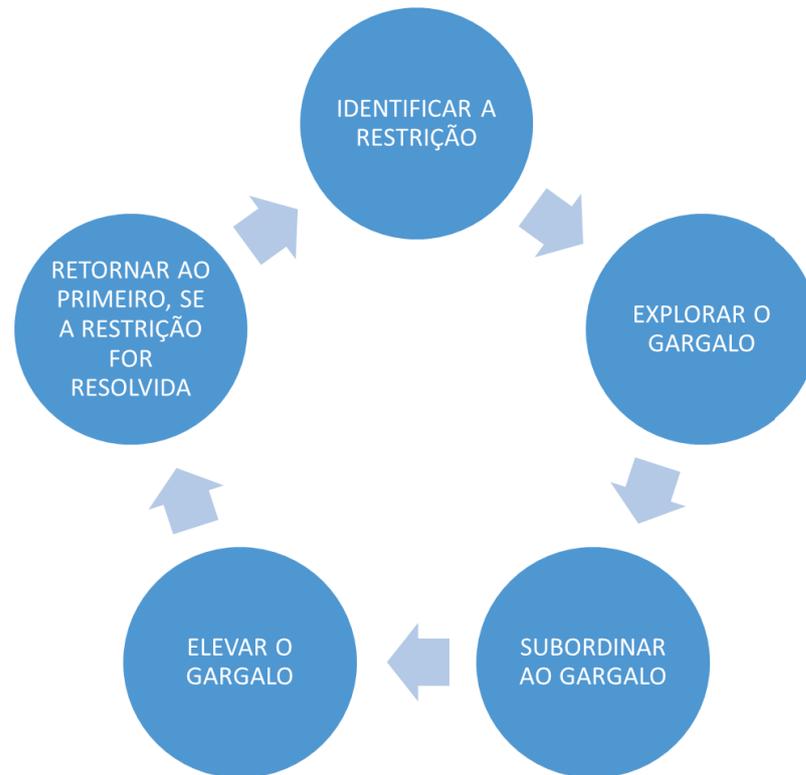
Na TOC, o sistema pode ser comparado a uma corrente, em que seu elo mais fraco é a restrição (ou gargalo). Essa simples analogia, permite concluir que o sistema, em um determinado momento, possui apenas uma restrição, e, portanto, para elevar sua capacidade e seu desempenho, é necessário focar os esforços em apenas uma etapa do processo (DETTMER, 1997).

A restrição de um sistema pode apresentar forma física, como a capacidade produtiva de uma máquina, ou não física, como demanda de mercado, normas institucionais entre outras. É a restrição que determina o desempenho de todo o sistema, e por consequência, determina a contribuição do sistema para o sucesso ou fracasso da meta final (BURTON-HOULE, 2001).

Rahman (1988) apresenta o gerenciamento efetivo das restrições em duas partes. A primeira parte é o paradigma da TOC, que é dividido nos cinco passos de melhoria contínua e na metodologia *Drum-Buffer-Rope* (DBR). A segunda parte é a metodologia de investigação, análise e resolução de problemas, chamada de *Thinking Process* (TP). O paradigma da TOC é baseado em um processo de melhoria contínua, que é composto de 5 passos (FIGURA 7). A descrição dos passos são:

- a) Identificar a restrição do sistema: A restrição (gargalo) pode ser física ou não-física. É importante identificar o gargalo do sistema que tem o maior impacto na meta final da organização (RAHMAN, 2002).
- b) Decidir como explorar o gargalo: É identificar qual a maneira de atingir o maior potencial do gargalo, ou seja, deixá-lo mais eficiente possível aumentando sua utilização, dentro dos limites e dos recursos atuais do sistema (COGAN, 2007).
- c) Subordinar os processos não gargalos: Significa que todos os processos não gargalos devem ter sua produção ajustada para que suportar a utilização do gargalo, pois, como essa restrição é que controla o resultado de todo o sistema, fazer essa subordinação garante a melhor utilização possível de recursos (RAHMAN, 2002).
- d) Elevar o gargalo: Deve-se buscar a melhoria dos gargalos de forma intensa, pois o resultado do sistema é o resultado do gargalo (GOLDRATT, 2002).
- e) Retornar ao primeiro passo se a restrição for resolvida: Se o gargalo do sistema for resolvido, é preciso renovar o ciclo de melhoria para identificar o novo gargalo (COGAN, 2007).

FIGURA 7 - ETAPAS DE MELHORIA CONTÍNUA DA TOC



FONTE: Adaptada de RAHMAN (2002)

A TOC é direcionada pela metodologia *Drum-Buffer-Rope* (DBR), que em português pode ser traduzido por tambor-pulmão-corda (FIGURA 8). O tambor é a programação da produção, baseada no ritmo de trabalho do gargalo, ou seja, todos os outros processos devem trabalhar no mesmo ritmo do processo gargalo. A corda é a sincronização entre os processos. É a comunicação entre o gargalo e os pontos de controle, que garante que o fluxo de materiais seja alinhado com a necessidade do gargalo. O pulmão é o estoque colocado estrategicamente antes do gargalo para protegê-lo de variações que podem acontecer no sistema que o deixariam ocioso (GOLMOHAMMADI, 2015).

FIGURA 8 - EXEMPLO DE PROCESSO COM RESTRIÇÃO QUE UTILIZA DBR



FONTE: Adaptada de WATSON *et al* (2007)

Essa metodologia sincroniza a utilização de recursos no sistema, e permite que eles sejam utilizados no nível necessário para que a meta final seja atingida e que não haja desperdícios de recursos nos processos, por exemplo, na forma de excesso de materiais (FOLLMANN, 2009).

Para se obter uma melhor gestão do DBR, Goldratt e Fox (1986) propõem nove direcionadores:

- a) Foco no balanceamento do fluxo do sistema, não na capacidade produtiva;
- b) O nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial, mas pelo gargalo do sistema;
- c) Ativação e utilização de recursos não são sinônimos;
- d) Uma hora perdida em um gargalo representa uma hora perdida no sistema inteiro;
- e) Uma hora economizada em um não gargalo é apenas uma miragem;
- f) Os gargalos governam tanto o fluxo quanto os inventários;
- g) O lote de transferência não deve ser necessariamente igual ao lote de processo;
- h) O lote de processo deve ter um tamanho variável;
- i) A programação da produção deve ser feita analisando todas as restrições simultaneamente.

A aplicação das etapas de melhoria contínua da TOC aliadas aos direcionadores, podem trazer melhorias significativas nos resultados operacionais do sistema (NOREEN *et al*, 1995). Porém, as melhorias podem mover o gargalo do chão de fábrica (restrição física) para os processos de gestão (restrição não-física), que são mais difíceis de identificar e analisar, e frequentemente envolvem trabalho entre áreas diferentes dentro da organização (RAHMAN, 2002).

Para lidar com essa situação, Goldratt (1994) desenvolveu um conjunto de ferramentas a serem utilizadas para identificar os gargalos não físicos e criar soluções para eles, aplicando lógica e conhecimento intuitivo, a essas ferramentas foi dado o nome de *Thinking Process* (TP). Essas ferramentas são compostas de três perguntas genéricas (QUADRO 3).

QUADRO 3 - RELAÇÃO DAS FERRAMENTAS DO TP

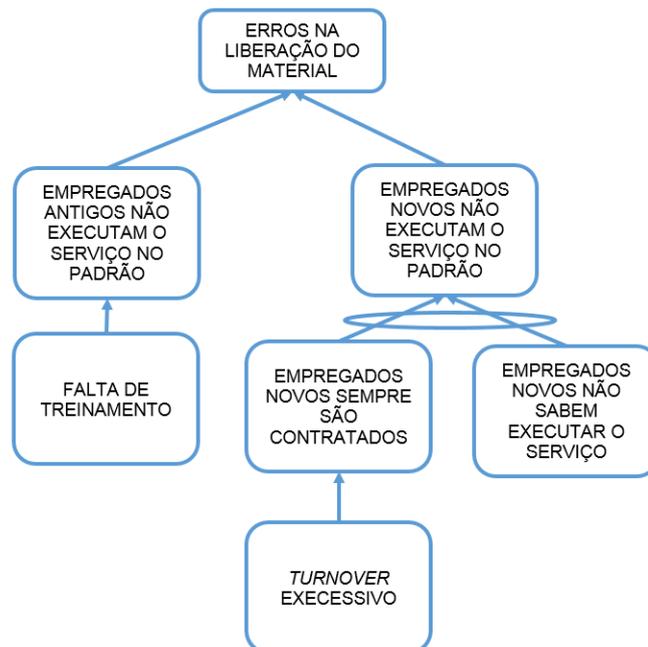
PERGUNTA GENÉRICA	PROPÓSITO	FERRAMENTAS
O QUE MUDAR?	IDENTIFICAR A CAUSA RAIZ DO PROBLEMA	ÁRVORE DA REALIDADE ATUAL
PARA O QUE MUDAR?	DESENVOLVER SOLUÇÕES	DIAGRAMA DE DISPERSÃO DE NUVEM, ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA
COMO MUDAR?	IMPLEMENTAR SOLUÇÕES	ÁRVORE DE TRANSIÇÃO, ÁRVORE DE PRÉ-REQUISITO

FONTE: Adaptado de RAHMAN (1998)

A primeira pergunta: “*O que mudar?*” é necessária para realizar um diagnóstico da situação e para encontrar o problema raiz do sistema (RAHMAN, 1998). Goldratt (2004), recomenda não focar nos sintomas dos problemas, mas sim, nas causas raiz, utilizando a *Árvore da Realidade Atual* (ARA).

A ARA tem como objetivo fazer o diagnóstico da situação atual do sistema, para eliminar efeitos indesejáveis, por exemplo, tempo de ciclo longo, excesso de inventários, excesso de materiais em processo, entre outros. Ela demonstra as relações causa-efeito que impactam a situação atual do sistema, por meio de um diagrama que conecta essas relações (DETTMER, 1997). A FIGURA 9, demonstra uma ARA utilizada para analisar um problema hipotético “Erros no processo de liberação de material”.

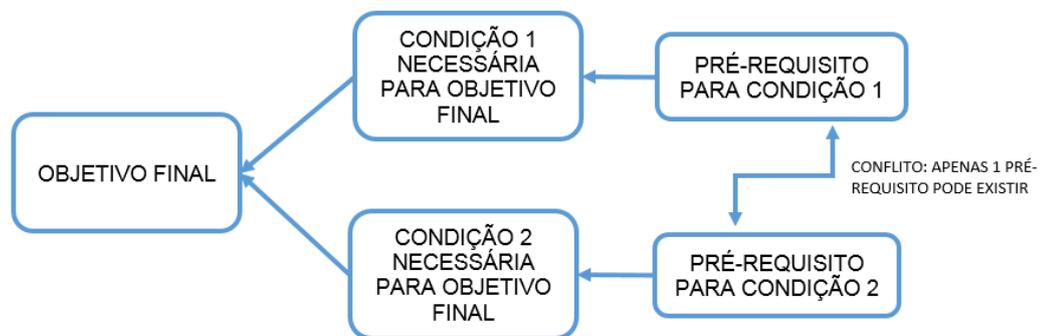
FIGURA 9 - EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DE ARA



FONTE: Adaptada de REID (2003)

A segunda pergunta: “*Para o que mudar?*” está relacionada ao caminho a seguir para eliminar o problema raiz que restringe o resultado do sistema. O Diagrama de Dispersão da Nuvem (DDN) conduz o processo de transformação no sentido de potencializar as mudanças a serem feitas para conseguir o melhor resultado. O DDN oferece uma visão a ser seguida e uma ideia na resolução do problema, é necessário estabelecer uma meta e liga-la as condições necessárias para seu atendimento (FIGURA 10). Um ponto importante dessa ferramenta é deixar claro quais condições necessárias para atingir a meta e quais pré-requisitos podem ser conflitantes (JACOB *et al*, 2009).

FIGURA 10 - EXEMPLO DA FERRAMENTA DIAGRAMA DE DISPERSÃO DA NUVEM

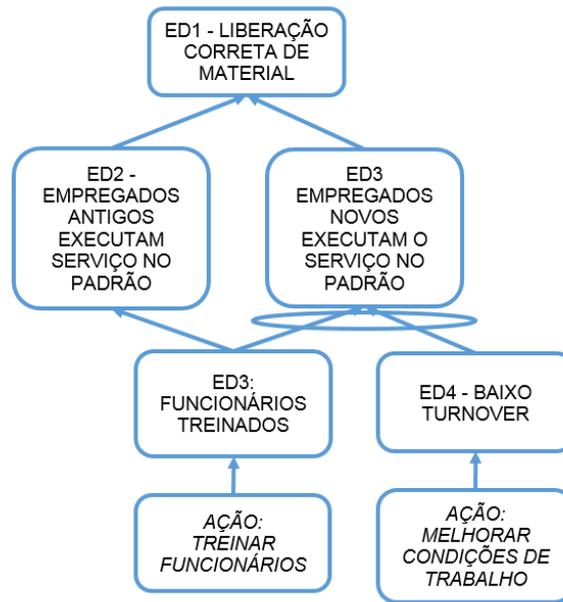


FONTE: Adaptada de REID (2003)

A Árvore de Realidade Futura (ARF) é representada graficamente por meio da relação de causa e efeito entre mudanças que se faz na realidade atual e os possíveis resultados futuros (FIGURA 11). De acordo com Cogan (2007, p. 289) a ARF:

É uma descrição da causa e efeito futuro. Desmembra as relações de causa-efeito entre as mudanças que foram feitas com relação aos sistemas existentes e seus consequentes resultados. É, pois, uma projeção do futuro, desde um ponto de início no presente, de baixo para cima. A partir da injeção que resolve o problema-raiz e em sentido contrário ao da ARA, de baixo para cima, constroem-se as relações lógicas de causa e efeito, esperando-se que, em vez dos Efeitos Indesejáveis (EI) originais da ARA, sejam encontrados tão somente Efeitos Desejáveis (ED).

FIGURA 11 - EXEMPLO DA FERRAMENTA ÁRVORE DE REALIDADE FUTURA



FONTE: Adaptada de REID (2003)

Segundo Wanderley e Cogan (2012), a ARF tem como objetivo, testar efetivamente novas ideias antes de se investir recursos na implementação, determinar se as mudanças propostas podem criar outros Efeitos Indesejáveis e servir como ferramenta inicial para o planejamento da mudança.

A terceira pergunta: “*Como mudar?*” tem como objetivo implementar as mudanças necessárias identificadas. Para isso, Reid (2003) indica a utilização da Árvore de Pré-Requisitos (APR), que é uma estrutura lógica desenhada para identificar todos os obstáculos do plano de mudança, bem como, as soluções para esses obstáculos. Também identifica quais as condições mínimas necessárias sem as quais a meta não pode ser atingida. A Árvore de Transição (AT), deve ser utilizada para indicar, passo a passo, o progresso da mudança, do primeiro passo até o atingimento do objetivo (GIUNTINI *et al*, 2002).

De acordo com Goldratt (2002), os dois componentes do gerenciamento das restrições devem guiar os esforços para atingir a meta final da organização. Essa meta deve possuir dois parâmetros essenciais: O Lucro Líquido, que mede a diferença entre gastos e ganhos, e o Retorno sobre Investimento, que mede o esforço necessário para alcançar o lucro.

2.3. MANUFATURA ENXUTA

O Sistema de Produção Toyota (STP) foi desenvolvido na *Toyota Motor Company*, no final da década de 1940, com o objetivo de combater os desperdícios. Devido ao contexto do mercado automobilístico japonês, em que havia uma grande segmentação e não existia volume de produção que justificasse a adoção de práticas de produção em massa, a adoção desse conceito foi fundamental para o sucesso da empresa (DE ARAUJO, 2004).

Segundo Dettmer (2001), os criadores do STP, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, começaram a eliminar os desperdícios sistematicamente, começando no chão de fábrica, primeiro atacando os desperdícios visíveis até chegar aos escondidos. Esse processo foi guiado por duas perguntas, “Onde está o desperdício?” e “Qual é a melhor maneira de se livrar dele?”.

Womack *et al* (1990) definem que desperdício é toda atividade que consuma recursos e que não agregue valor ao produto. Nesse sentido, Hines e Taylor (2000), definem três tipos de atividades:

- a) Atividades que agregam valor (AV): São as atividades que, sob a ótica do cliente, torna o produto ou serviço mais valioso;
- b) Atividades que não agregam valor (NAV): São as atividades que, sob a ótica do cliente, não torna o produto ou serviço mais valioso;
- c) Atividades necessárias que não agregam valor: São as atividades que, sob a ótica do cliente, não tornam o produto ou serviço mais valioso, mas são necessárias ao processo.

Em ambiente de produção, a divisão de tempo entre as atividades usualmente atinge os seguintes valores (HINES; TAYLOR, 2000):

- a) 5% de atividades que agregam valor;
- b) 60% de atividades que não agregam valor;
- c) 35% de atividades que não agregam valor, mas são necessárias.

Ohno (1997) afirma que a redução das atividades que não agregam valor aumenta as margens de lucro, por meio da redução de custos, e torna a empresa mais competitiva.

A base do STP é composta por dois princípios: o *Just in Time* (JIT) e a Automanação (*Jidoka*) (SPEAR; BOWEN, 1999). O JIT representa a busca por produzir o que é necessário, no momento necessário e no lugar correto, para atender

o cliente naquilo que for necessário (MARTINS, LAUGENI, 2001). O termo *Jidoka* refere-se a autonomia dada aos operadores, para paralisar o processo no momento em que for detectada uma anomalia, reduzindo a não conformidade no fluxo (MARCHWINSKI, SHOOK, 2003).

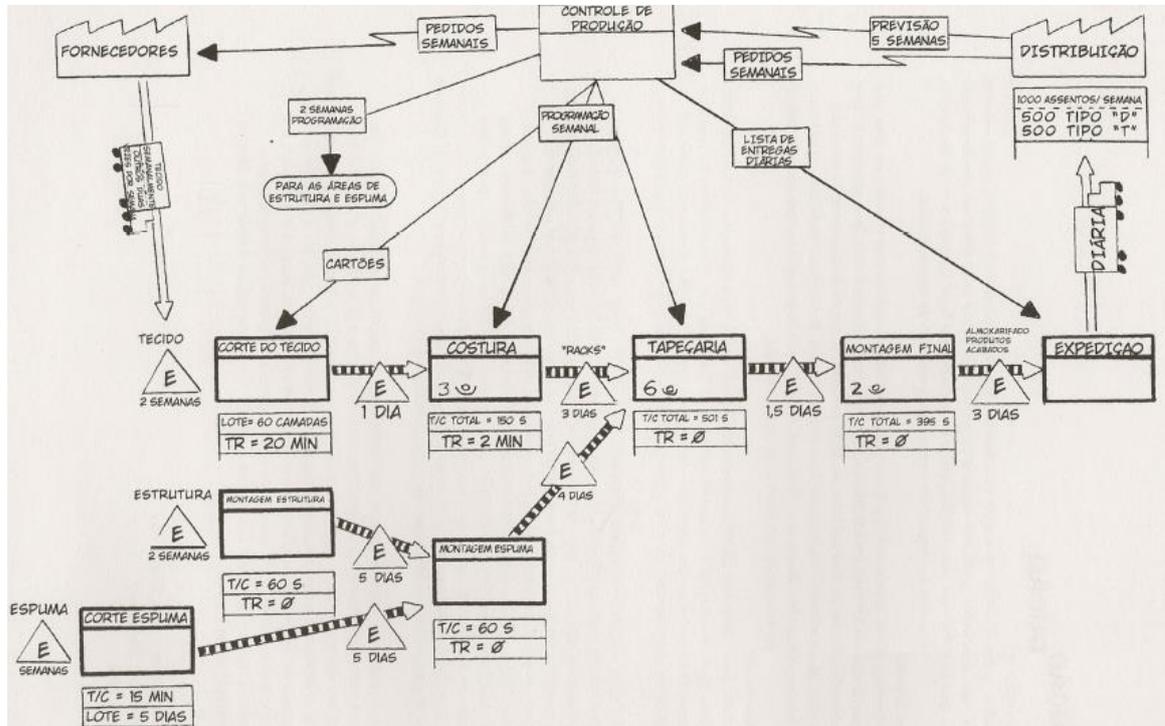
Após a publicação do estudo de Womack *et al*, (1990), houve uma atenção maior nas filosofias e ferramentas que formam as bases do STP, e, desde então, ele ficou conhecido mundialmente como Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) (WOMACK, JONES, 1996). Os cinco princípios para a configuração do conceito *Lean Manufacturing*, segundo esses autores, são:

- a) Valor do cliente: O valor é definido pelas características desejadas do cliente, ou seja, tudo o que o cliente deseja e está disposto a pagar no produto ou serviço (DETTMER, 2001);
- b) Fluxo de valor: Segundo Rother e Shook (2003), o fluxo de valor é constituído das etapas, que agregam ou não valor, do processo que transformam os materiais ou informações em um produto;
- c) Fluxo contínuo: O fluxo contínuo acontece quando os produtos são processados e transferidos diretamente de um processo para outro, sempre no mesmo tamanho de lote (ROTHER, HARRIS, 2002);
- d) Produção Puxada: É sincronizar as metas e o ritmo de produção de acordo com a demanda do cliente, seja ele interno ou externo. Idealmente, significa produzir para pedido (*make to order*). Se bem executada, a produção puxada reduz impacto no estoque final e na quantidade de produtos em processo (DETTMER, 2001);
- e) Perfeição: O último princípio, pode ser traduzido para “busca da perfeição”, e significa que os quatro primeiros princípios devem ser repetidos em um ciclo contínuo (DETTMER, 2001).

De acordo com Rother e Shook (2003), o Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* - VSM) é uma ferramenta idealizada e amplamente utilizada pelos criadores do STP, seu objetivo é auxiliar a identificação de desperdícios e fornecer uma linguagem comum e simples, acessível a todos os níveis hierárquicos, traduzindo os problemas existentes no processo. A primeira etapa consiste na criação do mapa do estado atual do processo a ser estudado, e abrange o fluxo de materiais e o fluxo de informações (FIGURA 12). O foco deve ser levantar as informações reais do

processo, para ser possível identificar quais os pontos críticos do processo. A criação do VSM deve ser feita por meio da participação de todos envolvidos no processo.

FIGURA 12 - EXEMPLO DO MAPA DO ESTADO ATUAL - VSM



FONTE: ROTHER; SHOOK (2003)

Com os dados do mapa atual, várias melhorias podem ser priorizadas para reduzirem os desperdícios no processo, utilizando as métricas enxutas (QUADRO 4). A segunda etapa do VSM é a criação do mapa do estado futuro, em que a meta é ter um processo mais produtivo por meio do fluxo contínuo e puxado em que cada etapa se aproxima o máximo possível de produzir o que os clientes precisam e quando precisam.

Uma métrica importante no VSM é o WCE (*Working Cycle Efficiency*), que em português significa “Eficiência do ciclo de trabalho”, que pode ser definido como a taxa de agregação de valor em determinado processo (ROTHER; SHOOK, 2003). Outra métrica que possui grande relevância e que deve direcionar o tempo de trabalho de todas as etapas do processo produtivo é o *Takt Time*, que pode ser entendido como o tempo de sincronia de todas as atividades, ou seja, o tempo que todo o processo deve atender para que o cliente receba o produto no tempo esperado. Se as tarefas são executadas abaixo do *Takt Time*, haverá produção sem real necessidade, por

outro lado, se as tarefas são executadas acima do *Takt Time*, o cliente ficará aguardando o produto (SEPTH; GUPTA, 2005).

QUADRO 4 - MÉTRICA UTILIZADAS NA MANUFATURA ENXUTA

MÉTRICA	DEFINIÇÃO
TEMPO DE CICLO	É A FREQUÊNCIA QUE UMA PEÇA OU PRODUTO É FINALIZADO DENTRO DO PROCESSO
TEMPO DE AGREGAÇÃO DE VALOR	É O TEMPO DE TRABALHO QUE EFETIVAMENTE TRANSFORMAM O PRODUTO NO CRITÉRIO QUE O CLIENTE ESTÁ DISPOSTO A PAGAR
LEAD TIME	É O TEMPO QUE UMA PEÇA LEVA PARA MOVER-SE AO LONGO DE TODO O PROCESSO, DO INÍCIO AO FIM.
TAKT TIME	É A FREQUÊNCIA COM QUE SE DEVE PRODUZIR UMA PEÇA OU PRODUTO, PARA ATENDER A DEMANDA DOS CLIENTES.
WCE	É A RAZÃO ENTRE O TEMPO DE VALOR AGREGADO E O LEAD TIME TOTAL DO PROCESSO

FONTE: Adaptado de ROTHER; SHOOK (2003)

Os desperdícios que existem nos processos, são divididos em sete categorias diferentes (WOMACK; JONES, 1996):

- a) Superprodução: Pode ser definido como produzir em quantidades maiores do que o necessário ou antes do momento adequado (HINES *et al*, 2004);
- b) Estoque: É uma consequência da superprodução. É produzir mais que o cliente necessita, gerando estoque maior que o esperado (SHINGO, 1996);
- c) Tempo de espera: É o período de ociosidade de equipamentos ou pessoas, devido ao desbalanceamento das atividades, o resultado é um *lead time* mais longo (SLACK *et al*, 2009);
- d) Transporte: O transporte não agrega valor, por isso deve ser reduzido, por meio de melhorias no *layout* (MARTINS; LAUGENI, 2001);
- e) Movimentação: São os movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de suas atividades (HINES; RICH, 1997);
- f) Processos desnecessários: São problemas característicos do próprio processo, como por exemplo, ferramentas inadequadas, etapas desnecessárias, etc (OHNO, 1997);
- g) Não conformidade: É a produção de materiais que apresentam alguma de suas características fora de uma especificação ou padrão estabelecido (WOMACK; JONES, 2004).

O maior objetivo das empresas que adotam a filosofia da manufatura enxuta é melhorar a proporção das atividades que agregam valor, reduzir os desperdícios e o *lead time*, melhorando os custos relacionados a qualidade, custos e à entrega, conforme as necessidades do cliente (HINES *et al*, 2004)

2.4. SEIS SIGMA

De acordo com McAdam e Lafferty (2004), o Seis Sigma é definido como um conjunto de estratégias que buscam a satisfação dos clientes e redução de custos pela redução da variabilidade e dos defeitos. Também, representa uma medida de desempenho e meta para operação de processos, cujo objetivo de desempenho é ter menos de 3,4 falhas por milhão de oportunidades.

A partir de sua perspectiva estatística, o Seis Sigma tem como objetivo reduzir a variação, num produto ou processo, de modo a atingir um desvio padrão muito baixo (SNEE, 2000), em outras palavras, o objetivo é diminuir a variabilidade, ou seja, centrar os resultados do processo no objetivo estipulado.

Para Harry e Schroeder (2005), é preciso determinar o quanto de variação é aceitável para o cliente. O Limite Inferior de Especificação (LIE) e o Limite Superior de Especificação (LSE) representam os limites dentro dos quais o sistema deve operar. Para medir se um processo atende aos requisitos estipulados, podem ser utilizados indicadores chamados de “Índice de capacidade”, em que se destacam o “Cp” e o “Cpk”. O Cp indica a quantidade de variação existente nos resultados do processo em relação ao intervalo do LIE e do LSE. O Cpk indica, semelhantemente ao Cp, a quantidade de variação em relação ao LIE e do LSE e também o desvio da média dos resultados em relação à média definida pelo LIE e pelo LSE (QUADRO 5).

QUADRO 5 - MÉTRICAS CP E CPK

MÉTRICA	DEFINIÇÃO	EQUAÇÃO
Cp	ÍNDICE DE VARIAÇÃO DO PROCESSO EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DEFINIDA PELO LIE E LSE	$\frac{LSE - LIE}{6\sigma}$
Cpk	ÍNDICE DE VARIAÇÃO DO PROCESSO EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO E MÉDIA DEFINIDA PELO LIE E LSE	$\text{MIN}\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$

FONTE: Adaptado de HARRY e SCHROEDER (2005)

De forma tradicional, o Seis Sigma é usado para representar uma gama de dados de uma população com distribuição normal. Nessa distribuição, 68,2% dos dados se situam num intervalo entre -1 e +1 sigma, 95,44% num intervalo entre -2 e +2 sigma e 99,73% num intervalo entre -3 e +3 sigma (HARRY; SCHOEDER, 2005).

Quanto maior o nível Sigma, menor será a possibilidade de defeitos em um processo, produto ou serviço. São considerados em nível “Classe Mundial” os processos a partir de 5 sigma (ECKES, 2001).

Werkema (2012), apresenta o conceito de Seis Sigma baseado no DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades). Para a autora, uma “Oportunidade” é conceituada como uma possibilidade de surgimento de um defeito, e varia de acordo com a complexidade da unidade processada. Isto significa que varia de acordo com o número de componentes, quantidade e complexidade de operações, número de pessoas envolvidas, etc. Por consequência, a quantidade de DPMO pode ser convertida para o nível Seis Sigma de acordo com os valores da TABELA 2.

TABELA 2 - ESCALA SIGMA E NÚMERO DE DEFEITOS CORRESPONDENTES

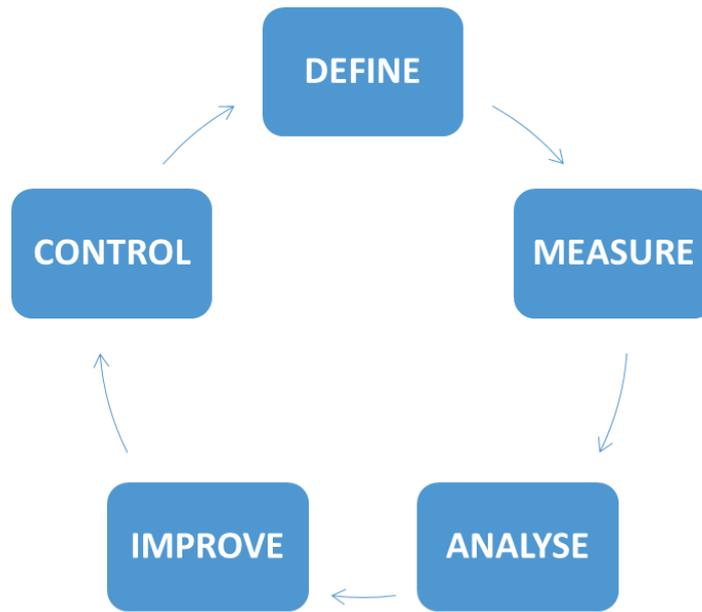
NÍVEL DE QUALIDADE	DPMO
2 SIGMA	308.537
3 SIGMA	66.807
4 SIGMA	6.210
5 SIGMA	233
6 SIGMA	3,4

FONTE: Adaptada de WERKEMA (2012)

A medição do desempenho de um processo deve ter como referência o cliente. Segundo Pande *et al*, (2001), o Seis Sigma possui a vantagem de oferecer a avaliação do desempenho de forma objetiva.

Um princípio citado por Arient *et al*, (2016) é que os processos, além de atender o desejo do cliente, devem ser sempre melhorados. Os autores definem a melhoria de processo como uma estratégia de busca de soluções para eliminar as causas de problemas de desempenho. A metodologia mais importante do Seis Sigma em relação a melhoria contínua é o DMAIC (FIGURA 13).

FIGURA 13 - CICLO DMAIC



FONTE: Adaptado de WERKEMA (2012)

O DMAIC é o método composto por cinco etapas que possibilitam uma adequada organização da implantação, desenvolvimento e conclusão de projetos Seis Sigma e estabelece uma forma sistemática de realizar melhoria contínua de forma objetiva, com auxílio de técnicas e ferramentas estatísticas (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007). As etapas desse método são:

- a) *Define* (Definir): Na primeira etapa é definido o escopo do projeto. Cleto e Quinteiro (2010) sugerem a construção de um *Project Charter*, que estabeleça as diretrizes para formação de um grupo de trabalho. Essas perguntas devem ser respondidas nessa etapa: a) Qual é o problema?; b) Qual o indicador será utilizado para medir o histórico do problema?; c) Há dados confiáveis para o levantamento do histórico?; d) Como o indicador vem se comportando ao longo do tempo?; e) Qual é a meta do projeto?; f) Quais os ganhos potenciais do projeto?; g) Qual é a equipe do projeto?; h) Qual é o cronograma do projeto?; i) Qual é o principal projeto envolvido?;
- b) *Measure* (Medir): A segunda etapa consiste em determinar a localização ou o foco do problema (ANTONY; BANUELAS, 2002). Os processos envolvidos são medidos por meio de um levantamento detalhado de informações. Para isso as seguintes questões devem ser respondidas: a) Como o problema pode ser estratificado?; b) Quais são os focos do problema?; c) Como os focos se comportam ao longo do tempo?; d) Quais

são as metas especificadas para cada foco do problema?. Para responder essas questões, Pande *et al* (2007) sugerem aplicar as seguintes ferramentas: Estratificação, Carta de Controle, Diagrama de Pareto, Histogramas, Análise de capacidade de processo, Análise de séries temporais, Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM);

c) *Analyse* (Analisar): Nessa etapa deve-se determinar as causas do problema principal. Para Cleto e Quintero (2010), as informações devem ser analisadas para determinar as causas fundamentais do problema. Pande *et al* (2001), indicam que as seguintes perguntas devem ser respondidas: a) Qual o processo causador do problema?; b) Quais são as causas potenciais na criação do problema?; c) As causas potenciais foram comprovadas quantitativamente?. Cleto e Quintero (2010) recomendam as ferramentas Fluxograma, Mapa de Processo, FMEA, *Brainstorming*, Diagrama de Causa e Efeito, Matriz de priorização, Teste de hipótese e Análise de Variância para auxiliarem nessa etapa;

d) *Improve* (Melhorar): Nessa etapa as soluções para os problemas são propostas, avaliadas e implementadas. Essas soluções, de acordo com Lynch *et al* (2003), devem ser priorizadas e ter seus riscos avaliados, para então, ser elaborado um plano de execução. Segundo Kumar e Sosnoski (2009), nessa etapa as seguintes atividades devem ser concluídas: a) Gerar ideias de soluções potenciais; b) Priorizar soluções potenciais; c) Avaliar e minimizar riscos das soluções; d) Testar as soluções; e) Elaborar e executar os planos de ação. Cleto e Quintero (2010) indicam a utilização de *Brainstorming*, 5W2H, *Kanban*, Diagrama de Gantt e Diagrama de árvore;

e) *Control* (Controlar): Na última etapa, o objetivo do projeto no longo prazo é avaliado. As soluções devem ser monitoradas para a confirmação da solução do problema (LYNCH *et al*, 2003). Pande *et al* (2007) recomendam utilizar ferramentas como o 5S, Gestão Visual, Treinamentos e Cartas de Controle. Caso o resultado esperado não seja atingido, é recomendável retornar a etapa *Measure*, para reiniciar o ciclo (LYNCH *et al*, 2003).

2.5. MODELO PRÁTICO DE INTEGRAÇÃO

O modelo de integração das três filosofias utilizado nesse estudo foi desenvolvido pelo pesquisador Russ Pirasteh, como fruto de um trabalho de doutorado, intitulado de “*Effects of Combined Approach of Theory of Constraints, Lean and Six Sigma on Process Improvement*” (PIRASTEH, 2006).

A pesquisa de Pirasteh (2006) foi realizada com a finalidade de investigar o impacto no desempenho de um ambiente operacional após a aplicação das ferramentas de melhoria contínua baseadas nas filosofias TOC, Manufatura Enxuta e Seis Sigma. O autor afirma que não existia um estudo que demonstrasse quantitativamente essa integração, o que o levou a conduzir os trabalhos realizados entre 2003 e 2006. Nessa pesquisa foi testado o efeito da integração, aplicada por meio de uma metodologia com sequência lógica (etapas), e comparado com os efeitos da aplicação de cada filosofia isoladamente.

Essa integração foi aplicada com sucesso por Mercado (2014), em uma empresa de fabricação de produtos da linha branca. Os resultados obtidos foram satisfatórios, segundo o pesquisador, e houve redução considerável no *lead time*, nos processos produtivos. Na conclusão da pesquisa, Mercado (2014) sugeriu a aplicação da integração em outros tipos de operações, para que fosse possível comprovar a versatilidade dessa metodologia.

Segundo Pirasteh e Fox (2010), cada filosofia possui limitações e a integração entre elas potencializa seus pontos positivos, pois as visões de cada abordagem oferecem suporte umas para outras (QUADRO 6), e isso é uma vantagem para os sistemas produtivos devido a possibilidade de grandes melhorias dos resultados. Ainda segundo Pirasteh e Fox (2010), as principais características de cada filosofia são:

- a) O ponto forte da TOC é a concentração dos esforços de melhorias no ponto mais crítico (gargalo), sempre medindo o desempenho do sistema como um todo. Apesar disso, a TOC não possui ferramentas e técnicas analíticas para ampliar a capacidade, eliminar as interrupções no fluxo, melhorar a qualidade e reduzir a variabilidade;
- b) A Manufatura Enxuta tem como ponto forte o combate aos desperdícios no sistema, porém não possui uma ferramenta que ofereça priorização de onde aplicar os esforços;

- c) A força do Seis Sigma está nas suas ferramentas estatísticas, que dão base para a redução de variações no processo.

QUADRO 6 - CORRELAÇÃO ENTRE TOC, MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA.

	SUPORTE PARA TOC	SUPORTE PARA MANUFATURA ENXUTA	SUPORTE PARA SEIS SIGMA
VISÃO DA TOC		O PENSAMENTO SOBRE A CORRENTE CRÍTICA DA TOC AUXILIA A GESTÃO DOS PONTOS DE BALANCEAMENTO DO FLUXO DE VALOR PROPORCIONADOS PELA MANUFATURA ENXUTA	AS TÉCNICAS DE RACIOCÍNIO DA TOC AJUDAM A CRIAR SOLUÇÕES PARA OS PROBLEMAS IDENTIFICADOS NO CICLO DE MELHORIA
VISÃO DA MANUFATURA ENXUTA	OS CONCEITOS E FERRAMENTAS DA MANUFATURA ENXUTA FACILITAM A IMPLEMENTAÇÃO DA TOC, POR MEIO DE CONTROLE VISUAL.		FUNDAMENTOS DA MANUFATURA ENXUTA PROPORCIONAM UM ENFOQUE NOS DESPERDÍCIOS E NAS ATIVIDADES QUE NÃO AGREGAM VALOR, A ELIMINAÇÃO DESSAS ATIVIDADES AUXILIAM A ESTABILIZAÇÃO DOS PROCESSOS.
VISÃO DO SEIS SIGMA	O VALOR CENTRAL DO SEIS SIGMA NA SATISFAÇÃO DO CLIENTE PROPORCIONA FOCO NO LONGO PRAZO. EXISTE GRANDE APOIO PELAS FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS.	O FOCO DA VARIABILIDADE DO SEIS SIGMA AJUDA NA OTIMIZAÇÃO DE DESPERDÍCIOS.	

FONTE: Adaptado de PIRASTEH E FOX (2010)

No estudo de Pirasteh e Fox (2010), foram executados 105 projetos de melhoria de processo em 21 plantas de uma multinacional. Em 11 plantas foi aplicada a metodologia Seis Sigma, em 4 foram aplicadas as técnicas da manufatura enxuta e em 6 plantas foi aplicada a integração das três filosofias. Os resultados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA).

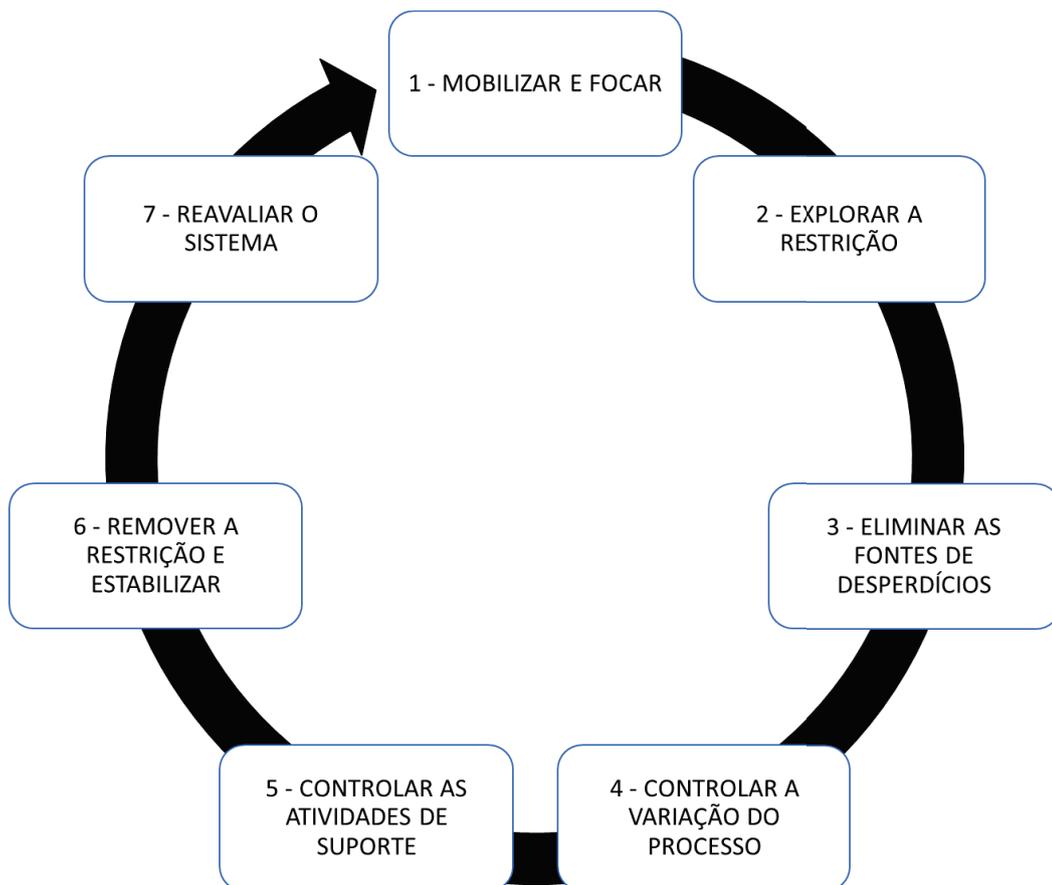
O sucesso de cada método foi determinado pela contribuição de seu retorno financeiro, a metodologia que faz a integração das três filosofias trouxe uma contribuição de 89% do total de redução de custos (PIRASTEH; FOX, 2010).

Segundo Pirasteh e Farah (2006), a metodologia que integra a TOC, Manufatura Enxuta e Seis Sigma, se baseia no entendimento dos problemas de maneira mais profunda e procura resolvê-los de forma definitiva. Reconhecendo que todos os produtos e serviços estão relacionados a atividades onde o fluxo de valor é impactado pela identificação das restrições, eliminação dos desperdícios e variabilidade de processos, esse conceito pode ser aplicado nas áreas de produção, vendas, administração e serviços. Sua aplicação pode melhorar a satisfação do cliente, aumentar o desempenho do sistema, reduzir os custos operacionais e criar melhores líderes.

Nessa metodologia, as etapas da TOC são aplicadas inicialmente para identificar e focar os esforços necessários para obter uma melhoria no processo como um todo. Posteriormente, as técnicas de manufatura enxuta são usadas para identificar os recursos que não agregam valor ao processo, conforme prioridade identificadas nas etapas posteriores. Por último, são aplicadas ferramentas estatísticas do Seis Sigma, para aperfeiçoar o processo, compreendendo a natureza das fontes de variabilidade, e determinar os novos padrões do processo (PIRASTEH; FOX, 2010).

De forma mais detalhada, o modelo utilizado nesse estudo é composto de um ciclo de sete etapas, em cada uma delas são fornecidas orientações sobre as ferramentas e técnicas a serem aplicadas (FIGURA 14).

FIGURA 14 - ETAPAS DA METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO



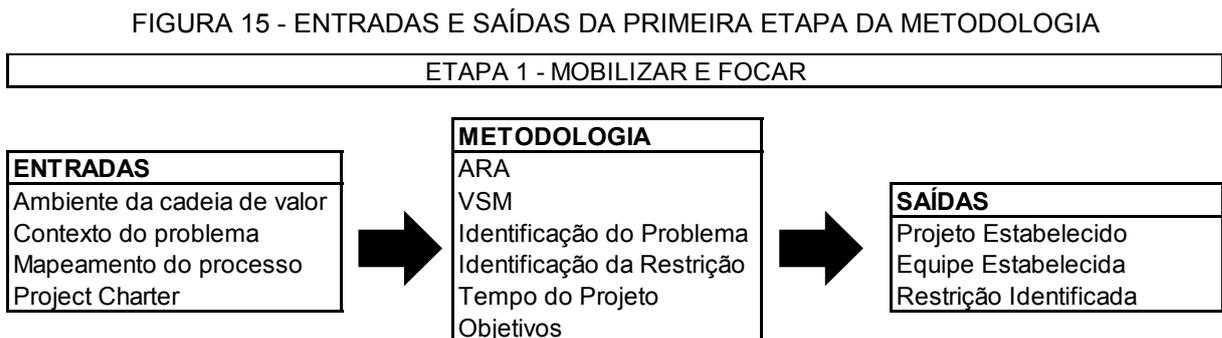
FONTE: Adaptado de PIRASTEH; FOX (2010)

2.5.1. Etapa 1 – Mobilizar e focar

O primeiro passo da metodologia tem como objetivo revelar o problema que limita o sistema e determinar em qual processo os esforços devem ser concentrados, por meio da utilização das ferramentas da TOC.

Para melhorar os resultados organizacionais, é preciso identificar a operação que mais limita o fluxo. Portanto o primeiro passo é mapear o processo, com a finalidade de ter uma compreensão global do fluxo. Para isso é preciso aplicar as ferramentas ARA ou o VSM, que permitirá compreender o sistema como um todo. Também é possível identificar o gargalo utilizando dados do processo, por exemplo, indicadores de estoques de produtos em processo (MERCADO, 2014).

Para exemplificar cada etapa, Mercado (2014) utiliza o fluxograma Entrada-Processo-Saída baseado na gestão de projetos (FIGURA 15).



FONTE: Adaptada de MERCADO (2014)

Para eliminar a restrição do sistema, é necessário analisar a natureza da melhoria que se está tentando alcançar para determinar quais ferramentas devem ser usadas. Depois de identificar a restrição causadora do problema, Pirasteh (2006) considera fundamental que ela seja validada, isso requer uma declaração do problema, que pode auxiliar na análise da causa raiz e reduzir o tempo do ciclo de aplicação da metodologia, tendo em vista a necessidade de se concentrar no que realmente merece atenção, que é a causa raiz.

Uma vez que o propósito do esforço para melhorar o sistema esteja bem definido, é necessário prosseguir para a criação de uma equipe de trabalho, que irá desenvolver o projeto. É importante estabelecer a missão da equipe por meio de um *Project Charter* com as seguintes informações:

- a) Necessidade do projeto.
- b) Descrição do projeto.

- c) Plano.
- d) Cronograma.

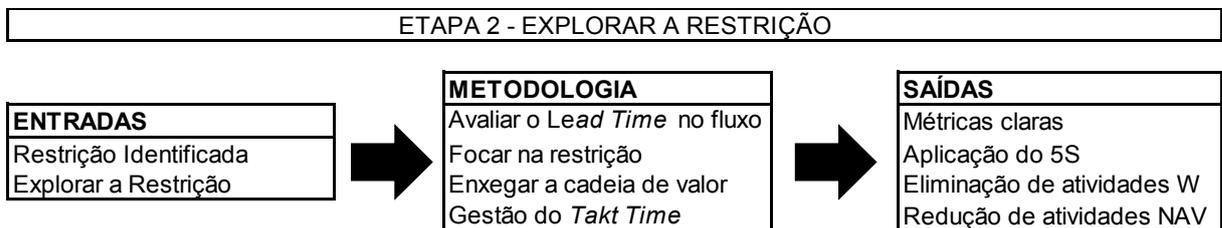
As saídas dessa etapa permitirão que os integrantes da equipe respondam as seguintes questões:

- a) Qual o escopo do projeto?
- b) Qual o problema atual identificado?
- c) Qual é a restrição principal do problema?
- d) O tempo do projeto para eliminar o recurso gargalo está definido?

2.5.2. Etapa 2 – Explorar a restrição

Nessa etapa deve ser definida a melhor maneira de explorar a restrição. Nessa fase, Pirasteh e Fox (2010) sugerem a aplicação de uma série de ferramentas da Manufatura Enxuta. É necessário identificar as atividades que agregam e aquelas que não agregam valor ao cliente (FIGURA 16).

FIGURA 16 - ENTRADAS E SAÍDAS DA SEGUNDA ETAPA DA METODOLOGIA



FONTE: Adaptada de MERCADO (2014)

Durante essa etapa é útil estabelecer “pulmões” antes e depois dos processos gargalos, para garantir o desempenho do sistema durante a aplicação de melhorias. Uma vez que os gargalos sejam eliminados, os “pulmões” podem ser reduzidos.

Uma ferramenta da manufatura essencial para identificar as atividades e suas classificações de valor é o VSM, que ajuda a visualizar o fluxo das etapas e a sequência lógica dos eventos, na realidade atual e no estado futuro (ROTHER e SHOOK, 2003). Essa sequência de atividades permitirá identificar o gargalo, as atividades que agregam valor, as atividades que não agregam valor e o valor de *Takt Time*.

Os autores recomendam que nessa etapa, se necessário, seja iniciado o programa 5S. Segundo Werkema (2012), ajuda a sustentar os ganhos obtidos e promove a melhoria contínua. 5S é uma técnica japonesa de cinco passos utilizada

para estabilizar, manter e melhorar o ambiente de trabalho (SLACK *et al*, 2009). Pyzdek e Keller (2003) recomendam que os cinco passos sejam aplicados em três fases:

- a) Estabelecer o padrão atual (Utilização e Organização);
- b) Manter o padrão (Limpeza);
- c) Melhorar o padrão (Conservação e Autodisciplina).

Nesta etapa, devem ser respondidas as seguintes questões (PIRASTEH; FOX, 2010):

- a) Qual é o gargalo do sistema?
- b) Existe um plano para eliminar o gargalo?
- c) Os colaboradores envolvidos no processo foram treinados no 5S?
- d) O WCE foi calculado?
- e) Como será aplicado o KANBAN no sistema?

2.5.3. Etapa 3 – Eliminar as fontes de desperdícios

Nesta etapa são aplicadas ferramentas de Manufatura Enxuta para identificar e reduzir os desperdícios (W) para aumentar a produtividade e reduzir custos. Segundo Pirasteh e Fox (2010), é necessário estabelecer medidas no processo para avaliar as melhorias implementadas.

Também são utilizadas as ferramentas do Seis Sigma para proporcionar melhor entendimento das causas potenciais das restrições. Dentre essas ferramentas, se destacam o diagrama de fluxo de processo (PF – *Process Flow*), o diagrama causa/efeito (CE – *Cause Effect*) e Análise do Tipo e Efeito da Falha (FMEA). (PIRASTEH e FOX, 2010).

Primeiramente, são aplicados o PF e o CE para identificar e classificar as causas da variação. Após identificadas as variáveis, é possível utilizar, por exemplo, a ferramenta CNX para categorizar as causas como Constante (C), Ruído (N) e Fator (X) (QUADRO 7).

QUADRO 7 - DEFINIÇÕES DA FERRAMENTA CNX

CLASSE	NOME	DESCRIÇÃO
C	Constante	Fator Controlável
N	Ruído	Causa comum, fatores atípicos
X	Fator	Elemento que contribui para o efeito e deve ser convertido para a Classe C

FONTE: Adaptado de PIRASTEH E FOX (2010)

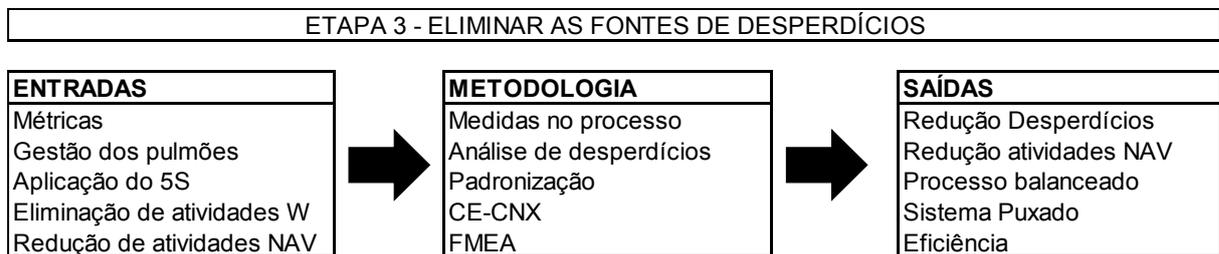
Depois de aplicar a ferramenta CNX, os fatores denominados X podem ser priorizados para melhoria, de acordo com o FMEA. Conforme Puente *et al* (2002), o FMEA é dividido em duas partes. Na primeira parte, são relacionados todos possíveis modos de falha de um produto ou serviço com suas causas e efeitos. Na segunda parte, são determinados a criticidade da falha, caso ela venha a acontecer.

No final da terceira etapa, Pirasteh e Fox (2010) sugerem que a equipe possa identificar os seguintes pontos:

- a) As atividades NAV já foram removidas do gargalo?
- b) As melhorias modificaram o WCE?
- c) Qual é a capacidade do processo?
- d) Foi implantado o sistema *Kanban* para proteger o gargalo?
- e) A cadeia está puxando a demanda?
- f) Existem planos de gestão para os níveis de estoque após a melhoria?

A Figura 17 demonstra o resumo da terceira etapa da metodologia.

FIGURA 17 - ENTRADAS E SAÍDAS DA TERCEIRA ETAPA DA METODOLOGIA



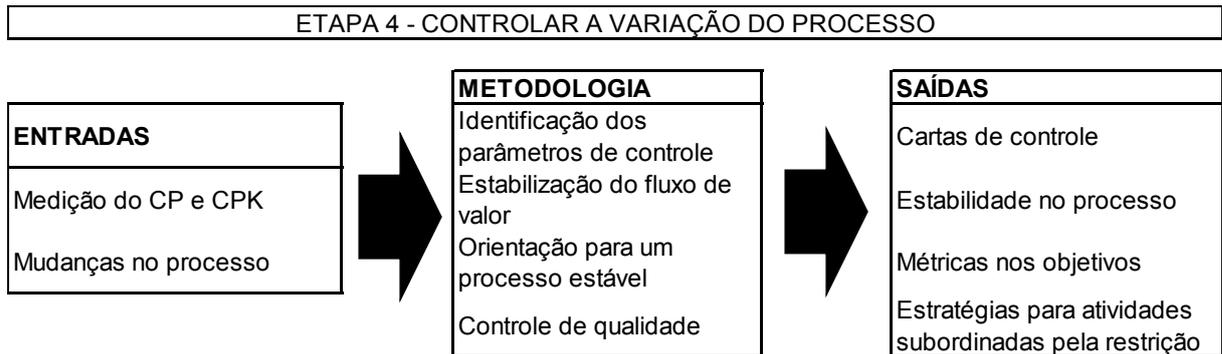
FONTE: Adaptado de MERCADO (2014)

2.5.4. Etapa 4 – Controlar a variação do processo

Nessa fase são implantados controles e indicadores, por meio de ferramentas do Seis Sigma, de modo que as variações do processo sejam controladas no longo prazo (PIRASTEH; FOX, 2010). É importante medir o valor de desempenho do processo em um nível abrangente, para que a melhora do resultado contribua para uma rentabilidade maior e um aumento real de qualidade.

Melhorias aplicadas nos passos anteriores, tendem a se dissipar ao longo do tempo, com o objetivo de evitar essa situação, é necessário aplicar controle e medições tais como cartas de controle, controle de capacidade e análise de regressão (FIGURA 18).

FIGURA 18 - ENTRADAS E SAÍDAS DA QUARTA ETAPA DA METODOLOGIA



FONTE: Adaptado de MERCADO (2014)

Pirasteh e Fox (2010) afirmam que é essencial compreender de maneira precisa o desempenho do processo e, também, ter a capacidade de quantificar e isolar os erros do processo. Nessa etapa devem estar claros os seguintes pontos:

- a) Os fatores que mais contribuem para a variação no processo foram identificados?
- b) Um novo fluxo de valor para os níveis de controle foi implantado?
- c) São necessárias novas métricas de desempenho?

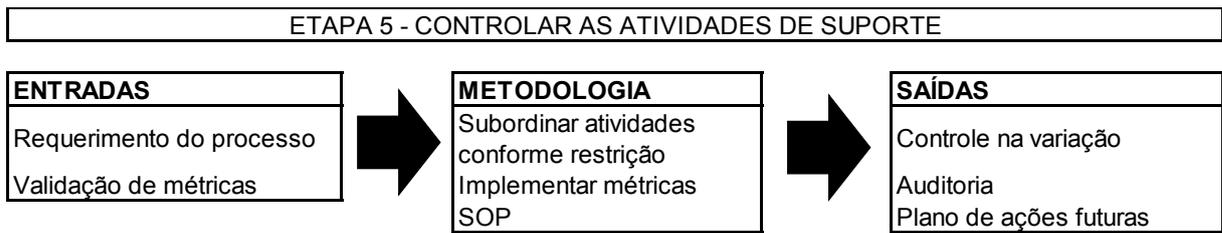
2.5.5. Etapa 5 – Controlar as atividades de suporte

Nessa etapa são aplicadas ferramentas da Manufatura Enxuta e do Seis Sigma, com ações que estejam alinhadas com as necessidades da restrição. De acordo com Pirasteh e Fox (2010), é nessa etapa que devem ser definidos os Procedimentos Operacionais Padrão (SOP) e mecanismos de controle estatísticos direcionados aos fatores críticos (FIGURA 19).

Para os autores Pirasteh e Fox (2010), os seguintes questionamentos devem ser respondidos:

- a) Os processos críticos estão identificados?
- b) Foram estabelecidos e testados mecanismos de proteção para o gargalo?
- c) Os processos operacionais foram modificados e devidamente documentados?
- d) Os SOPs foram estabelecidos?

FIGURA 19 - ENTRADAS E SAÍDAS DA QUINTA ETAPA DA METODOLOGIA

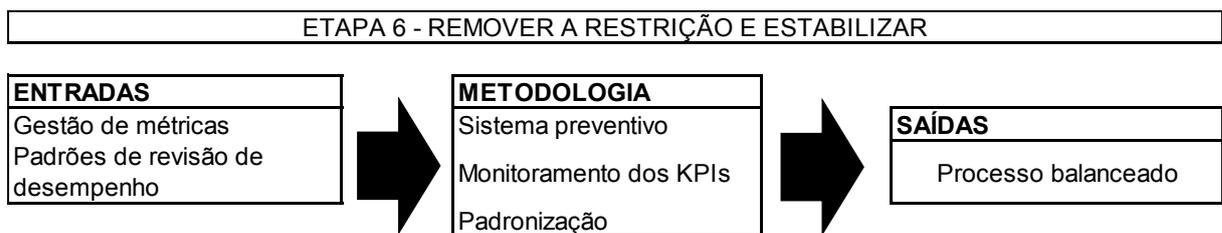


FONTE: Adaptado de MERCADO (2014)

2.5.6. Etapa 6 – Remover a restrição e estabilizar

Essa etapa irá elevar o gargalo a um nível de capacidade em que ele não será mais considerado como uma restrição. Conforme Pirasteh e Fox (2010), é necessário controlar as operações e recursos para garantir o desempenho em longo prazo. Para isso, as auditorias se apresentam como metodologia eficaz para monitorar os resultados (FIGURA 20).

FIGURA 20 - ENTRADAS E SAÍDAS DA SEXTA ETAPA DA METODOLOGIA

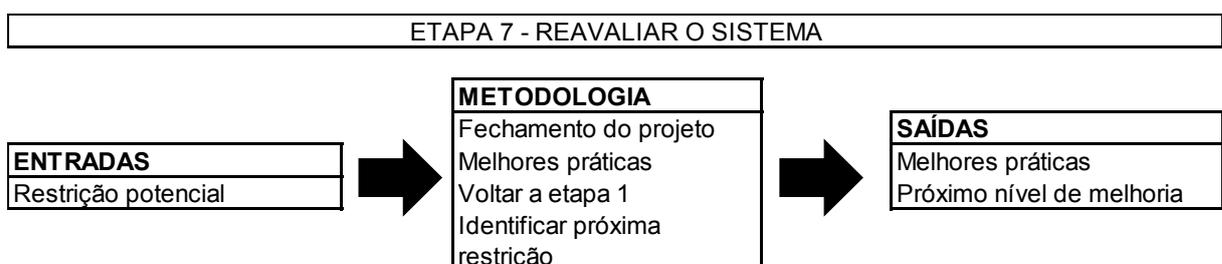


FONTE: Adaptado de MERCADO (2014)

2.5.7. Etapa 7 – Reavaliar o sistema

Nessa etapa, os resultados são analisados para decidir se é pertinente focar em uma melhoria adicional no gargalo atual ou se outro gargalo foi identificado. Quando surge outro gargalo, é necessário iniciar o ciclo pelo primeiro passo (FIGURA 21).

FIGURA 21 - ENTRADAS E SAÍDAS DA SÉTIMA ETAPA DA METODOLOGIA



FONTE: Adaptado de MERCADO (2014)

Segundo Mercado (2014), embora o objetivo da integração seja aplicar todas filosofias simultaneamente, em cada etapa, um conjunto de ferramentas da cada filosofia é aplicado com mais intensidade (QUADRO 8).

QUADRO 8 - RELAÇÃO DAS FILOSOFIAS MAIS APLICADAS EM CADA ETAPA

ETAPA	FILOSOFIA
ETAPA 1 - Mobilizar e focar	TOC E MANUFATURA ENXUTA
ETAPA 2 - Explorar a restrição	MANUFATURA ENXUTA
ETAPA 3 - Eliminar as fontes de desperdícios	MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA
ETAPA 4 - Controlar a variação do processo	MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA
ETAPA 5 - Controlar as atividades de suporte	MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA
ETAPA 6 - Remover a restrição e estabilizar	MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA
ETAPA 7 - Reavaliar o sistema	MANUFATURA ENXUTA E SEIS SIGMA

FONTE: Adaptado de MERCADO (2014)

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve o método de pesquisa adotado. A primeira seção descreve a classificação da pesquisa do ponto de vista metodológico, a segunda apresenta os procedimentos adotados e a terceira apresenta o cronograma da pesquisa proposta.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Gil (2002), uma pesquisa é necessária quando não existem informações suficientes para responder a uma pergunta de um determinado problema. Para realizar a pesquisa de forma satisfatória é necessário realizar uma contextualização pertinente ao problema e buscar uma justificativa para o trabalho, para então, definir uma metodologia de trabalho com a finalidade de atingir os objetivos propostos.

Silva e Menezes (2005) definem o conceito de pesquisa e a classificam, de acordo com a sua natureza, a abordagem do problema, os objetivos e os problemas esquematizados, conforme Quadro 9.

QUADRO 9 - CRITÉRIOS E CLASSIFICAÇÕES DE UMA PESQUISA

NATUREZA DA PESQUISA	PESQUISA BÁSICA
	PESQUISA APLICADA
ABORDAGEM DO PROBLEMA	PESQUISA QUANTITATIVA
	PESQUISA QUALITATIVA
OBJETIVOS DA PESQUISA	PESQUISA EXPLORATÓRIA
	PESQUISA DESCRITIVA
	PESQUISA EXPLICATIVA
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA
	PESQUISA DOCUMENTAL
	PESQUISA EXPERIMENTAL
	ESTUDO DE CASO
	PESQUISA-AÇÃO
	PESQUISA PARTICIPANTE

FONTE: Adaptado de SILVA; MENEZES (2005)

O presente trabalho, segundo Silva e Menezes (2005), tem natureza de Pesquisa Aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimento para a aplicação prática, solucionando problemas reais específicos.

A pesquisa é aplicada em uma empresa brasileira de transporte ferroviário e tem como objetivo avaliar os resultados da integração dos conceitos de TOC, da Manufatura Enxuta e do Seis Sigma em um fluxo de valor em uma oficina ferroviária de locomotivas no Brasil.

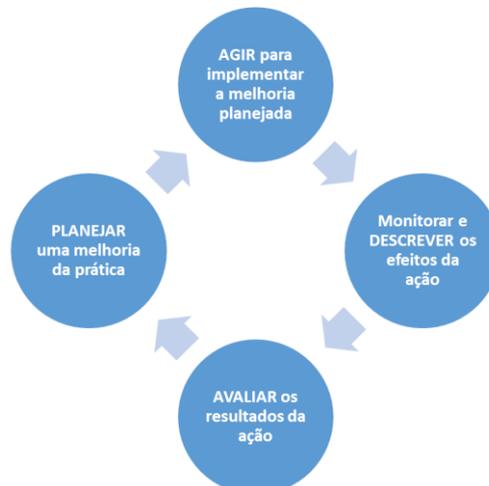
Em relação a abordagem do problema, o trabalho é qualitativo, pois fornece entendimento e interpretação por parte do autor, a respeito do contexto, da aplicação do modelo e da correlação entre as filosofias apresentadas. Porém, também segundo Silva e Menezes (2005), o presente trabalho também pode ter caráter quantitativo, pois as informações serão traduzidas em números, com a finalidade de classificar e analisar os resultados.

Os objetivos da pesquisa, a caracterizam como pesquisa exploratória, pois busca proporcionar maior familiaridade com o problema, envolvendo uma pesquisa bibliográfica e aplicação prática, para tornar o problema explícito (GIL, 2002).

O procedimento técnico adotado é a pesquisa-ação. Conforme Silva e Menezes (2005), a pesquisa-ação é realizada associada a resolução de um problema prático e, nesse contexto, o pesquisador-autor está envolvido de modo participativo. Esse tipo de pesquisa gera conhecimento para o pesquisador sobre o objeto de pesquisa, devido à proximidade no desenvolvimento da aplicação (THIOLLENT, 2011).

Segundo Tripp (2005), a pesquisa ação é uma forma de pesquisa em que práticos buscam efetuar transformações em suas próprias práticas, mediante a aplicação de ferramentas de pesquisa consagradas e da ação do pesquisador no campo a ser estudado (FIGURA 22).

FIGURA 22 - ETAPAS DA PESQUISA-AÇÃO



FONTE: Adaptada de TRIPP (2005)

3.2. PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

A pesquisa é desenvolvida em três etapas (QUADRO 10): Revisão bibliográfica, aplicação prática e considerações.

QUADRO 10 - ETAPAS DA PESQUISA

ETAPA	CONTEÚDO
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	REFERÊNCIA TEÓRICA
APLICAÇÃO PRÁTICA	COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES
	DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA
	APLICAÇÃO PRÁTICA
	TRATAMENTO DE DADOS
	ANÁLISE DOS RESULTADOS
CONSIDERAÇÕES	CONCLUSÕES
	RECOMENDAÇÕES

FONTE: O autor

3.2.1. Revisão bibliográfica

Nessa etapa é realizada a pesquisa das referências teóricas pertinentes a pesquisa, por meio de busca abrangente, envolvendo as três filosofias de gestão (Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta e Seis Sigma) e a operação de manutenção ferroviária. A primeira filosofia é baseada na Teoria das Restrições, foram explicados as etapas de melhoria contínua e o processo de raciocínio propostos por Goldratt. A segunda é a Manufatura Enxuta, foram explanados os detalhes dos princípios de valor agregado, fluxo de valor e desperdícios. Por fim, o Seis Sigma, por meio dos conceitos estatísticos de gestão e do ciclo DMAIC. A operação de manutenção ferroviária foi abordada levando em conta os processos a serem tratados neste trabalho, que são os processos de manutenção de um componente de locomotiva chamado de “Motor de Tração”

Posteriormente, foi referenciada a metodologia de integração das três filosofias desenvolvida por Pirasteh, todas etapas da metodologia foram explicadas de acordo com o autor. A revisão foi feita baseada em livros, artigos científicos, materiais de congressos, dissertações de mestrados e teses de doutorado.

3.2.2. Aplicação prática

A primeira etapa da aplicação prática é a coleta de dados e informações sobre a oficina e os processos a serem estudados. Essa coleta é feita com bases em três fundamentos recomendados por Yin (2015):

- a) Utilizar várias fontes de evidências;
- b) Criar um banco de dados para a pesquisa;
- c) Realizar o encadeamento das evidências.

Ainda seguindo recomendações de Yin (2015), as técnicas de coleta de dados utilizadas foram:

- a) Observações diretas;
- b) Observações participantes;
- c) Análise documental;
- d) Entrevista não estruturada.

A observação direta favorece o fornecimento de informação ao escopo investigado e devido ao fato do presente trabalho ser uma pesquisa-ação essa coleta de dados é natural (YIN, 2015). Esse tipo de observação tem como finalidade mapear o fluxo de valor da reparação de motor de tração na oficina.

Durante a pesquisa, a observação participante também é utilizada, pois, de acordo com Gil (2002), ele é uma das técnicas mais utilizadas na abordagem qualitativa e consiste na participação direta do pesquisador, tornando-o personagem fundamental da pesquisa. Com essa observação é possível perceber a realidade do problema, contribuir com a aplicação do modelo estudado, colaborar com a resolução do problema, interagir e acompanhar as transformações proporcionadas pela integração das filosofias.

A análise documental é o estudo de documentos relacionados ao fluxo de valor para entender as funcionalidades de cada etapa. Alguns exemplos de documentos analisados são: Fluxograma de produção, Relatórios de produção, Procedimentos de Operação, dentre outros.

Em relação a entrevista não estruturada, Yin (2015) afirma que essa abordagem possibilita ao pesquisador esclarecer dúvidas e aprofundar o conhecimento a respeito de dados coletados. A entrevista não estruturada não tem um padrão a ser seguida, nesse trabalho, ela foi utilizada para, de forma aberta, entender o fluxo de trabalho na cadeia de valor.

4 PESQUISA DE CAMPO

Este capítulo demonstra os trabalhos executados na oficina de componentes de locomotivas, onde foi aplicada a integração das filosofias. No início do capítulo será apresentado uma breve descrição da empresa, mostrando as características do negócio e do fluxo de valor a ser estudado. Por fim, será apresentado a aplicação da integração, exibindo detalhadamente as sete etapas.

4.1. GENERALIDADES DA EMPRESA

A empresa estudada é responsável pelo escoamento, por meio do modal ferroviário, de produtos agrícolas oriundos do interior do Brasil para dois dos maiores portos brasileiros. O serviço de transporte é feito utilizando aproximadamente 1.000 locomotivas e de 28.000 vagões, espalhados por quase 13.000 quilômetros de malha ferroviária.

Essa pesquisa está concentrada no processo de recuperação de Motores de Tração (MT) que faz parte da manutenção preventiva e corretiva das locomotivas. A área responsável pela manutenção desses ativos rodantes é chamada internamente de “Mecânica”, cuja responsabilidade é o planejamento, controle e execução de todas atividades operacionais relacionadas a esse fim.

A manutenção de locomotivas é dividida em Pesada, Média e Leve. Na manutenção Leve, são executados trabalhos rápidos que imobilizam os ativos nas oficinas por um período curto (até quatro horas de duração). É realizado um *checklist* que envolve medições dos níveis de água e óleo, exames visuais e eventuais substituições de itens de troca rápida. Esse escopo é executado paralelamente com o abastecimento de combustível das locomotivas, nos chamados “Postos de Abastecimento”, que ficam localizados perto dos pátios de manobra de trens.

A manutenção Média é realizada durante a retenção de locomotivas dentro de um período máximo de quarenta e oito horas. É realizado um *checklist* mais abrangente, que envolve a inspeção de funcionamento de vários itens críticos das locomotivas. Nesse escopo também são verificadas as pendências de manutenção registradas no de gestão, que podem pedir trocas de componentes por vencimento do ciclo de vida ou plano de troca determinado pela engenharia. Para realizar esse tipo de manutenção é necessário ter uma estrutura física maior e mais específica e uma

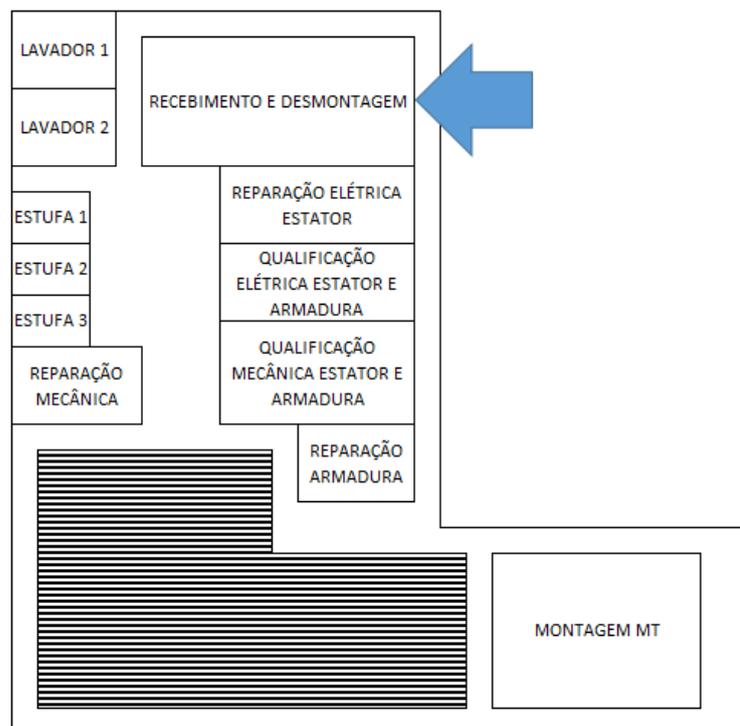
equipe com capacidade técnica mais refinada, portanto os postos com capacidade para fazer esse trabalho são em quantidade reduzida.

A manutenção pesada pode ser realizada em até vinte dias e envolve a avaliação de todos os componentes da locomotiva. Essa manutenção, abrange todos os sistemas do ativo em manutenção. Nesse escopo, caso seja necessário, é possível retirar todos os componentes da locomotiva. Existe apenas uma oficina com capacidade de fazer esse tipo de manutenção na empresa estudada.

4.2. O FLUXO DE VALOR “MOTOR DE TRAÇÃO”

O fluxo de valor do MT tem como objetivo principal recuperar esses componentes e torna-los disponíveis aos clientes (postos de manutenção), dentro das especificações elétricas e mecânicas determinadas nos arquivos técnicos, em um processo que possua boa relação custo-benefício e com menor impacto possível na indisponibilidade de locomotivas. Na Figura 23, está representado o *layout* simplificado do setor da reparação do MT, a seta indica a primeira etapa do processo, ou seja, onde os MTs que estão avariados são recebidos.

FIGURA 23 - LAYOUT SIMPLIFICADO DO SETOR DE REPARAÇÃO DO MT



FONTE: O autor

A primeira etapa do processo é responsável pelo recebimento dos MTs e pela execução dos primeiros testes elétricos, que são utilizados para identificar as causas das falhas dos equipamentos. Após o registro dos resultados dos testes, os MTs são desmontados (FIGURA 24), lavados e secados em estufas elétrica, para, posteriormente, ficarem disponíveis para a segunda etapa do processo, que é recebe o nome de “Qualificação”.

FIGURA 24 - MOTOR DE TRACÇÃO AGUARDANDO DESMONTAGEM



FONTE: O autor

A etapa de “qualificação” é dividida em duas partes, a primeira parte é a qualificação mecânica e a segunda parte é a qualificação elétrica. Na qualificação mecânica, são tomadas as medidas dos eixos e dos mancais. Caso alguma medida esteja fora das especificações, os MTs são separados para serem enviados a fornecedores externos, pois o trabalho de reparação mecânica de eixos e mancais necessita de um maquinário muito específico. Esses MTs são classificados como “Recuperação Total” e possuem maior custo de recuperação, pois a reparação mecânica demanda que o componente seja totalmente desmontado e todas suas partes sejam recuperadas individualmente. Os MTs que são aprovados pela

qualificação mecânica seguem para a qualificação elétrica, eles são submetidos a uma fonte de alta corrente, uma fonte de alta tensão e diversas medições de isolamento elétrico. Utilizando os resultados desses testes, é possível detectar quais bobinas e cabos devem ser substituídos, ou seja, é possível elaborar um escopo detalhado de recuperação para cada MT, que são classificados como “Recuperação Parcial”. Esses MTs são trabalhados apenas nos componentes que são sinalizados como defeituosos, reduzindo o tempo e o custo dos trabalhos.

Após serem qualificados, os MTs ficam disponíveis para recuperação (FIGURA 25), que é a terceira etapa do processo. Na recuperação, são executados os serviços conforme definido no escopo da qualificação (FIGURA 26). Os MTs são finalizados, por meio de impregnação de verniz, secagem em estufa e pintura. Após a finalização, ficam à disposição da quarta e última etapa do processo, chamada de “Montagem”. Nesta etapa os MTs são montados, testados e disponibilizados para a logística, para serem enviados aos clientes. Na Figura 27 está demonstrado o macro fluxograma do processo.

FIGURA 25 - MOTOR DE TRAÇÃO AGUARDANDO REPARAÇÃO



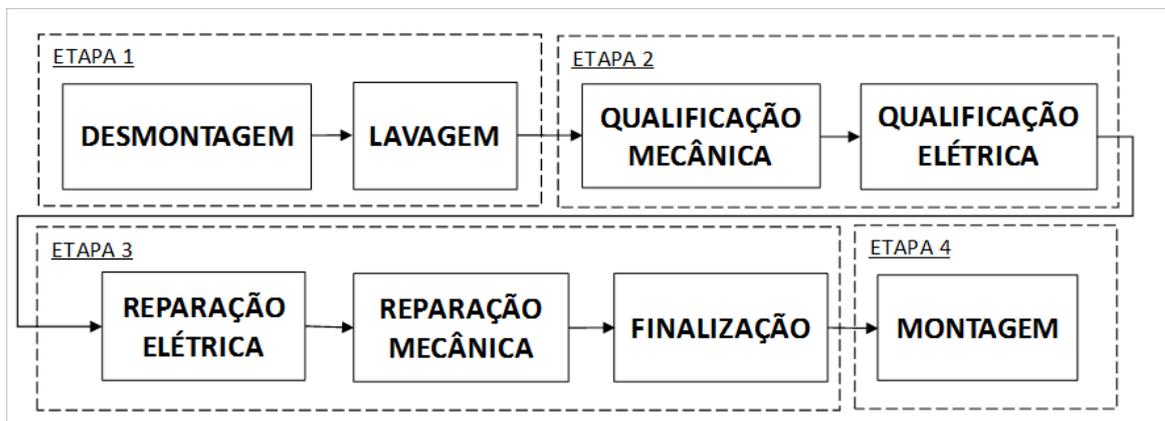
FONTE: O autor

FIGURA 26 - EXEMPLO DE LIGAÇÃO DE CABOS REPARADA EM UM MOTOR DE TRAÇÃO



FONTE: O autor

FIGURA 27 - MACRO FLUXOGRAMA DO PROCESSO DO MT



FONTE: O autor

4.3. DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

O fluxo de valor “Motor de Tração” foi escolhido por dois motivos principais, o primeiro é o valor representativo nos gastos anuais da empresa estudada, aproximadamente de 40% do orçamento anual total da manutenção é gasto no MT, o que torna esse fluxo o mais relevante dentro dos processos de manutenção. O segundo motivo é a grande complexidade do processo de recuperação, que envolve

atividades de recuperação elétrica e mecânica e uma equipe de aproximadamente 25 mantenedores, que fornecerá um laboratório único para a aplicação da integração.

Vale ressaltar que o ambiente de trabalho na oficina é dominado por atividades de manutenção, ou seja, as atividades que agregam valor dentro da oficina não são as mesmas que agregam valor em uma linha de produção, por exemplo, para fazer a manutenção de maneira correta em um MT, é necessário fazer a avaliação das bobinas mediante testes elétricos. Em um fluxo produtivo as atividades de “avaliar” e “testar” são consideradas desperdícios e deveriam ser eliminadas, porém dentro da oficina, essas atividades são necessárias e devem ser executadas de maneira mais eficiente possível. No decorrer do capítulo, as atividades do processo serão detalhadas.

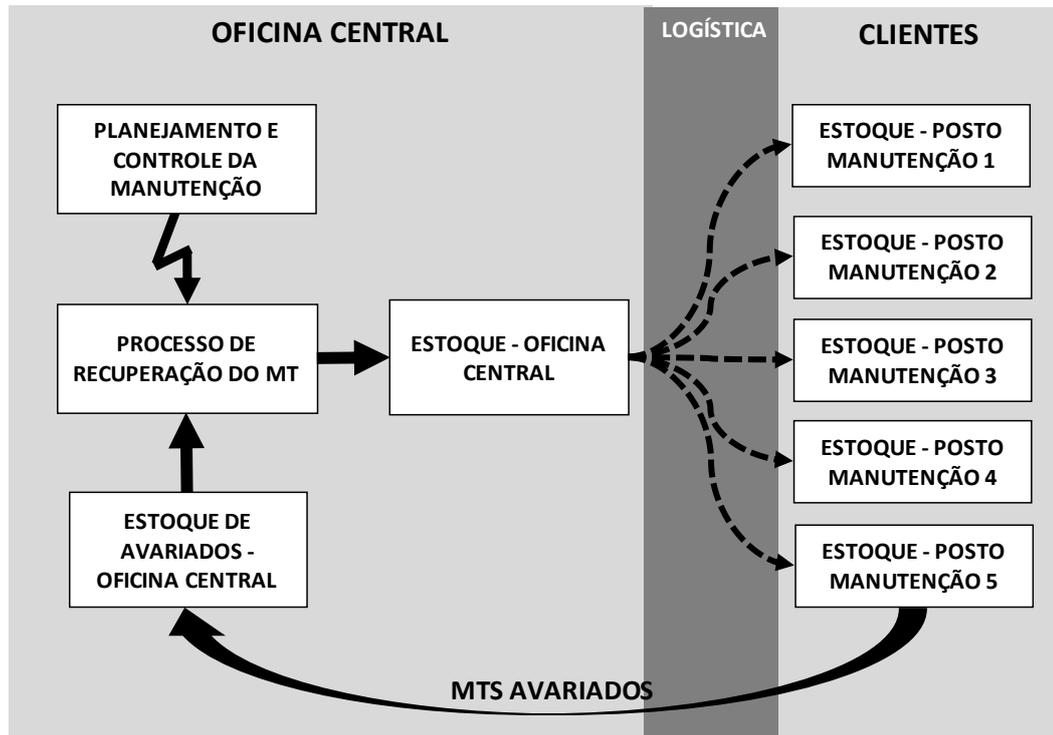
Os MTs podem ser retirados das locomotivas nas manutenções média e pesada. Ao serem retirados (FIGURA 28), esses equipamentos são enviados a oficina de materiais (chamada de oficina central), para serem recuperados e, posteriormente, disponibilizados aos postos de manutenção de locomotivas e novamente aplicados as locomotivas (FIGURA 29).

FIGURA 28 - MOTORES DE TRAÇÃO AVARIADOS



FONTE: O autor

FIGURA 29 - FLUXO DO MATERIAL E DA INFORMAÇÃO



FONTE: O autor

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) estima uma demanda de Motores de Tração para o intervalo de 12 meses, que então é desdobrada para uma meta mensal. Esse controle é chamado internamente de “contrato”. São determinados no contrato, os modelos e as quantidades que serão recuperados durante o mês, sendo caracterizado um processo empurrado de produção. Durante a pesquisa, foram observadas situações em que a demanda estabelecida não era condizente com a necessidade do cliente, gerando várias locomotivas retidas aguardando MTs, conforme será descrito adiante.

Os motores recuperados são enviados ao estoque central, que serão distribuídos aos postos espalhados pela malha ferroviária (clientes da oficina central), por meio de caminhões, de acordo com a programação da logística, que leva em conta a demanda de cada MT para as manutenções que acontecem simultaneamente nos diversos postos da empresa.

Em cada posto de manutenção, existe um nível mínimo de estoque MTs que deve ser mantido, para garantir o pronto atendimento ao time da “mecânica”. Esse nível mínimo estabelecido de estoque recebe o nome de “Cesta Básica” (CB), e é um

item crítico ao processo de manutenção, pois, devido ao elevado nível de manutenção corretiva, há uma grande variabilidade de demanda de MTs, que é absorvida pela CB. O cálculo do indicador é feito utilizando as médias das relações entre os valores reais e os valores estabelecidos para cada modelo de MT, um exemplo do indicador pode ser visto na Tabela 3.

TABELA 3 - EXEMPLO DE INDICADOR DE ADERÊNCIA A CB

	VALOR ESTABELECIDO	VALOR REAL	ADERÊNCIA
MT MODELO 1	4	2	50,0%
MT MODELO 2	5	4	80,0%
MT MODELO 3	1	0	0,0%
VALOR INDICADOR			43,3%

FONTE: O autor

Em tempo real, o sistema de gestão registra a quantidade de locomotivas que estão retidas e aguardam os MTs, esses dados demonstram uma possível falta de atendimento de MTs aos clientes, uma vez que, se houvesse Motores de Tração disponíveis na Cesta Básica o sistema de gestão não permitiria a sinalização de locomotiva aguardando MT. O indicador de locomotivas aguardando MTs é calculado pela soma de locomotivas que foram indicadas no sistema em um determinado intervalo de tempo, esse indicador pode ser entendido como o farol de atendimento a necessidade do cliente.

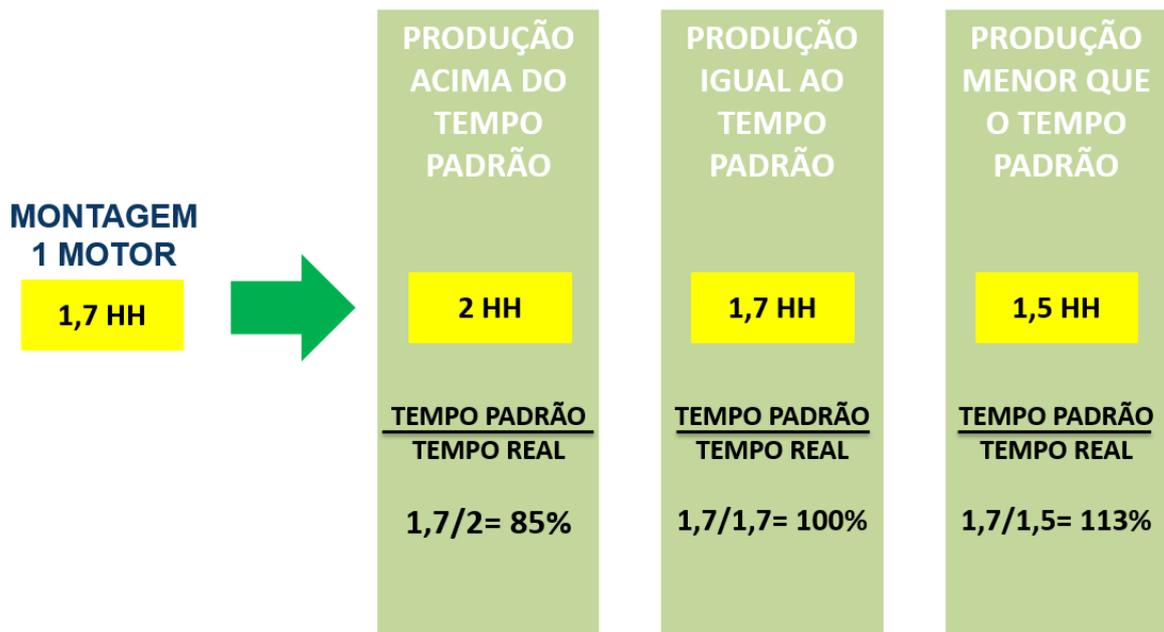
Dentro do fluxo de valor do MT, todas as atividades produtivas da oficina são programadas e controladas através de um sistema chamado SAT (Sistema de Apontamento de Tarefas), por meio dele os supervisores de produção programam as atividades a serem executadas pelos funcionários da oficina. Ao chegar ao posto de trabalho os funcionários já possuem o roteiro de tarefas do dia. Todas as ocorrências das atividades, como por exemplo, o início das tarefas, eventuais paralizações, atrasos e o encerramento das tarefas devem ser registrados por todos operadores assim que esses eventos acontecerem, por meio dos terminais informatizados instalados em diversos pontos da oficina.

Utilizando o SAT, é possível identificar quais são as etapas do processo de recuperação dos MTs que estão em execução em qualquer momento. Os dados dos tempos de execução das tarefas, das paralizações e das horas de atividades

programadas permitem calcular três indicadores chaves do processo de recuperação na oficina: Performance, Taxa de Utilização e Produtividade.

A Performance relaciona o tempo de execução da atividade e o tempo padrão calculado para tal atividade. Uma performance de 100% indica uma aderência total ao tempo padrão. Se o resultado for 50%, o tempo gasto para execução foi duas vezes maior que o tempo padrão (FIGURA 30).

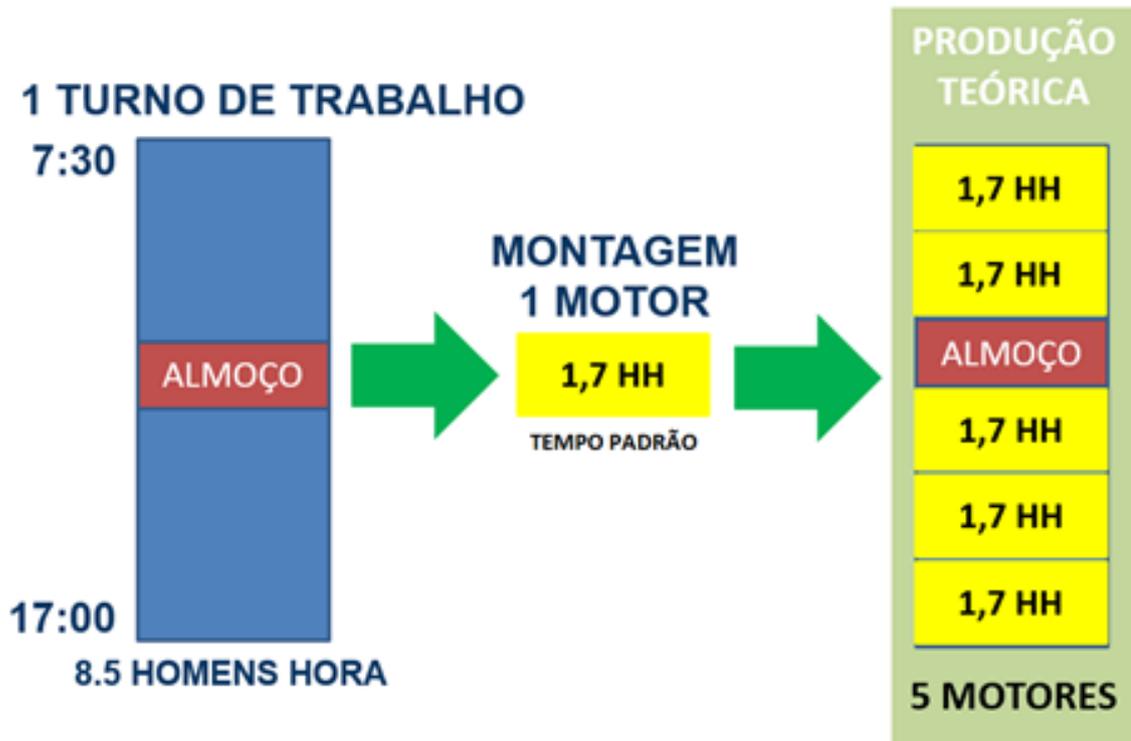
FIGURA 30 - EXEMPLO DE INDICADOR DE PERFORMANCE



FONTE: O autor

A Taxa de Utilização indica a relação entre o tempo disponível para executar as atividades dentro de 1 turno de trabalho e o tempo em que realmente houve execução da atividade, de tal forma que, em uma taxa de utilização de 100% todo o turno de trabalho foi convertido em atividades. Em uma outra situação, com uma taxa de utilização de 50%, apenas metade do tempo foi utilizado para execução das atividades (FIGURA 31).

FIGURA 31 - EXEMPLO DE INDICADOR TAXA DE UTILIZAÇÃO

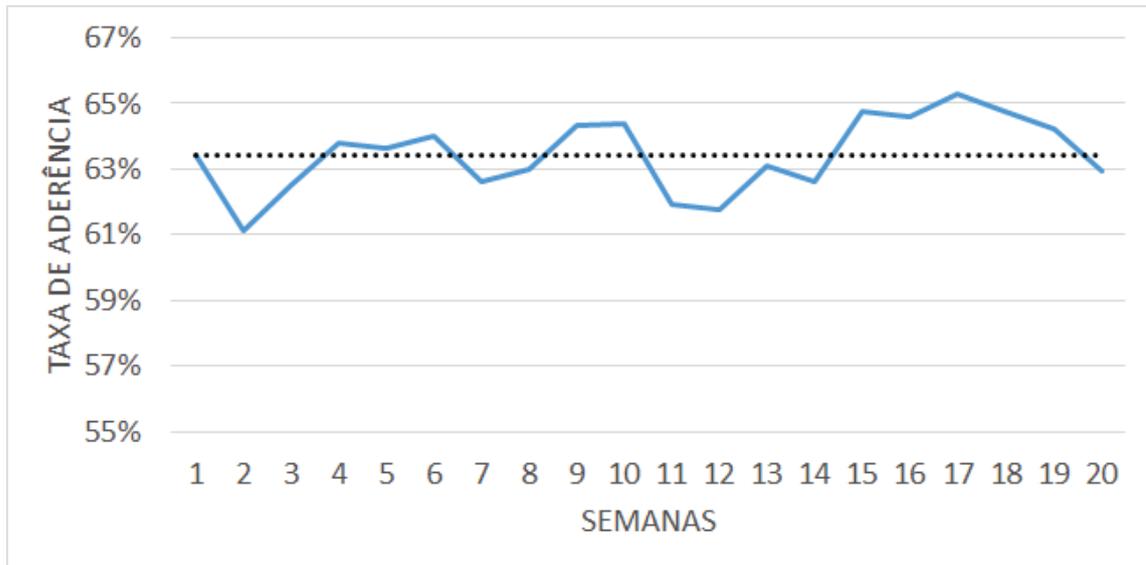


FONTE: O autor

Utilizando os indicadores de Performance e Taxa de Utilização é possível calcular a Eficiência Global do Efetivo, chamada na empresa de “Produtividade”, que é a multiplicação entre os dois indicadores. Essa taxa demonstra a eficiência geral dos operadores na oficina, sem considerar os parâmetros de qualidade, pois não existia na oficina um sistema confiável que relacionasse os defeitos de produtos para cada operador.

Ao analisar o indicador de atendimento a CB semanal, demonstrado na Figura 32, que corresponde ao período do início da pesquisa e possui uma média de 63,44%, com um valor máximo de 65,27% e um valor mínimo de 61,15%, pode-se concluir que há um grande potencial de melhoria.

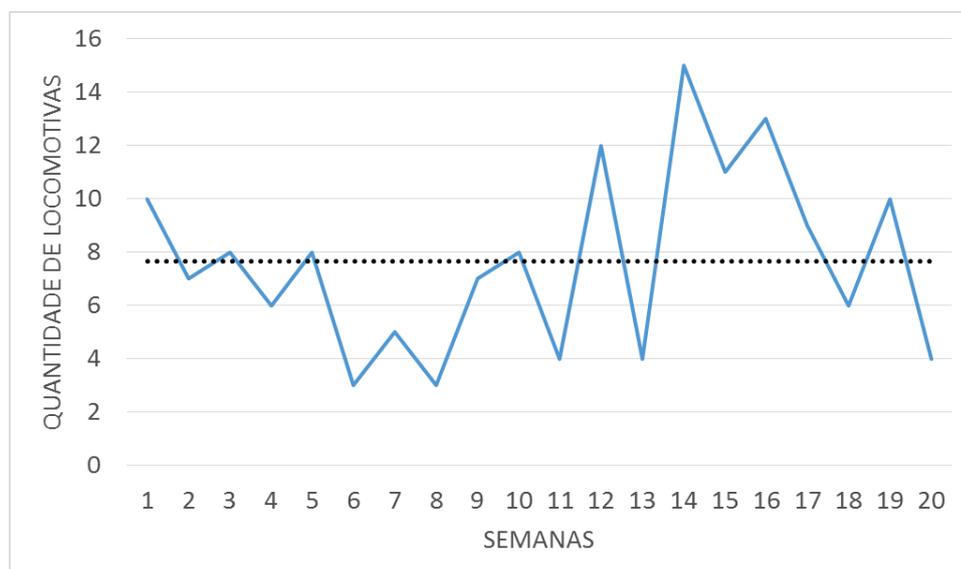
FIGURA 32 - HISTÓRICO DO INDICADOR DE ADERÊNCIA A CB



FONTE: O autor

Quando não há atendimento em um nível satisfatório de MTs nos clientes, ou seja, quando o indicador está com um valor baixo, há a incidência de locomotivas aguardando esse componente para serem liberadas, o que pode ser comprovado com o indicador de quantidade de locomotivas retidas aguardando MT (FIGURA 33), com uma média de 8 locomotivas aguardando MT no período, e com um valor máximo de 15 locomotivas.

FIGURA 33 - HISTÓRICO DO INDICADOR DE QUANTIDADE DE LOCOMOTIVAS RETIDAS AGUARDANDO MOTORES DE TRAÇÃO



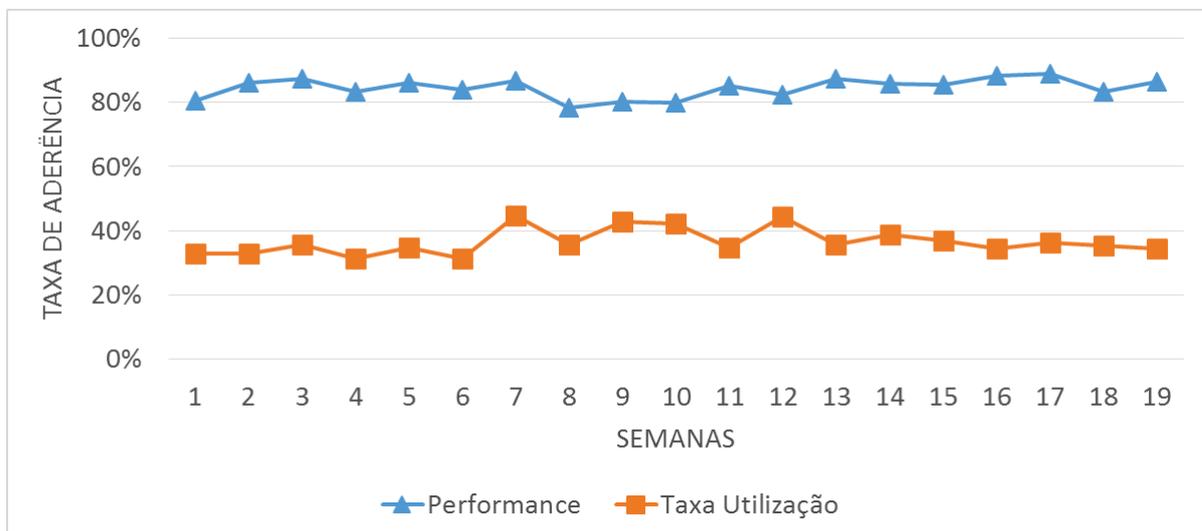
FONTE: O autor

Os valores demonstrados na Figura 32 e na Figura 33, foram retirados de relatórios do sistema de gestão da companhia que reúne todas as informações financeiras e operacionais, pelo fato de ser uma empresa com capital aberto (listada em bolsa de valores), o sistema é auditado anualmente por uma empresa independente especializada nesse tipo de serviço. Tal auditoria torna o sistema de gestão uma fonte de dados confiável.

Cada locomotiva retida no posto representa um imenso custo de oportunidade (pois o ativo está deixando de gerar faturamento), cujo valor pode atingir milhares de reais por hora, portanto, na situação em que há vários equipamentos parados nos postos, aguardando os MTs para serem liberados, é gerado um grande impacto negativo no faturamento da empresa.

Analisando os indicadores relacionados as atividades da oficina (FIGURA 34), é possível concluir que há oportunidade para aumentar a quantidade de horas aplicadas em trabalho (Taxa de Utilização), que possui uma média de 37%, e de aderência ao tempo padrão (Performance), com uma média de 85%.

FIGURA 34 - HISTÓRICO DOS INDICADORES DE PERFORMANCE E TAXA DE UTILIZAÇÃO



FONTE: O autor

Esse cenário, de baixo atendimento ao cliente, em que em média 8 locomotivas ficam aguardando MTs, justifica a intervenção nesse fluxo de valor. Um outro fator relevante, é o custo unitário desse componente, que em 2016 foi de aproximadamente

R\$ 45.000,00, e por consequência da demanda mensal, que é de no mínimo 40 unidades, eleva o gasto anual a milhões de reais.

Os responsáveis pela cadeia de valor utilizaram, em ocasiões anteriores, diferentes ferramentas da Manufatura Enxuta e do Seis Sigma de forma isolada, a fim de melhorar esse cenário, contudo o resultado não se manteve no longo prazo. A decisão de se aplicar e estudar o modelo de integração, foi aceita com a finalidade de se melhorar os resultados em relação a satisfação dos clientes, no curto e no longo prazo.

4.4. ETAPA 1 – MOBILIZAR E FOCAR

Na primeira etapa, a restrição foi identificada e o grupo de trabalho foi criado para trabalhar na eliminação do problema de forma focada. Essa seção é apresentada da seguinte maneira:

- a) Mapeamento da cadeia de valor do MT;
- b) Árvore da realidade atual;
- c) Identificação da restrição;
- d) *Project Charter*;
- e) Resultados da etapa.

Como será descrito nas próximas subseções, para aplicar as 4 ferramentas dessa etapa foi necessário reunir todos envolvidos no processo com o intuito de traduzir os problemas reais do fluxo em dados. A confiabilidade desses dados é essencial, pois essas informações serão a base para as tomadas de decisões e ações nas etapas seguintes. Outro fator crítico, que pode impactar os resultados do projeto, é aplicar as ferramentas de maneira coesa e precisa, sem estender muito o tempo das reuniões e discussões para não atrasar o término da etapa.

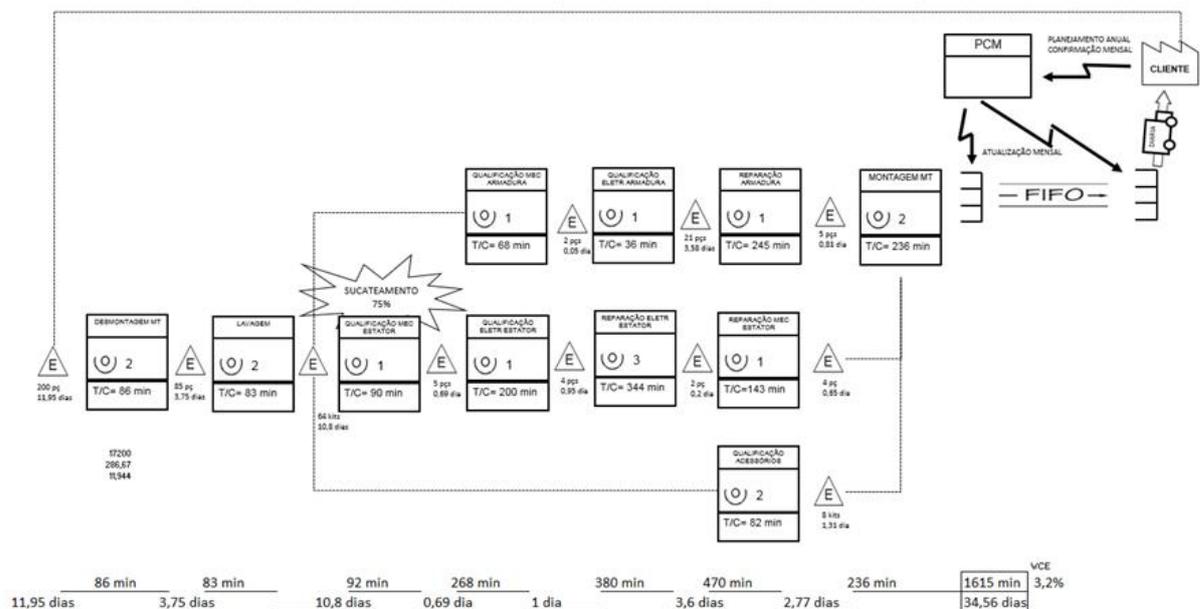
4.4.1. Mapeamento do fluxo de valor do MT

O primeiro passo para identificar a restrição do sistema é enxergar, utilizando o VSM, o fluxo e o *lead time* da cadeia de valor. O mapeamento foi realizado por meio de reuniões na empresa estudada, em que participaram os especialistas e gestores da manutenção, Programação e Controle da Produção (PCP), PCM, Logística e Engenharia.

O fluxo é responsável por 12 modelos diferentes de MTs, porém um único modelo representa 80% do volume demandado pelo cliente. Para os responsáveis pelo PCM, a oficina deve produzir um total de sessenta motores por mês, pois segundo a área de planejamento, esse número é suficiente para suprir a demanda de troca de MTs preventivas e corretivas. Considerando o turno de trabalho de 8,5 horas e 22 dias de trabalho por mês com 1 turno, pode-se calcular a demanda diária de aproximadamente 3 MTs, ou seja, a cada 2 horas e 50 minutos um MT deve ser montado.

Como pode ser visto no VSM (FIGURA 35), o PCM determina as manutenções preventivas de MTs que devem acontecer em um período de 52 semanas (1 ano), também são estimadas as possíveis trocas e quebras corretivas para o mesmo período. A demanda total é desdobrada para a última etapa da reparação, que é a montagem do MT, levando em conta o tempo de reparação, o tempo de envio ao cliente entre outros fatores. O *Lead Time* verificado no mapeamento foi de 34,56 dias, que corresponde ao tempo que um MT demora para percorrer toda cadeia. O VSM também está demonstrado no APÊNDICE I.

FIGURA 35 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO MT DO ESTADO ATUAL



FONTE: O autor

Uma característica, percebida no VSM, é que o produto a ser reparado tem sua origem no próprio cliente. Na prática, essa situação pode tornar a relação cliente-fornecedor invertida em casos específicos, por exemplo, o cliente deve operar o MT

de maneira correta e retirá-los de operação no tempo estimado pelo PCM, caso isso não seja feito, a reparação se torna muito mais cara e complexa. Para minimizar esse tipo de problema, é necessário fazer uma análise técnica de grande profundidade nos MTs que são recebidos, pois é possível determinar de maneira precisa o motivo da falha do equipamento e tratar as causas das falhas prematuras, seja por problemas de operação, problemas no projeto ou mesmo no próprio processo de manutenção do MT.

4.4.2. Árvore da realidade atual

Depois de estabelecer o *lead time* atual no fluxo de valor, segundo a metodologia de integração, é necessário encontrar a restrição. Para isso, é aplicada a ferramenta ARA (Árvore de Realidade Atual), que relaciona as causas-efeitos indesejáveis do fluxo. Por meio de entrevistas, documentações e visitas ao chão de fábrica, foram determinadas algumas dificuldades que contribuem para os resultados comentados anteriormente. No Quadro 12, são apresentados os Efeitos Indesejáveis, que descrevem de maneira sintetizada os problemas apresentados na seção anterior.

QUADRO 11 - LISTA DE EFEITOS INDESEJÁVEIS DO FLUXO DO MT

EFEITO INDESEJÁVEL	
N1	PROBLEMA DE QUALIDADE PERCEBIDO PELO CLIENTE
N2	LAYOUT NÃO OTIMIZADO
N3	MOVIMENTAÇÃO EXCESSIVA DOS COLABORADORES
N4	FALTA DE 5S NA OFICINA
N5	TRANSPORTE EXCESSIVO NO PROCESSO
N6	BAIXA PRODUTIVIDADE DOS OPERADORES
N7	FALTA DE PADRONIZAÇÃO
N8	FALTA DE TREINAMENTO
N9	ALTO <i>LEADTIME</i> NO PROCESSO PRODUTIVO
N10	BAIXO DESEMPENHO DOS OPERADORES
N11	FALTA DE SUBCOMPONENTES PARA REPARAÇÃO DOS COMPONENTES
N12	FALTA DE PROGRAMAÇÃO DE MATERIAIS
N13	FALTA DE CONGELAMENTO NA PROGRAMAÇÃO
N14	NÃO CONFORMIDADE NA REPARAÇÃO DO MT
N15	ALTA VARIAÇÃO DA DEMANDA DE MT
N16	FALTA DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO
N17	ATRASO NA ENTREGA DE SUBCOMPONENTES
N18	BAIXA ADERÊNCIA AO ATENDIMENTOS DOS POSTOS
N19	FALTA DE ESTOQUE PULMÃO DE MT

FONTE: O autor

De acordo com a literatura, a ARA é uma ferramenta que relaciona os efeitos indesejáveis, de tal forma que seja possível compreender as relações lógicas que fazem parte do ambiente a ser trabalhado. Após completar a construção dessa ferramenta, deve-se analisar todos os relacionamentos existentes, para verificar as restrições principais. No Quadro 13, são demonstradas as relações dos efeitos, de acordo com os resultados das reuniões feitas pelo grupo do projeto durante a etapa.

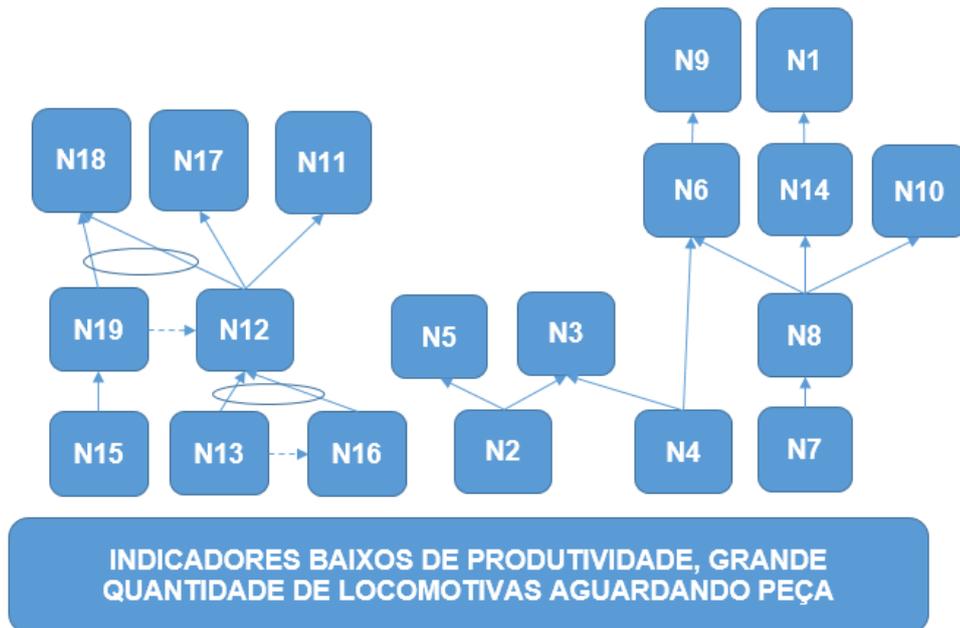
QUADRO 12 - RELAÇÕES DOS EFEITOS INDESEJÁVEIS DO FLUXO DO MT

A	SE NÃO HÁ PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO (N16), NÃO HÁ CONGELAMENTO NA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (N12)
B	O LAYOUT NÃO OTIMIZADO (N2) ACARRETA MOVIMENTAÇÃO EXCESSIVA DOS COLABORADORES (N3) E TRANSPORTE EM EXCESSO NO PROCESSO (N5)
C	A FALTA DE PADRONIZAÇÃO (N7) E A FALTA DE TREINAMENTO (N8) ACARRETA NO BAIXO DESEMPENHO DOS OPERADORES (N10) E BAIXA PRODUTIVIDADE DOS OPERADORES (N6)
D	O NÃO CONGELAMENTO DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (N13) ACARRETA A FALTA DE PROGRAMAÇÃO DE MATERIAIS (N12)
E	A FALTA DE PROGRAMAÇÃO DE MATERIAIS (N12) ACARRETA NO ATRASO NA ENTREGA DE SUBCOMPONENTES (N17) E NA FALTA DE SUBCOMPONENTES PARA REPARAÇÃO (N11)
F	A FALTA DE CONGELAMENTO NA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO (N12) E A FALTA DE ESTOQUE PULMÃO (N19) RESULTA EM BAIXA ADERENCIA AO ATENDIMENTO AOS POSTOS (N18)
G	A BAIXA PRODUTIVIDADE DOS OPERADORES (N6) ACARRETA NO ALTO LEADTIME NO PROCESSO PRODUTIVO (N9)
H	A FALTA DE TREINAMENTO (N8) ACARRETA PROBLEMAS DE NÃO CONFORMIDADE NA REPARAÇÃO (N14)
I	A FALTA DE 5S NA OFICINA (N4) ACARRETA MOVIMENTAÇÃO EXCESSIVA (N3) E BAIXA PRODUTIVIDADE DOS OPERADORES (N6)
J	PROBLEMAS DE NÃO CONFORMIDADE NA REPARAÇÃO (N14) ACARRETAM EM PROBLEMA DE QUALIDADE PERCEBIDO PELO CLIENTE (N1)
K	A ALTA VARIAÇÃO DE CONSUMO DE MT (N15) ACARRETA NA FALTA DE ESTOQUE PULMÃO DE MT (N19)

FONTE: O autor

As relações dos efeitos indesejáveis que impedem o resultado ótimo em relação ao atendimento ao cliente, estão graficamente ilustradas na Figura 36.

FIGURA 36 - ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DOS EFEITOS INDESEJÁVEIS DO FLUXO DO MT



FONTE: O autor

4.4.3. Identificação da restrição

A elaboração da ARA e a consequente categorização dos efeitos indesejáveis na cadeia de valor, permitiu identificar dezenove efeitos indesejáveis. Do total de efeitos encontrados, dez (53% do total) são caracterizados como erros no “Processo da Produção”, conforme pode ser visto no Quadro 14, ou seja, são problemas sob responsabilidade dos gestores da produção e podem ser resolvidos com ações do chão da fábrica, envolvendo as áreas de apoio.

QUADRO 13 - EFEITOS INDESEJÁVEIS DO "PROCESSO DA PRODUÇÃO"

EFEITO INDESEJÁVEL	
N2	LAYOUT NÃO OTIMIZADO
N3	MOVIMENTAÇÃO EXCESSIVA DOS COLABORADORES
N4	FALTA DE 5S NA OFICINA
N5	TRANSPORTE EXCESSIVO NO PROCESSO
N6	BAIXA PRODUTIVIDADE DOS OPERADORES
N7	FALTA DE PADRONIZAÇÃO
N8	FALTA DE TREINAMENTO
N10	BAIXO DESEMPENHO DOS OPERADORES
N13	FALTA DE CONGELAMENTO NA PROGRAMAÇÃO
N16	FALTA DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

FONTE: O autor

A concentração de 53% dos efeitos no “Processo da Produção” permite concluir que o gargalo atual do fluxo se encontra nas operações de reparação do MT. Os problemas identificados no Quadro 14 são característicos de processos com pouca padronização e com poucos controles, com essas informações é possível determinar a meta para o trabalho e reunir a equipe para iniciar os trabalhos, focando no gargalo identificado.

4.4.4. Determinação do objetivo

Por meio de reuniões com os gerentes responsáveis pelos processos de manutenção da empresa, foi estabelecido que a meta para o grupo de trabalho seria reduzir em 50% a quantidade de locomotivas aguardando Motores de Tração, até dezembro de 2017. O objetivo, após discussões, foi taxado como plausível e desafiador, o que deixou a equipe motivada a atingir esse desafio.

4.4.5. *Project Charter*

O *Project Charter* apresenta todo escopo do projeto e contém as informações necessárias para implementar a integração, como por exemplo os integrantes, escopo e prazos (FIGURA 37).

FIGURA 37 - PROJECT CHARTER DAS 7 ETAPAS DE INTEGRAÇÃO



FONTE: O autor

4.4.6. Resultados da etapa

A Etapa 1 forneceu as ferramentas que geraram as informações que irão servir de base para as etapas a seguir, portanto há uma grande relevância na qualidade nessas informações. Foi fundamental executar todas as atividades de forma correta,

para obter dados mais confiáveis, que realmente sejam condizentes com a situação real do processo.

Um dos maiores desafios enfrentados nessa etapa, foi a dificuldade de reunir a equipe de projeto para discutir e implementar as ferramentas que exigiam muitas discussões e análises em grupos. Nessas reuniões, foi possível identificar que os integrantes não conheciam com profundidade as ferramentas, sendo necessário fazer treinamentos rápidos para nivelar o conhecimento de todos envolvidos.

Por meio da análise dos efeitos indesejáveis do fluxo, foi possível identificar a restrição do fluxo do MT, que está relacionada as atividades operacionais de reparação. Apesar das dificuldades, é possível dizer que a etapa foi concluída aplicando-se todas as ferramentas propostas e obtendo-se as informações necessárias.

4.5. ETAPA 2 – EXPLORAR A RESTRIÇÃO

Após identificar qual é a restrição do fluxo na primeira etapa, são utilizadas ferramentas para analisar e explorar a restrição. Na segunda etapa, a metodologia de integração recomenda utilizar as técnicas da manufatura enxuta, com o objetivo de determinar quais são as atividades que agregam ou não valor. Essa etapa é dividida em quatro partes:

- a) Valor WCE do fluxo de valor;
- b) Análise de valor da restrição;
- c) Injeção de melhoria;
- d) Resultados da etapa.

4.5.1. Valor do WCE do fluxo de valor

O valor WCE é obtido por meio da razão entre o tempo total das atividades que agregam valor ao cliente e o *Lead Time* total da cadeia. Utilizando os valores demonstrados na Figura 35, tem-se o valor de WCE 3,2%. Somente as atividades que agregam valor são consideradas nesse valor, portanto, os outros 96,8% representam atividades que não agregam valor e são oportunidades de melhoria para reduzir o *lead time* em todo fluxo.

4.5.2. Análise de valor da restrição

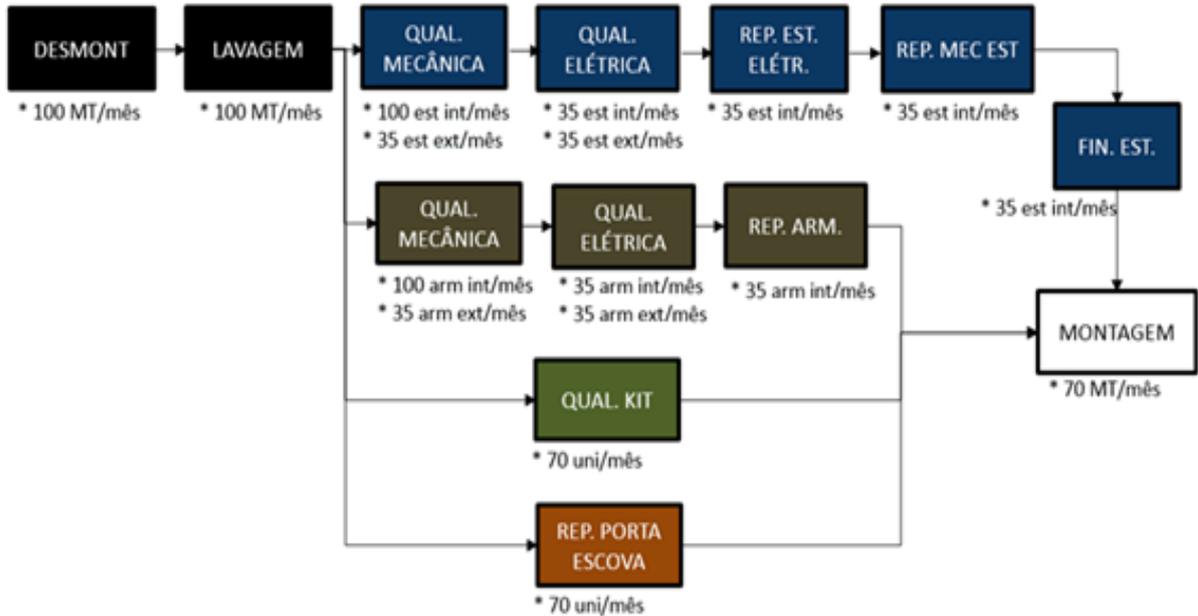
A análise aconteceu de forma detalhada em cada processo e foi determinado o *Takt Time* para cada etapa, conforme descrito a seguir.

a) *Takt Time*

A base para a gestão estável, conforme os fundamentos da manufatura enxuta, é produzir de acordo com a demanda do cliente. Com os números de demanda definidos pelo PCM, é possível definir o *Takt Time*, que indica em qual intervalo de tempo cada produto deve estar finalizado.

Nas etapas de qualificação, onde é necessário medir, testar e analisar os componentes dos MTs; existe uma taxa de sucateamento de MTs, por exemplo, a cada quatro MTs qualificados apenas é possível reparar um MT. Essa taxa de sucateamento deve ser considerada no cálculo do *Takt Time*, pois para produzir 70 MTs/mês é necessário desmontar, qualificar e reparar uma quantidade maior de MTs, conforme a Figura 38, em que está descrito a quantidade de MTs a serem trabalhos por cada etapa. Foram considerados valores históricos de sucateamento para definir as quantidades necessárias para cada processo, que foram validados pelo PCM. Os valores de *Takt Time* (em horas) estão demonstrados na Tabela 4.

FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DEMANDAS MENSAIS DE CADA ETAPA



FONTE: O autor

TABELA 4 - TABELA COM VALORES DAS DEMANDAS MENSAIS DE CADA ETAPA

TURNOS [quantidade]	1
HORAS POR TURNO	10
HORAS ÚTEIS POR TURNO	6,5
HORAS ÚTEIS POR SEMANA	32,5
HORAS ÚTEIS POR MÊS	130
TAKT TIME DA DESMONTAGEM/LAVAGEM [horas]	1,30
TAKT TIME DE QUALIFICAÇÃO MECÂNICA [horas]	0,96
TAKT TIME DE QUALIFICAÇÃO ELÉTRICA [horas]	0,96
TAKT TIME DE REPARAÇÃO - ARMADURA [horas]	3,71
TAKT TIME DE REPARAÇÃO - ESTATOR [horas]	3,71
TAKT TIME DE REPARAÇÃO - KIT [horas]	1,86
TAKT TIME DE REPARAÇÃO - PORTA ESCOVAS [horas]	1,86
TAKT TIME DA MONTAGEM [horas]	1,86

FONTE: O autor

b) Cronoanálise das etapas de trabalho

O estudo do tempo das etapas de reparação é um passo essencial na determinação do balanceamento das atividades operacionais e determina o tempo que o operador executa cada tarefa, em um ritmo de trabalho normal. Os tempos médios para cada posto de trabalho estão demonstrados na Tabela 5, foram coletados dados de 13 amostras para cada etapa.

TABELA 5 - TEMPOS MÉDIOS PARA EXECUÇÃO DE CADA ETAPA

ETAPA	DESCRICAÇÃO	T MÉDIO
DESMONTAR MT, ESTATOR E ARMADURA	RECEBER MOTOR E REALIZAR TESTES INICIAIS - MT	0,42
DESMONTAR MT, ESTATOR E ARMADURA	DESMONTAR MOTOR DE TRACÇÃO - MT	1,63
DESMONTAR MT, ESTATOR E ARMADURA	DESMONTAR ARMADURA COMPLETA MOTOR DE TRACÇÃO	0,83
LAVAR MT, ESTATOR, ARMADURA E ACESSÓRIOS	LAVAR ESTATOR - MT	0,91
LAVAR MT, ESTATOR, ARMADURA E ACESSÓRIOS	LAVAR PAR DE CAPAS DE MANCAIS - MT	0,51
LAVAR MT, ESTATOR, ARMADURA E ACESSÓRIOS	LAVAR ARMADURA - MT	0,53
LAVAR MT, ESTATOR, ARMADURA E ACESSÓRIOS	LAVAR 1 CESTO DE COMPONENTES DO MOTOR DE TRACÇÃO	0,82
QUALIFICAR ESTATOR MEC	REALIZAR QUALIFICAÇÃO MECÂNICA INICIAL DO ESTATOR - MT	1,54
QUALIFICAR ESTATOR MEC	REALIZAR QUALIFICAÇÃO MECÂNICA NO ESTATOR DO MT (RECUPERADO EXTERNO)	1,53
QUALIFICAR ARMADURA MEC	REALIZAR QUALIFICAÇÃO MECÂNICA DA ARMADURA - MT	0,66
QUALIFICAR ARMADURA MEC	MEDIR EXCENTRICIDADE DA ARMADURA DO MT	0,48
QUALIFICAR KIT DE TAMPAS	REPARAR 3 KITS DE TAMPA DO MT	3,97
QUALIFICAR ESTATOR ELETR	REALIZAR QUALIFICAÇÃO ELÉTRICA NO ESTATOR DO MT (RECUPERADO EXTERNO)	1,21
QUALIFICAR ESTATOR ELETR	REALIZAR QUALIFICAÇÃO ELÉTRICA INICIAL DO ESTATOR - MT	1,93
QUALIFICAR ESTATOR ELETR	REALIZAR QUALIFICAÇÃO ELÉTRICA DE 1 ARMADURA E 1 ESTATOR	1,82
QUALIFICAR ESTATOR ELETR	REALIZAR TESTE FINAL NO ESTATOR DO MT	1,11
QUALIFICAR ARMADURA ELETR	REALIZAR QUALIFICAÇÃO ELÉTRICA DA ARMADURA - MT	0,61
FINALIZAR ESTATOR	REALIZAR PINTURA E INSTALAÇÃO DE TAMPA DE VIGIA ESTATOR D31 (FORNECEDOR EXTERNO)	1,49
FINALIZAR ESTATOR	IMPREGNAR ESTATOR - MT	0,55
FINALIZAR ESTATOR	PINTAR ESTATOR E REALIZAR ACABAMENTOS - MT	2,47
REPARAR ARMADURA	REPARAR ARMADURA MOTOR DE TRACÇÃO	4,09
REPARAR ARMADURA	REPARAR ARMADURA MOTOR DE TRACÇÃO USINADA	8,28
REPARAR PORTA ESCOVA	REPARAR 4 PORTA-ESCOVAS DE MT	1,44
MONTAR MT	ASSENTAR PINHÃO NO MT, REALIZAR TESTES E ACABAMENTOS	1,60
MONTAR MT	MONTAR ARMADURA NO ESTATOR E REGULAR PORTA ESCOVAS - MT	1,13
MONTAR MT	TESTAR ISOLAÇÃO DA ARMADURA E MONTAR PEÇAS MECÂNICAS NA ARMADURA - MT	0,81
MONTAR MT	TESTAR ISOLAÇÃO, MONTAR PORTA ESCOVAS NO ESTATOR E TESTAR ISOLAÇÃO DO ESTATOR - MT	0,40
REPARAR ESTATOR MEC	REALIZAR RECUPERAÇÃO MECÂNICA DO ESTATOR - MT	2,40

FONTE: O autor

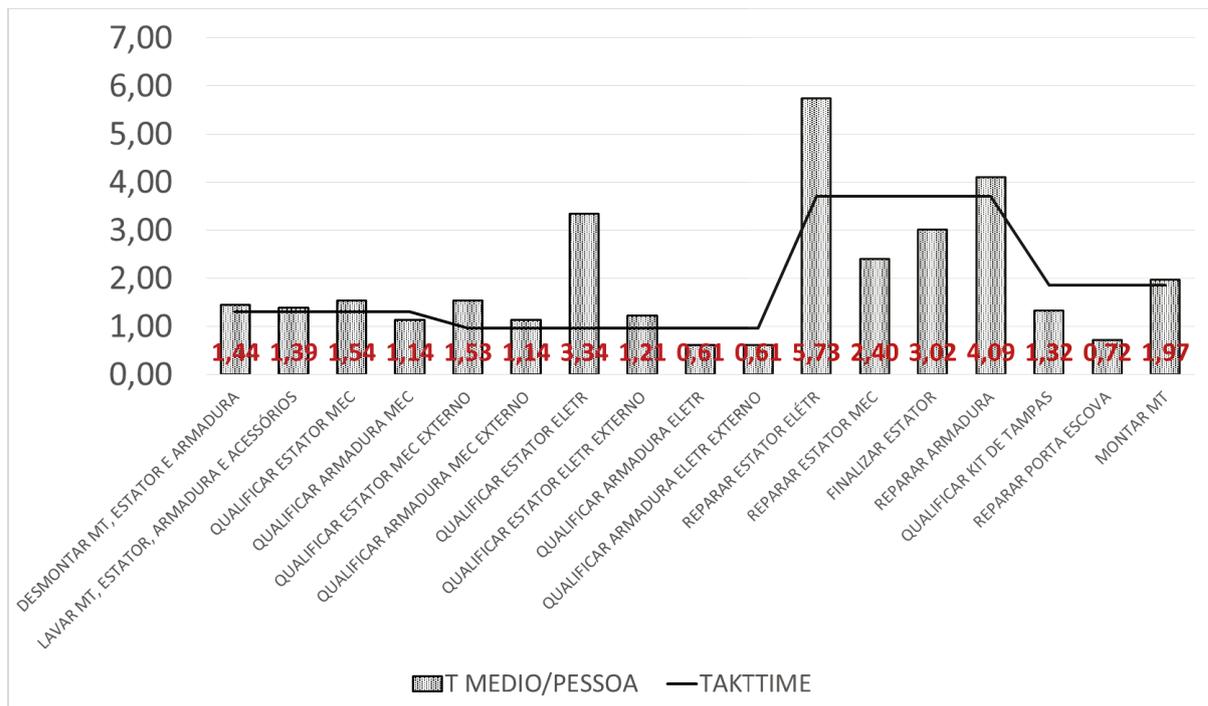
c) Resultado inicial do atual balanceamento da linha

Utilizando a ferramenta GBO (Gráfico de Balanceamento do Operador), que é utilizada para determinar de forma visual, quais são as tarefas com tempos de execução acima do *Takt Time*. Segundo Liker (2016), todas as tarefas devem estar o

mais próximo possível do *Takt Time*, para que o fluxo tenha a menor quantidade possível de tempo ocioso e, por consequência, menor quantidade de desperdícios.

Na Figura 39 é demonstrado, no eixo y o tempo (em horas) e no eixo x cada posto de trabalho. Na Tabela 6 é demonstrado os dados quantitativos dos tempos de cada etapa. A análise das tarefas, a partir deste momento, será feita por meio do agrupamento das atividades que possuem o mesmo *Takt Time*.

FIGURA 39 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA



FONTE: O autor

TABELA 6 - DADOS DOS TEMPOS MÉDIOS DE CADA ETAPA

MÉDIA	1,95
DESVIO PADRÃO	1,38
MEDIANA	1,44
MÍNIMO	0,61
MÁXIMO	5,73

FONTE: O autor

Analisando a Figura 35 e a Tabela 6, é possível concluir que os postos estão desbalanceados em relação ao *Takt Time*. A mediana indica que, a metade dos tempos está entre 0,61 e 1,44 horas e a outra metade está entre 1,44 e 5,73 horas.

Além disso, todas as etapas dos postos de trabalho são limitadas pelos postos gargalos, que são aqueles com o tempo de ciclo maior que o *Takt Time*.

Segundo Slack *et al* (2009), existem outros três indicadores que podem ser utilizados para medir o balanceamento da linha: Índice de Distribuição de Linha (LBR), Índice de Capacidade de Linha (LAE) e Mão de Obra Ótima (MOO). Em resumo, o LBR descreve o quão uniforme o trabalho está distribuído entre as operações do fluxo. O LAE determina a capacidade da linha atual em relação a capacidade imposta pelo *Takt Time*, se o valor desse indicador for inferior a 100% há excesso de capacidade (excesso de postos de trabalho). Por último, o MOO indica a quantidade de operadores que podem ser considerados para uma equipe ideal. Na Tabela 7, estão demonstrados os resultados iniciais.

TABELA 7 - INDICADORES DE BALANCEAMENTO DE LINHA DO FLUXO DE VALOR NA ETAPA 2

INDICADOR	EQUAÇÃO	DESMONTAGEM LAVAGEM	QUALIFICAÇÃO	REPARAÇÃO	MONTAGEM
LBR	$\sum TC / (N * TCM)$	98%	42%	66%	68%
LAE	$\sum TC / (N * TAKT TIME)$	109%	145%	103%	72%
MOO	$\sum TC / TAKT TIME$	2	12	4	2

FONTE: O autor

Conforme os valores da Tabela 7, na etapa de Lavagem, o valor de LBR indica uma ociosidade de 2%, por outro lado o valor de LAE indica uma falta de postos de trabalho. Na etapa de Qualificação, há uma ociosidade de quase 60% e uma indicação de falta de postos. Na Reparação e na Montagem, o nível de ociosidade é quase o mesmo, em torno de 30%, porém, na Reparação há um indicativo de falta de postos e na Montagem o indicativo é de excesso de postos. Com esse resultado, fica evidente a necessidade de melhorar as etapas em busca do nivelamento das atividades, o que pode melhorar os resultados do fluxo como um todo, sem a necessidade de aumentar o quadro de colaboradores ou investimentos no departamento.

d) Identificação das atividades AV, NAV e W

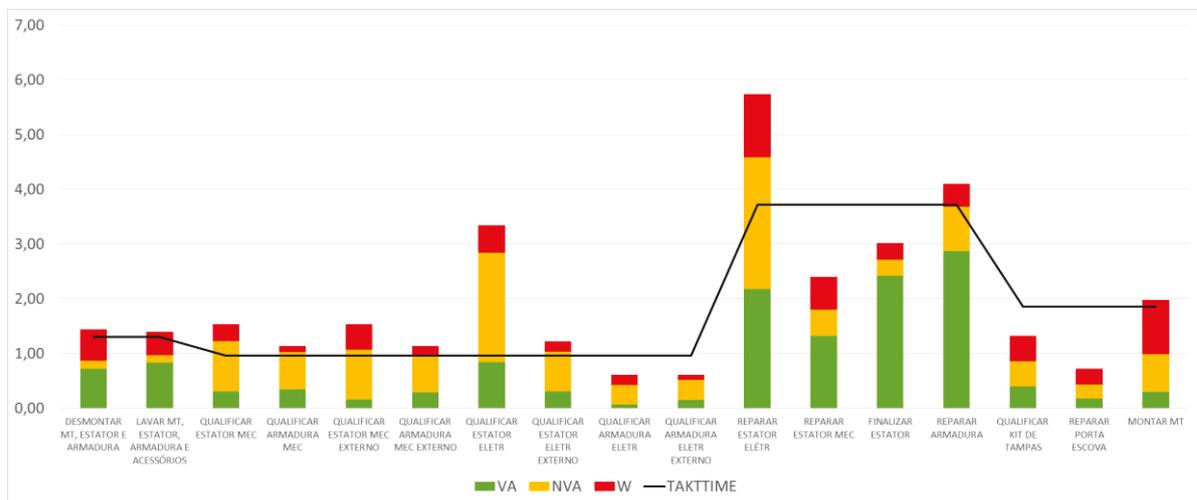
Utilizando o conceito de Manufatura Enxuta, foram identificadas as atividades que agregam valor (AV), não agregam valor (NAV) e os desperdícios (W) para cada etapa, conforme Quadro 15. O resultado da classificação das atividades, pode ser visto na Figura 40.

QUADRO 14 - CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES AV, NAV E W

VALOR AGREGADO DESMONTAGEM/LAVAGEM	VALOR NÃO AGREGADO	DESPERDÍCIO
DESMONTAR	TRANSPORTAR	ACUMULAR
DESPARAFUSAR	ESQUENTAR	ATRASAR
LAVAR	REGISTRAR VALORES	CAMINHAR
ENXAGUAR	TESTAR	ESPERAR
VALOR AGREGADO - QUALIFICAÇÃO	INSPECIONAR	LEVANTAR
MEDIR	MEDIR	MOVIMENTAR
QUALIFICAR	AFERIR	PARAR
TESTAR		POSICIONAR
INSPECIONAR		CARREGAR
FIXAR		PROCURAR
IDENTIFICAR		RETRABALHAR
TRATAR		SELECIONAR
VALOR AGREGADO - REPARAÇÃO		SEPARAR
SOLDAR		TROCAR FERRAMENTA
TROCAR		
PINTAR		
TRATAR		
MONTAR		
VALOR AGREGADO - MONTAGEM		
APERTAR		
ENCAIXAR		
FIXAR		
IDENTIFICAR		

FONTE: O autor

FIGURA 40 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA, COM DIVISÃO POR TIPO DE ATIVIDADE



FONTE: O autor

De maneira geral, com base no total de atividades (33,20 horas), o tempo total de atividades AV é de 13,64 horas, que representam 41% do total. As atividades NVA possuem um total de 12,37 horas, que representam 37% do total. Por fim, as atividades W possuem no total 7,19 horas, que representam 22% do total.

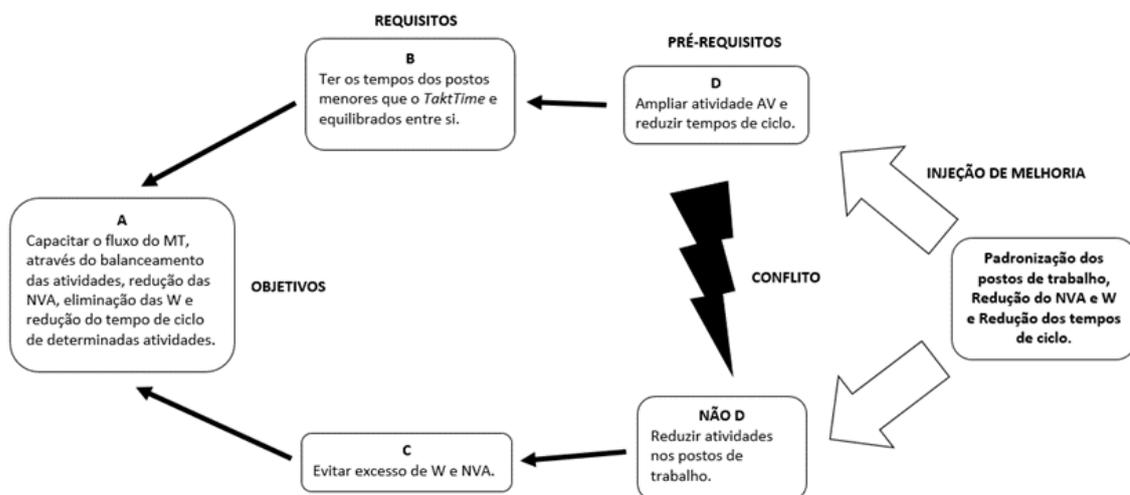
As atividades NVA e W que mais impactam são aquelas relacionadas a movimentação dos colaboradores dentro dos postos de trabalho, principalmente devido a falta de organização e padronização dos fluxos de materiais e ferramentas. Outro fator crítico é o transporte dos MTs e seus componentes. Por serem materiais pesados, todos necessitam de auxílio de equipamentos de içamento, a disponibilidade desses equipamentos é restrita, portanto, a cada ciclo é necessário buscar os equipamentos, gerando grande quantidade de atividades W.

4.5.3. Injeção de melhoria

Pistateh e Fox (2010), recomendam utilizar metodologias da manufatura enxuta para avaliar as maneiras de eliminar as restrições, porém não estabelecem uma ferramenta exata para aplicá-las. O conceito “Injeção de Melhoria” se refere aos conceitos da Teoria das Restrições que estabelece o enfoque adotado em busca da solução definitiva para eliminar a restrição identificada.

Nesta atividade, é utilizada o DDN para identificar a injeção de melhoria dentro do balanceamento do fluxo. Na Figura 41 é demonstrado o DDN, cujo primeiro passo é a definição do objetivo a ser atingido, neste caso o objetivo é capacitar o fluxo do MT, por meio do balanceamento das atividades, redução das NVA, eliminação das W e redução do tempo de ciclo de determinadas atividades.

FIGURA 41 - DIAGRAMA DE NUVEM PARA O OBJETIVO DETERMINADO



FONTE: O autor

O DDN pode ser lido da seguinte forma:

- Para “Capacitar o fluxo do MT, por meio do balanceamento das atividades, redução das NVA, eliminação das W e redução do tempo de ciclo de determinadas atividades” (Objetivo A) É PRECISO “Ter os tempos dos postos menores que o *Takt Time* e equilibrados entre si” (Requisito B);
- Para “Capacitar o fluxo do MT, por meio do balanceamento das atividades, redução das NVA, eliminação das W e redução do tempo de ciclo de determinadas atividades” (Objetivo A) É PRECISO “Evitar excesso de W e NVA” (Requisito C);

Essas duas condições são necessárias e devem ser atingidas de forma simultânea para que o objetivo seja alcançado. Os seguintes pré-requisitos, apesar de serem conflitantes devem ser atingidos:

- Para “Ter os tempos dos postos menores que o *Takt Time* e equilibrados entre si” (Requisito B) É PRECISO “Ampliar atividade AV e reduzir tempos de ciclo” (Pré-Requisito D);
- Para “Evitar excesso de W e NVA” (Requisito C) É PRECISO “Reduzir atividades nos postos de trabalho” (Pré-Requisito NÃO D);
- O conflito no DDN é explicado da seguinte forma: “Ampliar atividades AV e reduzir tempos de ciclo” é mutuamente excludente a “Reduzir atividades nos postos de trabalho”. Uma solução conciliatória pode ser a padronização dos postos de trabalho para não adicionar atividades W e NVA e manter apenas as atividades essenciais nos postos e a melhoria dos tempos de ciclo por meio de mudanças nas atividades dos postos, sendo essa definida como a injeção de melhoria a ser aplicada no fluxo.

4.5.4. Resultados da etapa

A Etapa 2 é uma continuação do levantamento de dados relativos aos processos, com foco no gargalo identificado. Os primeiros dados coletados foram relacionados a demanda definida pelo PCM para cada etapa do fluxo, que forneceram subsídios para definir o *Takt Time* das etapas. Depois, foram feitas tomadas de tempo e levantamentos de desperdícios das atividades executadas nas operações do fluxo de reparação do MT.

Ao analisar as demandas do *Takt Time* e os tempos reais das etapas, foi possível concluir que haviam várias etapas com um tempo muito maior do que o tempo necessário para atender a demanda do cliente, principalmente nas etapas de qualificação e reparação. Os indicadores de balanceamento de linha demonstram que há uma grande oportunidade de trabalho em todas as etapas. Na situação atual do processo, 41% do total de atividades agregavam valor e 59% das atividades eram “desperdícios”.

A última atividade da etapa foi definir qual era a injeção de melhoria a ser aplicada no fluxo. Foi estabelecido que a injeção seria a padronização dos postos de trabalho para não adicionar atividades W e NVA e manter apenas as atividades essenciais nos postos e a melhoria dos tempos de ciclo por meio de mudanças nas atividades dos postos. A maior barreira dessa etapa foi a aplicação sistemática, em todas as atividades de todas as etapas, da ferramenta de medição de tempo e desperdícios, para isso foi necessário a ajuda de vários colaboradores que não tinham conhecimento aprofundado das ferramentas, sendo necessário, semelhantemente a Etapa 1, oferecer um breve treinamento a eles. Os desperdícios encontrados, eram conhecidos pelos gestores do fluxo, porém, ao aplicar as ferramentas é possível determinar, sem subjetividade, onde estão e quais são os desperdícios, essa situação irá tornar as ações das próximas etapas mais assertivas.

4.6. ETAPA 3 – ELIMINAR AS FONTES DE DESPERDÍCIOS

Durante essa etapa, são utilizadas as ferramentas da manufatura enxuta, com o objetivo de aumentar o rendimento operacional do fluxo. A etapa foi dividida em 6 fases:

- a) Análise atual;
- b) Padronização dos postos e das atividades;
- c) Melhoria do *Layout*;
- d) Planejamento e Programação das atividades diária;
- e) Impacto da injeção de melhoria;
- f) Resultados da etapa.

4.6.1. Análise atual

Conforme pode ser visto nas Figura 42 e 43, é perceptível a necessidade de intervenção nos postos de trabalho em relação a organização, padronização e limpeza, para tanto, foi utilizada a metodologia e direcionamento do 5S. O escopo da intervenção aplicada foi em postos de trabalho, armários de ferramentas, áreas de armazenagem e áreas de circulação.

Antes de aplicar cada diretriz do 5S, foram feitos treinamentos e capacitações de todos os envolvidos nos processos (auxiliares, técnicos, operadores e supervisores), além do envolvimento dos líderes da oficina (coordenadores e gerentes).

A falta de organização, padronização e limpeza nos postos de trabalho causa uma grande quantidade de desperdícios no tempo de ciclo de trabalho, pela necessidade de procurar ferramentas e materiais, e causa uma grande quantidade de materiais desnecessários na oficina, que no final se traduz em desperdícios financeiros da empresa, pois esses materiais foram comprados e pagos sem uma real necessidade. Há também a incidência de problemas de qualidade, por conta dos possíveis desvios do processo padrão (atividades que podem deixar de ser executadas) para o operador atender o tempo de ciclo, ou pela falta de aplicação das ferramentas e materiais corretos.

FIGURA 42 - EXCESSO DE MATERIAIS NA OFICINA



FONTE: O autor

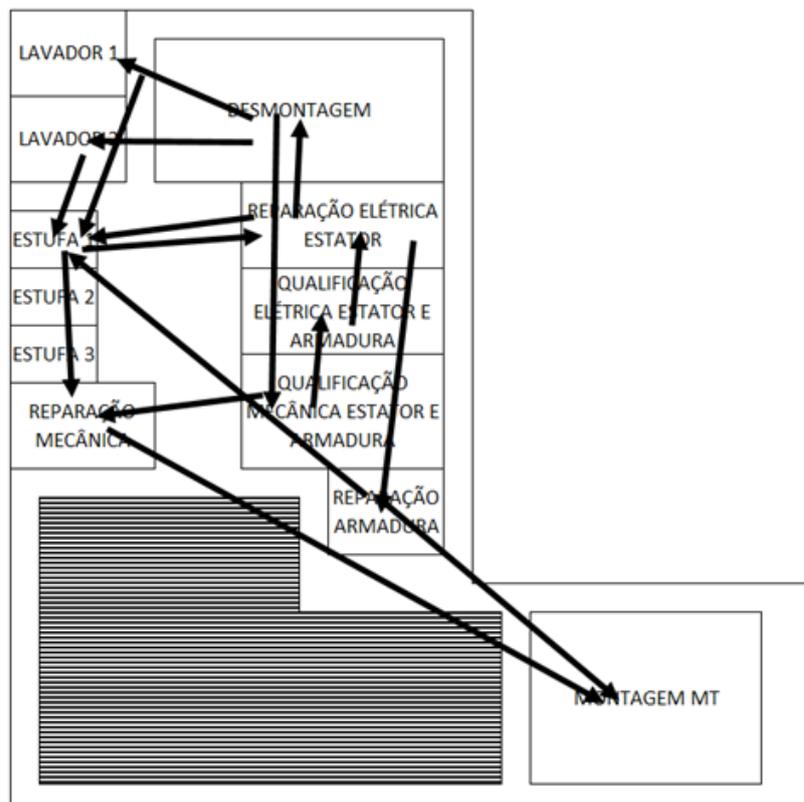
FIGURA 43 - FERRAMENTAS SEM IDENTIFICAÇÃO



FONTE: O autor

Outra causa de desperdício no tempo de ciclo das atividades é a necessidade de movimentar os materiais desnecessariamente, por conta do *layout* não-otimizado da oficina, conforme pode ser visto na Figura 44, existe grande quantidade de cruzamentos no fluxo dos materiais no processo, indicados pelas setas.

FIGURA 44 - FLUXO FÍSICO DO MT NA OFICINA



FONTE: O autor

Durante o acompanhamento das operações diárias, foi possível avaliar que os tempos de espera por materiais que não estavam disponíveis nos postos causaram grande impacto no atendimento ao *Takt Time*. Essa falta de materiais na linha possui duas causas fundamentais, a primeira diz respeito a mudança na priorização da produção, ou seja, o supervisor fazia os preparativos para atender uma determinada programação de produção que, durante o expediente, acabava sendo modificada. A outra causa é a falta de um controle dos subcomponentes pequenos dos MTs, que possuem mais de 10 tipos de parafuso para sua montagem, que apesar de serem irrelevantes em relação ao peso e preço, ocasionavam paradas na produção.

Também foi possível perceber a quantidade de estoques entre os processos devido a diferença entre os tempos de ciclo. Esse problema intrínseco ao processo, ocasionou por diversas vezes o desperdício de superprodução, pois, por exemplo, mesmo tendo vários MTs desmontados, por falta de uma programação de atividades coerente, a desmontagem continuava a ser executada, sendo que o correto, para não haver superprodução, seria alocar os operadores da desmontagem para outra etapa em que de fato houvesse demanda (FIGURA 45).

FIGURA 45 - EXCESSO DE MATERIAIS NO FLUXO DO MT



FONTE: O autor

4.6.2. Padronização dos postos de trabalho

A padronização dos postos e das atividades começou com um grupo de trabalho formados por colaboradores dos departamentos de engenharia, PCM e operação. Com base nos tempos da Figura 39, foram priorizados os trabalhos nos postos de qualificação e reparação. Os trabalhos foram divididos em duas frentes, a primeira ficou responsável pela capacitação, treinamento e aplicação dos conceitos de 5S juntos dos operadores dos postos. A segunda frente ficou responsável pela validação dos procedimentos operacionais, treinamento e aquisição de ferramentas necessárias para execução dos trabalhos padronizados.

Após a rodada de capacitação de 5S, foram aplicados os quatro primeiros conceitos que abrangem a retirada de materiais e ferramentas desnecessárias (Utilização), a classificação das ferramentas conforme a quantidade de utilização (Organização), a limpeza das ferramentas e postos de trabalho (Limpeza) e a padronização dos locais de armazenamento de ferramentas e materiais (Padronização). O conceito que trata da disciplina em manter o ambiente desta forma foi abordado nos treinamentos, porém foi colocado em prática nas auditorias estipuladas nas próximas etapas da pesquisa (FIGURA 46, 47 e 48).

FIGURA 46 - POSTO DE TRABALHO PADRONIZADO



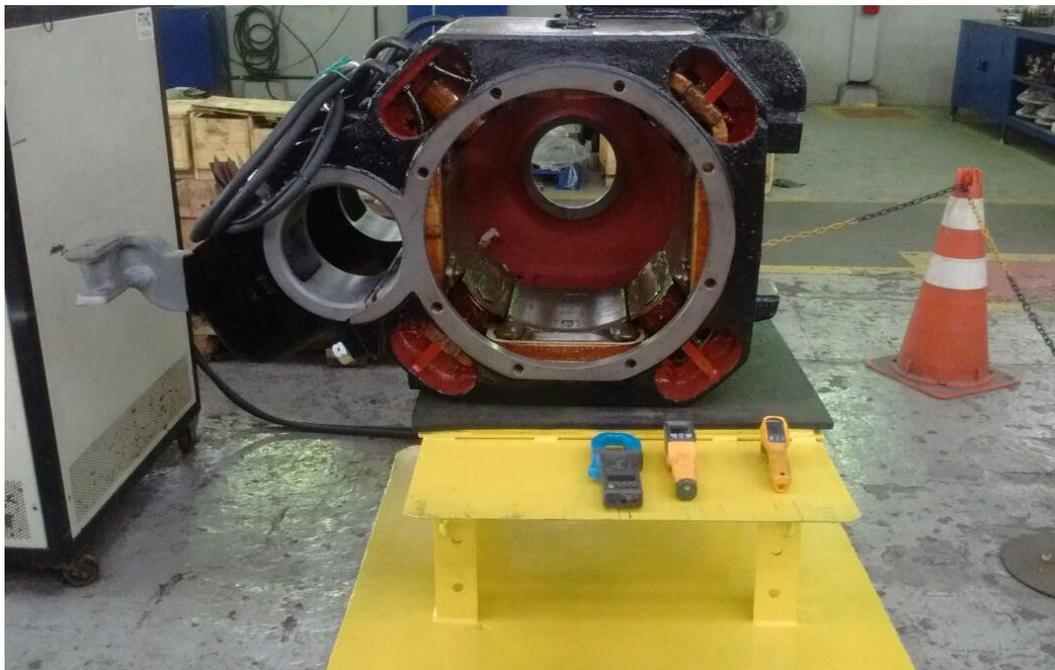
FONTE: O autor

FIGURA 47 - ÁRMARIO DE FERRAMENTAS PADRONIZADO



FONTE: O autor

FIGURA 48 - BANCADA DE TESTE DO MT



FONTE: O autor

Os procedimentos foram validados e houve a necessidade de aquisição de alguns instrumentos que não estavam disponíveis para os operadores exercerem as atividades da forma padrão, também foi constatado que alguns colaboradores não possuíam treinamentos registrados, nesses casos foram aplicados os treinamentos

necessários, para que todos possuíssem os conhecimentos necessários para execução das atividades. Na Figura 49, é demonstrado um procedimento revisado nessa etapa.

As etapas de qualificação e reparação receberam uma atenção maior e tiveram várias etapas do processo redefinidas para que o tempo das atividades ficasse inferior ao tempo de ciclo. Dentre as ações tomadas, pode-se destacar a alteração de testes qualificações, mudança nos parâmetros dos testes, desenvolvimentos de bancadas para testes em paralelo, dentre outras ações críticas lideradas pela engenharia de processo. Também foi acertado que alguns postos de trabalho não necessitariam mais de ser executados, pois a qualificação desses materiais não seria mais necessária, uma vez que alguns desses componentes, por decisão da engenharia, deveriam ser substituídos em todos os motores.

FIGURA 49 - PROCEDIMENTO TÉCNICO DO MT

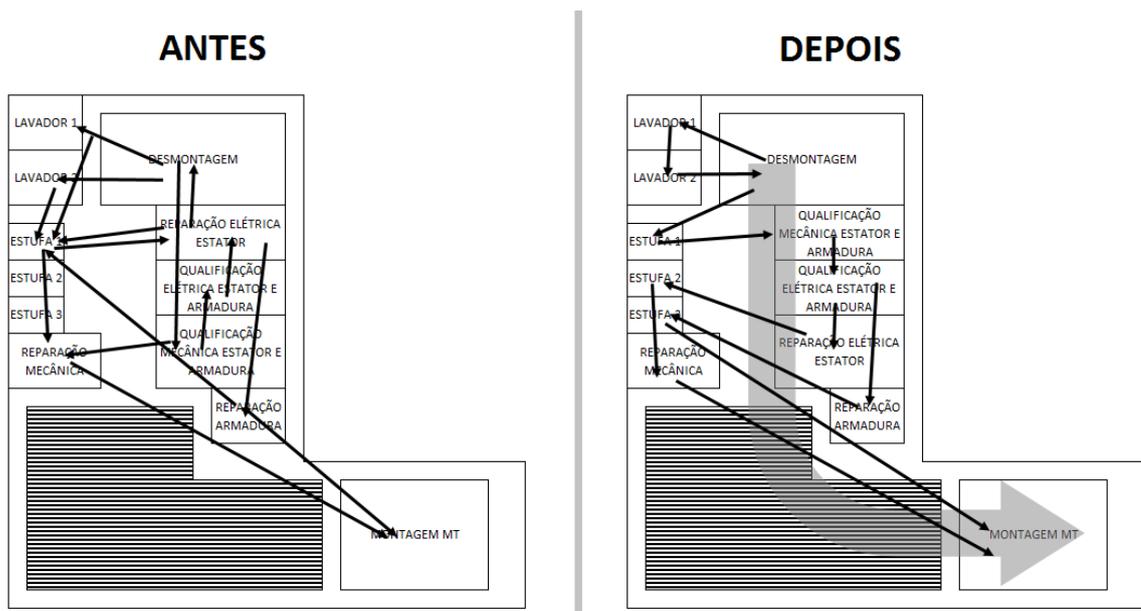


FONTE: O autor

4.6.3. Melhoria do *layout*

Houve a necessidade de aplicar uma melhoria no *layout* da oficina para reduzir a quantidade de movimentos de materiais que utilizam as pontes rolantes e, por consequência, reduzir a quantidade do tempo de espera dos outros operadores durante a movimentação da ponte. Essa ação foi seguida de uma mudança na utilização dos equipamentos de lavagem e estufa, para cada etapa do processo foi estabelecido qual equipamento deve ser utilizado, essas definições ajudaram a reduzir a movimentação necessária para cada MT. Segundo o estudo, a redução total para cada MT foi de 7 movimentações que utilizavam as pontes rolantes. Na Figura 50 está demonstrado o *layout* antes e depois da modificação. Na Figura 51, é possível ver alguns registros das obras realizadas.

FIGURA 50 - LAYOUT DO MT - ANTES E DEPOIS



FONTE: O autor

FIGURA 51 - ATIVIDADES DA MUDANÇA DE LAYOUT



FONTE: O autor

4.6.4. Planejamento e programação das atividades

A última injeção de melhoria no fluxo buscou alterar a produção dos MTs que é caracterizada como empurrada, pois segundo os conceitos de manufatura enxuta, a produção caracterizada como puxada oferece um fluxo com menor desperdícios. Além disso, durante o período de observação dos postos, pode-se notar várias perdas ocasionadas pela falta de planejamento e programação das atividades a produção diária.

O planejamento de produção é traduzido para a operação utilizando um contrato de produção, que em resumo, é uma lista de MTs que precisam ser produzidos durante um mês. Ao receber essa lista, os supervisores planejam a produção de tal forma que haja uma melhor utilização da mão de obra da oficina, o que geralmente significava a programação da produção de lotes de modelos específicos de MTs. Nesse cenário, durante a produção do lote, era frequente a sinalização do PCM que seria necessário alterar a programação para outro modelo de MT. Para atender essa mudança, era necessário movimentar todo o material em processo o que gerava mais atrasos e esperas dos operadores.

Para resolver esse problema, foi desenvolvido um sistema puxado de produção, em que é sinalizado qual o nível de estoque de todos os MTs da empresa e, em uma reunião diária, é definida a produção para os próximos três dias, por definição dos gestores essa programação não pode ser alterada. Com esse novo método de planejamento e programação, os supervisores não permitem que a oficina seja desabastecida de materiais para produção e há um aumento de aderência a demanda do cliente.

Na Figura 52, é possível verificar o método estabelecido para identificar quais MTs são prioritários para produção. Os modelos com nível verde estão com os estoques dentro do esperado, os indicadores amarelos demonstram qual é a prioridade para produção e os indicadores vermelhos destacam os materiais críticos que devem ser produzidos imediatamente.

Entre os processos de desmontagem, qualificação e reparação dos MTs também foi estabelecido um controle semelhante, por meio de uma sinalização aplicada no chão da oficina, é possível ter o controle de quais componentes estão com o nível de estoque adequados ou não, e com essa informação os supervisores podem direcionar a produção para os itens mais críticos, evitando assim a superprodução ou o tempo de espera nos processos posteriores no fluxo.

FIGURA 52 - CONTROLE DE PRODUÇÃO DO MT

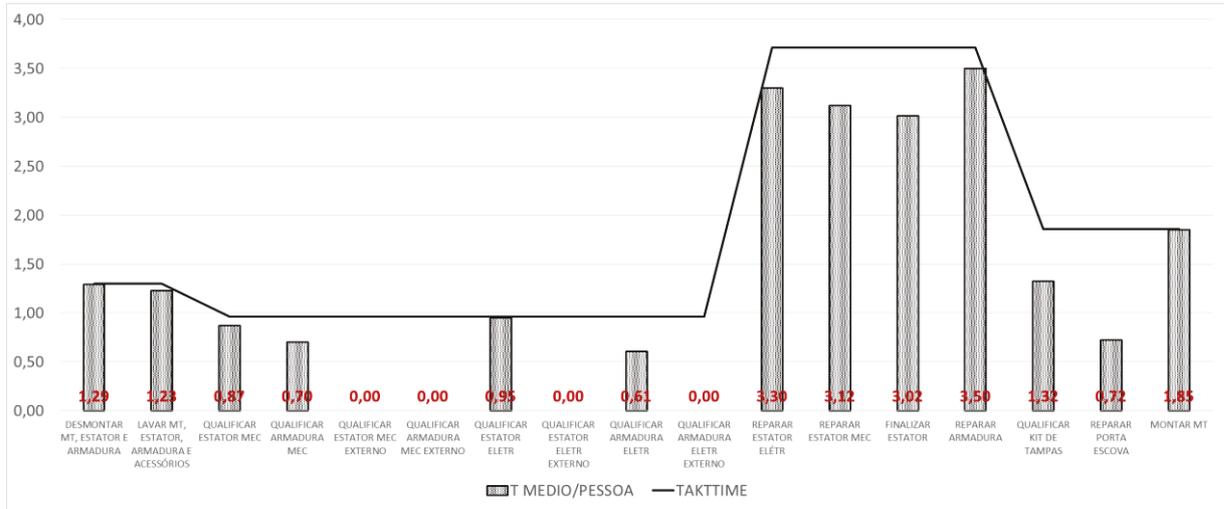
MT		SUPERMERCADO INTERNO	
		AL02	
SAP	DESCRIÇÃO	META KANBAN	NÍVEL KANBAN
40495	MOTOR DE TRACAO C30 5GE752AF	3	2
7906	MOTOR DE TRACAO D29	0	0
20900	MOTOR DE TRACAO MDC570 -D31 REPOTENCIADO	7	0
44898	MOTOR DE TRACAO MODELO D77B	4	0
13822	MOTOR DE TRACÃO 761 19Z	1	2
13823	MOTOR DE TRACÃO 761 18Z	3	2
24662	MOTOR DE TRACÃO C30 5GE752E8	7	0
20899	MOTOR DE TRACÃO D 31 PARA LOC: C30	8	0
8030	MOTOR DE TRACÃO D29 GT18	1	1
13819	MOTOR DE TRACÃO D31 13Z	17	0
13820	MOTOR DE TRACÃO D31 14Z	6	0
13821	MOTOR DE TRACÃO D31 15Z	2	0
69565	MOTOR TRACAO GE 761 MODELO A17	0	0
69566	MOTOR TRACAO GE761 PINHAO 17 DENTES U5B	0	0
49921	MOTOR TRACAO MODELO 5GE763	0	0

FONTE: O autor

4.6.5. Impacto da Injeção de Melhoria

Após a implantação das melhorias, cada etapa do processo foi novamente analisada para verificar quais foram os resultados obtidos. Conforme pode ser visto na Figura 53, os trabalhos reduziram significativamente o tempo de ciclo, fazendo com que todas as atividades atendessem o *takt time*, de maneira qualitativa é possível visualizar um melhor balanceamento das etapas do processo. A Tabela 8 demonstra os resultados de maneira quantitativa, é possível identificar a melhoria em todos os parâmetros medidos, com exceção do parâmetro “menor tempo de ciclo” que permaneceu o mesmo.

FIGURA 53 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA



FONTE: O autor

TABELA 8 - DADOS DOS TEMPOS MÉDIOS DE CADA ETAPA

PARÂMETROS	ANTES	DEPOIS	STATUS
MÉDIA [HORAS]	1,95	1,73	MELHOROU
DESVIO PADRÃO [HORAS]	1,38	1,21	MELHOROU
MEDIANA [HORAS]	1,44	0,95	MELHOROU
MINIMO [HORAS]	0,61	0,61	IGUAL
MAXIMO [HORAS]	5,73	3,5	MELHOROU

FONTE: O autor

Os indicadores de balanceamento (TABELA 9), indicam também uma melhora em todos os indicadores da qualificação e da reparação dos MTs, que foram os processos mais trabalhados pelas equipes. Os indicadores LBR apontam uma redução da ociosidade de 58% para 18% nas etapas de Qualificação e de 34% para 8% nas etapas de Reparação. Em todas as etapas não há mais falta de postos, conforme é indicado pelo LAE.

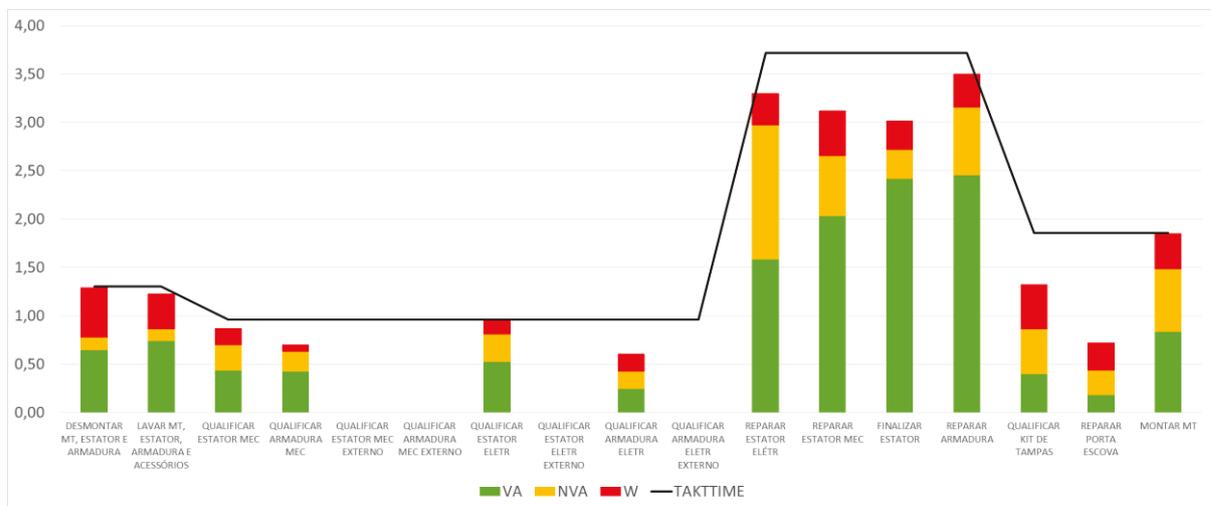
TABELA 9 - DADOS DOS INDICADORES DE BALANCEAMENTO DA LINHA

INDICADOR	DESMONTAGEM LAVAGEM			QUALIFICAÇÃO			REPARAÇÃO			MONTAGEM		
	ANTES	DEPOIS	STATUS	ANTES	DEPOIS	STATUS	ANTES	DEPOIS	STATUS	ANTES	DEPOIS	STATUS
LBR	98%	98%	IGUAL	42%	82%	MELHOROU	66%	92%	MELHOROU	68%	70%	MELHOROU
LAE	109%	97%	MELHOROU	145%	82%	MELHOROU	103%	87%	MELHOROU	72%	70%	MELHOROU
MOO	2	2	IGUAL	12	3	MELHOROU	4	3	MELHOROU	2	2	IGUAL

FONTE: O autor

Por fim, em relação as atividades AV, NAV e W, é demonstrado na Figura 54 uma melhora significativa nas atividades de todas as etapas. O total de atividades foi reduzida para 22,48 horas (antes eram 33,20 horas). As atividades NVA foram reduzidas para 5,56 horas, que representam 24% do total, e as atividades W possuem no total 4,02 horas, que representam 17% do total.

FIGURA 54 - GRÁFICO DOS TEMPOS MÉDIOS E TAKT TIME DE CADA ETAPA, COM DIVISÃO POR TIPO DE ATIVIDADE



FONTE: O autor

4.6.6. Resultados da etapa

Na Etapa 3 foi aplicada a injeção de melhoria no fluxo, as ações foram voltadas na atualização e padronização das atividades de cada posto de trabalho. Pode-se destacar a aplicação do 5S e da padronização das atividades, com o intuito de deixar o processo com a menor quantidade possível de atividades que não agregam valor. Por parte da equipe da engenharia, houve atualização dos procedimentos, principalmente relacionada aos parâmetros técnicos, o que permitiu melhorar os tempos das atividades e até, em alguns casos, eliminar etapas do processo. Foi aplicado uma mudança estrutural na oficina, pois a disposição dos equipamentos e dos postos de trabalho foram alterados para reduzir a quantidade de movimentações necessárias de materiais dentro do fluxo.

Foram alteradas as rotinas dos líderes do processo, de tal forma que as atividades dos operadores começaram a ser programadas antecipadamente e a

produção dos MTs ficou mais aderente possível as demandas voláteis dos clientes. Um sistema de estoque pulmão foi implementado, para fornecer aos programadores uma ferramenta para evitar a superprodução e a espera entre os processos do fluxo do MT.

A final desta etapa, as medições de tempos e os levantamentos dos desperdícios das atividades executadas foram refeitos e foi possível perceber uma redução nos tempos de execução de cada atividade e no percentual de atividades que não agregam valor dentro do fluxo do MT. Dentre os obstáculos que ofereçam maior dificuldade nessa etapa, pode-se destacar a complexidade de fazer a gestão de atividades de diferentes áreas dentro da empresa, por exemplo, a revisão dos procedimentos da engenharia, a tomada de tempo dos supervisores e a mudança do layout do chão de fábrica entre outras atividades. Foi possível sentir uma resistência a mudança pelos supervisores, que tiveram sua rotina alterada para conseguir atender a antecipação da programação das atividades, porém, como o restante das diversidades, foi possível contornar essa situação e aplicar a nova rotina aos supervisores.

4.7. ETAPA 4 – CONTROLAR A VARIAÇÃO DO PROCESSO

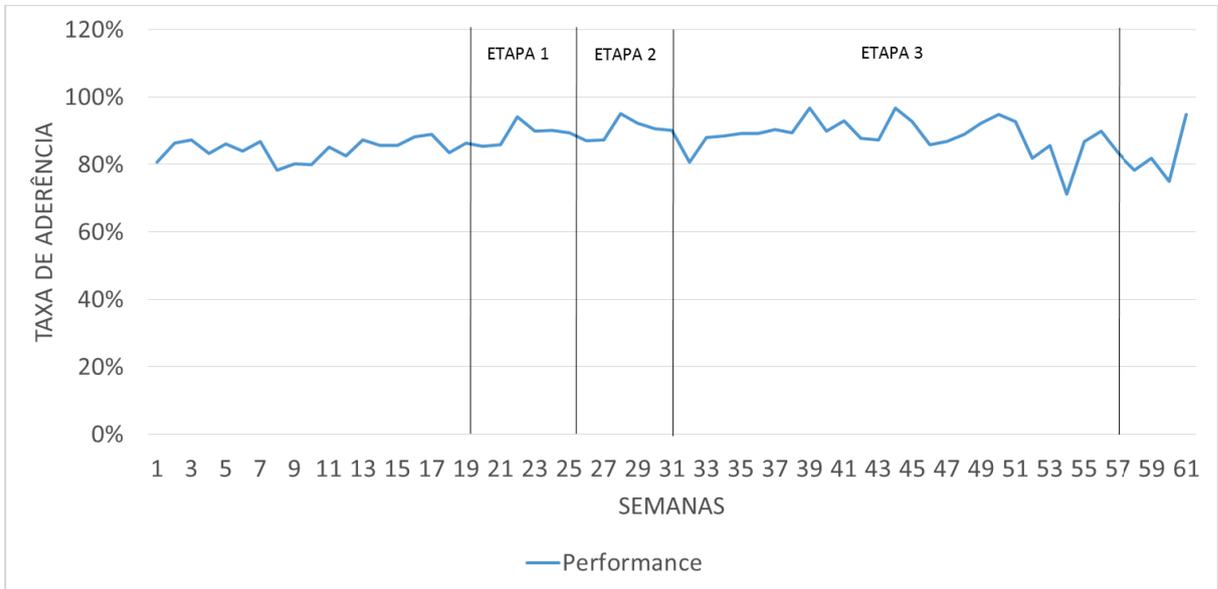
Os responsáveis pelo fluxo de valor estudado utilizaram, em ocasiões anteriores, diferentes ferramentas da Manufatura Enxuta e do Seis Sigma de forma isolada, a fim de melhorar esse cenário, contudo o resultado não se manteve no longo prazo. Para buscar não repetir os resultados anteriores, nessa etapa são definidos os indicadores-chave que deverão ser monitorados constantemente pelos gestores, para que em caso de algum desvio, haja uma resposta rápida e os resultados não sejam impactados no médio e longo prazo.

Por meio de reuniões e discussões, foi decidido que os indicadores a serem monitorados seriam a Taxa de Utilização e a Performance, pois, no entendimento dos envolvidos, esses seriam os indicadores que melhor mediriam o resultado do processo em relação as melhorias implementadas na Etapa 3. Essa escolha reflete a expectativa de se melhorar a quantidade de horas, que de fato agregam valor, aplicadas no processo durante os turnos de trabalho.

Para o indicador de Performance, foi estabelecido que LSE seria 100% e o LIE seria 85%. Os valores históricos dos valores desse indicador podem ser vistos na

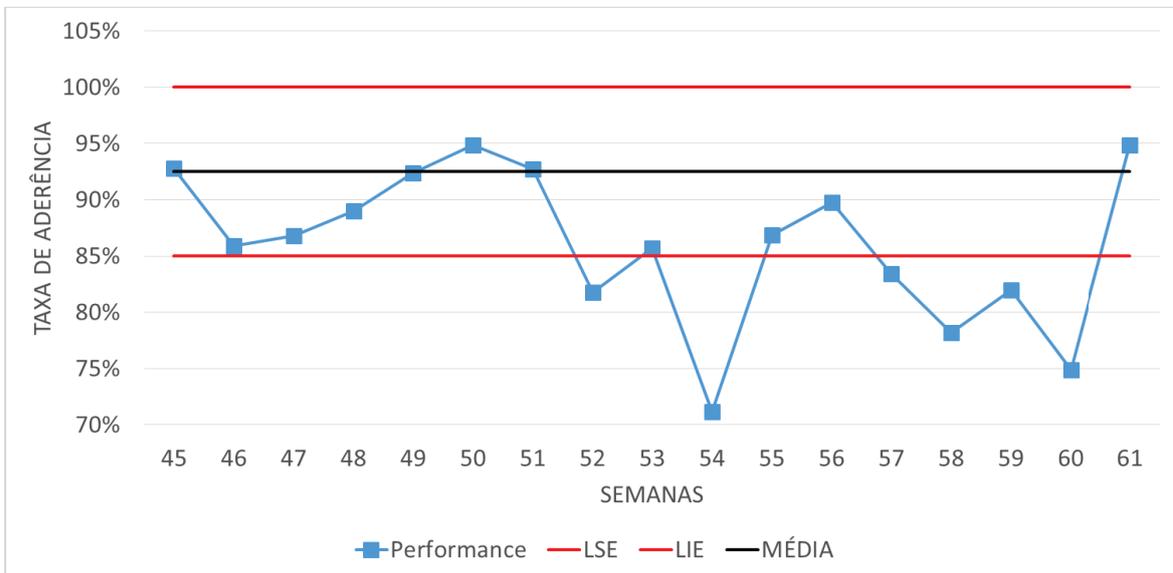
Figura 55. De acordo com as recomendações das ferramentas do Seis Sigma, foi elaborada uma carta de controle para o indicador (FIGURA 56).

FIGURA 55 - VALORES DO INDICADOR DE PERFORMANCE



FONTE: O autor

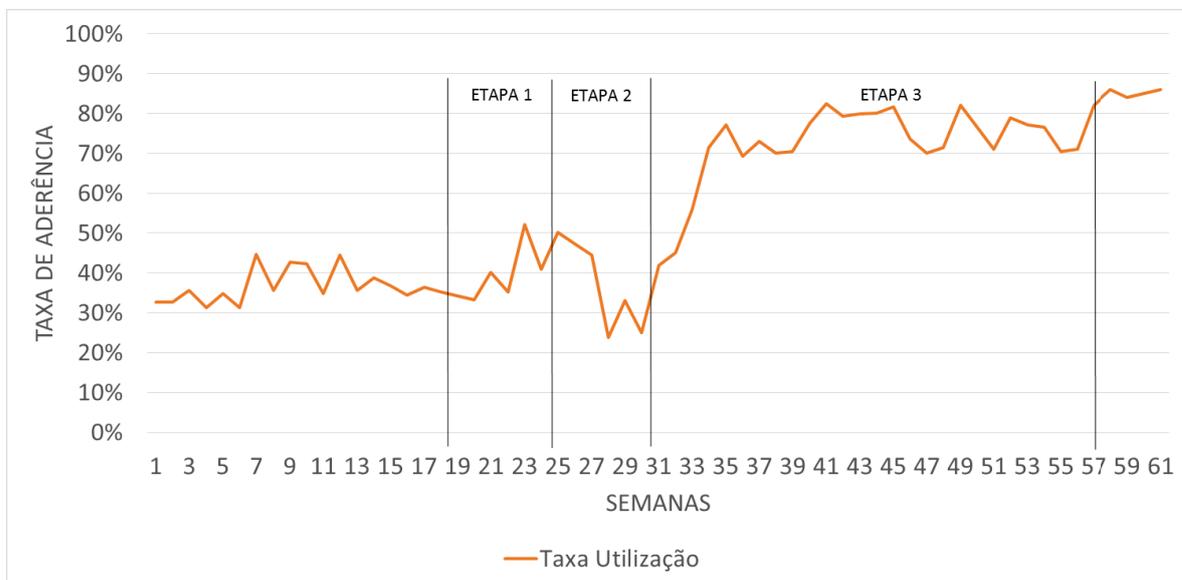
FIGURA 56 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR DE PERFORMANCE



FONTE: O autor

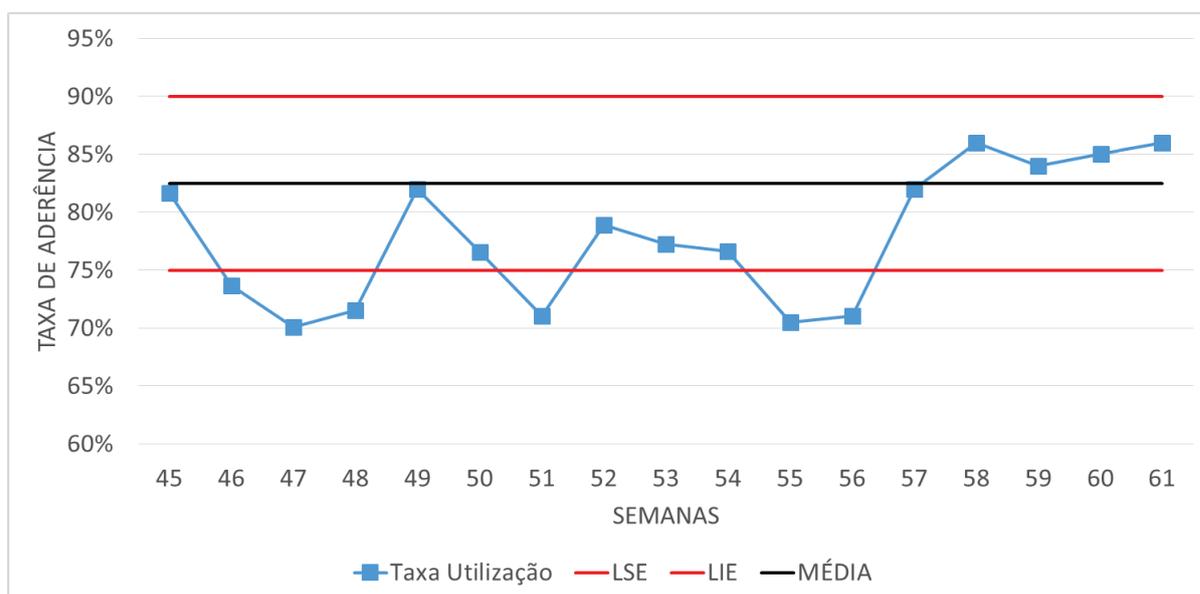
Da mesma forma, para o indicador de Taxa de Utilização, foi estabelecido que LSE seria 90% e o LIE seria 75%. Os valores históricos dos valores desse indicador podem ser vistos na Figura 57. A carta de controle para esse indicador é demonstrada na Figura 58.

FIGURA 57 - VALORES DO INDICADOR DE TAXA DE UTILIZAÇÃO



FONTE: O autor

FIGURA 58 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR DE TAXA DE UTILIZAÇÃO



FONTE: O autor

É apresentado na Tabela 10, o resultado quantitativo dos indicadores. É possível notar uma melhora significativa na média do indicador de Taxa de Utilização, coincidindo com uma ligeira melhora no desvio padrão. Para o indicador de Performance não é possível perceber um aumento significativo no valor médio, mas é possível notar uma piora no desvio padrão.

TABELA 10 - DADOS DOS INDICADORES DE PERFORMANCE E TAXA DE UTILIZAÇÃO

PARÂMETRO	PERFORMANCE		TX UTILIZAÇÃO	
	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS
MÉDIA	86%	88%	38%	73%
DESVIO PADRÃO	0,039	0,062	0,063	0,054
LSE	100%		90%	
LIE	85%		75%	
Cp	0,63	0,40	0,40	0,46
Cpk	0,11	0,02	-1,98	-0,14

FONTE: O autor

As métricas de Cp e Cpk, bem como as cartas de controle, indicam que ambos processos estão com um grande potencial de melhoria, uma vez que, o valor esperado para processos controlados é de pelo menos 1,33 e o comportamento do indicador demonstra que os processos ainda não estão controlados (LYNCH et al, 2003).

4.8. ETAPA 5 – CONTROLAR AS ATIVIDADES DE SUPORTE

Uma vez identificada a restrição, foram realizadas atividades em busca da eliminação dos desperdícios, na etapa 4 foram definidos os parâmetros que devem ser monitorados, e agora, nessa etapa serão aplicadas ferramentas para monitorar a variabilidade do processo, para ser possível realizar análises aprofundadas dos possíveis problemas. Foram aplicadas as seguintes ferramentas:

- a) *Checklists* de tarefas;
- b) MASP – Método de Análise e Solução de Problemas;
- c) Resultados da etapa.

4.8.1. *Checklists* de tarefas

O objetivo do *checklist* de tarefas é tornar o procedimento padrão em uma lista de tarefas que precisam ser completadas pelos operadores, com a necessidade de se registrar os valores dos parâmetros das tarefas. O *checklist* ajuda a uniformizar as tarefas executadas durante a manutenção dos MT e, mediante o registro formal de cada etapa, é possível auditar os processos que foram executados. No total, o *checklist* possui 12 páginas que compreendem todas as etapas do processo. São verificados 40 parâmetros elétricos ou mecânicos.

4.8.2. MASP – Método de análise e solução de problemas

O MASP é uma metodologia de resolução de problemas estruturados em 8 passos, cujo objetivo é lidar com problemas recorrentes, identificar as causas da não conformidade, orientar a análise do problema e avaliar a eficácia das ações realizadas (CAMPOS, 2004).

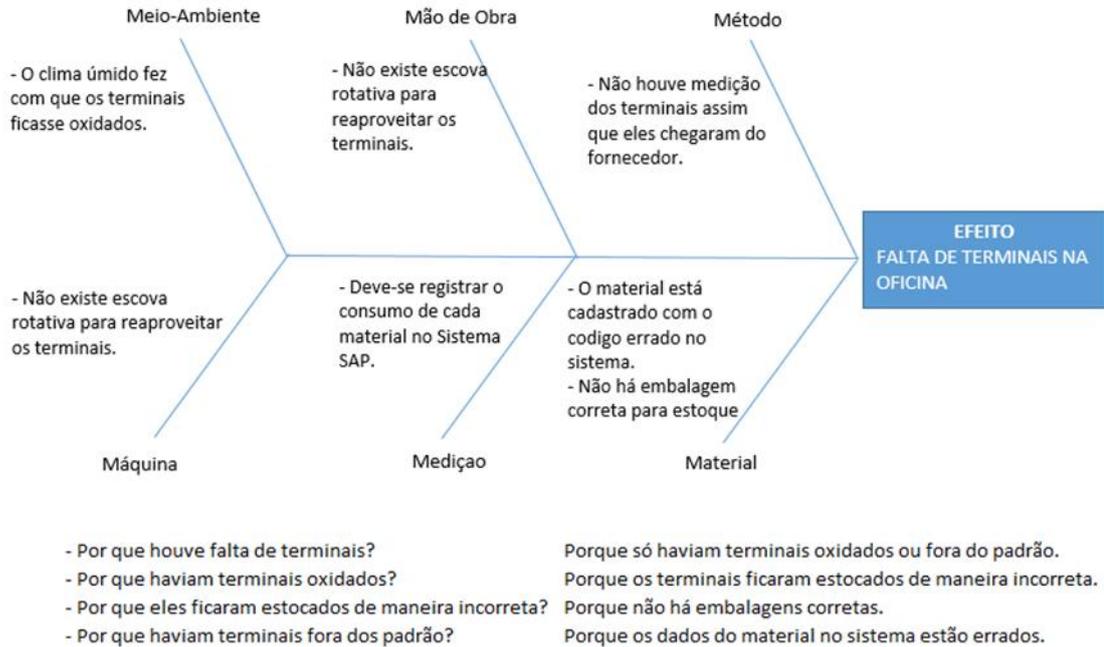
Os passos implementados foram os seguintes:

Definição da equipe de trabalho: Foram definidos os responsáveis por executar as etapas do MASP. A equipe foi formada por líderes da oficina e técnicos da engenharia.

1. Descrição da não conformidade: Nesta etapa, o problema é definido claramente. Deve-se responder as seguintes perguntas: O que aconteceu? Onde aconteceu? Quais foram as consequências?;
2. Ações de contenção: É tomada uma ação para resolver o problema provisoriamente para reduzir a reincidência imediata;
3. Identificação das causas reais: São utilizadas técnicas como Brainstorming, 5 porquês, Diagrama de Ishikawa para chegar na causa raiz;
4. Ações corretivas: São definidas as ações que resolverão os problemas de maneira definitiva;
5. Implementação das ações corretivas: Nesta etapa, são definidos os prazos e os controles das ações corretivas;
6. Verificação da eficácia das ações: É importante verificar se as ações foram executadas e deram os resultados esperados. Nessa etapa é possível aplicar ações de melhoria preventivas;
7. Parabenizar a equipe: Essa etapa oferece a oportunidade para que a equipe demonstre o trabalho executado.

A Figura 59 demonstra um exemplo da metodologia aplicada para resolver um problema real, relacionado ao terminal de conexão, que aconteceu no processo de reparação de MT. Foram analisados, durante a pesquisa, 23 efeitos que foram resolvidos por mais de 100 ações diferentes.

FIGURA 59 - EXEMPLO DE FERRAMENTA UTILIZADA NO MASP



FONTE: O autor

4.8.3. Resultados da etapa

As etapas 4 e 5 cumprem a função de selecionar os indicadores que serão monitorados em cartas de controle e aplicar as ferramentas para monitorar a variabilidade desses indicadores. Os indicadores escolhidos para serem monitorados foram a Taxa de Utilização e a Performance, que, conforme acordado entre os integrantes do projeto, forneciam uma visão assertiva do fluxo e uma vez melhorados e mantidos sem variabilidade iriam garantir o atendimento as demandas dos clientes.

A aplicação da ferramenta MASP, na Etapa 5, tornou possível resolver os problemas detectados na carta de controle do processo de forma assertiva e rápida, foram executadas mais de 100 ações diferentes. Pode-se destacar também, a utilização do *checklist* de atividades, que foi implementado para uniformizar a execução das atividades e permitir auditorias posteriores.

A maior dificuldade encontrada nessa etapa foi manter a disciplina dos integrantes do projeto, uma vez que os primeiros resultados positivos começaram a acontecer, existiu a tendência de não se aplicar com tanto rigor as ferramentas de soluções de problema. Caso não houvesse disciplina de execução, os resultados poderiam ter sido perdidos, pois é necessário resolver vários problemas para manter

o processo com a menor variação possível. Como foi possível analisar, um processo com pouca variação, é um processo que entrega mais resultado ao cliente.

4.9. ETAPA 6 – REMOVER A RESTRIÇÃO E ESTABILIZAR

A estabilidade é fundamental para atingir resultados a longo prazo. Essa etapa tem como objetivo proporcionar processos eficientes e padronizados ao fluxo, para manter os desperdícios em níveis mínimos e estabilizar, por meio de ações preventivas, os resultados. Foram utilizadas as seguintes metodologias:

- a) Padronização das etapas;
- b) Auditoria das ferramentas;
- c) Resultados da etapa.

4.9.1. Padronização das etapas

A padronização consiste em estabelecer o consenso, entre a operação e a engenharia, sobre a melhor maneira de executar as atividades, a fim de que os melhores resultados sejam alcançados, as variações do processo sejam mínimas e os operadores possam executar as atividades de maneira segura.

Um documento padronizado, chamado na empresa de Procedimento Operacional (PO), está demonstrado na Figura 60. O PO deve atender os seguintes requisitos: Detalhamento da operação, pontos críticos da operação, detalhes dos pontos críticos, fotos do processo, tempo de cada atividade, alertas de segurança, equipamentos de proteção necessários e Aprovadores.

Todas as etapas do fluxo apresentaram até o final desse projeto a documentação padronizada, que deverá ser revisada anualmente de acordo com as demandas da engenharia. Também será feita reciclagem anual de cada operador para cada procedimento, de acordo com a matriz de conhecimento criada pelo PCM.

FIGURA 60 - PROCEDIMENTO OPERACIONAL DISPONIBILIZADO NO POSTO

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS - BACK SHOP

APLICAÇÃO DO PINHÃO DO MOTOR DE TRACÇÃO 761, DASH, AF, E8	INSTRUÇÃO MT-01
--	----------------------------

CUIDADOS

Utilizar EPI's necessários (Capacete, Óculos, Protetor Auricular, Botina de Segurança, Luva de Vaqueta, Luva de Alta Temperatura, Creme Protetor);

Posicionar as mãos e o corpo de maneira adequada, em distância confortável para evitar problemas ergonômicos, em todas as movimentações de peças;

Manter a postura adequada para levantamento de peso e uso de ferramentas, evitando dobrar a coluna;

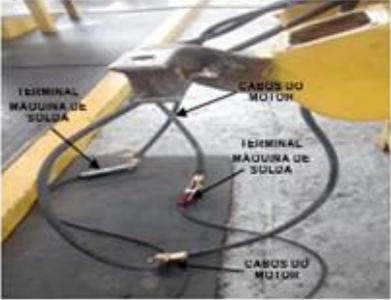
Segregar, acondicionar e destinar adequadamente os resíduos gerados no processo.

OBJETIVO

Este procedimento tem por finalidade descrever os passos para a aplicação de pinhões em motores de tração.

EXECUÇÃO
PASSO 1

Ligue o motor na máquina de solda. Conecte os terminais da máquina de solda a dois dos cabos do motor. Conecte os outros dois, um ao outro (Figura 01). Ligue a máquina de solda.



Instrução_MT_01 Página 1 de 10

FONTE: O autor

4.9.2. Auditoria das ferramentas

Como uma forma de manter os resultados em níveis desejáveis a longo prazo, foi adotado um sistema de auditorias semanal que analisam aspectos relacionados as ferramentas aplicadas nesse projeto. O arquivo criado pode ser visto na Figura 61.

Se a resposta a uma determinada questão for afirmativa, deve-se indicar o número 1 e caso negativa, o número 0. Os critérios adotados na auditoria foram:

- a) Programação: Houve participação dos supervisores na reunião diária de produção? Houve reunião no início do turno? Houve programação das atividades dos operadores para o próximo dia?

- b) Execução e Controle: Os indicadores da gestão a vista estão atualizados? Os pontos de reposição dos estoques estão dentro do esperado? Existem apenas ferramentas em boas condições nos postos de trabalho? Os armários de ferramentas estão organizados? Há apenas materiais identificados nos postos de trabalho? Há planos visíveis de MASP nos postos de trabalho? Não há ações de MASP em atraso ou desatualizadas?
- c) Procedimentos e Treinamentos: Há procedimentos disponíveis nos postos de trabalho? Há apenas procedimentos atualizados nos postos de trabalho? Todos os colaboradores possuem treinamento registrados nos postos de trabalho?

FIGURA 61 - CRITÉRIOS DE AUDITORIA APLICADOS NA OFICINA

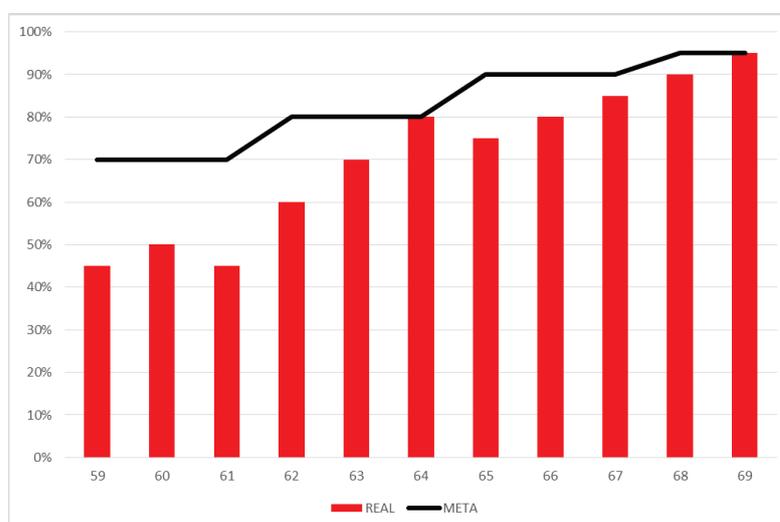
PROGRAMAÇÃO (20 pontos)	50%			
		- Existe alguma OS na SAT indicada com material pendente?	20c	0c
		Ritual de Início de Turno - O ritual de troca de turno obedece ao plano planejado, e está preenchido na SAT (DDS, DDC e DDP)?	20c	20c
		- Check point entendido e aplicado? Verificar se a quadro de Guerra está atualizada.	20c	10c
		Ronda CIO - Realizar rondas periodicamente monitorando associação de tarefa e calibração em peça.	25c	15c
		- Existe a correta fechamento das OS na SAT, com as peças preenchidas corretamente?	25c	25c
		- Existe arquivamento para arquivar do Documento/Plano de componentes? (Arquivo Meta)	10c	10c
		- Verificar Utilização de Rádios de Comunicação	20c	10c
		Quarta e VirtúDWOR - O quadro de Quarta e Virtú está atualizado O-S?	50c	25c
		- O DWOR é enviado diariamente ao coordenador?	10c	0c
		- A métrica de indicadores está disponível? (Conceito e Fórmula de Célula).	20c	10c
		- Realizar entrevista com o colaborador e coordenador sobre os indicadores da quadro de quarta e virtú. O colaborador tem conhecimento dos indicadores? O coordenador sabe como contribuir para atingir a meta?	20c	10c
		KanBan/Materiais - Verificar ponto de reparação dos Kan-ban - itens obsoletos de mínima evidência e utilização do material em falta.	25c	10c
		- Os itens estão identificados com etiquetas padrão?	25c	10c
		- Correta organização de Kan-ban.	25c	10c
		- Verificar presença de material em identificação.	25c	10c
		Meta Extra - Adesão à meta de hora extra.	50c	25c
		- Verificar se houve Extrapolação de Jornada.	50c	25c
		Ferramentaria - Existem ferramentas avariadas nas células?	10c	10c
		- Foi comunicada ao coordenador sobre a ferramenta avariada?	10c	10c
		- Existe Plano de ação para tratamento da ferramenta avariada?	10c	10c
		Evidência de inventário atualizado - Os checklist dos inventários de todas as ferramentas das células.	10c	0c
		Organização 5S - As ferramentas estão organizadas nas células?	10c	5c
		- Existem outros itens que não deveriam estar dentro do armário de ferramentas das células?	10c	0c
		Armário para produtos químicos com contagem a FISPQ disponível - Todos os produtos estão identificados?	10c	0c
		- A FISPQ dos Produtos Químicos está disponível?	10c	0c
		- As quantidades dos consumíveis são mínimas e máximas estabelecidas nas etiquetas?	10c	0c
		Auditoria das ferramentas das células - O checklist de auditoria das ferramentas das células está sendo feito diariamente?	10c	0c
EXECUÇÃO E CONTROLE (20 pontos)	48%			

FONTE: O autor

Os resultados das auditorias, realizadas a partir da semana 59, podem ser vistos na Figura 62. Para cada critério que não atingiu o resultado esperado, foi criado um plano de ação, para que os problemas fossem resolvidos no menor prazo possível.

Nota-se a grande dificuldade de se atingir o valor estabelecido como meta. Os principais obstáculos observados são relacionados a disciplina necessária para manter as documentações das ações em andamento atualizadas e os postos de trabalhos nos padrões estabelecidos. Como o resultado demonstra, com a disciplina dos envolvidos, foi possível evoluir no intervalo de algumas semanas para um patamar bem próximo da meta estabelecida.

FIGURA 62 - RESULTADOS DAS AUDITORIAS



FONTE: O autor

4.9.3. Resultados da etapa

A Etapa 6 tem como objetivo fornecer ao processo as condições para estabilizar os resultados a longo prazo. Para conseguir esse resultado, foram aplicadas duas ferramentas. A primeira ferramenta foi a criação de procedimentos operacionais que forneciam aos operadores as instruções de forma clara e precisa do que deve ser executado em cada etapa das atividades. Essa ferramenta permitiu que os operadores executassem as atividades de forma padrão, dentro do tempo estipulado pela engenharia.

A segunda ferramenta, que é a auditoria das técnicas aplicadas até essa etapa, foi responsável por manter os padrões definidos para rotina dos líderes, execução e treinamentos dos operadores. Os critérios da auditoria foram estipulados de tal forma que as ferramentas deveriam ter com pelo menos 85% de aplicação aderente aos padrões para que fossem considerados satisfatórios. Apesar de ser possível notar

uma evolução dos resultados no decorrer do tempo, os critérios eram tão severos que não houve, até o final do projeto, uma auditoria em que a nota fosse maior que a meta estipulada, porém, mesmo não atingindo a nota estipulada, as auditorias foram responsáveis por manter a disciplina das ferramentas e direcionar as ações de correção no chão de fábrica. Um fator que foi relevante para esse resultado foi a importância dada aos resultados das auditorias pela gerência da oficina.

4.10. ETAPA 7 – REAVALIAR O SISTEMA

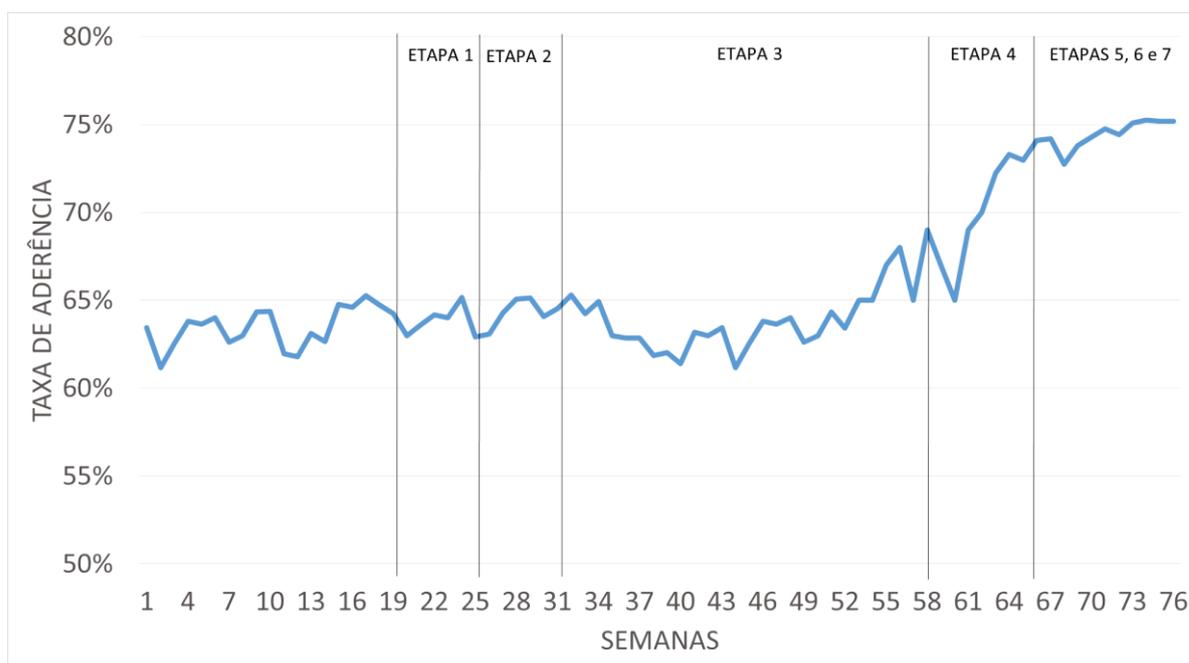
Por final, conforme será demonstrado adiante com os resultados dos indicadores, a integração das filosofias culminou em melhorias significativas no fluxo de valor. A restrição foi removida e sua variabilidade foi reduzida e nesta etapa serão apresentados os seguintes resultados:

- a) Indicadores de Aderência a Cesta Básica e Quantidade de Locomotivas Aguardando peças;
- b) Indicadores de Performance e Taxa de Utilização;
- c) Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro.

4.10.1. Indicadores de aderência a cesta básica e quantidade de locomotivas aguardando peças

A satisfação do cliente pode ser medida por meio do indicador da aderência a Cesta Básica (FIGURA 63), é possível notar que houve um aumento no valor médio de atendimento, principalmente a partir da metade da Etapa 4. Nas últimas semanas do projeto, a média desse indicador foi de 74,59%, que é um valor 18% melhor do que a média antes da aplicação da integração.

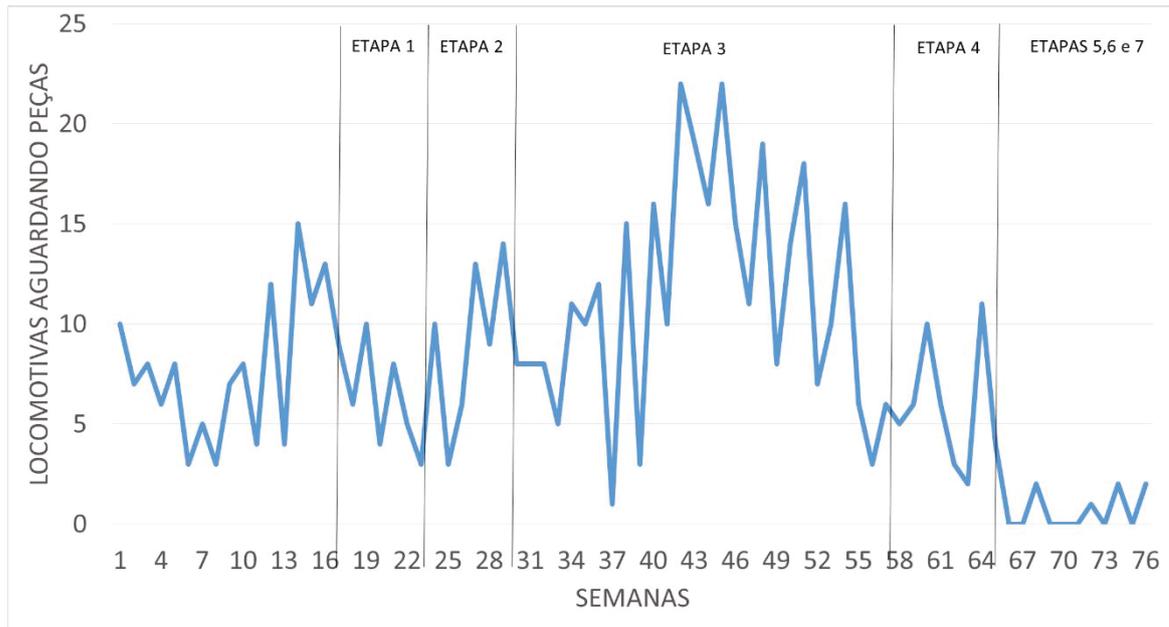
FIGURA 63 - RESULTADOS DO INDICADOR DE CESTA BÁSICA



FONTE: O autor

O impacto esperado pelo melhor atendimento a CB deve ser a redução de ativos imobilizados, que estariam esperando os MTs para serem liberados. Conforme pode ser visto na Figura 64, com a melhora do indicador de Atendimento a Cesta Básica, houve uma redução significativa na quantidade de locomotivas aguardando peça, comparando as médias antes e depois do projeto, tem-se uma redução de 7,72 para 0,70 locomotivas. Esse resultado superou em muito a meta proposta no *Project Charter*, que era a redução de 50% da média de locomotivas antes do início do projeto.

FIGURA 64 - RESULTADO DO INDICADOR DE LOCOMOTIVAS AGUARDANDO PEÇAS



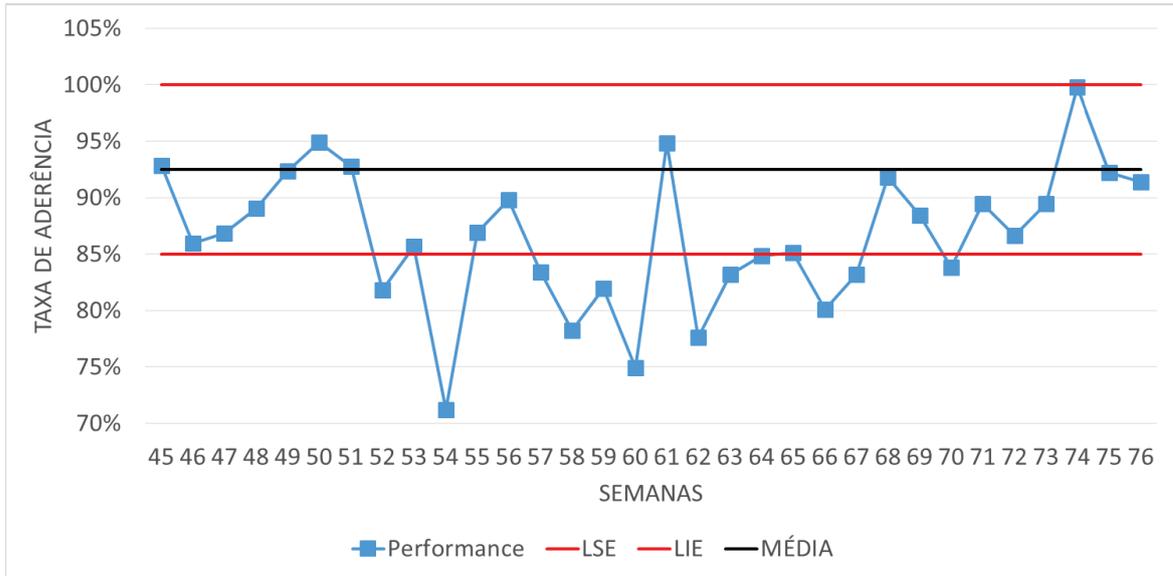
FONTE: O autor

Ao analisar os resultados descritos anteriormente, é notório a melhoria dos dois indicadores, portanto é possível concluir que houve melhora no atendimento aos clientes do fluxo do Motor de Tração. A redução drástica de locomotivas aguardando MTs foi causada pelo aumento dos níveis de estoque, que por sua vez, foi melhorado por conta do aumento da produtividade da oficina, como será demonstrado.

4.10.2. Resultado dos indicadores de performance e taxa de utilização

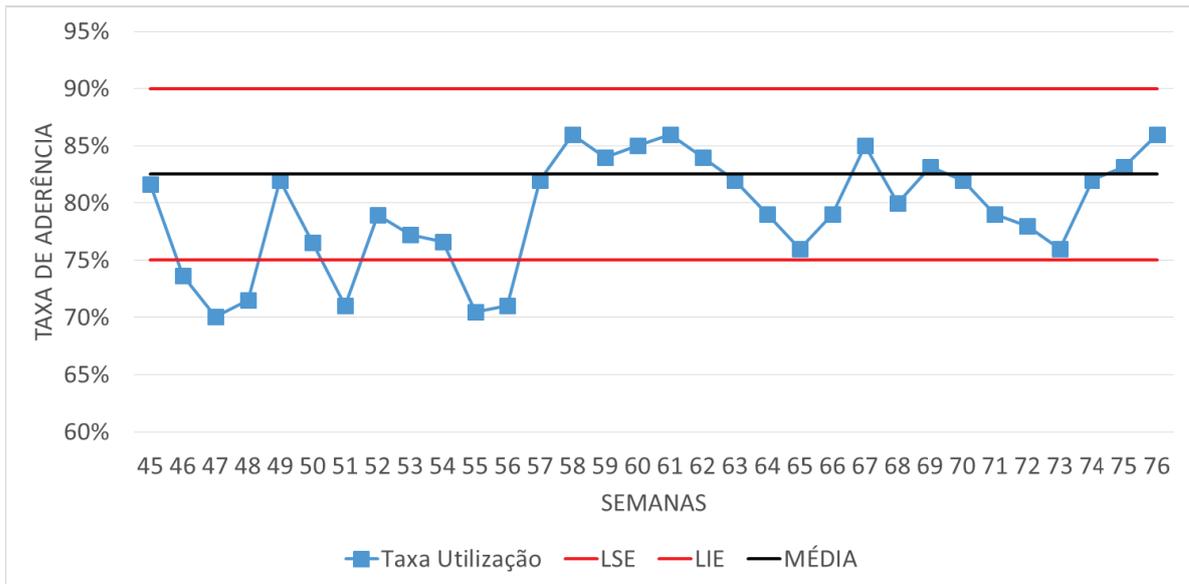
As cartas de controle dos indicadores de Performance e da Taxa de Utilização podem ser vistas nas Figuras 65 e 66. Para o indicador de Performance, não houve melhoria significativa dos valores médios, ao se comparar os valores de antes e depois da implementação do projeto, respectivamente 86,30% e 87,81%, e em relação ao valor do desvio padrão, também não houve melhora (TABELA 11). De forma diferente, o indicador de Taxa de Utilização aumentou sua média para 80,74%, mediante a uma média anterior ao projeto de 37,77%. Os indicadores de capacidade do processo também evoluíram em um nível maior para a Taxa de Utilização do que para a Performance.

FIGURA 65 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR PERFORMANCE



FONTE: O autor

FIGURA 66 - CARTA DE CONTROLE DO INDICADOR TAXA DE UTILIZAÇÃO



FONTE: O autor

TABELA 11 - DADOS DOS INDICADORES DE PERFORMANCE E TAXA DE UTILIZAÇÃO

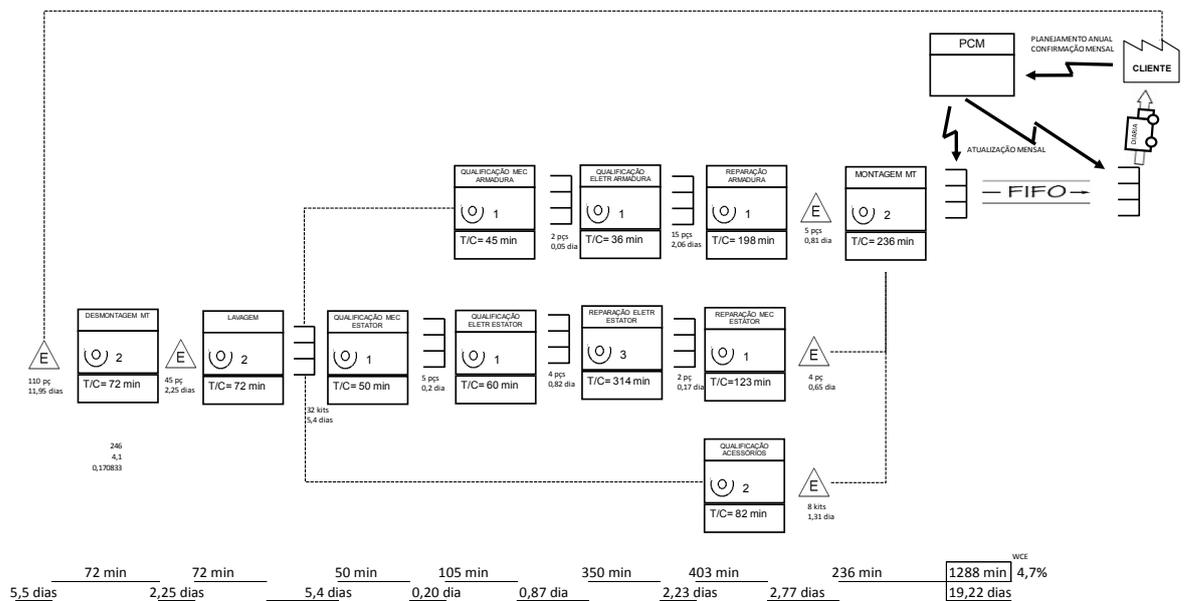
PARÂMETRO	PERFORMANCE		TX UTILIZAÇÃO	
	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS
MÉDIA	86,30%	87,81%	37,77%	80,74%
DESVIO PADRÃO	0,039	0,051	0,063	0,031
LSE	100%		90%	
LIE	85%		75%	
Cp	0,63	0,49	0,40	0,81
Cpk	0,11	0,18	-1,98	0,61

FONTE: O autor

4.10.3. Mapeamento do fluxo de valor do estado futuro

O Mapeamento do Fluxo de Valor Estado Futuro foi construído considerando as mudanças implementadas durante as etapas da integração. As informações relacionadas ao fluxo das informações do PCM e aos intervalos de atendimento logísticos se mantiveram sem alterações. Dentro do mapeamento (FIGURA 68), pode-se notar uma mudança entre os processos de desmontagem, qualificação e reparação, que são os estoques limitadores e indicadores de produção (*kanban*) que foram implementados. O VSM é apresentado no APÊNDICE II.

FIGURA 67 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO MT DO ESTADO FUTURO



FONTE: O autor

Considerando os novos valores de *lead time* total da cadeia, que foi reduzido para 19,22 dias (anteriormente o valor era 34,45 dias), e o tempo das atividades que agregam valor (WCE), que foi calculado em 4,7% (em comparação ao valor anterior de 3,2%), é possível dizer que houve uma melhora no fluxo como um todo. Em porcentagem, o *leadtime* foi reduzido em 44% e o WCE foi aumentado em 47%. Vale a pena ressaltar que ainda há oportunidades para melhoria dos dois indicadores.

5 CONCLUSÕES

Ao analisar os resultados da aplicação da integração das três filosofias, nos indicadores de atendimento ao cliente, de performance do fluxo e do VSM, é possível concluir que a integração forneceu um sequenciamento lógico de aplicações de ferramentas das três filosofias que, ao final, permitiu melhorar os resultados operacionais. Portanto, a presente pesquisa conseguiu, de maneira satisfatória, responder a seguinte questão:

- *Qual é a influência da aplicação do modelo de integração da Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta e Seis Sigma nos resultados operacionais de uma oficina ferroviária de manutenção de componentes de locomotivas?*

A influência nos resultados foi positiva, pois a melhora nos indicadores aconteceu de tal forma que as metas estabelecidas na Etapa 1 foram superadas. Também é possível concluir que, apesar de não ser um modelo de integração amplamente conhecido e de ter sido inicialmente concebido para operações de manufatura (PIRASTEH, 2006), existe um grande potencial para sua aplicação em outros tipos de operações, como foi o caso desse estudo.

A cada etapa foi possível identificar os benefícios e as dificuldades que o modelo de integração oferece. Inicialmente ficou claro que é necessário envolver os gestores do fluxo a ser trabalhado de forma a obter o apoio necessário para realizar todas as atividades, essa constatação está em concordância com Cleto e Quinteiro (2010), que afirmam que é essencial elaborar um *Project Charter* que contenham os nomes dos envolvidos e as datas de finalização de cada etapa, como forma de se ter o apoio necessário para execução do projeto.

Outro fator, identificado como crítico para o sucesso do projeto, é a barreira da falta de conhecimento das ferramentas propostas pelos integrantes do projeto. Segundo Albliwi *et al* (2014), se faz necessário que os envolvidos nos projetos de melhoria conheçam as ferramentas que serão aplicadas. Como maneira de superar essa barreira, pode-se indicar o acréscimo de uma etapa no modelo de integração, cujo objetivo seja a capacitação dos colaboradores.

Dentre as ferramentas aplicadas, pode-se destacar a utilização do VSM, que segundo Rother e Shook (2003), fornece dados precisos de desperdícios do fluxo estudado. Houve receio por parte do autor sobre utilizar o VSM em um fluxo com

atividades de manutenção, porém, conforme Faulkner e Badurdeen (2014) demonstram, apesar do VSM ser uma ferramenta conhecida e aplicada extensivamente em ambientes produtivos, ela pode ser aplicada em operações de outra natureza. Nessa pesquisa, o VSM permitiu identificar de maneira eficiente os pontos a serem melhorados no fluxo e, junto com o *Takt Time*, direcionou a aplicação das melhorias no fluxo.

Durante a injeção de melhoria, ao se deparar com a necessidade de implementar várias ações simultaneamente, foi possível constatar que seria de grande valia adicionar ferramentas de gestão de projetos ao modelo de integração. Os aspectos de gestão de projetos mais críticos foram o gerenciamento de riscos, prazos e orçamentos.

Na etapa final da integração, ao se aplicar o controle dos indicadores do processo foi claro a importância de escolher os indicadores que realmente sejam relevantes ao processo, conforme orientam Arienti *et al* (2016). Outro fator identificado como crítico foi a padronização das atividades operacionais que, de acordo com Dettmer (2001), é a base para a manufatura enxuta e torna os processos estáveis e previsíveis. Da mesma maneira que o estudo de Mercado (2014), foram aplicadas algumas ferramentas de manufatura enxuta que não foram especificadas exatamente por Pirasteh e Fox (2010) no modelo de integração, por exemplo, a Melhoria do *Layout*, *Checklists* de tarefas e Auditoria das ferramentas, porém, essas ferramentas cumpriram de maneira satisfatória as funções que cada uma delas tinham nas etapas em que foram aplicadas.

Ao final da pesquisa, mediante os resultados obtidos durante a execução da integração, é possível afirmar que esse modelo de integração melhorou os indicadores do fluxo, reduzindo os desperdícios e as variações. As melhorias do fluxo que aconteceram durante o projeto de pesquisa, apesar de ainda não ser possível comprovar pela falta de dados, possuem a tendência de se manter no médio e longo prazo, mediante a disciplina em executar o monitoramento dos indicadores-chave e a velocidade em reagir ao se enfrentar os problemas no processo produtivo. Também foi possível constatar que o modelo pode receber algumas modificações, para facilitar os trabalhos durante as etapas e aumentar a possibilidade de atingir o resultado esperado no final.

Ao estudar a aplicação de um modelo pouco conhecido de integração da Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta e Seis Sigma em um ambiente ferroviário, essa

pesquisa contribuiu para a área de estudo da Engenharia de Produção, ao acrescentar registros científicos de uma metodologia que permite aumentar a produtividade, e consequentemente, a competitividade das organizações em nosso país. Outro fator de contribuição relevante é o estudo relacionado a ferrovias que, conforme a revisão bibliográfica realizada pelo autor, ainda é muito pequena no Brasil.

Esse projeto de pesquisa foi de grande relevância para o autor, que pode adquirir experiência e conhecimento, mediante a obstáculos que foram superados. Quanto a sugestões de trabalhos futuros, seria de grande importância aplicar o modelo de integração em operações de diferentes naturezas e até mesmo em ambientes não operacionais, para ser possível comparar os resultados e verificar o quanto esse modelo é flexível. Por fim, seria recomendado aplicar as mudanças sugeridas pelo autor em trabalhos futuros, para se verificar se essas mudanças resultariam em menores dificuldades de aplicação do modelo de integração.

REFERÊNCIAS

- ABEPRO. **Áreas da Engenharia de Produção**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>. Acesso em: 31 mar. 2016
- ALBLIWI, Saja; ANTONY, Jiju; LIM, Sarina; WIELE, Ton. Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 31, n. 9, p. 1012-1030, 2014.
- ANDRIETTA, João Marcos; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 14, n. 2, p. 203-219, 2007.
- ANTF. **Balanco do transporte ferroviário 2014**. <http://www.antf.org.br/images/2015/informacoes-do-setor/numeros/balanco-do-transporte-ferroviario-de-2014-v130815.pdf>. 2015. Acesso em: 15 ago. 2016.
- ANTONY, Jiju; BANUELAS, Ricardo. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. **Measuring business excellence**, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002.
- ARIENTE, Marina; CASADEL, Marco; GIULIANI, Antonio; SPERS, Eduardo; PIZZINATO, Nadia . Processo de mudança organizacional: estudo de caso do Seis Sigma. **Revista da FAE**, v. 8, n. 1, 2016.
- ARMSTRONG, John H. **The Railroad: What it is, What it Does. The Introduction to Railroading**. 1990.
- BAYKUT, Mert. **Evaluation of Lean Systems in Rail Maintenance Operations**. 2011. Dissertação de Mestrado. Cleveland State University.
- BHASIN, Sanjay; BURCHER, Peter. Lean viewed as a philosophy. **Journal of manufacturing technology management**, v. 17, n. 1, p. 56-72, 2006.
- BOYACK, Kevin W.; KLAVANS, Richard; BÖRNER, Katy. Mapping the backbone of science. **Scientometrics**, v. 64, n. 3, p. 351-374, 2005.
- BURTON-HOULE, Tracey. **The theory of constraints and its thinking processes**. Disponível em: <http://logispark.com/data/toctpwhitepaper.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- CAMPOS, Cesar Augusto. **Desenvolvimento e aplicação de um método para implementação de sistemas de produção enxuta utilizado os processos de raciocínio da teoria das restrições e o mapeamento do fluxo de valor**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CHANDRA, Satish. **Railway engineering**. Oxford University Press, Inc., 2008.

CLETO, Marcelo Gechele; QUINTEIRO, Leandro. Gestão de projetos por meio do DMAIC: um estudo de caso na indústria automotiva. **Revista Produção Online**, v. 11, n. 1, p. 210-239, 2010.

CNA, **Boletim Agronegócio Internacional**. Disponível em: http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/boletim-agronegocio-internacional-n8_0.pdf. 2015. Acesso em: 15 ago. 2016.

COELI, Carla Costa. **Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte**. 2004. Dissertação de Mestrado. UFRJ.

COGAN, Samuel. **Contabilidade gerencial: uma abordagem da teoria das restrições**. Saraiva, 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração da produção e operações, manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. Atlas, 2004.

COSTAS, José; PONTE, Borja; FUENTE, David; PINO, Raúl; PUCHE, Julio. Applying Goldratt's Theory of Constraints to reduce the Bullwhip Effect through agent-based modeling. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 4, p. 2049-2060, 2015.

DETTMER, H. William. Goldratt's theory of constraints: a systems approach to continuous improvement. **ASQ Quality Press**, 1997.

DETTMER, H. William. Beyond Lean manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for higher performance. **Goal System International**. Port Angeles, WA, USA, 2001.

DINMOHAMMADI, Fateme; ALKALI, Babakalli; SHAFIEE, Mahmood; BÉRENGUER, Christophe; LABIBI, Ashraf. Risk evaluation of railway rolling stock failures using FMECA technique: a case study of passenger door system. **Urban Rail Transit**, p. 1-18, 2016.

ECKES, George. **A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. Campus, 2001.

EHIE, Ike; SHEU, Chwen. Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.16, n 5, p. 542-553, 2005.

EMD - Electro-Motive Diesel. **EMD Locomotive Service Manual - RFFSA**. 1986.

FAULKNER, William; BADURDEEN, Fazleena. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. **Journal of cleaner production**, v. 85, p. 8-18, 2014.

FELD, William. **Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them**. CRC Press, 2000.

FOLARON, Jim. **The evolution of six sigma**. 2003.

FOLLMANN, Neimar. **Adaptação da Teoria das Restrições à operação de empresas de transporte de cargas fracionadas**. 2009. Dissertação de Mestrado. UFSC.

GEORGE, Michael. **Lean Six Sigma: combining Six Sigma with Lean Production Speed**. Ohio: MCGraw-Hill, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 61, 2002.

GIUNTINI, Norberto; GIORGI, Wanny; PIZOLATO, Célia; XAVIER, José. **Teoria das Restrições: uma nova forma de “ver e pensar” o gerenciamento empresarial**. Laboratório de Desenvolvimento Profissional, 2002.

GOLDRATT, Eliyahu; COX, Jeff. **The goal: excellence in manufacturing**. North River Press. 1984.

GOLDRATT, Eliyahu; FOX, Robert. **The race**. North River Press. 1986.

GOLDRATT, Eliyahu. **It's not luck**. North River Press. 1994.

GOLDRATT, Eliyahu. **A Meta: um processo de aprimoramento contínuo**. São Paulo. Nobel, 2002.

GOLDRATT, Eliyahu. **TOC insights into finance and measurements**. New York. Goldratt's Marketing Group, 2004.

GOLMOHAMMADI, Davood. A study of scheduling under the theory of constraints. **International Journal of Production Economics**, v. 165, p. 38-50, 2015.

HANI, Yasmina; AMODEO, Lionel; YALAOUI, Farouk; CHEN, Haoxun. Ant colony optimization for solving an industrial layout problem. **European Journal of Operational Research**, v. 183, n. 2, p. 633-642, 2007.

HAPEMAN, Martin J.; LONG, James; PLETTE, David L. Diesel Electric Locomotive Propulsion Systems-A Look into the Future. **IEEE transactions on industry applications**, n. 3, p. 495-501, 1986.

HARNDEN, Philip D. Integrating Lean and Six Sigma and AIRSpeed within the NAVAIR 4.1. **Organizational Improvement Efforts**. White Paper. Commonwealth Centers for High Performance Organizations, 2004.

HARRY, Mikel J.; SCHROEDER, Richard. **Six sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. Broadway Business, 2005.

HINES, Peter; HOLWEG, Matthias; RICH, Nick. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. **International journal of operations & production management**, v. 24, n. 10, p. 994-1011, 2004.

HINES, Peter; RICH, Nick. The seven value stream mapping tools. **International journal of operations & production management**, v. 17, n. 1, p. 46-64, 1997.

HINES, Peter; TAYLOR, David. **Guia para implementação da manufatura enxuta: lean manufacturing**. São Paulo: IMAM, 2000.

JACOB, Dee; BERGLAND, Suzan; COX, Jeff. **Velocity: Combining Lean, Six Sigma and the Theory of Constraints to achieve breakthrough performance - A business novel**. Simon and Schuster, 2009.

JIN, K; ABDUL, H; ELKASSABGI, Y; ZHOU, H; HERRERA, A. Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma in Manufacturing Process Improvement. **World Academy Science, Engineering and Technology**, n.49, p.550-554, 2009.

KUMAR, Sameer; SOSNOSKI, Michael. Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 58, n. 3, p. 254-273, 2009.

LATIN, MOST. **Face-to-Face with productivity**. Finance & Development, p. 17, 2011.

LAUREANI, Alessandro; ANTONY, Jiju. Standards for lean six sigma certification. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 61, n. 1, p. 110-120, 2011.

LETROUVE, T; LHOMME, W; POUGET, J; BOUSCAYROL, A. Different hybridization rate of a diesel-electric locomotive. **Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) - IEEE**, 2014. p. 1-6.

LI, Hong-Chang; RONG, Chao-He; SONG, De-Xi. Applicability and Methods of Lean Production in Railway Transportation Organization: A Case Study of Urumqi Railway Bureau in China. **International Journal of Railway**, v. 1, n. 2, p. 45-58, 2008.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Bookman Editora, 2016

LYNCH, Donald P.; BERTOLINO, Suzanne; CLOUTIER, Elaine. How to scope DMAIC projects. **Quality progress**, v. 36, n. 1, p. 37-41, 2003.

MARTINS, Petrônio Garcia. LAUGENI Fernando P. **Administração da produção**, v. 2, 2001.

MARTINEZ-JURADO, Pedro J.; MOYANO-FUENTES, Jose. Key determinants of lean production adoption: evidence from the aerospace sector. **Production Planning & Control**, v. 25, n. 4, p. 332-345, 2014.

MARCHWINSKI, Chet; SHOOK, John (Ed.). **Léxico lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. Lean Institute Brasil, 2003.

McADAM, Rodney; LAFFERTY, Brendan. A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change?. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 5, p. 530-549, 2004.

McLEAN, Richard; ANTONY, Jiju. Why continuous improvement initiatives fail in manufacturing environments? A systematic review of the evidence. **International**

Journal of Productivity and Performance Management, v. 63, n. 3, p. 370-376, 2014.

MERCADO, Carlos Ignácio Navarro. **O modelo iTLS tm-integração da teoria das restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: análise da aplicação do iTLS tm na redução do Lead Time em uma cadeia de valor em multinacional no Brasil**. 2014. Dissertação de mestrado. UFPR

MOYER, Neil E.; THOMPSON, Louis S. **Options for reshaping the railway**. World Bank Publications, 1992.

NAVE, Dave. How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. **Quality Progress**, v. 35, n. 3, p. 73, 2002.

NOREEN, Eric; SMITH, Debra; MACKEY, James T. **Theory of Constraints and Its Implications for Management Accounting: A Report on the Actual Implementation of The Theory of Constraints**. North River Press, Incorporated, 1995.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção Além Da Produção**. Bookman, 1997.

PACHECO, Diego; MACHADO, Leonardo; JUNG, Carlos; TEN CATEN, Carla. Investigando o uso da mineração de dados nos processos de gestão da qualidade total: um estudo de caso na indústria. **Espacios (Caracas)**, v. 34, p. 1-11, 2013.

PANDE, Peter; NEUMAN, Robert; CAVANAGH, Roland. **The Six Sigma way team fieldbook: An implementation guide for process improvement teams**. McGraw Hill Professional, 2001.

PANDE, Peter; NEUMAN, Robert; CAVANAGH, Roland. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Qualitymark Editora Ltda, 2007.

PINHEIRO, Mauricio Canêdo; FIGUEIREDO, Paulo N. Por que é tão necessário o fortalecimento da competitividade industrial do Brasil? E qual é o papel da produtividade e da capacidade tecnológica inovadora? **Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series**, n. 1, 2015.

PINHEIRO, Thiago Henrique; SCHELLER, Alisson Christian; MIGUEL, Paulo A. Cauchick. Integração do seis sigma com o lean production: uma análise por meio de múltiplos casos. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 4, p. 1297-1324, 2013.

PIRASTEH, R. **Effects of Combined Approach of Theory Of Constraints, Lean and Six Sigma on Process Improvement**. 2006. Tese de Doutorado. Kennedy Western University.

PIRASTEH, R. M.; FARAH, K. S. Continuous improvement trio, The top elements of TOC, lean, and six sigma (TLS) make beautiful music together. **APICS Magazine article**, 2006.

PIRASTEH, R.; FOX, R. E. **Profitability With no Boundaries: Focus, reduce waste, contain variability, optimize TOC, Lean, Six Sigma Results**. Wisconsin: ASQ Quality Press, 2010.

PUENTE, Javier et al. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 19, n. 2, p. 137-150, 2002.

PYZDEK, T.; KELLER, P. **The six sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels**. 2003.

RAHMAN, Shams-ur. Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 4, p. 336-355, 1998.

RAHMAN, Shams-ur. The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 32, n. 10, p. 809-828, 2002.

RAMANI, Karthik et al. Integrated sustainable life cycle design: a review. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 9, p. 091004, 2010.

REFORM, Railway. **Toolkit for Improving Rail Sector Performance**. Washington, DC, The World Bank, 2011.

REID, Richard A.; CORMIER, James R. Applying the TOC TP: a case study in the service sector. **Managing Service Quality: An International Journal**, v. 13, n. 5, p. 349-369, 2003.

ROCKY MOUNTAIN RAIL AUTHORITY. **High-Speed Rail Feasibility Study Executive Summary – APENDIX 7: Operating Costs**. Disponível em: <<http://rockymountainrail.org/documents/RMRAExecutiveSummary-FINAL.pdf>>. Acesso em: 05/03/2017.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. **Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício: manual de trabalho de uma ferramenta enxuta**. Lean Institute Brasil, 2003.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de: desde ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2ª Ed porto alegre. Artmed 1996.

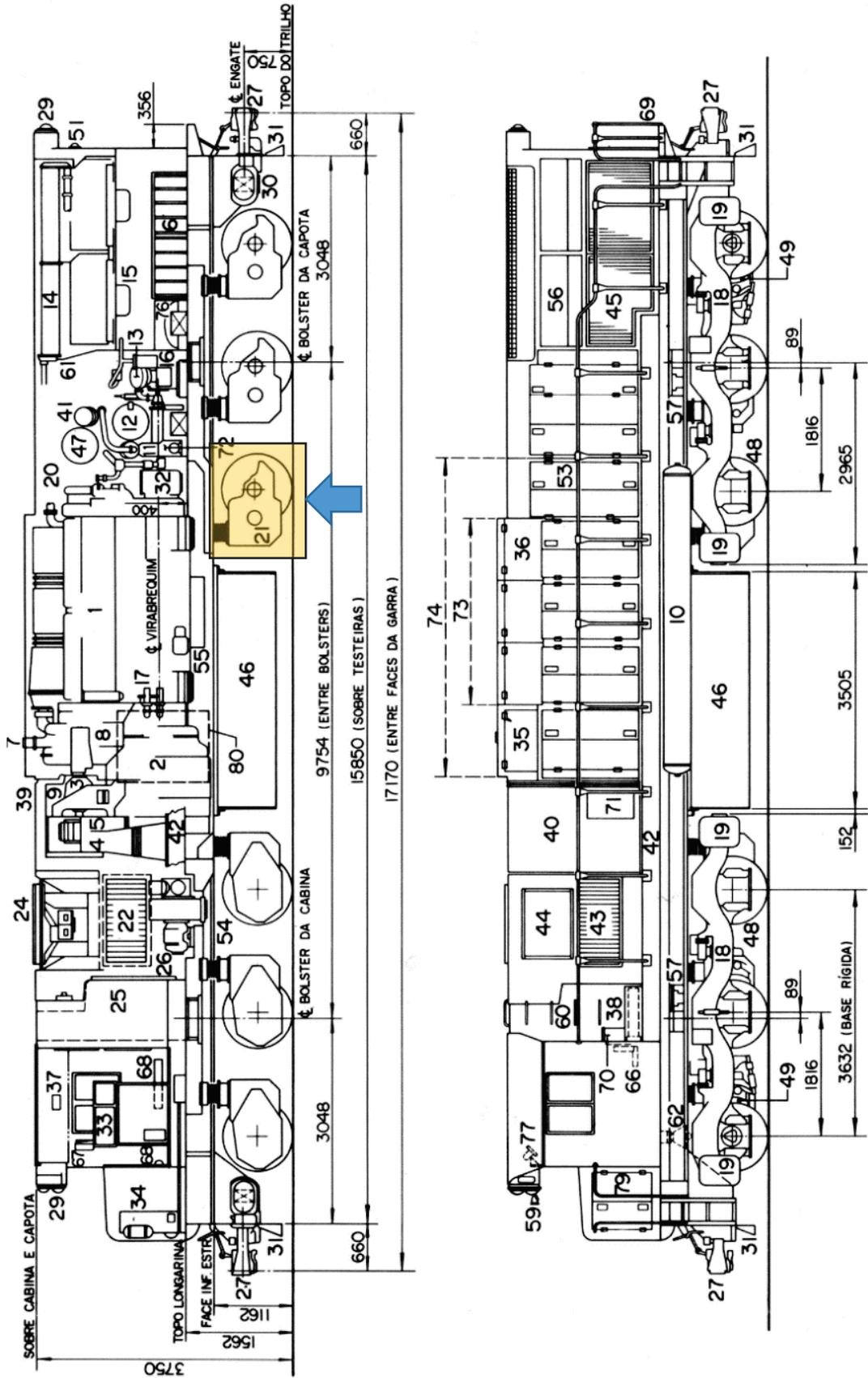
SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, v. 123, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. Atlas, 2009.

SLATER, Robert. **Jack Welsh and the GE Way: Management Insights and Leadership: Secrets of the Legendary CEO**. 1998.

- SNEE, Ronald D. Guest Editorial. **Quality Engineering**, v. 12, n. 3, p. IX-XIV, 2000.
- SPEAR, Steven; BOWEN, H. Kent. Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard business review**, v. 77, p. 96-108, 1999.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-Ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.
- WANDERLEY, Carlos; COGAN, Samuel. Árvore da realidade atual (ARA), diagrama de dispersão de nuvem (DDN) e árvore da realidade futura (ARF): aplicação em uma bateria de escola de samba do carnaval carioca. **ConTexto**, v. 12, n. 21, p. 41-58, 2012.
- WANG, Yanhong; CAO, Jun; KONG, Lixin. Hybrid Kanban/Conwip control system simulation and optimization based on theory of constraints. In: **Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009. ICIS 2009. IEEE International Conference on**. IEEE, 2009. p. 666-670.
- WATSON, Kevin J.; BLACKSTONE, John H.; GARDINER, Stanley C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. **Journal of operations Management**, v. 25, n. 2, p. 387-402, 2007.
- WERKEMA, Cristina. **Lean seis sigma: Introdução às ferramentas do lean manufacturing**. 2012.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **Machine that changed the world**. Simon and Schuster, 1990.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Lean thinking: Banish waste and create wealth in your organisation**. Simon and Shuster, New York, NY, v. 397, 1996.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A máquina que mudou o mundo**. Gulf Professional Publishing, 2004.
- YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Bookman editora, 2015.

ANEXO I – VISTA EM CORTE DE UMA LOCOMOTIVA DIESEL ELÉTRICA



1	- Motor Diesel 12-645E3B		
2	- Gerador-Alternador-AR10-D18		
3	- Gerador Auxiliari CA 18 kW		
4	- Soprador dos Motores de Tração		
5	- Soprador do Alternador		
6	- Baterias		
7	- Tubo de Escape		
8	- Turboalimentador		
9	- Filtro de Ar do Motor Diesel		
10	- Reservatório Principal de Ar		
11	- Resfriador de Óleo Lubrificante		
12	- Filtro de Óleo Lubrificante		
13	- Compressor de Ar MLNA9G		
14	- Radiadores		
15	- Ventiladores Ø48"		
16	- Filtro de Ar do Compressor		
17	- Motores de Arranque		
18	- Truque - 3 Eixos - GHC		
19	- Caixa de Areia		
20	- Governador		
21	- Motor de Tração D31		
22	- Filtro de Inércia		
23	- Limpador de Pára-Brisa		
24	- Freio Dinâmico		
25	- Armário Elétrico		
26	- Motor e Exaustor da Caixa de Pó		
27	- Engate Tipo F		
28	- Caixa de Números		
29	- Farol		
30	- Aparelho de Choque e Tração		
31	- Limpa Trilhos		
32	- Filtro de Penelras		
33	- Estante de Comando		
34	- Equipamento de Freio 26L		
35	- Escotilha do Turboalimentador		
36	- Portas de Acesso ao Motor Diesel		
37	- Luz da Cabina		
38	- Filtro de Ar do Armário Elétrico		
39	- Partição do Compartimento do Motor		
40	- Cobertura do Soprador dos Motores de Tração		
41	- Filtro Primário de Combustível		
42	- Duto de Ar do Motor de Tração		
43	- Entrada do Filtro de Inércia		
44	- Entrada de Ar do Freio Dinâmico		
45	- Entrada de Ar dos Radiadores		
46	- Tanque de Combustível - 7000 Lts.		
47	- Reservatório de Água do Motor Diesel		
48	- Rodas Ø40"		
49	- Sapata de Freio		
50	- Acesso ao Compartimento de Ar Limpo		
51	- Luzes de Classificação		
52	- Portas da Cabina		
53	- Corrimão da Passarela		
54	- Descarga de Ar do Exaustor de Pó		
55	- Câter Padrão		
56	- Acesso aos Radiadores e Ventiladores		
57	- Suportes do Macaco		
58	- Acesso as Baterias		
59	- Buzina		
60	- Escada		
61	- Partição do Compartimento dos Radiadores		
62	- Sino		
63	- Freio de Mão		
64	- Lubrificador de Flange		
65	- Assento do Maquinista		
66	- Assento do Auxiliari		
67	- Velocímetro Registrador		
68	- Aquecedor da Cabina - 4,5 kW		
69	- Plataforma de Acesso Capota Longa		
70	- Caixa de Ferramentas		
71	- Janela de Inspeção do Gerador		
72	- Bomba de Combustível		
73	- Escotilha do Motor		
74	- Capota Removível		
75	- Resistências do Freio Dinâmico		
76	- Recarregador		
77	- Ventilador		
78	- Cabo de Interligação - Jumper		
79	- Acesso ao Equipamento de Freio 26L		
80	- Estante de Equipamentos e Acessórios do Motor Diesel		

APÊNDICE II – VSM ESTADO FUTURO

