

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Efigênio Rodrigues da Costa Júnior

REDUÇÃO DAS HORAS COM A
MANUTENÇÃO CORRETIVA DOS
MOTORES DIESEL A PARTIR DE
AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE: UMA
PESQUISA-AÇÃO NO RAMO DE
MINERAÇÃO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção como requisito à obtenção do título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Emerson José Paiva, Dr.

Itabira

Junho de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Efigênio Rodrigues da Costa Júnior

REDUÇÃO DAS HORAS COM A
MANUTENÇÃO CORRETIVA DOS
MOTORES DIESEL A PARTIR DE
AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE: UMA
PESQUISA-AÇÃO NO RAMO DE
MINERAÇÃO

Banca examinadora em 24 de junho de 2020, conferindo ao autor o título de Mestre Profissional em Engenharia de Produção.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Pedro José Papandrea (UNA Pouso Alegre)

Prof. Dra. Ana Carolina Oliveira Santos (UNIFEI)

Prof. Dr. Emerson José de Paiva (Orientador)

Itabira

Junho de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação pessoal e profissional para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, minha mãe Núzia, meu pai Efigênio, minha irmã Nambíria e minha sobrinha Isabella pelas orações, base dos meus ensinamentos e por fazerem minha vida ter mais sentido.

Ao gestor na Vale, Rodrigo Félix, pelo incentivo, confiança e oportunidade de desenvolvimento.

Ao gestor Mauro Cabral, pela oportunidade de desenvolvimento do projeto na sua área.

Ao colega Junio Oliveira, pela parceria e contribuição na pesquisa.

Ao colega e orientador Seis Sigma Fábio Lucas, pelas orientações durante a implementação do projeto.

Aos colegas Flávio Mata e Getúlio Mascarenhas, pela oportunidade de participar do projeto de redução no gasto na aquisição do óleo lubrificante.

Ao meu orientador, prof. Dr. Emerson José de Paiva, pelas orientações, direcionamentos, competência, paciência e conselhos durante o curso.

A prof.^a. Dra. Ana Carolina Oliveira Santos, pela formação e contribuições acadêmicas durante o curso.

Aos membros da banca, prof. Dr. Pedro José Papandrea, Dra. Ana Carolina Oliveira Santos e Dr. Emerson José de Paiva, por participarem nesta defesa e colaborarem para a discussão e conclusão do trabalho.

Ao CNPq, CAPES, FAPEMIG e GEQProd, pelo apoio nesta pesquisa.

RESUMO

A fim de obter vantagens competitivas, as organizações buscam rever suas estratégias, de forma a garantir a produção com custos reduzidos, sem, no entanto, comprometer a qualidade. No âmbito das empresas de mineração, a produção pode ser comprometida se não houver confiabilidade dos equipamentos utilizados, principalmente, em se tratando de caminhões fora-de-estrada. Para garantir a confiabilidade desses equipamentos, o planejamento e controle da manutenção tem-se destacado estrategicamente nessas organizações, visando ao equilíbrio entre confiabilidade e custos de manutenção. E, na busca por esse equilíbrio, diversos estudos têm apontado as vantagens de se implementar a metodologia Seis Sigma para reduzir variabilidade, incrementar os níveis de confiabilidade e garantir a disponibilidade dos ativos. Nesse contexto, este trabalho buscou reduzir o número de horas com a manutenção corretiva dos motores diesel dos equipamentos fora-de-estrada, por meio da aplicação de ferramentas da metodologia Seis Sigma e avaliação de confiabilidade de processo, a partir de um ciclo de pesquisa-ação, baseado nos conceitos do mapa de raciocínio na condução de projetos desse porte. Iniciou-se pela definição do problema, realizando-se o levantamento do histórico das falhas corretivas nos motores e estratificando-se os possíveis fatores que pudessem interferir na sua confiabilidade. Em seguida, estabeleceram-se as causas, as ações necessárias para eliminá-las ou mitigá-las, registrando-se os resultados. A fim de se verificar a efetividade dos resultados, a metodologia utilizada foi replicada em um processo de manutenção das carregadeiras L1850 para redução dos custos na aquisição do óleo lubrificante. Os resultados demonstraram os benefícios da utilização das ferramentas da metodologia Seis Sigma, combinada com análise de confiabilidade, pela significativa redução dos defeitos nos motores diesel, dos custos com manutenção corretiva e preditiva, além da redução dos custos com a aquisição do óleo lubrificante.

Palavras chaves: Manutenção; manutenção centrada na confiabilidade; Seis Sigma; mapa de raciocínio.

ABSTRACT

In order to obtain competitive advantages, organizations seek to review their strategies in order to guarantee production at reduced costs, without, however, compromising quality. Within mining companies, production may be compromised if the equipment used is not reliable, especially when it comes to haul trucks. To guarantee the reliability of this equipment, maintenance planning and control has been strategically highlighted in these organizations, aiming at the balance between reliability and maintenance costs. And, in the search for this balance, several studies have pointed out the advantages of implementing the Six Sigma methodology to reduce variability, increase the levels of reliability and ensure the availability of assets. In this context, this work sought to reduce the number of hours with corrective maintenance of diesel engines for off-road equipment, through the application of Six Sigma methodology tools and process reliability assessment, based on a research cycle. -action, based on the concepts of the reasoning map in conducting projects of this size. It started by defining the problem, surveying the history of corrective engine failures and stratifying possible factors that could interfere with their reliability. Then, the causes were established, the necessary actions to eliminate or mitigate them, recording the results. To verify the effectiveness of the results, the methodology used was replicated in a maintenance process for L1850 loaders to reduce costs in the acquisition of lubricating oil. The results demonstrated the benefits of using the Six Sigma methodology tools, combined with reliability analysis, due to the significant reduction in defects in diesel engines, the costs with corrective and predictive maintenance, in addition to the reduction in costs with the purchase of lubricating oil.

Keywords: *Maintenance; reliability-centered maintenance; Six Sigma; reasoning map.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de implementação do RCM.....	23
Figura 2 – Diagrama de Pareto	30
Figura 3 – Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)	30
Figura 4 – Histograma	31
Figura 5 – Representação da carta de controle.....	32
Figura 6 – <i>Box-plot</i> para um único conjunto de dados.....	36
Figura 7 – Fases de implementação do FMDS.....	40
Figura 8 – Etapas de implementação do ciclo de pesquisa-ação.....	43
Figura 9 – Estágios para acompanhamento e desenvolvimento do projeto.....	44
Figura 10 – Matriz SWOT referente aos anos 2017 a 2019	45
Figura 11 – A3 estratégico referente aos anos 2017 a 2019	46
Figura 12 – Comportamento do indicador de DF de jan/16 a abr/17	48
Figura 13 – Comportamento do indicador de HM	49
Figura 14 – Relação preventiva x corretiva.....	50
Figura 15 – Número de falhas por defeito com manutenção corretivas.....	50
Figura 16 – Número de horas por defeito com manutenção corretivas.....	51
Figura 17 – Horas corretivas nos motores diesel.....	51
Figura 18 – Evolução histórica de defeitos nos motores diesel.....	52
Figura 19 – Análise do indicador do projeto	53
Figura 20 – Análise do indicador do projeto	53
Figura 21 – Análise do número de falhas através da carta de controle U	54
Figura 22 – Definição da meta através dos Quartis.....	55
Figura 23 – Definição da meta utilizando 50% da lacuna.....	56
Figura 24 – Comportamento do tempo médio entre as falhas.....	56
Figura 25 – Gráfico de Pareto para priorização dos focos de atuação	59
Figura 26 – <i>Box-plot</i> dos focos de atuação.....	60
Figura 27 (a) – Carta U dos focos de atuação: Mangote de Admissão	61
Figura 27 (b) – Carta U dos focos de atuação: Filtro Secundário	61
Figura 27 (c) – Carta U dos focos de atuação: Parafuso	61
Figura 28 – Diagrama de Ishikawa para identificação das causas prováveis.....	64
Figura 29 – Matriz de priorização das causas prováveis	65
Figura 30 – Relatório técnico para avaliação em campo.....	66
Figura 31 – Comportamento do número de defeitos nos motores diesel	69
Figura 32 – Falhas nos motores antes, durante a após a implementação do projeto	70
Figura 33 – Comportamento das falhas através do <i>Box-plot</i>	70
Figura 34 – Relatório de desempenho do processo	71
Figura 35 – Comportamento do foco de atuação filtro secundário	73
Figura 36 – Indicador de MTBF no período do projeto	73
Figura 37 – Indicador de horas corretivas nos motores diesel	74
Figura 38 – Método prático para Solução de Problemas: 8 Passos.....	75
Figura 39 – Consumo de óleo hidráulico carregadeira L1850	76

Figura 40 – Análise de capacidade do processo	77
Figura 41 – Método da lacuna para definição da meta geral.....	78
Figura 42 – Estratificação dos equipamentos com maior consumo de óleo.....	79
Figura 43 – <i>Box-plot</i> do foco de atuação 3	79
Figura 44 – <i>Box-plot</i> do foco de atuação 5	80
Figura 45 – <i>Box-plot</i> do foco de atuação 6	80
Figura 46 – Carta de controle relativa ao foco de atuação 3	81
Figura 47 – Carta de controle relativa ao foco de atuação 5	81
Figura 48 – Carta de controle relativa ao foco de atuação 6	82
Figura 49 – Metas específicas para cada foco de atuação 3	82
Figura 50 – Metas específicas para cada foco de atuação 5	83
Figura 51 – Metas específicas para cada foco de atuação 6	83
Figura 52 – FMEA para identificação das causas	84
Figura 53 – Diagrama de causa e efeito para identificação das causas	85
Figura 54 – Consumo de óleo hidráulico carregadeira L1850	88
Figura 55 – Consumo de óleo hidráulico durante o projeto	89
Figura 56 – Comportamento do consumo de óleo.....	90
Figura 57 – Relatório de desempenho do processo	91
Figura 58 – Meta específica - foco 3	91
Figura 59 – Meta específica - foco 5	92
Figura 60 – Meta específica - foco 6	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – As 5 Etapas cíclicas do DMAIC.....	27
Quadro 2 – Interpretação da carta de controle para causas especiais.....	32
Quadro 3 – Matriz SWOT	38
Quadro 4 – Classificação da pesquisa e justificativas de escolhas.....	42
Quadro 5 – Cronograma inicial do projeto de Seis Sigma	47
Quadro 6 – Estratificação das falhas nos motores diesel.....	58
Quadro 7 – Lista das causas comprovadas	86
Quadro 8 – Lista das causas comprovadas	87
Quadro 9 – Plano de ação para acompanhamento das ações.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala Sigma versus Defeitos por milhão	25
Tabela 2 – Interpretação da carta de controle para causas especiais	34
Tabela 3 – Interpretação dos valores de Z-bench	35
Tabela 4 – Nível sigma do processo	54
Tabela 5 – estatística descritiva do número de defeitos	55
Tabela 6 – Comportamento do tempo médio entre as falhas	57
Tabela 7 – Avaliação dos focos de atuação	60
Tabela 8 – Definição das metas específicas através dos quartis.....	63
Tabela 9 – Cumprimento das metas específicas <i>versus</i> meta geral.....	63
Tabela 10 – Estatística descritiva para seleção das causas prováveis	66
Tabela 11 – Priorização das possíveis soluções	67
Tabela 12 – Plano de ação para implementação das melhorias.....	68
Tabela 13 – Resultado na fase de verificação do número de defeitos.....	69
Tabela 14 – Relatório de desempenho do processo.....	71
Tabela 15 – Número de defeitos em relação ao nível sigma.	72
Tabela 16 – Alcance das metas específicas.....	72
Tabela 17 – Estatística descritiva do método dos quartis para definição da meta geral.....	77
Tabela 18 – Definição da meta do projeto.....	78
Tabela 19 – Estatística descritiva do foco de atuação 3	79
Tabela 20 – Estatística descritiva do foco de atuação 5	80
Tabela 21 – Estatística descritiva do foco de atuação 3	80
Tabela 22 – Relatório de desempenho do processo.....	90
Tabela 23 – Definição do ganho no projeto	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCO	Centro de Controle da Operação
Desv Pad	Desvio Padrão
DF	Disponibilidade Física
DMAIC	<i>Define-Measure-Analyze-Improve-Control</i>
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
FMDS	<i>Floor Management Development System</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
GE	<i>General Electric</i>
HC	Hora calendário
HM	Hora de Manutenção
HMC	Hora Manutenção Corretiva
HMPREV	Hora de Manutenção Preventiva
HMPROG	Hora de Manutenção Programada
HT	Horas Trabalhadas
l/ht	Litros por Hora Trabalhada
LIC	Limite Inferior de Controle
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSC	Limite Superior de Controle
LSE	Limite Superior de Especificação
MCC	Manutenção centrada na confiabilidade
MR	Mapa de raciocínio
MTBF	Tempo Médio Entre as Falhas
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PDCA	<i>Plan-Do-Check_Action</i>
PPM	Partes por milhão

Q1	Primeiro Quartil
Q3	Terceiro Quartil
RCM	<i>Reliability Centred Maintenance</i>
ROM	<i>Run Of Mine</i>
SWOT	<i>Strenghts- Weaknesses- Oportunitties- Threats</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO	17
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	19
2.2.1 Manutenção preventiva.....	20
2.2.2 Manutenção corretiva.....	20
2.2.3 Manutenção preditiva.....	20
2.2.4 Planejamento e controle da manutenção	21
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE - MCC.....	22
2.4 METODOLOGIA SEIS SIGMA	24
2.5 FERRAMENTAS DO MÉTODO SEIS SIGMA.....	29
2.5.1 Mapa de Raciocínio	29
2.5.2 Diagrama de Pareto.....	29
2.5.3 Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)	30
2.5.4 Histograma.....	31
2.5.5 Cartas de controle	31
2.5.6 Avaliação da Capacidade de Processos	32
2.5.7 <i>Box-plot</i>	35
2.5.8 <i>Brainstorming</i>	36
2.5.9 Matriz de priorização	36
2.5.10 Teste de hipótese.....	37
2.5.11 Ferramenta A3	37
2.5.12 SWOT	38
2.5.13 FMDS.....	40

2.5.14 FMEA (<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>)	40
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	42
4. DESENVOLVIMENTO	44
4.1 ESTÁGIO 1 – DEFINIÇÃO DO CONTEXTO E PROPÓSITO	44
4.2 ESTÁGIO 2 – PLANEJAMENTO E ESTRUTURAÇÃO	47
4.2.1 Objeto de estudo	47
4.2.2 Definição do problema	47
4.3 ESTÁGIO 3 – PLANEJAMENTO, COLETA E VALIDAÇÃO DOS DADOS	51
4.3.1 Avaliação preliminar dos dados de manutenção	51
4.3.2 Histórico do Indicador	52
4.3.3 Definição da meta e ganho do projeto	54
4.3.4 Análise do fenômeno	57
4.3.4.1 <i>Definição e análise dos focos de atuação</i>	57
4.3.4.2 <i>Definição das metas específicas</i>	62
4.4 ESTÁGIO 4 – ANÁLISE, PLANO DE AÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO	64
4.4.1 Análise do processo	64
4.4.2 Elaboração e implementação do plano de ação	67
5. ESTÁGIO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1 ALCANCE DA META GLOBAL	68
5.2 ALCANCE DAS METAS ESPECÍFICAS	72
5.3 PADRONIZAÇÃO	74
6. DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO	75
6.1 ETAPA DEFINIR	75
6.2 ETAPA MEDIR	78
6.3 ETAPA ANALISAR	83
6.4 ETAPA MELHORAR	86
6.4 ETAPA CONTROLAR	88
7. CONCLUSÃO	93

7.1 LIMITAÇÕES DO PROJETO.....	96
7.2 SUGESTÕES PARA PROJETOS FUTUROS.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
APÊNDICE A – GRÁFICOS DE PARETO PARA A PRIORIZAÇÃO DOS FOCOS DE ATUAÇÃO.....	104
APÊNDICE B – CARTAS U DOS FOCOS DE ATUAÇÃO QUE NÃO APRESENTARAM CAUSAS ESPECIAIS.....	107
APÊNDICE C – ARTIGOS SUBMETIDOS EM CONGRESSOS E PERIÓDICOS.....	109
APÊNDICE D – CERTIFICAÇÃO ESPECIALISTA SEIS SIGMA.....	113
APÊNDICE E – PARTICIPAÇÃO BANCA AVALIADORA DO TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO.....	114
APÊNDICE F – PARTICIPAÇÃO NA FEIRA DE ESTÁGIOS EM ENGENHARIAS DE ITABIRA.....	116

1. INTRODUÇÃO

Em um mercado competitivo, é necessário que as organizações reformulem suas estratégias para sustentar suas vendas e lucros, buscando oferecer produtos com preços justos, alta qualidade, melhores desempenho e entrega (COSTA JUNIOR *et al.*, 2018). Dentre essas estratégias, destaca-se a manutenção, que deixou, há tempos, de atuar apenas corretivamente, para focar na prevenção e previsão de falhas, conforme Viana (2014), respondendo diretamente pela disponibilidade e confiabilidade dos ativos e qualidade dos produtos.

Para Viana (2014), deve-se estabelecer uma política de manutenção clara, pautada na estratégia determinada, considerando, não somente as formas de execução do Plano de Manutenção estabelecido, como também, todas as variáveis envolvidas no processo, como análise das recomendações do fabricante, segurança do trabalho e meio ambiente, características do equipamento ou máquina e fatores econômicos.

Compreende-se que as organizações, principalmente de grande porte precisam estruturar o processo de gestão da manutenção, buscando a estabilização dos resultados, suportando a eficiência e disponibilização dos equipamentos.

Assim, faz-se necessário compreender os diversos modelos de manutenção utilizados nas organizações, a fim de que se escolha aquela que melhor se alinha ao planejamento estratégico. Um modelo que vem apresentando contundentes resultados é a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), traduzido da expressão em inglês *Reliability Centred Maintenance* – (RCM), que segundo Ghorani *et al.* (2015), busca encontrar um equilíbrio entre a confiabilidade do sistema e os custos de manutenção.

É esperado que exista um acompanhamento dos indicadores que monitoram o desempenho dos equipamentos críticos para a implementação do MCC. A instabilidade dos indicadores e a não rastreabilidade dos dados que avaliam a performance do processo impactam negativamente na implementação do MCC (CERVEIRA e SELLITTO, 2015).

Para reduzir a variabilidade, estabelecer a rastreabilidade das informações, na busca pela confiabilidade e assegurando o cumprimento dos requisitos dos clientes, o método Seis Sigma pode ser implementado dentro do processo de manutenção (YSSAAD e ABENE, 2018).

Geralmente implementado nas organizações com o intuito de operacionalizar a estratégia de melhoria, os projetos conduzidos sob essa filosofia devem estar alinhados com os objetivos do negócio, contribuindo para o desempenho dos critérios competitivos. Do ponto de vista operacional, o Seis Sigma impulsiona a redução da variabilidade e dos defeitos, o aumento da capacidade, e a melhoria contínua dos processos (SANTOS e MARTINS, 2008).

Para Werkema (2012), o Seis Sigma se apresenta como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, com o objetivo de aumentar a lucratividade das empresas, por meio da melhoria dos processos e qualidade dos produtos, além de aumentar a satisfação dos clientes e consumidores.

Do ponto de vista das organizações de grande porte, a implementação da metodologia Seis Sigma pode representar relevantes ganhos, tanto com a redução dos fatores de desperdício quanto na redução dos custos operacionais ou, como demonstrado por esta pesquisa, de manutenção, à ordem dos milhões de reais.

Havendo o comprometimento de todos os níveis da organização, os projetos pautados no Seis Sigma implementam, de forma eficaz, as ferramentas que permitem que grande parte dos problemas possam ser resolvidos ou, no mínimo, mitigados. Tais projetos são implementados com foco naqueles problemas considerados críticos para a organização e imprescindíveis ao atendimento dos requisitos dos clientes, já que buscam maior qualidade pelo menor preço, concentrando os esforços no que realmente agregará valor ao produto ou serviço, eliminando as fontes de desperdício, como esperas, retrabalho e verificações desnecessárias.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Seis Sigma é uma metodologia relativamente recente, que busca a obtenção de melhorias em termos de qualidade, produtividade e custos, influenciando a lucratividade da organização. Algumas empresas apresentaram resultados expressivos através da aplicação do Seis Sigma, como, General Electric (GE), Sony, Samsung e Motorola (ANDRIETTA e MIGUEL, 2007). Os autores relataram que a GE obteve um rendimento operacional de 19% no ano de 2000, sendo que, até aquele momento, a empresa havia atingido um rendimento operacional de 10%, acumulado nos seus 111 anos de existência, registrando uma economia de mais de US\$1,5 bilhão. No Brasil, o Grupo Brasmotor é o caso mais conhecido, sendo considerada a primeira empresa com tecnologia nacional a aplicar o Seis Sigma e aferindo, em 1999 – dois anos após a implementação do programa – ganhos da ordem de R\$ 20 milhões (WERKEMA, 2002a).

A empresa objeto desse estudo é uma organização de grande porte do ramo minerário, atuando nos mercados nacional e internacional. Devido ao seu porte, diversos setores da organização apresentavam oportunidades para implementação da filosofia Seis Sigma, como o de “operação”, onde se busca a redução da variabilidade da especificação dos produtos, ou, ainda, a “expedição”, responsável pela gestão logística ferroviária e de portos. Dentre os setores elegíveis, e considerando o volume de equipamentos utilizados, o de manutenção foi

considerado como um dos que impactavam de forma relevante o orçamento da organização, restringindo sua competitividade organizacional. Havia um apelo da alta gestão em reduzir os custos desse setor, em especial quanto à redução do número de defeitos em motores diesel dos equipamentos fora de estrada, crucial para a atividade fim da organização.

Os métodos empregados até o momento, já não estavam fornecendo os resultados necessários e era imperativo que se buscassem novas técnicas, ferramentas e metodologias de melhoria de seus processos.

Assim, mostrou-se necessário aprimorar o processo de manutenção, implementando-se ferramentas capazes de mapear claramente os problemas existentes, selecionar de forma criteriosa os projetos mais relevantes, estabelecer o planejamento estratégico e operacional, além de definir metas de curto prazo factíveis e confiáveis.

O breve histórico aqui relatado corrobora com a visão de que a metodologia Seis Sigma é aplicável, pois possui um conjunto de ferramentas adequado às necessidades levantadas e que pode gerar resultados satisfatórios quanto à redução de desperdícios e custos do setor de manutenção.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do projeto é reduzir o número de horas com a manutenção corretiva nos motores diesel dos equipamentos fora de estrada. Com a redução, espera-se uma performance mais efetiva dos equipamentos.

Para suportar esse objetivo principal, estabeleceram-se como objetivos específicos:

- Demonstrar a aplicação da metodologia Seis Sigma na redução do número de defeitos no processo de manutenção corretiva;
- Analisar as vantagens e desvantagens da utilização do mapa de raciocínio na condução do projeto de Seis Sigma;
- Apresentar a metodologia de Pesquisa-Ação sugerida por Coughlan e Coghlan e as formas para a sua correta aplicação, gerando conhecimento tácito a cerca desta metodologia;
- Apresentar, a partir dos resultados obtidos, um plano de manutenção eficiente, capaz de aumentar a confiabilidade dos motores diesel;
- Replicar o projeto de Seis Sigma em outro processo para avaliar a efetividade de aplicação do método.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Um trabalho aqui apresentado, não tem a pretensão de esgotar todas as alternativas possíveis para a solução dos problemas oriundos de um plano de manutenção ineficiente ou, até mesmo, inexistente. Portanto, a presente pesquisa foi conduzida, respeitando-se as seguintes limitações:

- a) Apenas um projeto, escolhido segundo critérios estabelecidos, dentre todos os elegíveis, foi objeto de investigação da aplicação da metodologia Seis Sigma;
- b) Foram escolhidos os caminhões Fora de Estrada de apenas uma Mina da organização objeto de estudo;
- c) Apesar da sua importância à alta administração, a avaliação do produto final da organização, depois de implementadas as ferramentas Seis Sigmas, não constituiu escopo do presente trabalho.
- d) A pesquisa conduzida seguiu a metodologia de Pesquisa-Ação sugerida por Coughlan e Coughlan, com a aplicação de apenas 1 ciclo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação contempla a aplicação do método Seis Sigma em uma empresa do ramo de mineração, na busca pela redução das horas com a manutenção corretiva dos motores diesel dos equipamentos fora de estrada e está organizada em 6 capítulos.

No capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre o cenário da manutenção e a aplicação do Seis Sigma para resolução de problemas, justificando a aplicação do projeto. O capítulo contempla os objetivos, justificativas e limitações do trabalho.

No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica, que serve de fundamento para a presente dissertação. Abordados o histórico da manutenção e as principais estratégias aplicadas e a manutenção centrada em confiabilidade. Na sequência, descreve-se a metodologia Seis Sigma e as principais ferramentas utilizadas durante o projeto.

O terceiro capítulo descreve o método de trabalho que foi desenvolvido. Apresentado o método de trabalho a partir de 1 ciclo da Pesquisa-Ação, proposto por COUGHLAN e COUGHLAN (2002).

O quarto capítulo descreve as etapas do ciclo da pesquisa-ação com a implementação da metodologia do Seis Sigma seguindo as etapas do DMAIC. São apresentados os critérios para de seleção do projeto, bem como o estudo detalhado do problema escolhido. Foram aplicadas as fases DMAIC, onde se identificaram as principais causas, sobre as quais foram conduzidas ações apropriadas para se reduzirem os defeitos nos motores.

O quinto capítulo expõe os resultados alcançados e registram o aprendizado do projeto, ressaltando-se os ganhos para a organização e para o meio acadêmico, com os resultados alcançados.

O sexto capítulo apresenta o desenvolvimento e os resultados da replicação do Método Seis Sigma em um outro problema identificado pela organização.

O sétimo capítulo apresenta os comentários finais quanto à metodologia Seis Sigma, aplicada à manutenção dos equipamentos fora de estrada. Por fim, apresentam-se as conclusões do trabalho, além de recomendações para futuros projetos como continuidade do trabalho desenvolvido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente trabalho descreve quais foram as atividades realizadas para que um problema considerado relevante à organização pudesse ser mitigado e cujos resultados alcançados pudessem ser continuamente monitorados. É óbvio que um projeto dessa magnitude apresentaria dificuldades e exigiria grande esforço da equipe envolvida. Entretanto, as dificuldades poderiam ser contornadas, se houvesse o entendimento de todos quanto à filosofia implementada, ao conjunto de ferramentas disponível e que o processo de manutenção também fosse de conhecimento de todos.

Assim, buscando identificar na literatura as melhores práticas para solução de problemas desse porte descreve-se a seguir a fundamentação teórica pesquisada para a efetiva implementação das soluções propostas.

2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

A literatura apresenta diversas definições para o termo “manutenção”, mas com elementos comuns na identificação do conceito e sua função.

Ferreira (1997), apresenta a manutenção como uma ação ou efeito de manter ou manter-se; ação de sustentar e/ou conservar.

Na identificação de um conceito técnico, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, definiu manutenção como uma combinação de ações técnicas e administrativas, atribuídas a manter ou recolocar em condições de execução um item, em um estado no qual possa desempenhar uma função (ABNT, 1994).

De acordo com Monchy (1987), o termo manutenção teve a sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era a manutenção das unidades de combate e o material num nível constante de aceitação.

Dhillon (2006), definiu manutenção como as ações necessárias para conservação ou restauração do ativo, para uma condição satisfatória. Entretanto, esse conceito não estabelece qual a condição satisfatória do ativo.

Conforme Kardec e Nasfic (2009), apresentam um conceito mais completo ao afirmarem que a manutenção precisa assegurar a confiabilidade e disponibilidade física, zelando pela segurança, meio-ambiente e com custos adequados.

Observa-se que a manutenção tem grande importância na evolução da humanidade, desde a conservação dos objetos e ferramentas de trabalho, como as primeiras ferramentas de caça, agricultura e as moradias (SILVA, 2012).

Com a Revolução Industrial do século XVIII, houve um aumento dos volumes de produção, com grande avanço tecnológico, e a manutenção teve a sua importância dentro da indústria (WIREBSK, 2007). No período, quem projetava as máquinas, treinava os empregados para as operarem e manutenirem. Até então, o operador era o mantenedor – mecânico, mas interviam nas máquinas apenas quando era necessário (COSTA, 2013).

A revolução industrial e a primeira guerra mundial deram espaço à expansão das tarefas de manutenção emergenciais. Já à época da segunda guerra mundial, conceitos de disponibilidade e produtividade já eram mais explorados e levaram à chamada manutenção preventiva e, posteriormente, aos modernos tipos de manutenção (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

Nesse contexto, identificam-se quatro etapas que explicam e qualificam a evolução das atividades de manutenção em máquinas (MOUBRAY, 1997):

Primeira Etapa – até a Segunda Guerra Mundial: até este período a indústria era pouco mecanizada, havendo apenas a existência de equipamentos simples e superdimensionados, cuja manutenção não era considerada fundamental. As atividades limitavam-se a corretivas, executadas após uma falha ou defeito e rotinas operacionais como limpeza, controle e lubrificação (SIQUEIRA, 2009).

Segunda Etapa – da Segunda Guerra Mundial até a década de 1960: período marcado pela grande demanda de produtos, serviços e pela escassez de mão-de-obra especializada. Houve um aumento significativo da mecanização das indústrias e da complexidade das instalações, sendo necessárias ações planejadas e o surgimento de sistemas de controle, fatores que criaram uma expectativa em relação à confiabilidade e disponibilidade das instalações e máquinas, marcando o início da estratégia de antecipação das falhas.

Terceira Etapa – da década de 1970 até o ano 2000: mudanças aceleradas devido à evolução tecnológica e ao surgimento de ferramentas específicas de trabalho, proporcionando nova visão sobre o tratamento de falhas e novas técnicas de análise. Os sistemas começaram a trabalhar com uma maior precisão, exigindo maior assertividade da disponibilidade e confiabilidade das instalações, visando à elevação dos padrões de produtividade e de qualidade.

Quarta Etapa – a partir do ano 2000: o surgimento de sistemas inteligentes, apoiados pela tecnologia da informação, proporcionou às empresas a gestão dos riscos das atividades de manutenção, apoiada na confiabilidade humana, mediante treinamentos específicos, levando a tomadas de decisões baseadas na gestão de ativos. Buscaram-se novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade e confiabilidade.

Observa-se que a manutenção passou a ser vista como estratégica no processo produtivo, respondendo diretamente pela disponibilidade e confiabilidade dos ativos e qualidade dos produtos (SILVA, 2012), evitando a degradação dos equipamentos e instalações. A degradação pode se manifestar por diversas formas, desde a aparência dos equipamentos, até perdas de desempenhos e paradas de produção (ERKOYUNCU *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2017).

Nesse sentido de garantir a disponibilidade dos equipamentos, coube à manutenção prevenir e evitar as falhas, ao invés de, simplesmente, corrigi-las.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Atualmente, o estabelecimento de uma estratégia eficiente estará atrelado ao método ou combinação de métodos que a empresa adotar. Para definição, alguns pontos são importantes, como as recomendações dos fornecedores e/ou fabricantes, a segurança dos empregados e equipamentos, os coeficientes econômicos, dentre outros (VIANA, 2014).

Rodrigues *et al.* (2017) afirmam que há limitações como recursos, orçamentos e tempos de manutenção, que precisam ser considerados para se determinar a estratégia de manutenção. Para isso, é necessário definirem-se os parâmetros que serão otimizados antes da implantação de algum tipo de manutenção.

Para aplicação efetiva e monitoramento da estratégia de manutenção, os principais indicadores são: taxas de falha, disponibilidade, confiabilidade, custos de manutenção, custo total, taxa de degradação e taxa de utilização do componente ou equipamento (WANG, 2012; RODRIGUES *et al.*; 2017).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2017); Herpich *et al.* (2013); Alrabghi; Tiwari; Savill (2017), existem três tipos básicos de manutenção: manutenção preventiva (prevenção das

falhas), manutenção corretiva (correção das falhas) e manutenção preditiva. A escolha do tipo de manutenção deve ser estratégica para que resulte no bom desempenho dos equipamentos.

2.2.1 Manutenção preventiva

A NBR-5462 (1994), define a manutenção preventiva como sendo a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

Segundo Viana (2014), a manutenção preventiva é o trabalho realizado em intervalos de tempo pré-estabelecidos, seguindo orientações prescritas, principalmente pelos fabricantes, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falha ou pane do ativo. Tem como objetivo a identificação de falhas potenciais e defeitos, antes da ocorrência, evitando a degeneração dos sistemas e confiabilidade desejados. Espera-se a manutenção do funcionamento, a partir de tarefas periódicas que incluem: inspeções e verificação das condições, serviços de operação, atividades de calibração e ajustes, alinhamentos, testes, reparos e substituições de componentes.

2.2.2 Manutenção corretiva

A NBR-5462 (1994) define como manutenção corretiva a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

A manutenção corretiva tem o objetivo de corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema em um curto espaço de tempo (PINTO e XAVIER, 2001). A corretiva significa uma parada não programada da produção dos equipamentos. Normalmente, os recursos não estão preparados para realização desse tipo de manutenção.

Filho (2008) divide a manutenção corretiva em corretiva planejada, em que o reparo ou a remoção da falha é realizado em data posterior à ocorrência da falha, e a corretiva não planejada ou de emergência, onde a reparo ocorre imediatamente à ocorrência da falha. As consequências da utilização dessa estratégia de manutenção são a degradação das instalações e sistemas, a redução da vida útil, o alto custo devido a paradas não planejadas, além de danos em processos ou equipamentos secundários. Esse tipo de manutenção é aceitável quando os riscos são pequenos e monitorados (FILHO, 2008; KARDEC e NASCIF, 2009; PAPIC *et al.*, 2009; SULLIVAN *et al.*, 2004).

2.2.3 Manutenção preditiva

A NBR-5462 (1994) estabelece a manutenção preditiva como sendo a manutenção “[...] permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de

técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”.

Considerando-se que se adote um Plano de Manutenção, onde sessões de manutenção preventiva estejam programadas e que as paradas para manutenções corretivas sejam mitigadas ou inexistentes, deve-se, também, considerar paradas para outro tipo de manutenção: a preditiva, ou seja, ocorrências de paradas dos equipamentos para inspeção das condições dos equipamentos. Para Batista *et al* (2014), a manutenção preditiva contempla as inspeções periódicas nos equipamentos para medir pressão, ruídos, temperatura, entre outros fatores.

Consiste nas ações de acompanhamento ou monitoramento das condições do sistema, dos parâmetros operacionais e a eventual degradação, sendo efetuada por meio de medições ou inspeções que não interfiram na operação do sistema (FILHO, 2008).

A diferença fundamental entre a manutenção preventiva e manutenção preditiva, é que a preventiva é realizada a partir de um intervalo predeterminado, enquanto a preditiva requer a verificação em intervalos predeterminados das condições. A ação de manutenção é realizada apenas se a inspeção mostrar necessidade (BARAN, 2011; BLOCH e GEITNER, 2005).

Baran (2011) estabelece que a escolha do método dependerá de razões técnicas e econômicas, podendo-se selecionar um método isolado ou uma mescla dos três. Um programa de manutenção eficaz será alcançado através de uma combinação apropriada, a partir de vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de manutenção existentes.

2.2.4 Planejamento e controle da manutenção

Os acompanhamentos dos tipos de manutenção são realizados através da área de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Para o Ströher (2012), o PCM é fundamental para a execução correta dos diferentes tipos de manutenção, atribuindo ainda a administração das informações e análises de resultados. As informações auxiliam os gerentes de produção e de manutenção nas tomadas de decisões estratégicas relativas à gestão de ativos e de produção, assim como, na definição do cronograma de paradas.

O PCM é responsável pela identificação dos serviços que serão executados; quais os recursos humanos necessários; qual o tempo será necessário para realização dos serviços; quais os custos; quais materiais serão aplicados; que máquinas, dispositivos e ferramentas serão utilizados (SOUZA, 2008).

Segundo Branco Filho (2008), o PCM em uma organização consolidam o ciclo de gerenciamento de manutenção, definindo e mantendo os indicadores de desempenho, atualizando a documentação técnica dos equipamentos e máquinas e formando a relação de

sobressalentes; atualização dos planos de manutenção; revisam o cadastro de ordens de serviço sistemáticas; fiscalização do cumprimento dos planos; acompanhamento do backlog; entre outras atividades de manutenção do processo de manutenção.

Com a correta implantação do PCM, as tarefas serão executadas com qualidade e agilidade, desgastando menos o efetivo e permitindo que os equipamentos fiquem mais tempo disponíveis para a produção.

2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE - MCC

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), ou em inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), é outra abordagem para a manutenção, estabelecida no final da década de 60, orientada inicialmente para a indústria aeronáutica, com o propósito de direcionar os esforços da manutenção para componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental. Seu principal objetivo é garantir o desempenho, a segurança e preservação do ambiente a um melhor custo-benefício (MOUBRAY, 1997; BARAN, 2011).

A MCC tem sido, até agora, comprovadamente um gerenciamento de manutenção eficaz em diferentes indústrias. Políticas de manutenção estratégica deixam de avaliar o número excessivo de manutenções que ocorrem nos equipamentos, independentemente de sua contribuição para o desempenho de confiabilidade geral. O MCC, busca encontrar um equilíbrio entre o desempenho de confiabilidade do sistema e os custos de manutenção (GHORANI *et al.*, 2015).

Além da introdução de novos conceitos, a MCC apresenta um novo direcionamento para a manutenção em relação ao modelo tradicional, embasando as suas ações em novos objetivos (GARZA, 2002). A MCC visa evitar ou reduzir as consequências e os efeitos significantes de uma falha sobre o processo, priorizando as necessidades da produção e não do componente ou equipamento de maneira isolada.

Espera-se com a implantação da MCC a redução das atividades de manutenção, otimização do planejamento, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, redução dos custos com manutenção, materiais e operação e redução dos riscos (MOUBRAY, 1997).

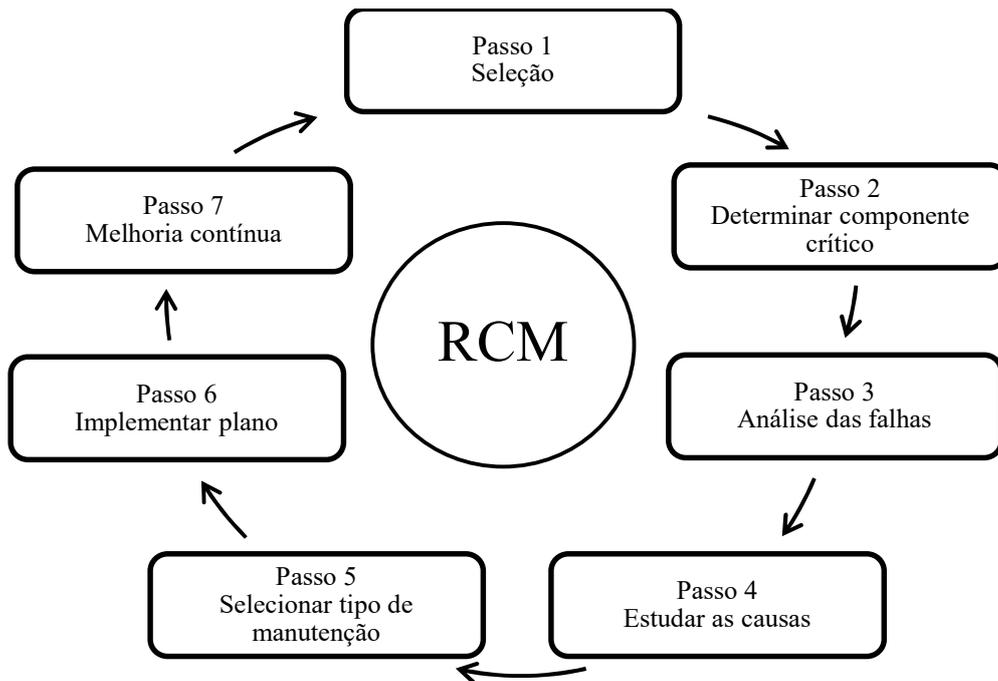
A literatura retrata diferentes versões para aplicação da MCC. As versões variam em relação ao número de etapas, ordem de implantação e ferramentas utilizadas, contudo em sua essência possuem uma abordagem e objetivos similares.

Para implementação da MCC, a equipe de manutenção precisa identificar os componentes cruciais para a funcionalidade e desempenho do sistema, aplicando-se os planos

de manutenção nos pontos considerados estritamente necessários, não se desviando os recursos necessários das frentes de trabalho (YSSAAD e ABENE, 2015).

Com a implementação dessas medidas, o MCC ajuda a atender os pontos de confiabilidade com maior eficácia. A Figura 1, ilustra as etapas gerais do processo do MCC. Normalmente o processo é demonstrado através de sete etapas (KRONER, 1999).

Figura 1 – Etapas de implementação do RCM



Fonte: Adaptado de KRONER, 1999.

- Passo 1 – Seleção dos equipamentos críticos do ponto de vista da confiabilidade.
- Passo 2 – Determinação do desempenho desejado e a avaliação da capacidade real do ativo.
- Passo 3 – Análise das falhas dos ativos, registrando e analisando de acordo com as consequências para o desempenho. Essa avaliação permite maior conhecimento e controle sob os equipamentos.
- Passo 4 – Estudar as causas das falhas, os efeitos e as consequências sobre os equipamentos.
- Passo 5 – Seleção do tipo de estratégia de manutenção, podendo ser preventiva, preditiva ou corretiva.
- Passo 6 – Implementação do Plano de Manutenção com as melhorias implementadas a partir das análises dos passos anteriores.
- Passo 7 – Melhoria contínua, através de constantes revisões, adaptação às novas tecnologias, aos novos problemas e às novas condições do ambiente.

Com o alto nível de informações que gera, o MCC auxilia a empresa a melhorar o desempenho operacional, aumentar a vida útil dos equipamentos e melhorar a tomada de decisão a respeito das manutenções (KRONER, 1999).

Via de regra, o MCC aborda técnicas quantitativas que podem contribuir efetivamente para o aumento da confiabilidade dos sistemas de produção. Porém, espera-se um acompanhamento dos indicadores que monitoram o desempenho dos equipamentos críticos. Em áreas que não apresentam estabilidade e rastreabilidade das informações, é necessário buscar estabilização dos indicadores e, posteriormente, a definição dos equipamentos críticos para implementação do MCC (CERVEIRA e SELLITTO, 2015). Para atender a essa necessidade, é necessária a utilização de metodologias que solucionem os problemas de instabilidade dos indicadores da manutenção, especificamente neste trabalho, o Seis Sigma é a metodologia escolhida.

2.4 METODOLOGIA SEIS SIGMA

Seis Sigma é uma metodologia de trabalho com o objetivo de alcançar, maximizar e manter o sucesso da organização, por meio do atendimento das necessidades do cliente, concentrando-se no cliente e no produto (ROTONDARO, 2013).

A metodologia Seis Sigma surgiu em 1987 na Motorola com o objetivo de aumentar a competitividade da empresa em relação aos concorrentes estrangeiros. Com a implementação do programa, ela se tornou líder do mercado. Desde o início, até o ano de 2015, a Motorola arrecadou, pelo menos 13,7 milhões de euros, apesar dos elevados custos de investimento envolvidos, entre os quais, consultoria, formação, reestruturação (WITT e BAKER, 2018). O termo Seis Sigma é uma marca registrada da Motorola, que mantém um centro de treinamento, oferecendo vários cursos e certificações (CARPINETTI, 2012).

Com o sucesso na aplicação do Seis Sigma pela Motorola, outras empresas como a AlliedSignal e a General Electric (GE), guiada pelo o chefe executivo Jack Welch, implementaram a metodologia e mudaram o patamar de produtividade e atendimento. A GE obteve um ganho médio de US\$ 898 milhões/ano durante 2 anos; já a AlliedSignal alcançou ganhos de 1,2 bilhões de dólares em um período de 4 anos, o que contribuiu para a divulgação do programa em todo o mundo (PYZDEK e KELLER, 2012; WERKEMA, 2012).

Um outro fator para o sucesso do Seis Sigma foi o fato de ser uma metodologia passível de complementar os sistemas de gestão da qualidade existentes, como o Controle da Qualidade Total ou *Total Quality Control* - TQC (SINGH e KHANDUJA, 2014).

O Seis Sigma pode ser definido, segundo Lin *et al.*, (2012), como uma estratégia sistemática da qualidade, orientado pelos requisitos do cliente, em que por meio dos dados e da análise estatística, são obtidas melhorias de desempenho na organização. De acordo com Mehrabi (2012), define como uma abordagem de gestão, orientada por meio de projetos, com o objetivo de implantar melhorias na organização dos produtos, serviços e processos, reduzindo continuamente os defeitos.

Werkema (2012), corroborado por Witt e Baker (2018), afirmam que a metodologia utiliza ferramentas da qualidade e estatísticas conhecidas, entretanto, o sucesso e diferencial se deve à sua abordagem e forma de implementação, as quais se concentram na diminuição e/ou eliminação da incidência de erros, defeitos ou falhas, visando a redução da variabilidade para os eventos críticos.

Carpinetti (2012) define Seis Sigma como um programa de melhoria com o objetivo de reduzir os desperdícios da não qualidade, redução dos custos, melhoria no atendimento dos requisitos do cliente, qualidade e confiabilidade da entrega. Já segundo Rotondaro (2013), trata-se de uma estratégia gerencial com o objetivo de acelerar o melhoramento dos processos, produtos e serviços.

De fato, o Seis Sigma procura, na sua essência, resolver problemas por meio de métodos estatísticos, com o objetivo de obter significativa redução nas taxas de defeitos (ECKES, 2001; HARRY, 1998; LINDERMAN, *et al.*, 2003; SCHROEDER *et al.*, 2008). Quando se atinge o nível máximo de redução, obtém-se por resultado, uma taxa de 3,4 falhas por milhão, ou 99,99966% de acerto (RAMOS *et al.*, 2013).

Sigma (σ) é uma letra do alfabeto grego utilizada pelos estatísticos para representar a medida de variação no processo. No seu uso comercial, indica defeitos nas saídas de um processo e nos ajuda a entender até que ponto o processo se desvia da perfeição. Para Rotondaro *et al.* (2013), o nível sigma mede a capacidade do processo em atuar sem falhas, de modo que quanto menor o nível sigma maior a quantidade de defeitos por milhões, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Escala Sigma versus Defeitos por milhão

ESCALA SIGMA	DEFEITOS POR MILHÃO (PPM)
Dois Sigmas	308537
Três Sigmas	66807
Quatro Sigmas	6210
Cinco Sigmas	233
Seis Sigmas	3,4

Fonte: Adaptado de Werkema (2012).

A literatura sobre o Seis Sigma, tem apresentado duas abordagens principais: a estatística e a estratégica. Pela abordagem estatística, o objetivo é quantificar a variação do

resultado de um processo crítico e identificar o nível sigma. Já a abordagem estratégica, a qual se considera uma abordagem mais abrangente, está relacionada à implementação de estratégias que melhoram o desempenho do negócio e o seu potencial competitivo (SANTOS e MARTINS, 2008; BANUELAS *et al.*, 2005).

Behara *et al.* (1995) apontam que, pela abordagem estatística, busca-se fabricar ou produzir um produto ou serviço com zero defeito. Esse é o nível seis na escala Sigma, também definido pela categoria “*best in class*”, com somente 3,4 defeitos por milhão. Arnheiter e Maleiyeff (2005), apresentam outra abordagem, definindo o Seis Sigma como uma estratégia de longo prazo para tomada de decisão, mais do que um programa estritamente focado na gestão da qualidade.

Uma das chaves para o sucesso do programa Seis Sigma é a adoção do método padrão cíclico denominado DMAIC. Segundo Távoro (2009), trata-se de uma abordagem passo-a-passo ou roteiro, utilizado para definir, medir, analisar, melhorar e controlar o projeto. O método DMAIC – *Define, Measure, Analyse, Improve e Control* estabelecido nessas 5 etapas, fornece um modelo simples e estruturado para a melhoria de desempenho e alcance das metas de um determinado projeto (PYZDEK e KELLER, 2011; WERKEMA, 2012).

Este ciclo foi concebido originalmente por Deming no início da *Total Quality Management* (TQM). Deming enfatizava que a qualidade e a produtividade aumentavam à medida que a variabilidade do processo diminuía. Ele reforça a necessidade de métodos estatísticos de controle, participação, educação e melhoria objetiva (SLACK *et al.*, 2017).

As 5 etapas cíclicas do DMAIC serão apresentadas pelo Quadro 1.

Quadro 1 – As 5 Etapas cíclicas do DMAIC

Etapa	Definição	Questões a serem respondidas	Ferramentas utilizadas	Referências principais
D Definir (<i>Define</i>)	Definição do propósito do projeto, onde são analisados os requisitos do cliente e as necessidades do negócio, para a identificação dos processos críticos. Busca-se a identificação clara do problema, define-se o escopo do projeto e o papel da equipe no projeto.	Qual é o problema a ser abordado pelo projeto? Qual será a meta a ser atingida? Quais são as partes interessadas afetadas pelo problema? Qual o processo relacionado ao problema? Qual é o impacto econômico do projeto?	Estratificação dos dados, gráficos de tendência, gráfico de Pareto, folha de verificação, gráfico sequencial, carta de controle, avaliação econômica, SIPOC, entre outras	Werkema (2012); Carpinetti (2012); Raman (2017); Raman e Basavaraj (2019).
M Medir (<i>Measure</i>)	Encontrar as características do produto que queremos melhorar e mapear as etapas envolvidas. São aplicadas as ferramentas que avaliarão o desempenho dos processos, permitindo a visualização de seu estado atual, com o intuito de definir as metas específicas. Essa etapa fornecerá informações para o processo de análise das causas do problema em estudo.	Que resultados devem ser medidos para a obtenção de dados úteis à focalização do problema? Quais são os focos prioritários do problema?	Avaliação de sistema de medição, estratificação, gráfico de Pareto, carta de controle, histograma, Boxplot, índice de capacidade, entre outras	Werkema (2012); Carpinetti (2012); Raman (2017); Raman e Basavaraj (2019).
A Analisar (<i>Analyse</i>)	Identificação da (s) causa (s)-raiz (es) dos problemas identificados. Essa etapa será essencial no direcionamento das ações para eliminação dos problemas.	Por que o problema prioritário existe?	Técnicas de planejamento e análise de experimentos, teste de hipótese, análise de variância, análise de regressão, FMEA, diagrama de causa e efeito, brainstorming, diagrama de dispersão, matriz de priorização, entre outras. A utilização das ferramentas de qualidade, como o Pareto, identificará facilmente a causa raiz. O motivo da segmentação da causa raiz é encontrar seu efeito na variação do processo.	Coronado e Antony (2002); Werkema (2012); Prashar (2014); Raman e Basavaraj (2019).

Fonte: Autoria própria.

Continua...

Quadro 1 – As 5 Etapas cíclicas do DMAIC (Continuação)

Etapa	Definição	Questões a serem respondidas	Ferramentas utilizadas	Referências principais
I Melhorar (<i>Improve</i>)	Aprimoramento do processo, onde ocorrerá o aperfeiçoamento dos processos, eliminando os erros ou desenvolvendo novas soluções. A identificação das principais variáveis e a identificação do efeito para causar variação nas características de qualidade, são os principais passos dessa fase. A solução implementada concentra-se na manutenção do processo existente dentro do limite desejado.	Quais são as ideias para eliminação das causas fundamentais? Todas as ideias podem ser transformadas em solução de elevado potencial de implementação? Que soluções levarão ao alcance da meta? Como testar as soluções escolhidas?	<i>Brainstorming</i> , plano de ação 5W2H, FEMEA, análise de capacidade, entre outras.	Coronado e Antony (2002); Werkema (2012); Raman e Basavaraj (2019).
C Controlar (<i>Control</i>)	Garantir que as melhorias obtidas não se percam. Diante disso, os resultados obtidos necessitam serem monitorados para confirmação do alcance do sucesso. a documentação é executada e o tempo é distribuído de acordo com o requisito de cada processo, tendo em mente a produtividade. Após a implementação do novo processo, será monitorado até o sistema começar a funcionar sem problemas. A implementação do novo processo é muito mais fácil do que sustentá-lo, portanto, o monitoramento se torna parte integrante dessa fase. Definir os novos padrões ajudarão a combater esse problema.	A meta global e específicas foram alcançadas? Horam criados ou alterados padrões para manutenção dos resultados? Como será o acompanhamento do processo? O que foi aprendido e quais as recomendações?	Avaliação de sistemas de medição e inspeção, gráfico de Pareto, carta de controle, histograma, índice de capacidade, OCAP, FMDS, Mapa de Raciocínio, serão uteis.	Werkema (2012); Carpinetti (2012); Raman e Basavaraj (2019); Erbiyik & Saru (2015); Costa Junior <i>et al.</i> (2018).

Fonte: Autoria própria.

2.5 FERRAMENTAS DO MÉTODO SEIS SIGMA

Ainda que a metodologia indique o caminho a ser percorrido na busca pela resolução dos problemas, sozinha não os resolvem, existindo a necessidade de aplicar as ferramentas adequadas em cada etapa do processo de melhoria. Diversas ferramentas estão disponíveis na literatura, porém, cada uma com uma determinada finalidade. Nas subseções seguintes, será apresentado um resumo das principais ferramentas utilizadas durante as etapas de implementação do projeto, bem como o fim a que se destinam.

2.5.1 Mapa de Raciocínio

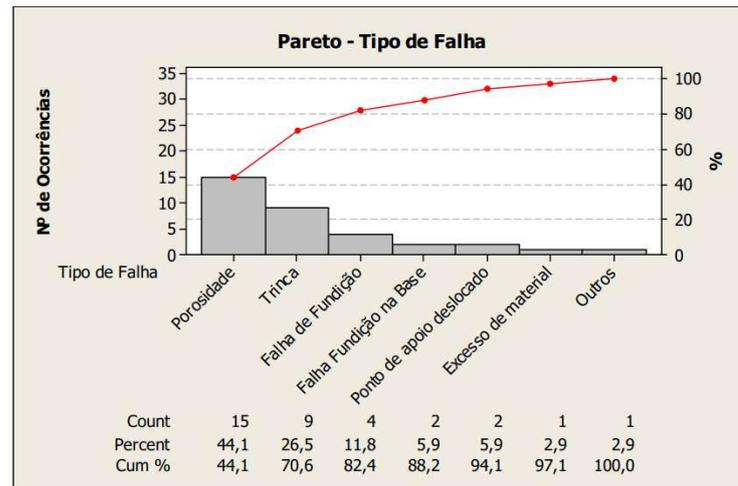
O Mapa de Raciocínio (MR) se constitui por uma documentação que direciona o raciocínio durante a execução de um trabalho. É uma ferramenta importante para condução do projeto de Seis Sigma, sendo utilizada durante todo o desenvolvimento do projeto. O MR deve registrar informações relacionadas ao histórico do problema, objetivos e questões a serem respondidas, atividades que serão realizadas, novas atividades surgidas durante o projeto, identificação e tratamento das causas, entre outras (COSTA JÚNIOR *et al.*, 2018; WERKEMA, 2012).

O MR é um documento dinâmico elaborado concomitantemente ao projeto, uma vez que a formulação das respostas às perguntas do mapa balizará a evolução do trabalho, direcionando as análises necessárias. O MR serve, também, como material para apresentação e acompanhamento do projeto para todos os envolvidos em seu desenvolvimento e/ou em sua gestão (COSTA JUNIOR *et al.*, 2018; VALER, 2017). Vale ressaltar que a finalidade do MR é a documentação progressiva, de forma que o raciocínio durante a execução de um trabalho ou projeto fique registrado e contribuam com os projetos futuros (WERKEMA, 2012).

2.5.2 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é uma forma especial do gráfico de barras verticais que nos permite determinar quais problemas resolver e qual a prioridade. Apresenta, na horizontal, as classes de problemas ou causas; na vertical, colunas, cuja altura é definida pela frequência de ocorrências. As colunas são dispostas em ordem crescente. Uma curva representa a porcentagem acumulada das ocorrências (Figura 2) (ROTONDARO, 2013).

Figura 2 – Diagrama de Pareto



Fonte: Penã, 2006.

2.5.3 Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)

O diagrama de causa e efeito ou Ishikawa é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre determinado resultado de um processo e os diversos fatores que podem influenciar no resultado (ROTONDARO, 2013). Aplicada frequentemente nas fases de projeto e produção de um produto ou serviço, é geralmente utilizada em conjunto com outras ferramentas, quando se deseja uma análise mais detalhada do problema em estudo (SILVA *et al.*, 2018).

Conforme a Figura 3, as causas são organizadas nos "ossos de peixe" de um diagrama de Ishikawa, não havendo limites para inserção das informações. Cada "espinha de peixe" pode ser subdividida, se necessário, para mostrar a relação de todas as possíveis causas (WONG, 2011). O método requer a participação de pessoas de diversas áreas de conhecimento, garantindo que ideias variadas sejam apresentadas (SILVA *et al.*, 2018).

Figura 3 – Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)



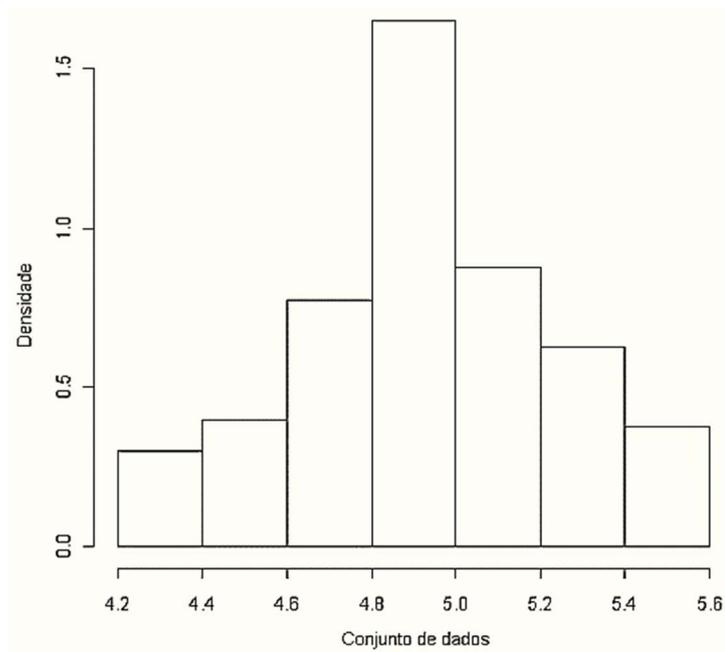
Fonte: Adaptado de Rotondaro, 2013.

2.5.4 Histograma

O histograma é um gráfico de barras que apresenta a distribuição dos dados de uma determinada amostra, agrupados por classes num instante estabelecido. É possível identificar a tendência central, a variação e o comportamento dos dados cuja forma, pode indicar o tipo de distribuição que encontramos na variável medida. Histograma é normalmente utilizado para variáveis contínuas, sem alterações na posição em função da frequência. (ROTONDARO, 2013; SILVA *et al.*, 2018).

O gráfico é formado por colunas, verticais ou horizontais, cujas larguras correspondem a faixas de valores da variável em estudo, e cuja altura é definida de acordo com a frequência de ocorrência dos dados em um intervalo definido (Figura 4).

Figura 4 – Histograma

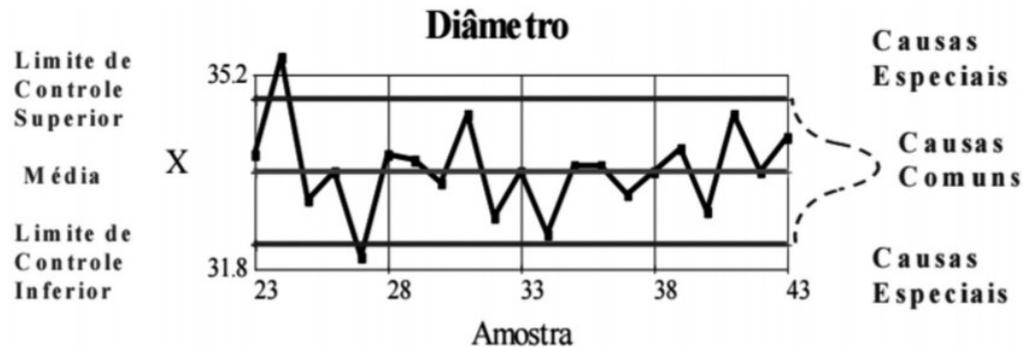


Fonte: Adaptado de Rotondaro, 2013.

2.5.5 Cartas de controle

As cartas de controle são utilizadas para monitorar o desempenho de um processo. A carta consiste em uma linha central – geralmente, o valor alvo do processo, limites de controle superior e inferior e valores característicos plotados no gráfico, representando o estado de um processo (Figura 5). São utilizados para se analisarem tendências e padrões ao longo do tempo. O principal objetivo é monitorar um processo, verificando se ele está sob controle estatístico, indicando sua faixa de variação (HENNING *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Figura 5 – Representação da carta de controle



Fonte: Oliveira *et al.*, 2014.

Henning *et al.* (2014), reiteram que existem dois tipos de gráfico de controle: para variáveis e para atributos. Os gráficos para atributos referem-se às características de qualidade que classificam itens em conformes e não conformes; já os gráficos para variáveis, baseiam-se na medida das características de qualidade em uma escala contínua. Depois de elaboradas as cartas de controle, para verificar a estabilidade do processo e se este se encontra sob controle, são avaliados diversos critérios, definidos pelos analistas quando da construção dos gráficos. O Quadro 2 apresenta alguns desses critérios.

Quadro 2 – Interpretação da carta de controle para causas especiais

Teste	Descrição
1	O ponto está localizado acima do Limite Superior de Controle – LSC ou abaixo do Limite Inferior de Controle – LIC.
2	Uma sequência de seis ou mais pontos consecutivos, crescentes ou decrescentes.
3	Tendência de sete ou mais pontos consecutivos, caracterizando um movimento contínuo, ascendente ou descendente.

Fonte: Henning *et al.*, 2014.

2.5.6 Avaliação da Capacidade de Processos

O estudo da capacidade do processo permite à organização avaliar os seguintes pontos (SIMANOVÁ e GEJDOŠ, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2018):

- Otimizar a produtividade e qualidade;
- Determinar os novos padrões de tolerância;
- Determinar se um novo equipamento é capaz de atender às especificações dos clientes;
- Comparar o desempenho de diferentes equipamentos.

Faz parte do processo de avaliação da capacidade, observar se as medidas dos itens produzidos estão dentro dos limites de especificação e se os índices calculados estão atingindo os valores necessários para caracterizar o processo como capaz (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Para julgar um processo potencialmente capaz, é necessário que a variabilidade natural (6σ) seja menor que a amplitude das especificações, ou seja, entre o Limite Superior de Especificação (LSE) e o Limite Inferior de Especificação (LIE) ($6\sigma < (LSE - LIE)$). A situação

oposta ($6\sigma > (LSE - LIE)$), caracteriza um processo incapaz de atender às especificações de projeto (OLIVEIRA *et al.*, 2018; ROTONDARO, 2013).

Os índices frequentemente utilizados na mensuração da capacidade de processos são (OLIVEIRA *et al.*, 2018; ROTONDARO, 2013):

- C_p , dado pela razão entre a amplitude das especificações e a dispersão ou variabilidade natural do processo 6σ , conforme Eq. 1.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

Sendo:

LSE = Limite Superior de Especificação

LIE = Limite Inferior de Especificação

σ = Desvio-padrão do processo

- C_{pk} , definido como o mínimo entre os limites de especificação e a média da característica de qualidade do processo em análise, dividida pela semi-amplitude da característica. O índice é obtido a partir da Eq. 2.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad (2)$$

Sendo:

LSE = Limite Superior de Especificação

LIE = Limite Inferior de Especificação

σ = Desvio-padrão do processo

μ = média do processo

O índice capacidade C_{pk} reflete o quão bem as peças produzidas se “encaixam” no intervalo estabelecido pelos limites de especificação.

Se o valor de C_{pk} for igual ao valor de C_p , tem-se um processo centrado (MONTGOMERY, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2018) e quaisquer dos índices podem ser adotados. Em caso contrário, o processo é descentralizado e há que se tomar cautela na escolha do índice que melhor representará a capacidade do processo.

A Tabela 2, apresenta as escalas para avaliação da capacidade do processo (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Tabela 2 – Interpretação da carta de controle para causas especiais

Capacidade	CPK	% fora de especificação
Muito incapaz	0,33	32
Incapaz	0,67	4,4
Capaz	1,00	0,27
Muito capaz	1,33	0,0064
Extremamente capaz	1,67	0,0000

Fonte: Oliveira *et al.*, 2014.

Outra forma de avaliar o processo é analisar a capacidade global, ou seja, a captura da variação global, incluindo-se as diferenças entre os subgrupos. Os índices de capacidade que avaliam a capacidade global incluem P_p , PPU , PPL , P_{pk} e C_{pm} . O índice P_p compara dois valores, a dispersão da especificação (LSE – LIE) e a dispersão unilateral do processo (a variação $6\text{-}\sigma$) com base no desvio padrão global. O P_{pk} avalia a distância da média do processo para o limite especificação mais próximo (LSE ou LIE) e a dispersão unilateral do processo (a variação $3\text{-}\sigma$) com base em sua variação global. Ambos são índices globais que apresentam o desempenho real do processo ao longo do tempo (MINITAB, 2018).

Não obstante ao cálculo da capacidade, deve-se esperar a normalidade dos dados em análise. Para avaliar a normalidade dos dados, diversos métodos estão disponíveis, como os testes Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, ou o Gráfico de Probabilidade Normal, dentre outros, sendo essa uma condição para interpretação dos dados.

A partir do gráfico de probabilidade, no qual a normalidade estará caracterizada conforme o nível de linearidade do gráfico – quanto mais linear o gráfico, melhor será o grau de normalidade, é possível verificar-se se os dados podem ser representados por uma distribuição normal.

Avaliando-se os resultados dos testes já mencionados, a distribuição será considerada normal se o valor de p (*valor-p*) for maior que o nível de significância adotado para o teste, logo a hipótese nula será aceita, na qual os dados podem ser representados por uma distribuição normal (CORREA; VASCONCELOS, 2015).

Segundo Montgomery (2009), a análise da capacidade do processo é de suma importância para a vitalidade do programa de melhoria da qualidade. Os dados provenientes da análise da capacidade do processo são utilizados para: (i) avaliar se o processo é capaz de se manter dentro dos limites de tolerância; (ii) auxiliar os desenvolvedores e projetistas de produtos na seleção ou modificação dos processos; (iii) estabelecer intervalos para a monitoração do processo; (iv) especificar os requerimentos de performance de novos equipamentos; (v) planejar a sequência do processo de produção, quando existir um efeito

interativo dos processos nas tolerâncias; e, (vi) reduzir a variabilidade no processo de manufatura.

Em um projeto Seis Sigma, a capacidade do processo é crucial para se avancem nos níveis sigma. O nível sigma é a medida de a probabilidade de um processo gerar defeitos, ou seja, quanto maior for esta probabilidade, menor será a capacidade e, portanto, menor será o nível sigma. O *Z-bench* é o índice que descreve o nível sigma (LUDWIG, 2018). Com o *Z-bench* é possível comparar-se a capacidade dos processos, já que as estatísticas apresentadas são valores de referência (*benchmark*). Na determinação do nível sigma de um processo, soma-se 1,5 ao valor do *Z-bench* obtido com os dados analisados, para obter-se a “capacidade sigma” (MINITAB, 2018).

Avaliando-se a Tabela 3, observa-se que os valores de *Z-bench*, podem determinar a capacidade para o processo, bem como a relação entre os valores *Z-bench*, a capacidade sigma e o número de defeitos por milhão.

Tabela 3 – Intepretação dos valores de *Z-bench*

<i>Z-bench</i>	Capacidade Sigma	PPM de defeitos
1	2,5	158.655
2	3,5	22.750
3	4,5	1.350
4	5,5	32
4,5	6,0	3,4

PPM – Partes por milhão

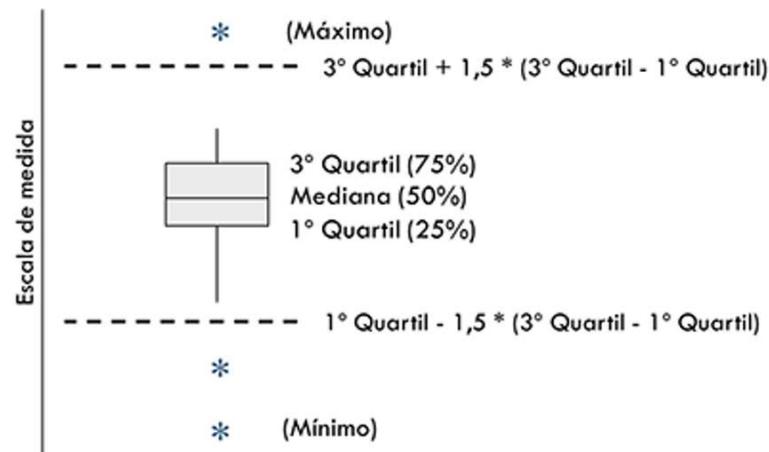
Fonte: Adaptado de MINITAB, 2018.

A importância da análise de capacidade do processo se verifica pela aplicação em variados setores das organizações, incluindo planejamento de produtos, seleção de fornecedores, produção ou planejamento da manufatura (PAIVA, 2008).

2.5.7 *Box-plot*

É uma representação gráfica da distribuição de dados de variáveis que, entre outras coisas, apresenta, simultaneamente, várias características de um conjunto de dados: locação, dispersão, forma e presença de observações discrepantes – *outliers* (ROTONDARO, 2013).

Segundo Rotondaro (2013), o *Box-plot* é representado por uma caixa (retângulo) com o nível superior definido pelo terceiro quartil (Q3) e o nível inferior pelo primeiro quartil (Q1). Os pontos máximos e mínimos são pontos extremos à caixa, por um seguimento de reta, e a mediana é representada por um traço no interior da caixa (Figura 6). As observações fora dos limites são consideradas como *outliers* e são representados no gráfico como asteriscos (*).

Figura 6 – *Box-plot* para um único conjunto de dados

Fonte: Adaptado de Rotondaro, 2013.

2.5.8 *Brainstorming*

É uma ferramenta que estimula a criatividade da equipe, para gerar e esclarecer ideias, problemas ou questões. Entre as ferramentas da qualidade, é a ferramenta mais comum na coleta de dados verbais. Auxilia, por exemplo, na construção do diagrama de causa e efeito. O *brainstorming* pode ser dividido em (DALTON, 2019):

- Estruturados: cada participante fala de uma vez, obedecendo a sequência; ou,
- Não Estruturados: cada colaborador fala ao obter uma ideia.

Uma sessão de *brainstorming* conta com um “facilitador” que acolhe todas as ideias e as registra à medida que são oferecidas. Durante a fase de construção do *brainstorming*, não se deve criticar, nem discutir as ideias, apenas registrar, de forma que todos possam observar as contribuições. Não existe um limite de contribuições durante o processo (DALTON, 2019).

2.5.9 Matriz de priorização

É uma matriz que prioriza as ações durante o desenvolvimento do projeto. Sabe-se que a decisão é algo compartilhado e que não depende unicamente de uma pessoa; por isso, torna-se ainda mais válida esta abordagem, quando realizada em grupo (BEHR, MORO e ESTABEL, 2008). A matriz permite priorizar uma lista de ações de melhoria baseada em critérios definidos pelo redator, os quais, segundo Carpinetti (2012), podem ser:

- Redução do número de falhas;
- Satisfação do cliente;
- Severidade;
- Ocorrência;
- Detecção da falha;
- Frequência;

- Custo;
- Facilidade de implantação.

2.5.10 Teste de hipótese

É uma afirmação sobre parâmetros estatísticos de uma determinada população. Tem o objetivo decidir se uma afirmação a respeito de um parâmetro de determinada população é razoável ou não. Duas hipóteses são construídas (H_0 : Hipótese nula; H_1 : Hipótese alternativa), testando-se, estatisticamente, a validade de uma hipótese nula contra uma hipótese alternativa. A rejeição da hipótese nula, resulta na aceitação da hipótese alternativa (ROTONDARO, 2013; CARPINETTI, 2012):

O formato básico de um teste consiste nas seguintes informações (ROTONDARO, 2013):

- Formular a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_1) que será aceita quando H_0 for rejeitada;
- Especificar α , a probabilidade de erro Tipo I;
- Construir um critério para testar a hipótese nula contra a hipótese alternativa; calcular o valor da estatística a partir da qual a decisão será baseada;
- Decidir por aceitar, ou não, H_0 .

2.5.11 Ferramenta A3

O termo A3 refere-se a uma folha de papel de tamanho internacional. Aplicado na solução de problemas pela Toyota, representa, simbolicamente, que todos os problemas que a organização enfrenta pode e deverá ser capturado em uma folha de papel (SHOOK, 2008).

Para Costa e Caselli (2018), é uma das ferramentas mais eficazes do Sistema Toyota de Produção e pode ser destinado ao planejamento ou acompanhamento da situação, para propostas e solução de problemas.

O A3 não deve ser apenas um relatório para trabalhar com as metas e os problemas de maneira isolada e estática, mas uma narrativa padronizada que compartilhe a história completa. Devem-se relacionar elementos específicos, sequenciar os fatos e informar as causas. Para execução de tais tarefas, deve-se estabelecer uma ordem cronológica de análise dos dados (SHOOK, 2008).

Shook (2008) e Costa e Caselli (2018) relatam que existem basicamente quatro tipos de histórias que podem ser contadas por meio de relatórios A3:

- **Proposta:** modelo utilizado para se propor um plano ou uma nova iniciativa, girando em torno de um determinado tema e um objetivo definido, com questões a serem solucionadas devidamente mapeadas e obedecendo-se a um cronograma;
- **Solução de problema:** Este modelo é utilizado para solucionar problemas, seguindo-se uma estrutura baseada no ciclo do PDCA. Para relatório é preciso existir um problema, estabelecendo-se objetivos claros, informações sobre a atual situação, estudo criterioso e detalhado das causas raiz, contramedidas e implementação;
- **Status:** É utilizado para retratar a situação de um projeto ou determinar o *status* de uma ação em andamento, apresentando-se a meta do projeto, o objetivo, a análise do planejado *versus* realizado;
- **Informacional:** Este modelo é adotado para compartilhar informações referentes ao desenvolvimento de projeto. Esse tipo de relatório A3 não possui um formato padrão, ficando a critério do redator.

2.5.12 SWOT

A análise SWOT destaca-se por fazer uma integração entre os aspectos internos e externos das organizações, melhorando os planos de ação elaborados pela alta gestão. É de grande importância para a empresa, pois visa à lucratividade, integrando identificação e satisfação do mercado, atendendo aos clientes com mais satisfação que as concorrentes. No Quadro 3, é possível observar a Matriz da Análise SWOT, composta pelos aspectos internos, sendo eles: forças (*STRENGTHS*) e fraquezas (*WEAKNESSES*) e os aspectos externos: oportunidades (*OPORTUNITTIES*) e ameaças (*THREATS*) (ARAUJO *et al.*, 2015).

Quadro 3 – Matriz SWOT

Matriz SOWT	Contribui para a estratégia da empresa	Dificulta a estratégia da empresa
Ambiente Interno	S – Pontos fortes da empresa	W – Pontos fracos da empresa
Ambiente Externo	O – Oportunidades para a empresa	T – Ameaças para a empresa

Fonte: Adaptado de Nakagawa (2011).

Segundo Leite e Gasparotto (2018), a partir do momento que a empresa implementa a análise SWOT, precisará realizar um levantamento de todos os pontos fortes da empresa, observando-se o seu maior potencial; no entanto, é necessário focar em quais aspectos a empresa está deixando a desejar, indicando o ponto crítico principal. Essa análise é comparada com as oportunidades existentes no mercado, e as ameaças que podem atingir a empresa.

De acordo com Nakagawa (2011), as forças (*Strenghts*) são características internas da organização, que podem gerar vantagens sobre os seus concorrentes, por ser um diferencial na busca pelos objetivos. São pontos positivos, e precisam ser exploradas ao máximo, levando a organização a alcançar seus objetivos e reduzir as suas fraquezas. Alguns exemplos de forças são:

- Profissionais altamente treinados;
- Localização invejável;
- Equipamentos modernos;
- Alta Gestão e demais setores envolvidos na busca pelos objetivos.

As fraquezas (*Weaknesses*) são características internas da organização, que necessitam ser controladas e melhoradas, pois colocam a organização em situação de risco se comparada aos seus concorrentes. Colocam a organização em uma situação desconfortável, e precisam ser combatidas, evitando-se a perda de competitividade. São exemplos de fraquezas (LEITE e GASPAROTTO, 2018):

- Excesso de erros na produção;
- Salários defasados;
- Maquinário obsoleto;
- Liderança despreparada;
- Falta de planejamento.

As oportunidades (*Oportunnities*) são aspectos positivos e estão relacionadas diretamente ao ambiente no qual a organização se encontra ou pretende se instalar. Podem ser controladas pela entidade, mas estão relacionadas diretamente com as tomadas de decisão do planejamento estratégico. Relacionam-se com os ambientes externos e internos de maneira positiva, pois, se bem extraída pela organização, podem gerar rentabilidade e visibilidade. Alguns exemplos de oportunidades (NAKAGAWA, 2011):

- Financiamento especial bancário;
- Vendas de produtos sazonais;
- Queda do dólar, permitindo a importação de matéria prima, ou de cursos específicos.

As ameaças (*Threats*) são aspectos externos que impactam diretamente na organização, podendo prejudicar o desenvolvimento e acarretar na perda de posicionamento no mercado. As ameaças podem trazer diversos problemas para a organização, diminuindo suas receitas e atividades. Alguns exemplos de ameaças (LEITE e GASPAROTTO, 2018):

- Alta taxa de juros;

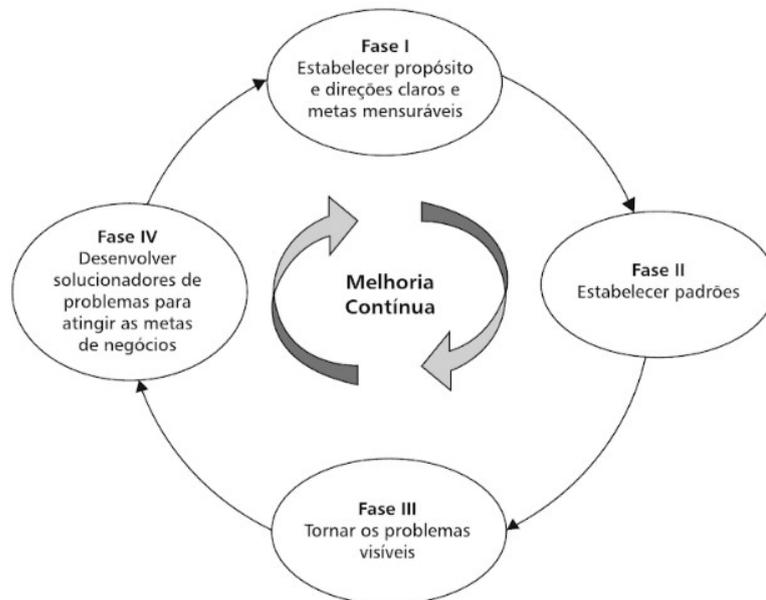
- Instabilidade política;
- Aumento dos combustíveis.

2.5.13 FMDS

O FMDS (*Floor Management Development System*), ou Sistema de Desenvolvimento do Gerenciamento do Chão de Fábrica, tem o objetivo de suportar o gerenciamento da rotina e a solução de gargalos. Segundo Liker e Convis (2006), o FMDS possui um gerenciamento visual como instrumento central, ligando o acompanhamento diário de desempenho aos objetivos da organização. Sua implementação se dá pela fixação de diagramas, gráficos e informações em locais de proximidade nos postos de trabalho, utilizando-se sistemas de cores e a divisão dos indicadores em grupos.

O FMDS, se fundamenta nos princípios do modelo do Sistema Toyota de Produção (TPS – *Toyota Production System*), tendo por intuito estabelecer um propósito e concordar com metas mensuráveis, estabelecer padrões, tornar os problemas visíveis e, por fim, desenvolver pessoas para solucionar problemas e atingir as metas do negócio (LIKER; HOSEUS, 2009). A Figura 7 ilustra as fases de implementação do FMDS.

Figura 7 – Fases de implementação do FMDS



Fonte: LIKER; HOSEUS, 2009.

2.5.14 FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

O FMEA (análise de modo e efeito de falha) é uma abordagem sistemática, aplicando um método de rotulagem a partir da determinação dos modos de falha, causas das falhas e os respectivos efeitos. É uma técnica de avaliação da confiabilidade de um sistema para determinar

os efeitos da falha do sistema, sendo classificadas de acordo com o impacto que elas têm no sucesso de um sistema (GUNAWAN *et al.*, 2018; LAURENTI *et al.*, 2012).

A ferramenta é dividida em dois tipos: a de produto e a de processo. A de processo analisará todos os processos, seja um processo novo ou já existente, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e diminuir os gastos. Já a de produto, relaciona-se com as falhas que poderão ocorrer nos produtos, dentro das especificações do projeto (SANTOS *et al.*, 2017).

Adaptando-se os passos de Pillay e Wang (2003), a aplicação do FMEA pode ser dividida da seguinte forma (LAURENTI, *et al.*, 2012; BRAND, 2013):

- Identificar e dividir o sistema em subsistemas e/ou composições, a fim de determinar seus componentes, utilizando-se esquemas e fluxogramas para determinar os componentes e as relações entre eles.
- Determinar os modos de falha de cada componente e os efeitos de cada modo de falha na composição, subsistema ou no sistema inteiro.
- Utilizar uma escala de 0 a 10 para que o grupo multidisciplinar atribua valores à severidade (S) dos efeitos e às probabilidades de ocorrência (O) das causas ou de seus modos.
- Listar os controles atuais de projeto de prevenção e detecção (D) que asseguram a adequação do projeto para o modo de falha e/ou causas considerados. São atribuídos valores, também numa escala de 0 a 10, para a dificuldade de detecção.
- Calcula-se, ao final, o Índice de Prioridade de Risco, com propostas de ações para eliminar ou detectar os modos de falhas.

Diante das informações obtidas com a aplicação do FMEA, podem ser estabelecidos procedimentos, controles e registros necessários no desenvolvimento de dos produtos ou serviços.

As ferramentas aqui descritas, representam parte das diversas ferramentas disponíveis na literatura acerca da aplicação da metodologia Seis Sigma. O projeto, descrito em detalhes nas seções a seguir, utilizou-se dessas ferramentas para que se atingissem o nível sigma desejado e, conseqüentemente, os resultados almejados.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta uma visão geral da abordagem metodológica utilizada nesta pesquisa e dos passos necessários para a execução da pesquisa. Está dividida em quatro partes: a primeira, referente à caracterização do objeto de estudo, de modo a descrever questões referentes à empresa e ao processo; na segunda, contextualiza-se a pesquisa, apresentando-se

suas classificações e as etapas de condução; a terceira descreve a infraestrutura utilizada; na quarta, apresenta-se o cronograma de implementação.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Para Bryman e Bell (2011), uma pesquisa propõe os seguintes critérios: propósito da pesquisa, natureza dos resultados, abordagem da pesquisa, e procedimentos técnicos ou métodos de pesquisa utilizados. O Quadro 4, define as classificações desta pesquisa de acordo com cada um dos critérios citados anteriormente.

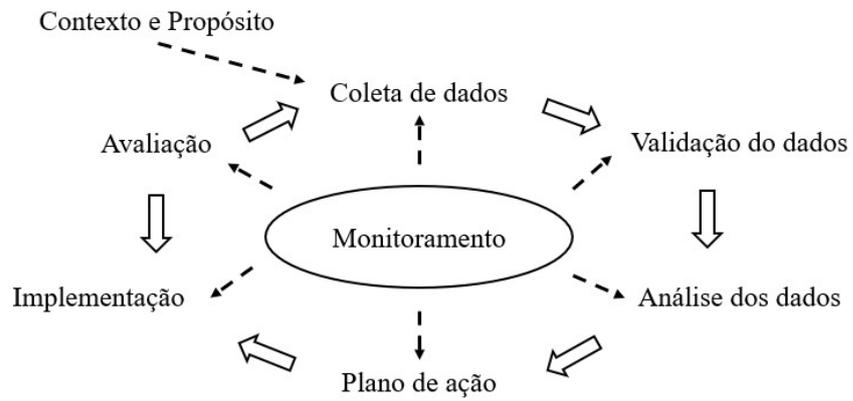
Quadro 4 – Classificação da pesquisa e justificativas de escolhas

Critério / Classificação da Pesquisa	Situações de uso	Justificativa de escolha
Propósitos da pesquisa: Exploratório	A pesquisa exploratória é indicada quando o conhecimento a respeito da área estudada é pouco explorado, além de não comportar as hipóteses da pesquisa. Assim, esse tipo de pesquisa permite o aprimoramento de ideias referentes à área, maior familiaridade com o problema, e que ele se torne mais explícito (BAXTER e JACK,2008).	O conhecimento referente ao tema da pesquisa: redução no número de defeitos nos motores diesel dos caminhões de uma empresa de mineração através da aplicação método de seis sigma.
Natureza dos resultados: Aplicada	A pesquisa aplicada é utilizada quando o pesquisador é movido por conhecer com a finalidade de aplicar o estudo para solucionar problemas específicos e obter resultados imediatos (ZIKMUND <i>et al.</i> , 2013; GANGA, 2012).	O número de defeitos nos motores diesel é o principal problema identificado nas manutenções corretivas dos caminhões, impactando diretamente na disponibilidade física dos equipamentos.
Abordagem do problema: Quantitativo	Características que configuram o uso de uma abordagem quantitativa são: as variáveis podem ser medidas e mensuráveis, e o método envolve testes, medições e análises estatísticas (GANGA, 2012).	A aplicação do método envolve análise das variáveis de desempenho dos caminhões, através do indicador principal do projeto que é o número de defeitos nos motores diesel.
Procedimentos técnicos ou métodos de pesquisa: Pesquisa-ação	O método pesquisa-ação é caracterizado pela produção do conhecimento (pesquisa) alinhado a alteração intencional de uma determinada situação (ação), visando à solução de um problema. Esse processo ocorre com o envolvimento, de forma ativa, do pesquisador em conjunto com os outros participantes (MELLO <i>et al.</i> , 2012).	A pesquisa apresenta como propósito o desenvolvimento de conhecimento e participação efetiva dos pesquisadores na aplicação do método de seis sigma para solucionar o problema.

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Coughlan e Coghlan (2002), as etapas que envolvem a condução de um ciclo da pesquisa-ação são: definição do contexto e propósito, coletar dados, validar os dados, analisar dados e planejar ações, implementar ações, avaliar resultados (Figura 8). Tais etapas subsidiarão a condução da presente pesquisa.

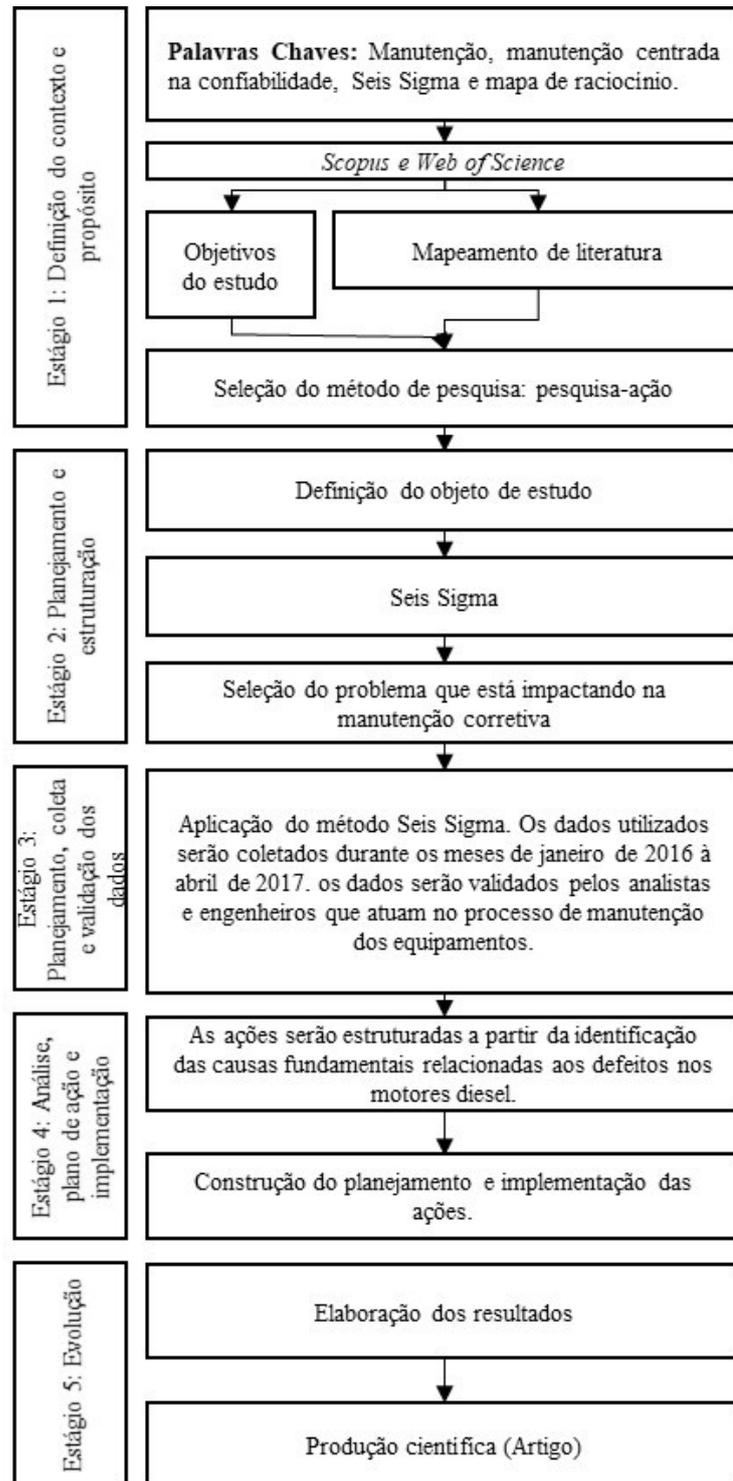
Figura 8 – Etapas de implementação do ciclo de pesquisa-ação



Fonte: Adaptado de Coughlan e Coughlan, 2002.

As etapas foram agrupadas em estágios para um melhor acompanhamento e desenvolvimento do projeto (Figura 9).

Figura 9 – Estágios para acompanhamento e desenvolvimento do projeto



Fonte: Autoria própria.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 ESTÁGIO 1 – DEFINIÇÃO DO CONTEXTO E PROPÓSITO

Os caminhões Fora de Estrada são responsáveis pela movimentação de ROM (*Rom of Mine*) e estéril da Mina. Para acontecer a movimentação na mina, é necessária a utilização dos equipamentos fora-de-estrada e o setor de manutenção tem a responsabilidade de assegurar a

disponibilidade física desse ativo. Monchy (1989) afirma que um equipamento é considerado disponível quando está apto para ser utilizado. Para que isso ocorra, a disponibilidade depende do número de falhas, da rapidez que as falhas são corrigidas, dos métodos e atividades de apoio realizadas pela manutenção.

No contexto da organização, objeto de estudo, durante o planejamento estratégico referente aos anos de 2017 a 2019, foram identificadas, pela manutenção, a partir da aplicação da ferramenta SWOT, as fraquezas “baixa disponibilidade de equipamentos de transporte” e “vazamento nos equipamentos operando com motores de blocos pastilhados”, conforme se observa pela Figura 10.

Figura 10 – Matriz SWOT referente aos anos 2017 a 2019

	Fortaleza (+)	Fraquezas (-)
Ambiente Interno	<ul style="list-style-type: none"> • Engajamento dos empregados em Segurança; • Recirculação de água no Posto de Lavagem; • Engajamento dos empregados aos programas de Melhorias Contínuas; • Iniciativas de gestão implementadas em alguns processos com estágio avançado (troca motor, inspeção e aprovisionamento). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento na geração de resíduos classe I; • Baixa performance dos materiais de fornecedores alternativos; • Baixa disponibilidade de equipamentos transporte; • Índice de absenteísmo elevado; • Vazamento nos equipamentos operando com motores de blocos pastilhados.
Ambiente Externo	Oportunidade (+)	Ameaças (-)
	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produtividade aplicando metodologia Lean; • Aumento do escopo com inclusão de manutenção dos motores diesel das dragas; • Início de operação de 04 caminhões Komatsu 830E; • Atuar nas atividades com maior potencial de risco para manter os resultados de segurança. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indisponibilidade de sobressalentes para troca, em função da capacidade de reforma; • Indisponibilidade de mão de obra nos contratos de prestação de serviços para demandas extras de manutenção.

Fonte: Autoria própria.

Com base nessas informações, o gerente da área priorizou esses problemas e definiu tratá-los utilizando o método Seis Sigma. Decidiu-se acompanhar os dois problemas, com o auxílio da ferramenta A3 estratégico da área, com a iniciativa “redução de falhas em motores diesel”, conforme a Figura 11. A ferramenta foi escolhida por ser bastante objetiva, apresentar relatórios curtos e se caracterizar por ser de rápido entendimento.

A equipe que participou do projeto foi orientada por um **Green Belt**, cujos integrantes foram definidos pelo gerente da área na qual o projeto foi desenvolvido. Os integrantes da equipe tinham características multidisciplinares e conhecimento do processo em questão.

Após a definição da equipe, os **Belts** necessitaram definir o cronograma inicial do projeto. Como premissa, o projeto deveria ser implementado em um período de seis meses,

mais um período de três meses para a fase de verificação. Esse prazo poderia ser postergado por mais 6 meses. O cronograma foi acompanhado através do MR do projeto, conforme Quadro 05. Mensalmente, os *Belts* eram acompanhados pelo orientador e o preenchimento correto do Mapa era também avaliado.

Figura 11 – A3 estratégico referente aos anos 2017 a 2019

1. Requisitos do Negócio (Contexto)		
A Gerência de Manutenção Equipamentos Transporte é responsável pela disponibilidade física dos caminhões fora de estrada(frota 777G, 789 C 793D): => Total = 53 caminhões.		
2. Situação Atual		
Saúde e Segurança	Produção/ qualidade	
TRIFR Meta: 0,00 Realizado: 0,00 Absentismo Meta: 1,84 Realizado: 2,97%	DF – Disponibilidade Física Meta: 82,47% Realizado: 76,42% MTBF – Tempo médio entre falhas Meta: 63,3 hs Realizado: 58,96 hs	
Margem/ Custo	Imagem	
FNC – Formulário de Não Conformidades para itens alternativos Meta: Realizado: 36	Resíduos contaminados(Classse I) – Meta: 384 ton Realizado: 409,00 ton	
3.Situação Alvo		
Saúde e Segurança	Produção/ qualidade	
TRIFR Meta: 0,00 Absentismo Meta: < 2,83	DF Meta: 81,07% MTBF Meta: 60.4 hs	
Margem/ Custo	Imagem	
FNC – Formulário de Não Conformidades para itens alternativos Meta:<18	Resíduos contaminados(Classse I) Meta: 388,60 Ton	
4. Projetos Estratégicos		
Iniciativas Estratégicas		
Projeto:	Responsável	Prazo
1) Projeto para aumento de produtividade da mão de obra	Guilherme Gandara	Nov/2017
2) Implantar Projeto VPS na prática para redução de resíduos classe I	Isac Paixão	Dez/2017
3) Projeto para redução de tempo aguardando materiais	Elidiane Souza	Jun/2017
4) Projeto para melhoria no processo de recuperação de trincas estruturais	Junio Oliveira	Ago/2017
5) Projeto de redução de falhas em motores diesel	Junio Oliveira	Jul/2018
5. Observações		
Pontos críticos		
✓ Aumento de produtividade		
✓ Elevado números de falhas de motores diesel		
✓ Elevado número de trincas estruturais nos equipamentos		

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5 – Cronograma inicial do projeto de Seis Sigma

Fases	Atividades	Início	Fim
Identificação do problema	Identificação das prioridades	29/06/2017	12/07/2017
	Estabelecimento da meta do projeto	29/06/2017	12/07/2017
	Quantificação dos ganhos do projeto	29/06/2017	12/07/2017
Análise do Fenômeno	Estratificação do problema	13/07/2017	13/08/2017
	Estudo das variações	27/07/2017	13/08/2017
	Definição das metas específicas	27/07/2017	13/08/2017
Análise do Processo	Levantamento das causas potenciais	29/07/2017	27/10/2017
	Priorização das causas potenciais	29/07/2017	27/10/2017
	Quantificação das causas priorizadas	29/07/2017	27/10/2017
Estabelecimento do Plano de Ação	Levantamento das possíveis soluções	15/09/2017	27/10/2017
	Priorização das possíveis soluções	15/09/2017	27/10/2017
	Realização de teste piloto (se necessário)	15/09/2017	27/10/2017
	Estabelecimento do plano de ação	15/09/2017	10/11/2017
Execução do Plano de Ação	Comunicação do plano de ação	28/10/2017	30/11/2017
	Realização de treinamentos dos envolvidos	28/10/2017	08/12/2017
	Implantação e acompanhamento do plano de ação	28/10/2017	28/02/2018
Verificação dos Resultados	Verificação do alcance da meta geral e das metas específicas	01/03/2018	31/05/2018
	Quantificação dos ganhos do projeto	01/03/2018	31/05/2018
Padronização	Padronização das novas atividades	01/03/2018	31/05/2018
	Implantação de plano para monitoramento do processo	01/03/2018	31/05/2018
	Implantação de plano de ações corretivas caso surjam problemas no processo	01/03/2018	31/05/2018

Fonte: Autoria própria.

4.2 ESTÁGIO 2 – PLANEJAMENTO E ESTRUTURAÇÃO

4.2.1 Objeto de estudo

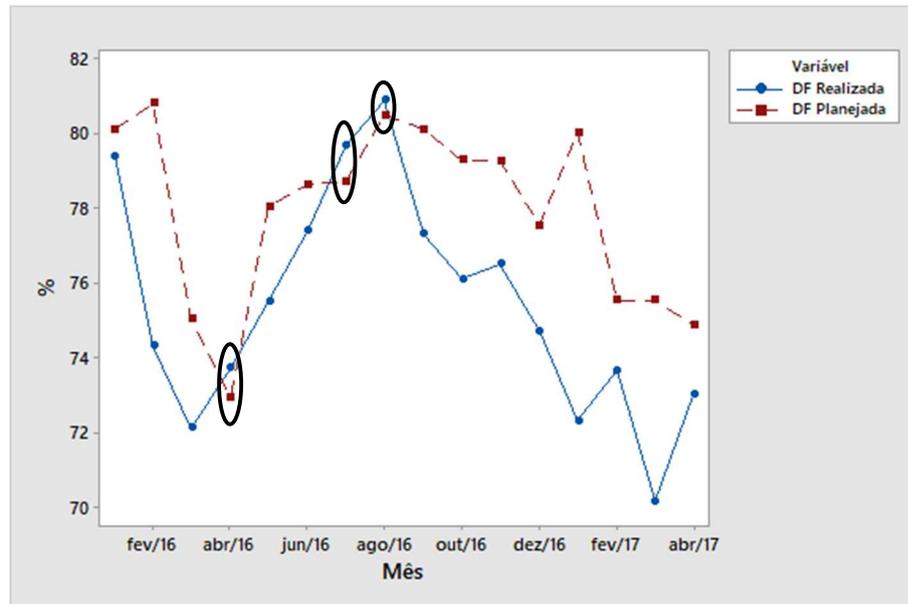
O objeto de estudo da pesquisa é uma unidade mineradora, localizada no estado de Minas Gerais (MG). A organização exerce atividades relacionadas à mineração, logística, energia, siderurgia e trem de passageiros, sendo que a mineração, com destaque para o minério de ferro, é o principal negócio da empresa. O foco do trabalho foi a manutenção dos equipamentos de transporte, responsáveis pela movimentação de minério e estéril do complexo minerador.

4.2.2 Definição do problema

Para definição do problema, os *Belts* determinaram o período histórico, estudaram os indicadores e priorizaram o problema. O período histórico estabelecido para o projeto foi de janeiro de 2016 a abril de 2017.

Um dos indicadores analisados foi o denominado Disponibilidade Física (DF). Analisando-se tal indicador, dentro do período histórico, observou-se que não se atingia a meta estabelecida. Conforme a Figura 12, apenas nos meses de abril, julho e agosto de 2016 a meta foi alcançada, o que não se constatou nos demais meses.

Figura 12 – Comportamento do indicador de DF de jan/16 a abr/17



Fonte: Autoria própria.

Para a compreensão dos problemas que mais impactariam nos resultados, percebeu-se a necessidade de se estudar a composição do indicador DF. Segundo Monchy (1989), o indicador DF é calculado conforme Eq. 3:

$$DF = \frac{HC - HM}{HC} \quad (3)$$

Sendo,

HC – Hora calendário

HM – Hora de Manutenção

A HC é alterada em função dos feriados e o número de dias nos meses. Em relação às horas de manutenção (HM), Monchy (1989), afirma que são avaliados e desdobrados os tipos de manutenção realizadas nos equipamentos. O cálculo do indicador é obtido segundo a Eq. 4:

$$HM = HMPREV + HMPROG + HMC \quad (4)$$

Sendo,

HMPREV – Hora de manutenção preventiva

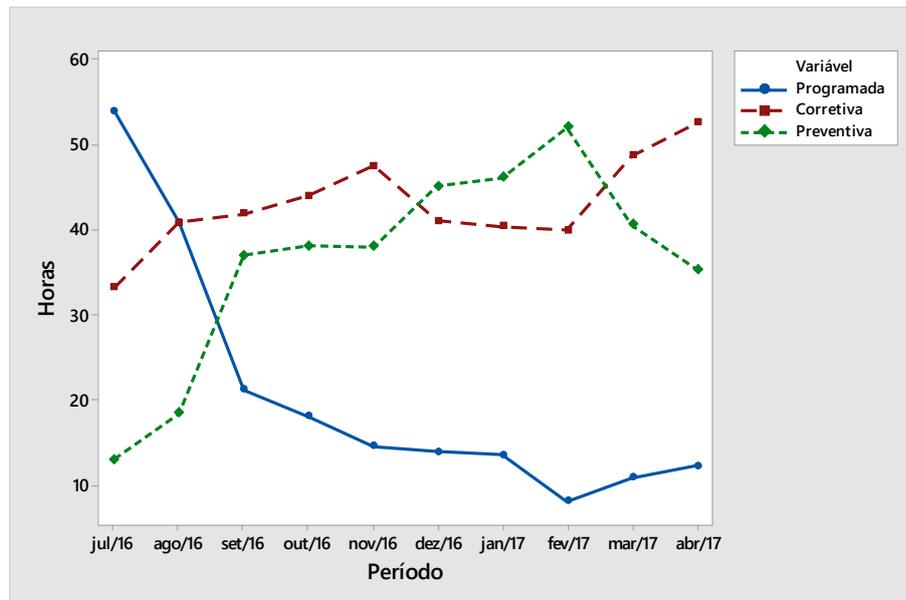
HMPROG – Hora de manutenção programada

HMC – Hora manutenção corretiva

A HMPREV é o somatório das horas de manutenção preventiva realizada nos equipamentos. Esse tipo de manutenção ocorre quando os planos de manutenção são executados dentro dos prazos estabelecidos. A HMPROG é o somatório das manutenções programadas, ou seja, os equipamentos estão apresentando algum tipo de anormalidade e são programadas as manutenções para correção. A HMC, é o somatório das horas de manutenções corretivas. Esse é o pior tipo de manutenção, pois representa que o equipamento parou, apresentando algum tipo de defeito que necessita ser investigado e corrigido sem nenhum planejamento.

Para compreender os impactos sobre o indicador DF, analisaram-se os comportamentos dos indicadores HMPREV, HMPROG e HMC. Observa-se pela Figura 13, a execução de um número maior de manutenções corretivas em relação as manutenções programadas e preventivas. Nota-se que o número de manutenções corretivas foi crescendo dentro do período.

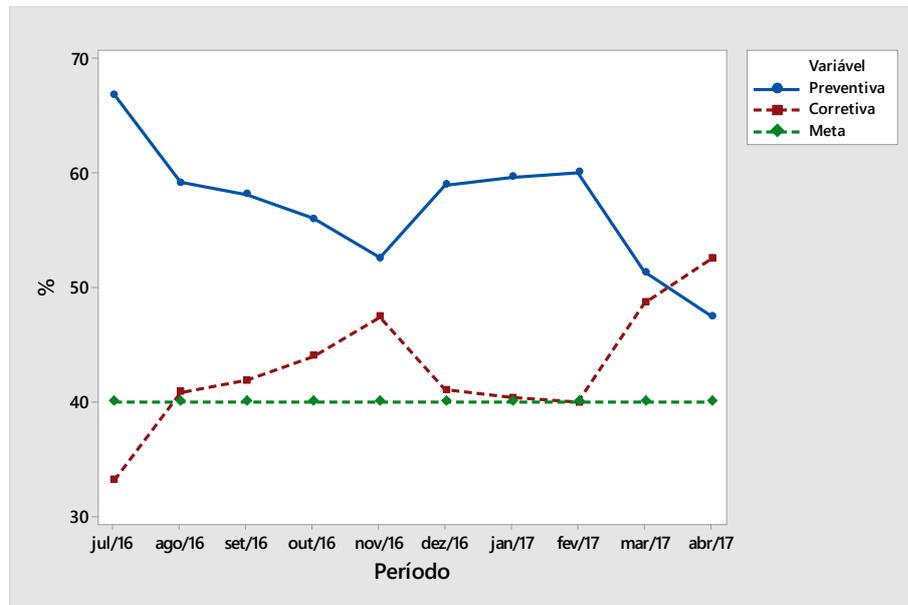
Figura 13 – Comportamento do indicador de HM



Fonte: Autoria própria.

Analisando-se apenas a relação preventiva *versus* corretiva, o indicador estava abaixo da meta estabelecida. Para atendimento da estratégia definida, 60% das manutenções seriam preventivas e 40% corretivas, mas no período histórico mais de 50% das manutenções realizadas foram corretivas (Figura 14).

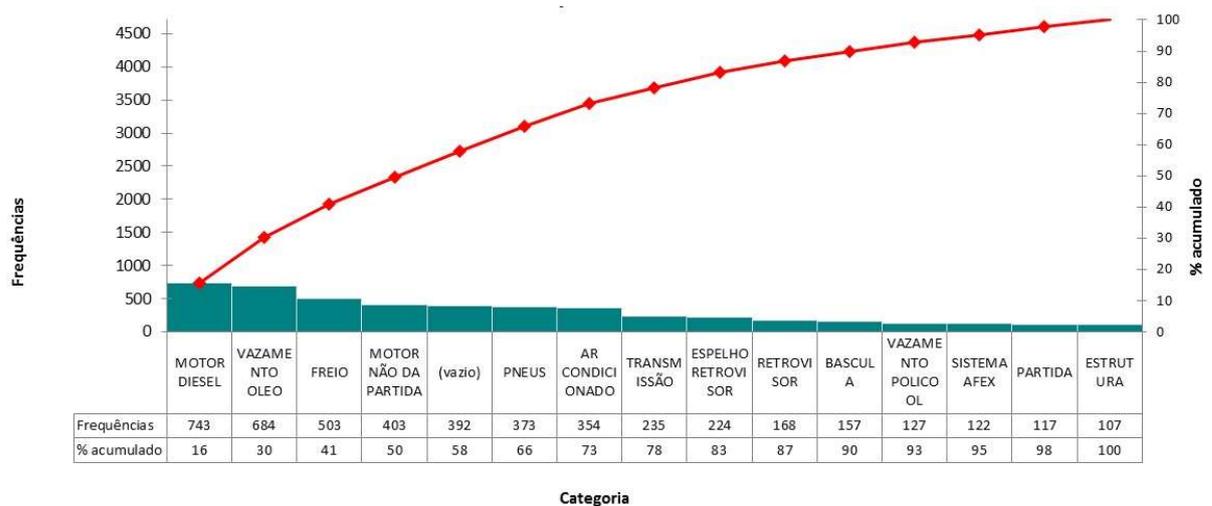
Figura 14 – Relação preventiva x corretiva



Fonte: Autoria própria.

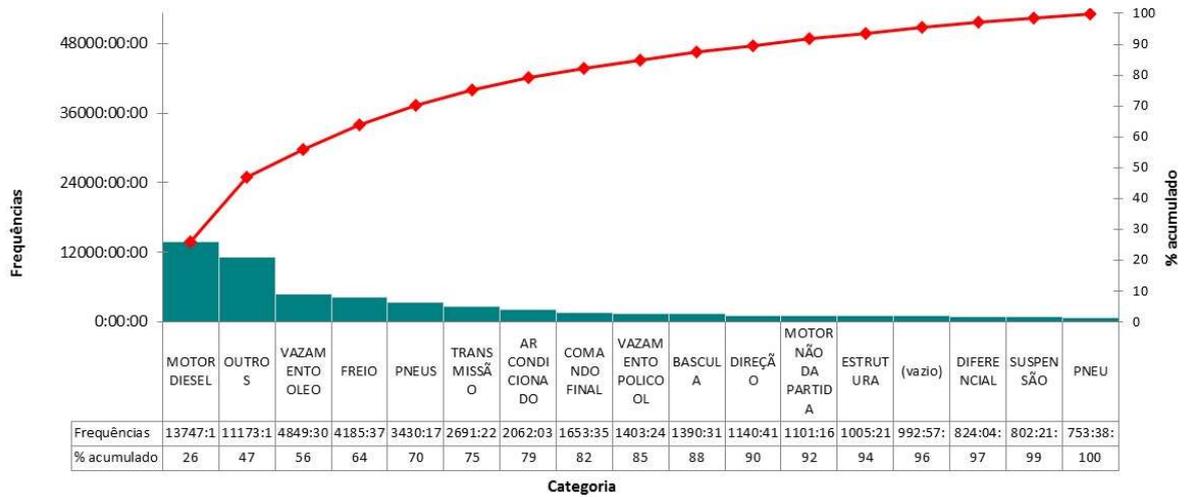
Com o número elevado de manutenções corretivas, foi necessário entender melhor os tipos de defeitos. Os defeitos foram organizados e priorizados através do gráfico de Pareto (Figura 15). O problema que mais impactou nas manutenções corretivas foram as falhas nos motores diesel, apresentando 743 falhas, representando 16% do total de falhas. Para uma melhor compreensão dos defeitos identificados, analisaram-se as horas gastas com as manutenções corretivas, por meio do gráfico de Pareto, identificando-se que 26% dessas manutenções estariam relacionadas aos motores diesel. (Figura 16).

Figura 15 – Número de falhas por defeito com manutenção corretivas



Fonte: Autoria própria.

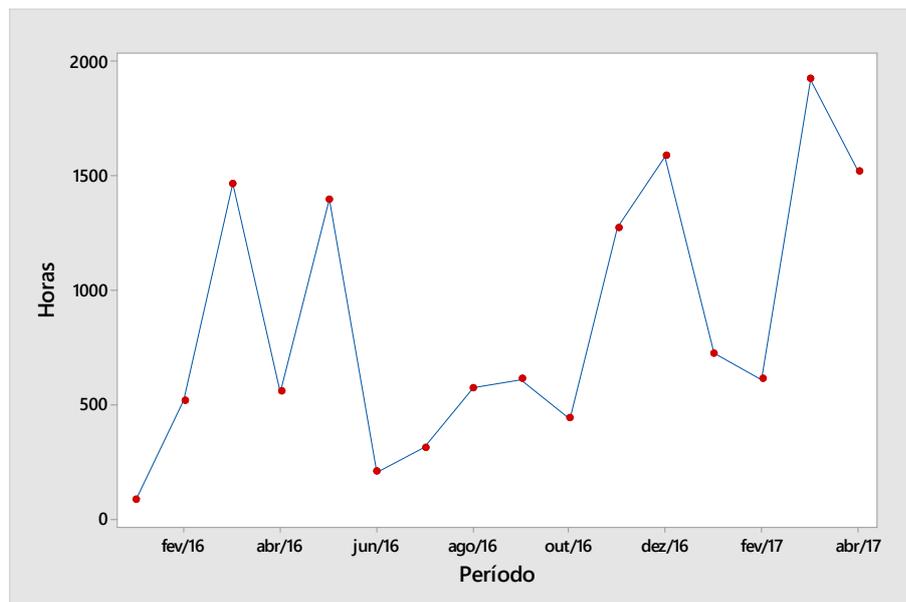
Figura 16 – Número de horas por defeito com manutenção corretivas



Fonte: Autoria própria.

Em relação às horas de manutenção corretivas nos motores diesel, identificou-se uma tendência de aumento, evidenciado na Figura 17, corroborando com a conclusão de que as falhas nos motores diesel seriam as que mais impactariam nas manutenções corretivas.

Figura 17 – Horas corretivas nos motores diesel



Fonte: Autoria própria.

O problema priorizado para o projeto foi, portanto, o número elevado de manutenções corretivas nos motores diesel dos equipamentos fora de estrada.

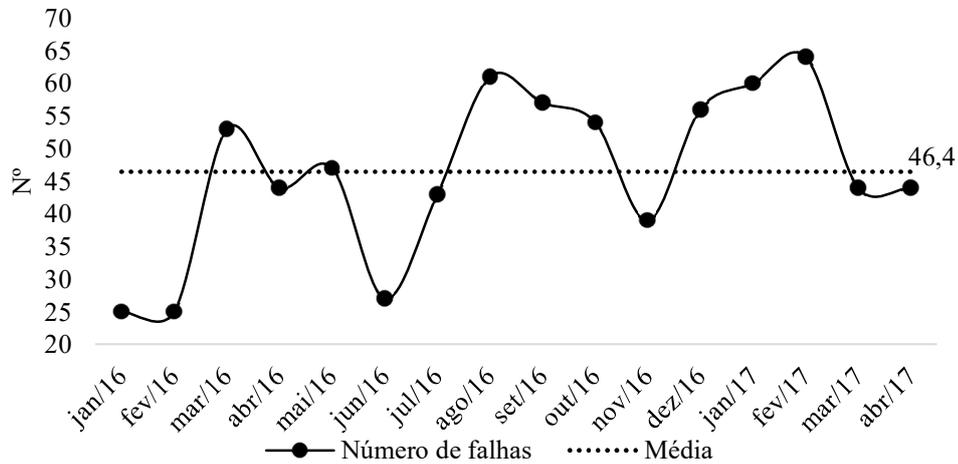
4.3 ESTÁGIO 3 – PLANEJAMENTO, COLETA E VALIDAÇÃO DOS DADOS

4.3.1 Avaliação preliminar dos dados de manutenção

Para sustentação do planejamento estratégico e dos indicadores da gerência, foi definido como indicador do projeto o número de falhas corretivas em motores diesel. Avaliado um

período histórico de 16 meses, constatou-se que a média de falhas corretivas em motores diesel era de 46,4 defeitos. A Figura 18, descreve o comportamento dessas falhas no decorrer do período de referência.

Figura 18 – Evolução histórica de defeitos nos motores diesel



Fonte: Autoria própria.

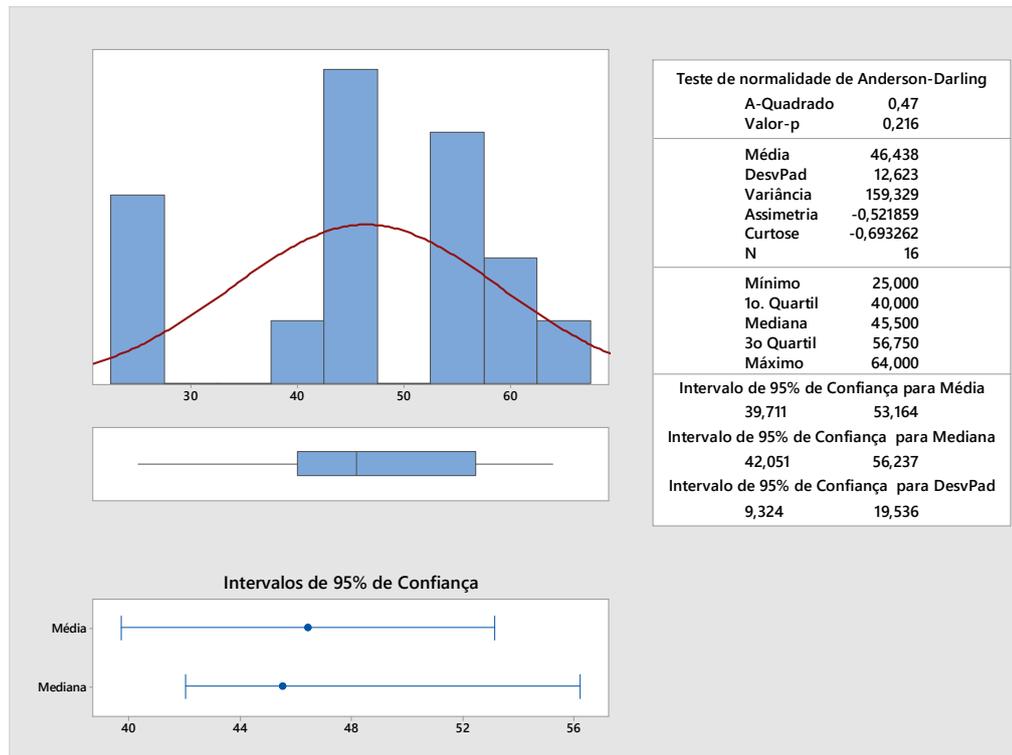
Os dados das manutenções utilizados para a investigação foram extraídos do sistema de informações organizacional, os quais foram atualizados sistematicamente pelos operadores do CCO (Centro de Controle da Operação).

4.3.2 Histórico do Indicador

Continuando com a análise preliminar dos dados de manutenção, utilizando-se o Gráfico de Dados Sumarizados disponível no Minitab, pode-se obter o histograma, o *Box-plot*, os intervalos de confiança para média e mediana e as estatísticas descritivas (Figura 19). Corroborando com a média obtida pela análise da evolução histórica das falhas, a média dos dados foi de 46,44 defeitos, com mediana igual a 45,50 defeitos. Os dados variaram entre 25 a 64 defeitos e o desvio padrão foi de 12,62, representando alta variabilidade no processo em relação à média.

Analisando-se o comportamento dos dados por meio do *Box-plot*, não foi identificada a presença de *outliers*; em 45% do período analisado os dados estão abaixo do total de defeitos e 25% dos dados estão entre o segundo e terceiro quartil, ou seja, variando de 45 e 56 defeitos.

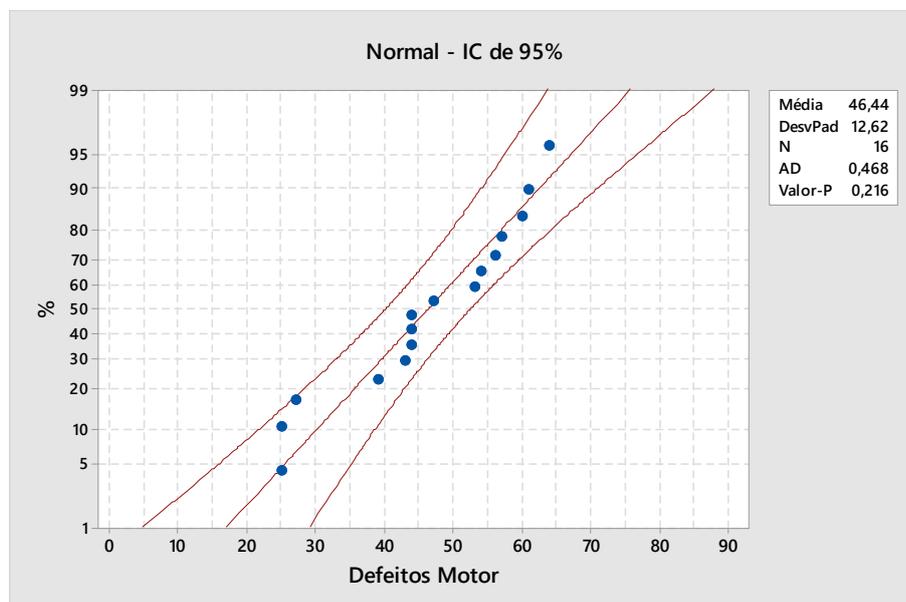
Figura 19 – Análise do indicador do projeto



Fonte: Autoria própria.

Para avaliar a variabilidade e possíveis causas especiais através da carta de controle, faz-se necessário descobrir a qual distribuição os dados se aderem. Realizado o teste de normalidade, como o valor de p é 0,463, que é maior do que o nível de significância de 0,05, a decisão é deixar de rejeitar a hipótese nula. Não é possível concluir que os dados não seguem uma distribuição normal. (Figura 20).

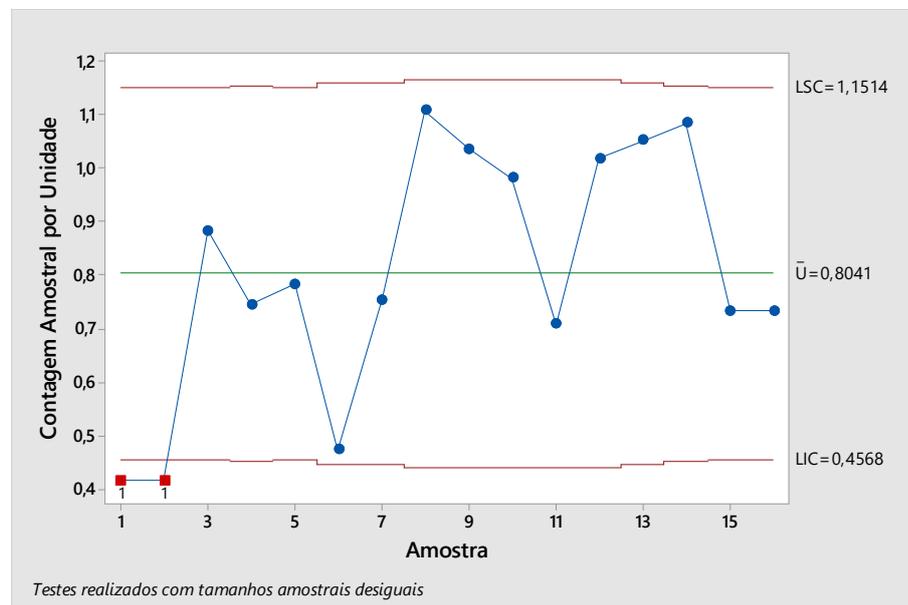
Figura 20 – Análise do indicador do projeto



Fonte: Autoria própria.

Gerada a carta de controle U, para número de defeitos por unidade de inspeção, com tamanho de amostra variável, já que o indicador é do tipo número de defeitos em relação ao número de equipamentos que estavam operando dentro do período analisado, verificou-se a presença de causas especiais relativas aos pontos 1 e 2, abaixo do limite inferior de controle. Analisando-se esses dois pontos, observou-se que, nos meses de janeiro e fevereiro de 2016, os caminhões da série 4 e 5 apresentavam poucas horas rodadas e cujos motores ainda se mantinham originais de fábrica. Esses dois dados, portanto, não caracterizavam equipamentos com demanda de manutenção, não sendo relevantes para a análise. Quanto aos demais pontos, não foram observadas causas especiais por tendência ou ciclicidade (Figura 21).

Figura 21 – Análise do número de falhas através da carta de controle U



Fonte: Autoria própria.

Procedendo-se ao cálculo de *Z-bench*, encontrou-se um nível sigma de 0,7, correspondente a mais de 690.000 defeitos por milhão (Tabela 4).

Tabela 4 – Nível sigma do processo

Número de unidades processadas (N)	16
Número total de defeitos ou não conformidades (D)	13
Escala Sigma	0,7

Fonte: Autoria própria.

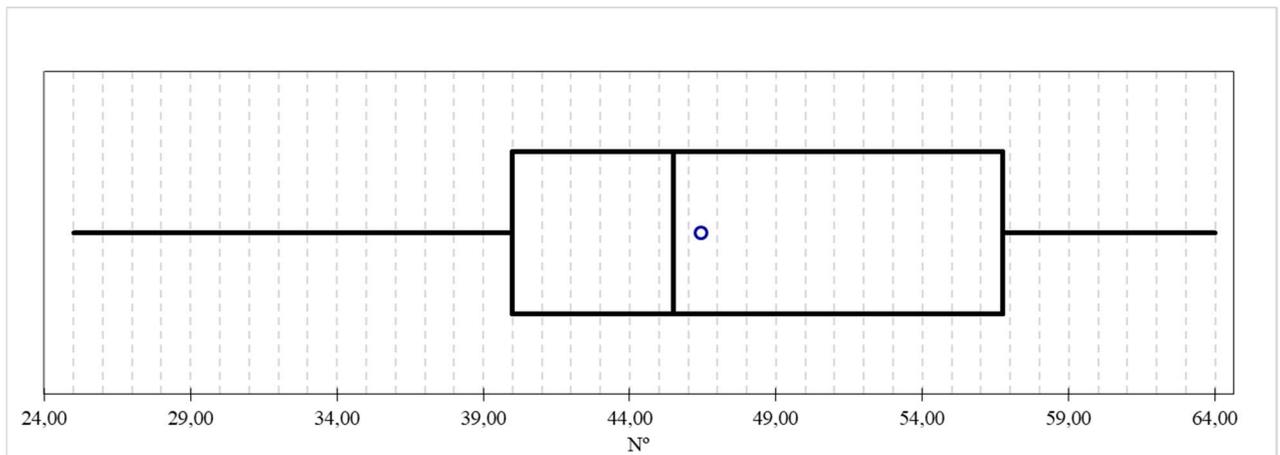
4.3.3 Definição da meta e ganho do projeto

Após a identificação do problema, é necessário determinar claramente os objetivos e as metas a serem alcançadas com o trabalho. As metas são estabelecidas para estreitar a distância entre o real e o ideal. A média no período histórico foi de 46,44 defeitos, verificando que o número de defeitos estava impactando no atendimento do indicador de DF e nos objetivos gerenciais.

Para contribuir com a estratégia da gerência, seria necessário um número de defeitos menor do que aquele que se estava praticando. Para auxiliar na definição da meta, foi considerada a aplicação de dois diferentes métodos: o dos quartis e o da lacuna.

O método do quartis divide o conjunto de dados em quatro partes, cada qual representando 25% dos dados coletados. Considerando-se o primeiro quartil, teoricamente o que apresentava maior número de defeitos, verificou-se que o número de defeitos estava abaixo da média historicamente verificada: 40 defeitos, conforme se observa pela Figura 22. Fixar a meta nesse valor já representaria um grande desafio para o projeto. A Tabela 5 apresenta as estatísticas do quartis para esses dados.

Figura 22 – Definição da meta através dos Quartis



Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – estatística descritiva do número de defeitos

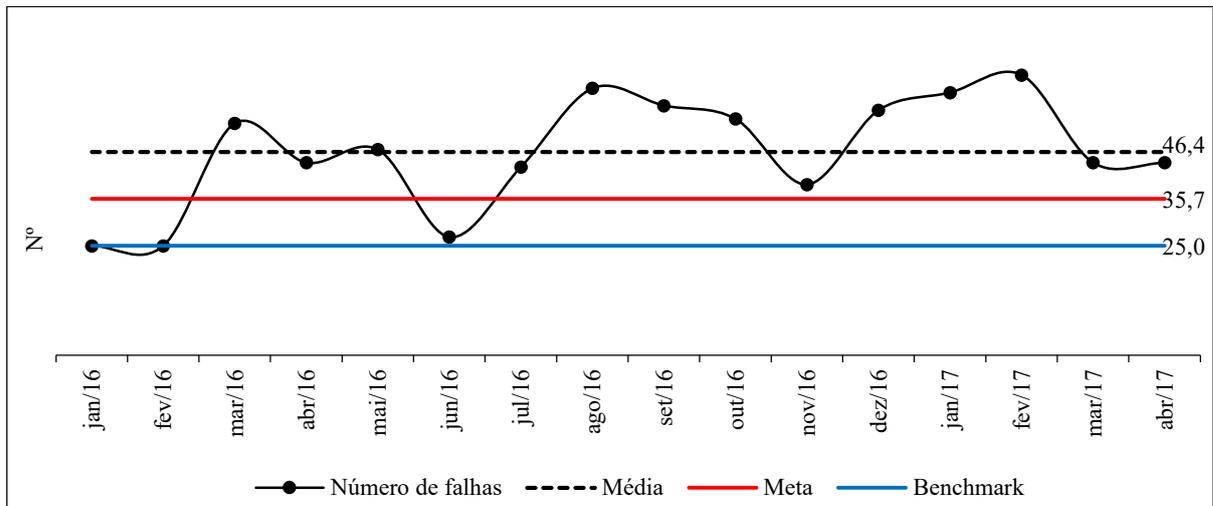
Variável	Nº dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Nº falhas	16	46,44	12,62	25,00	40,00	45,50	56,75	65,00

Fonte: Autoria própria.

O método da lacuna é utilizado quando se deseja comparar um valor de referência aos resultados possíveis de serem alcançados. Valendo-se dessa premissa, analisou-se a diferença entre a média de defeitos verificados historicamente, aqui considerado valor de referência, e o melhor resultado obtido no período considerado. Foi utilizada a média, pois os valores apresentavam valores discrepantes nos dados históricos. A valor considerado como referência, resultante da média histórica, foi de 46,4 defeitos. O menor resultado do período foi de 25 defeitos.

Na busca por uma meta ousada e factível, definiu-se a utilização de 50% da lacuna entre a média dos dados e o menor resultado apresentado. Portanto, a lacuna foi estabelecida em 35,7 defeitos, conforme se verifica pela Figura 23.

Figura 23 – Definição da meta utilizando 50% da lacuna



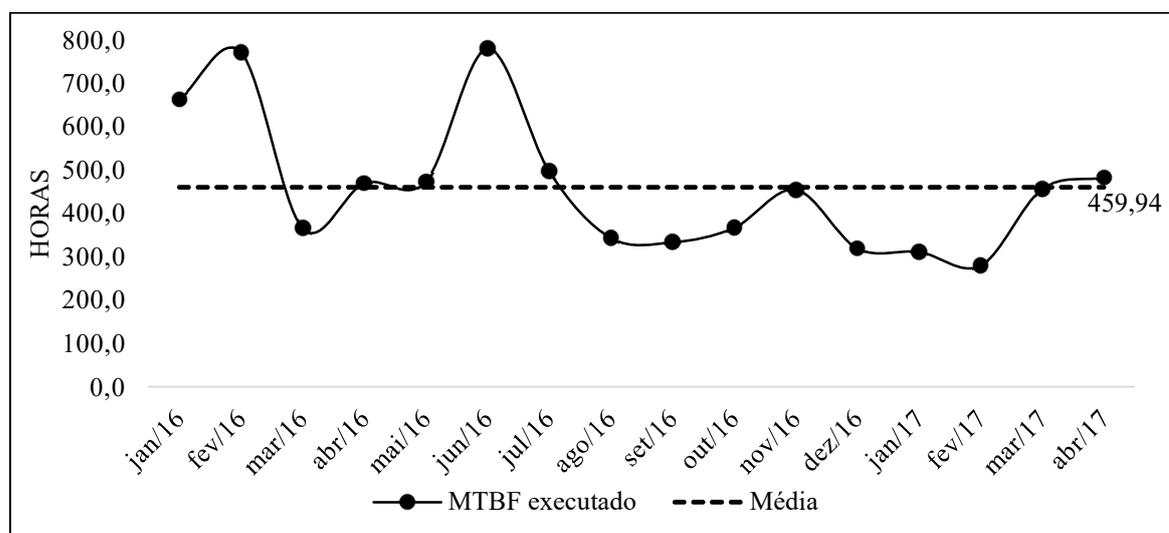
Fonte: Autoria própria.

O método dos quartis apresentou uma meta de 40 defeitos e o método da lacuna de 35,7 defeitos. Portanto, o método da lacuna apresentou uma meta mais desafiadora e o resultado estava coerente com a solicitação gerencial.

Portanto, a meta definida para o projeto foi de 35,7 defeitos nos motores diesel por mês até maio de 2018.

Com a definição da meta, fez-se necessário estabelecer o ganho com a implementação do projeto. O ganho foi estabelecido a partir do número de horas que os motores rodariam, sem apresentar algum defeito. Para se estabelecer essa estimativa, o tempo médio entre as falhas (MTBF), que é a razão entre as horas trabalhadas, divididas pelo número de defeitos no período, foi calculado. No período histórico, o MTBF foi de 421,92 horas (Figura 24).

Figura 24 – Comportamento do tempo médio entre as falhas



Fonte: Autoria própria.

Considerando-se que a meta do projeto foi de 36 falhas por mês e estimando-se um ganho de 29% no MTBF de motores, estabeleceu-se o valor de 544,25 horas, como meta do projeto, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Comportamento do tempo médio entre as falhas

Memória de Cálculo	
HT Total (jan/16 - abr/17)	313488
Nº Falhas motores (jan/16 - abr/17)	743
MTBF executado jan/16 - abr/17	421,92
Meta do projeto (16 meses x 36 falhas/mês)	576
MTBF projetado	544,25
Ganho	29%

Fonte: Autoria própria.

4.3.4 Análise do fenômeno

Após o estabelecimento das metas do projeto, procedeu-se a análise do fenômeno ou análise do problema, para que as características do problema pudessem ser reconhecidas. Tal análise consiste em investigar as características específicas do problema, com uma visão ampla e sob vários pontos de vista. Esta análise permite a localização do foco do problema e facilita as análises posteriores de busca pelas suas causas.

4.3.4.1 Definição e análise dos focos de atuação

A primeira fase consiste em estratificar o problema geral, dividindo-o em vários subproblemas, a fim de visualizá-lo de forma mais clara e priorizar aqueles considerados críticos.

A partir de uma coleta de dados, planejada para estratificação em relação aos defeitos corretivos nos motores diesel, estabeleceram-se os focos de atuação em 7 conjuntos – turbina, filtro diesel, sensor temperatura exaustão, *switch* nível óleo motor, injetor, coletor de descarga e *aftercooler* – e esses, analisados e estratificados em itens, definidos conforme o registro de defeitos no sistema de apropriação, apresentados no Quadro 6.

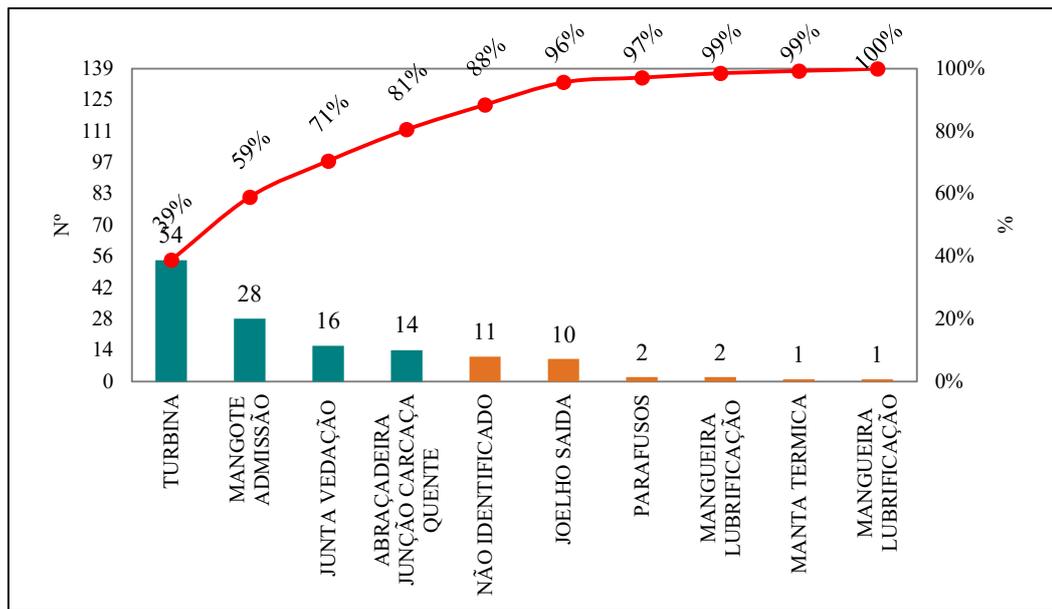
Quadro 6 – Estratificação das falhas nos motores diesel

Falhas nos Motores Diesel	
Conjunto	Item
1 – Turbina	1.1 - Turbina
	1.2 - Mangote Admissão
	1.3 - Junta vedação
	1.4 - Abraçadeira
	1.5 - Não identificado
	1.6 - Joelho saída
	1.7 - Parafusos
	1.8 - Mangueira lubrificação
	1.9 - Manta térmica
2 - Filtro diesel	2.1 - Filtro secundário
	2.2 - Filtro primário
	2.3 - Não identificado
	2.4 - Filtro Racor
3 - Sensor temperatura exaustão	3.1 - Sensor
4 - <i>Switch</i> nível óleo motor	4.1 - <i>Switch</i> nível
	4.2 - Mau contato
	4.3 - Conector
	4.4 - Chicote
5 – Injetor	5.1 - Injetor
	5.2 - Chicote
	5.3 - Não identificado
	5.4 - Conector
6 - Coletor de descarga	6.1 - Vedação
	6.2 - Não identificado
	6.3 - Abraçadeira
	6.4 - Coletor de descarga
	6.5 - Tubo de saída
7 – <i>Aftercooler</i>	7.1 - Parafuso
	7.2 - Vedação
	7.3 - <i>Aftercooler</i>
	7.4 - Não identificado
	7.5 - Bujão

Fonte: Autoria própria.

Para cada conjunto identificado na fase anterior, foram construídos Gráficos de Pareto, com intuito de se determinarem, dentre os seus itens, aqueles cuja ação deveria ser prioritária. A Figura 25 apresenta o Pareto gerado para o conjunto “Turbina”. Os gráficos gerados para os demais conjuntos podem ser consultados no Apêndice A.

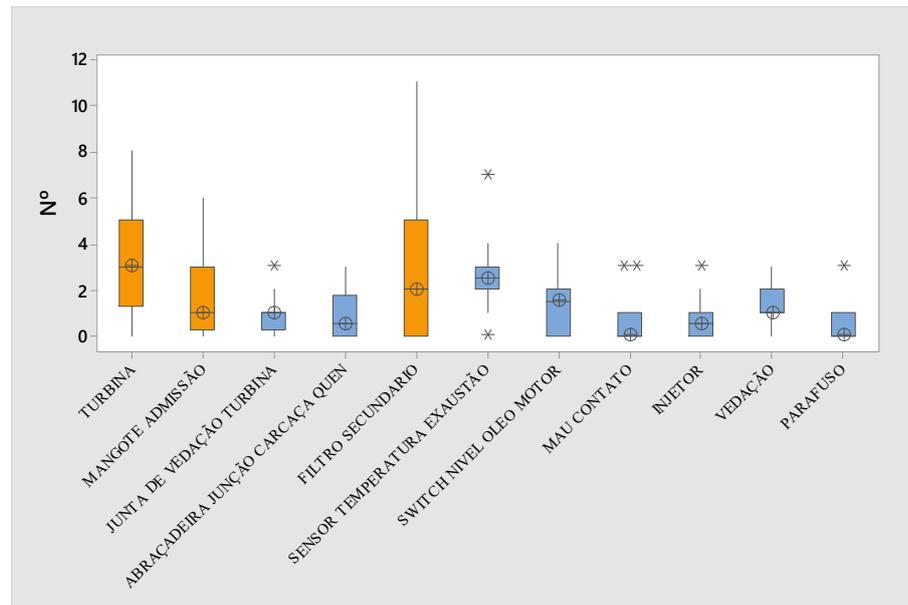
Figura 25 – Gráfico de Pareto para priorização dos focos de atuação



Fonte: Autoria própria.

Após analisados os focos de atuação e priorizados os itens referentes a cada conjunto, esses sofreram a análise de comportamento, dentro do período histórico determinado. Para essa análise, foram utilizadas as ferramentas “histograma”, “*Box-plot*” e “Cartas de Controle”.

Utilizando-se do *Box-plot* (Figura 26), foi possível avaliar, para cada um dos itens considerados, a variação dos dados observados por meio dos quartis e identificação de possíveis *outliers*. A partir da análise do *Box-plot*, observou-se a presença de *outliers* nos itens “junta de vedação turbina”, “sensor temperatura exaustão”, “mau contato no *switch* nível”, “injetor” e “parafuso do *aftercooler*”. Todos os *outliers* identificados foram considerados significantes ao estudo, por isso, mantidos na avaliação. Quanto à variabilidade dos dados, destacam-se os focos turbina, mangote de admissão e filtro secundário.

Figura 26 – *Box-plot* dos focos de atuação

Fonte: Autoria própria.

A partir da análise da média, mediana, desvio padrão e *p-value*, observou-se o comportamento dos focos de atuação dentro do período histórico determinado. Por meio das informações apresentadas na Tabela 7, observa-se que os focos de atuação que apresentaram as maiores médias e medianas foram “filtro secundário”, “turbina” e “sensor temperatura exaustão”. Quanto ao desvio padrão, destacam-se “filtro secundário”, “turbina” e “mangote de admissão”, permitindo avaliar o nível de dispersão dos focos dentro do período determinado. Em relação ao valor do *p-value*, os focos “turbina”, “mangote de admissão” e o “sensor temperatura exaustão” apresentam resultados acima de 0,05, representando-se uma distribuição normal dos dados. Em relação aos demais focos de atuação observou-se que os dados não seguem uma distribuição normal, com o *p-value* inferior a 0,05.

Tabela 7 – Avaliação dos focos de atuação

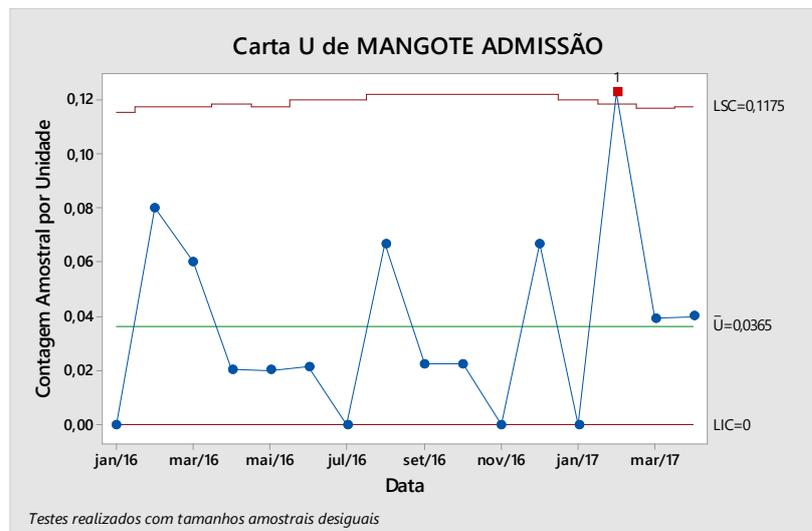
Foco de Atuação	Média	Mediana	Desvio Padrão	<i>p-value</i>
Turbina	3,375	3,000	2,500	0,362
Mangote de admissão	1,750	1,000	1,693	0,051
Junta de vedação	1,000	1,000	0,817	<0,005
Abraçadeira junção da carcaça quente	0,875	0,500	1,088	<0,005
Filtro secundário	3,187	2,000	3,763	0,007
Sensor temperatura exaustão	2,625	2,500	1,586	0,053
Switch nível óleo motor	1,438	1,500	1,412	0,018
Mau contato	0,687	0,000	1,014	<0,005
Injetor	0,687	0,500	0,873	<0,005

Fonte: Autoria própria.

Para verificar estatisticamente o comportamento dos focos de atuação, utilizou-se uma carta de controle U, já que o indicador é do tipo número de defeitos em relação ao número de equipamentos que estavam operando dentro do período analisado.

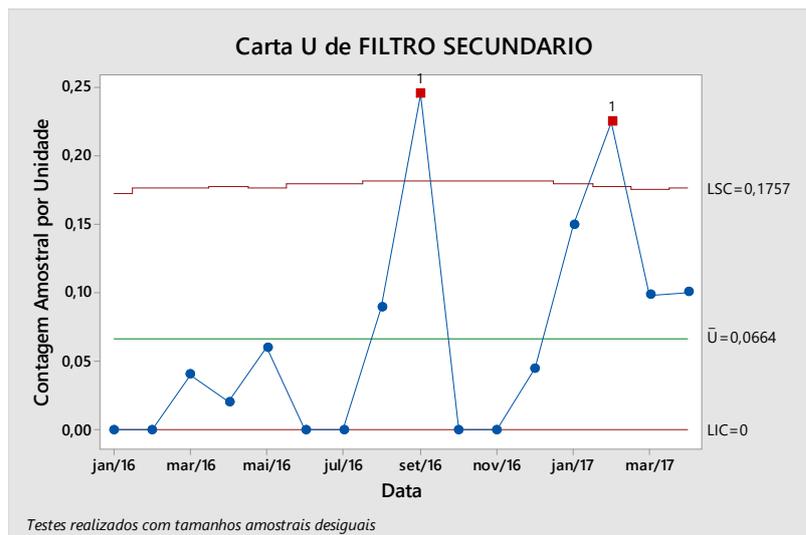
Verificou-se que os focos de atuação mangote de admissão, filtro secundário e no parafuso, apresentaram pontos fora dos limites de controle. Não foram observadas causas especiais por tendência ou ciclicidade (Figura 27(a), 27(b) e 27(c)). Os gráficos gerados para os demais conjuntos podem ser consultados no Apêndice B.

Figura 27 (a) – Carta U dos focos de atuação: Mangote de Admissão



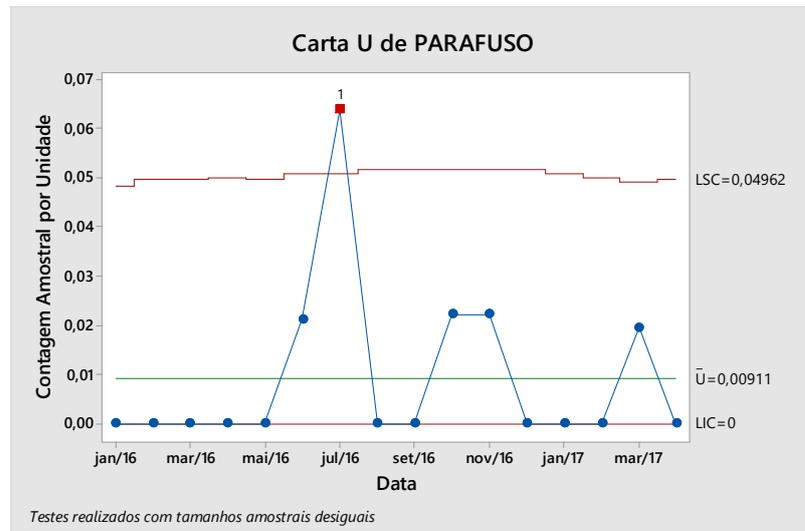
Fonte: Autoria própria.

Figura 27 (b) – Carta U dos focos de atuação: Filtro Secundário



Fonte: Autoria própria.

Figura 27 (c) – Carta U dos focos de atuação: Parafuso



Fonte: Autoria própria.

A causa especial identificada no mangote ocorreu devido a um defeito durante a remoção do motor diesel para a manutenção. As causas identificadas no filtro secundário e no parafuso foram ocasionadas por falhas intermitentes no mesmo equipamento durante o período determinado.

4.3.4.2 Definição das metas específicas

Após a estratificação e análise dos focos de atuação, é necessário determinar claramente os objetivos e as metas específicas a serem alcançadas com o trabalho. As metas são estabelecidas para estreitar a distância entre o real e o ideal. Para auxiliar na definição da meta, foi considerada a aplicação de dois diferentes métodos: o dos quartis e o da lacuna.

Conforme já mencionado, o método do quartis divide o conjunto de dados em quatro partes, cada qual representando 25% dos dados coletados. Considerando o 1º quartil para definição das metas específicas, verificou-se que a redução não atingiria a meta geral estabelecida (Tabela 8).

Tabela 8 – Definição das metas específicas através dos quartis

Defeito	Nº dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Turbina	16	3,38	2,50	0,00	1,25	3,00	5,00	8,00
Mangote Admissão	16	1,75	1,69	0,00	0,25	1,00	3,00	6,00
Junta de vedação turbina	16	1,00	0,82	0,00	0,25	1,00	1,00	3,00
Abraçadeira	16	0,88	1,09	0,00	0,00	0,50	1,75	3,00
Filtro secundário	16	3,19	3,76	0,00	0,00	2,00	5,00	11,00
Sensor temperatura	16	2,63	1,59	0,00	2,00	2,50	3,00	7,00
Switch	16	1,44	1,41	0,00	0,00	1,50	2,00	4,00
Mau contato	16	0,69	1,01	0,00	0,00	0,00	1,00	3,00
Injetor	16	0,69	0,87	0,00	0,00	0,50	1,00	3,00
Vedação	16	1,31	0,95	0,00	1,00	1,00	2,00	3,00
Parafuso	16	0,44	0,81	0,00	0,00	0,00	1,00	3,00
Soma dos defeitos no 1º quartil					5,00			

Fonte: Autoria própria.

O método da lacuna é utilizado quando se deseja comparar um valor de referência aos resultados possíveis de serem alcançados. Valendo-se dessa premissa, analisou-se a diferença entre a média de defeitos verificados historicamente, aqui considerado valor de referência, e o melhor resultado obtido no período considerado. Foi utilizada a média de cada foco de atuação, pois os valores apresentavam valores discrepantes nos dados históricos. Definiu-se a utilização de 65% da diferença da lacuna e o melhor resultado para definição das metas específicas. Estabeleceu-se como meta geral a redução em 22% no número de falhas, saindo de uma média de 46 para 36 falhas/mês até junho de 2018. O somatório das metas específicas utilizando o método da lacuna, resultará numa redução de 11 defeitos/mês (Tabela 09). Portanto, o cumprimento das metas específicas suportará a meta geral.

Tabela 9 – Cumprimento das metas específicas *versus* meta geral

Conjunto	Item	Meta Específica
Turbina	Turbina	2,00
	Mangote admissão	1,00
	Junta de vedação turbina	1,00
	Abraçadeira junção carcaça quente	1,00
Filtro diesel	Filtro secundário	2,00
Sensor temperatura exaustão	Sensor temperatura exaustão	2,00
Switch nível de óleo motor	Switch nível de óleo motor	1,00
Coletor descarga	Vedação	1,00
Total de redução com as metas específicas		11,00 defeitos/mês
Total de redução com a meta geral		10,00 defeitos/mês

Fonte: Autoria própria.

4.4 ESTÁGIO 4 – ANÁLISE, PLANO DE AÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO

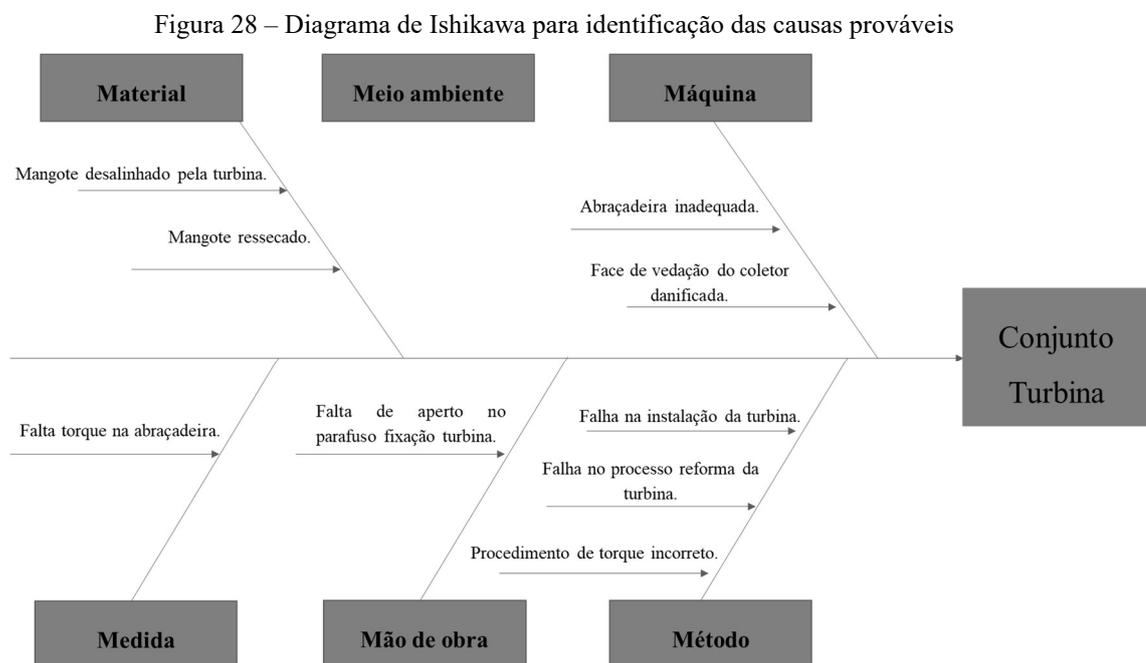
4.4.1 Análise do processo

Processo realizado para identificar as causas potenciais dos problemas priorizados na etapa de análise do fenômeno. Como problemas distintos podem ter causas distintas, realizou-se uma análise do processo para cada problema priorizado na etapa de análise do fenômeno. Foi importante realizar, com base no conhecimento técnico da equipe, a priorização das causas.

Para levantamento das prováveis causas, selecionou-se os empregados que atuavam diretamente na manutenção dos motores diesel, compreendendo mecânicos, eletricitas, orientador técnico, engenheiros e analistas.

Identificaram-se as prováveis causas por meio das ferramentas *brainstorming* e relacionaram-nas com os efeitos das quebras nos motores diesel com a utilização do diagrama de causa e efeito.

Cinco efeitos foram considerados para preenchimento do diagrama: “turbina”, “filtro diesel”, “sensor temperatura exaustão”, “switch nível óleo motor” e “coletor de descarga” (Figura 28).



Fonte: Autoria própria.

A equipe do projeto gerou uma matriz de causa e efeito com o propósito de reduzir/ordenar as 62 causas identificadas. Para construção da matriz, cada *input* relaciona-se com um *output*, e a importância que exerce sobre os mesmos. Estabeleceu-se pesos para cada *output* durante a votação, seguindo os critérios: reduzir o número de falhas (peso 10), frequência

(peso 8), facilidade na implantação (peso 7) e baixo custo (peso 5) (Figura 29). Na coluna total, os valores para cada critério foram multiplicados e estabeleceu-se a importância de cada *input*.

Figura 29 – Matriz de priorização das causas prováveis

Causas Levantadas	Critérios de Priorização					Total
	Reduz o número de falhas	Frequência	Facilidade de Implantação	Baixo Custo		
	10	8	7	5		
	Pesos do Critério					
QUEBRA TURBINA						
MANGOTE						
ADMISSÃO						
JUNTA DE VEDAÇÃO						
TURBINA						
ABRACADEIRA						
JUNÇÃO CARCAÇA						
QUENTE						
	x	x	x	x	x	94
	x	x	x	x	x	134
	x	x	x	x	x	58
	x	x	x	x	x	58
	x	x	x	x	x	110
	x	x	x	x	x	130
	x	x	x	x	x	30
	x	x	x	x	x	150
	x	x	x	x	x	140
	x	x	x	x	x	136
	x	x	x	x	x	140
	x	x	x	x	x	136
	x	x	x	x	x	44
	x	x	x	x	x	120
	x	x	x	x	x	136
	x	x	x	x	x	80
	x	x	x	x	x	118
	x	x	x	x	x	122
	x	x	x	x	x	102
	x	x	x	x	x	110
	x	x	x	x	x	120
	x	x	x	x	x	84
	x	x	x	x	x	50

Fonte: Autoria própria.

Para definição do critério de eliminação de alguma causa provável, utilizou-se o 1º quartil da estatística descritiva, conforme a Tabela 10. As notas estabelecidas acima do 1º quartil foram selecionadas para a fase de confirmação. Foram selecionadas um total de 44 causas para análise de priorização.

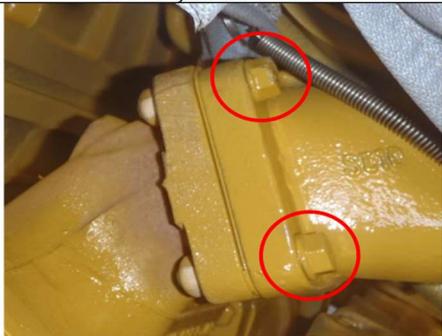
Tabela 10 – Estatística descritiva para seleção das causas prováveis

Variável	N	Média	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Quebra turbina	6	113	80	96,5	119	125,5	136
Mangote admissão	4	91	50	58,5	97	117,5	120
Junta Vedação Turbina	7	88	30	58,0	94	130,0	134
Abraçadeira	6	124	44	113,0	138	142,5	150

Fonte: Autoria própria.

Para confirmação das 44 causas priorizadas, utilizou-se análise de desempenho, avaliações em campo e documentais. Para realização das avaliações em campo, utilizou-se um relatório técnico que foi desenvolvido pela equipe do projeto para formalização, conforme a Figura 30. As avaliações das possíveis causas resultaram-se na confirmação de 21 causas e a reprovação de 23 causas.

Figura 30 – Relatório técnico para avaliação em campo

RELATÓRIO TÉCNICO																				
TÍTULO DO PROJETO	REDUÇÃO DE FALHAS CORRETIVAS NOS MOTORES DA FROTA DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA	Nº DO PROJETO																		
COORDENADORES	EFIGÊNIO COSTA E JUNIO OLIVEIRA																			
PERÍODO DE VERIFICAÇÃO	ANÁLISE DO PROCESSO																			
1. DESCRIÇÃO DA CAUSA																				
JUNTA DE VEDAÇÃO TURBINA - Utilização de material (parafuso) desatualizado																				
2. VERIFICAÇÃO																				
CONDIÇÃO NORMAL		CONDIÇÃO ANORMAL																		
 <p>Usar parafusos, porcas, espaçadores e junta do modelo atualizado pela Caterpillar.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">S/N:FDB, ATY, CBR, 2BW</th> </tr> <tr> <th>New Part Number</th> <th>Name</th> <th>Former Part Number</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>173-2090</td> <td>Spacer</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>376-7739</td> <td>Bolt</td> <td>2N-2765</td> </tr> <tr> <td>391-2167</td> <td>Flange Locknut</td> <td>2N-2766</td> </tr> <tr> <td>489-0207</td> <td>Exhaust Gasket</td> <td>121-5736</td> </tr> </tbody> </table>		S/N:FDB, ATY, CBR, 2BW			New Part Number	Name	Former Part Number	173-2090	Spacer	N/A	376-7739	Bolt	2N-2765	391-2167	Flange Locknut	2N-2766	489-0207	Exhaust Gasket	121-5736	 <p>Uso de parafusos e porcas modelo antigo.</p>
S/N:FDB, ATY, CBR, 2BW																				
New Part Number	Name	Former Part Number																		
173-2090	Spacer	N/A																		
376-7739	Bolt	2N-2765																		
391-2167	Flange Locknut	2N-2766																		
489-0207	Exhaust Gasket	121-5736																		

Fonte: Autoria própria.

4.4.2 Elaboração e implementação do plano de ação

Após a confirmação das causas, estabeleceu-se um plano com ações assertivas para bloqueio dessas causas. A equipe Seis Sigma reuniu-se com os empregados da oficina e através de um *brainstorming*, definiram-se as possíveis soluções. Algumas causas tiveram mais de uma solução proposta e para definir a melhor solução, elaborou-se uma matriz para priorização da melhor solução. Realizou-se uma votação levando em consideração os seguintes critérios: impacto sobre a causa, complexidade, custo e prazo, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Priorização das possíveis soluções

Combustível contaminado	Tanque de combustível do caminhão contaminado	Isolamento do filtro Racor	Causas priorizadas	Possíveis Soluções	10	8	8	6	PESO
					Impacto sobre a causa	Complexidade	Custo	Prazo	Total
X			Contaminação do combustível na manutenção do tanque	Não utilizar combustível que foi drenado do tanque durante a manutenção	10	0	0	0	100
X				Drenar o combustível em reservatório apropriado	10	5	5	8	228
	X		Oxidação interna do tanque	Realizar limpeza interna do tanque com o fornecedor	5	0	0	2	62
	X			Isolar o tanque durante a manutenção	10	5	10	8	268
	X		Acúmulo de água: Falha na limpeza do tanque	Drenar a água do tanque após a manutenção	10	5	5	5	210
	X		Acúmulo de água: Falta de manutenção no respiro do tanque	Aplicação da manutenção do respiro conforme manual do fabricante	5	5	5	10	190
		X	Falha no processo de execução	Orientar os empregados sobre a importância do não isolamento do filtro RACOR	10	8	10	8	292
		X	Falta de tomada de pressão	Montar tomada de pressão	5	8	8	8	226

Fonte: Autoria própria.

Após a definição das soluções, estruturou-se um plano de ação para garantir o alcance da meta estabelecida para o projeto (Tabela 12). Utilizou-se um modelo de plano que levava em consideração a solução a ser implantada (O quê?), prazo para implementação da solução (Quando?), e os responsáveis pela implementação da solução (Quem?).

Tabela 12 – Plano de ação para implementação das melhorias

ID	Ação	Planejamento		Responsável
		Início	Fim	
1	COMBUSTÍVEL CONTAMINADO	28/10/2017	26/02/2018	
1.1	Providenciar e identificar reservatórios para drenar combustível durante a manutenção.	28/10/2017	26/01/2018	Supervisor
1.2	Providenciar e identificar bomba para cada tipo de óleo.	29/10/2017	02/02/2018	Supervisor
1.3	Treinar os empregados na utilização do reservatório para drenar combustível durante a manutenção e bomba para cada tipo de óleo.	30/10/2017	26/02/2018	Analista
2	TANQUE DE COMBUSTÍVEL DO CAMINHÃO CONTAMINADO	28/10/2017	16/02/2018	
2.1	Definir melhor local para acondicionamento dos tanques diesel reservas.	28/10/2017	26/01/2018	Supervisor
2.2	Padronizar o fechamento das janelas do tanque diesel durante as manutenções.	28/10/2017	06/02/2018	Supervisor
2.3	Treinar os empregados no padrão de isolamento do tanque diesel reserva.	28/10/2017	09/02/2018	Supervisor
2.4	Desenvolver método para remover o resíduo de água do tanque pós manutenção.	28/10/2017	16/02/2018	Supervisor
2.5	Fabricar suporte para tanque Diesel com inclinação para dreno de resíduo de água	28/10/2017	15/12/2017	Supervisor
2.6	Treinar os empregados no método de remoção do resíduo de água do tanque diesel pós manutenção.	28/10/2017	02/02/2018	Supervisor
2.7	Verificar a eficácia do treinamento para remoção do resíduo de água do tanque diesel pós manutenção.	28/10/2017	02/02/2018	Supervisor
2.8	Verificar no plano de revisão se consta a manutenção do respiro do Tanque Diesel	28/10/2017	09/02/2018	Engenheiro

Fonte: Aatoria própria.

Após o estabelecimento do plano de ação, realizou-se um acompanhamento efetivo das ações estabelecidas por meio das reuniões semanais para garantir o sucesso na implantação. Todas as ações estabelecidas pela equipe do projeto foram implementadas e avaliada a efetividade.

5. ESTÁGIO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

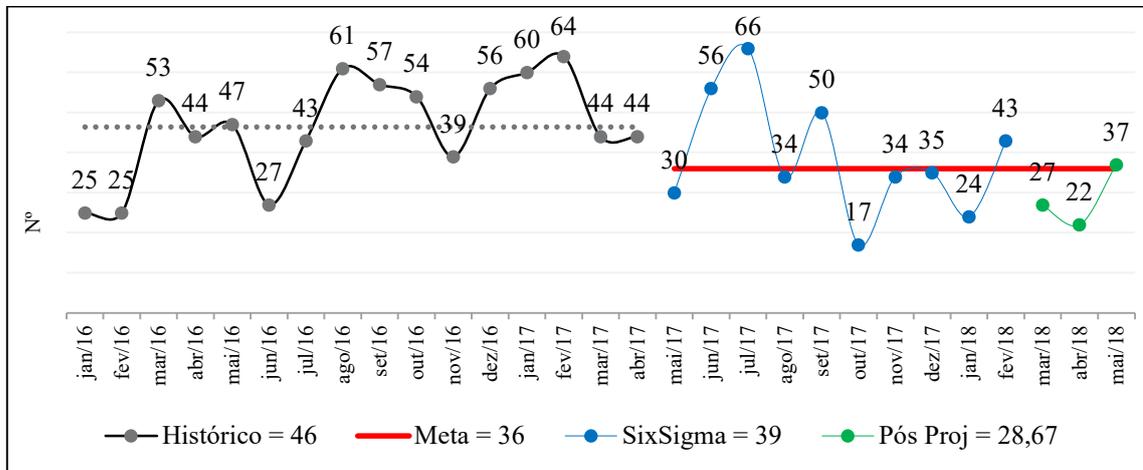
5.1 ALCANCE DA META GLOBAL

Vencidas as etapas de definição do contexto e propósito, planejamento e estruturação, coleta e validação dos dados e implementação do projeto, chegou-se à etapa de avaliação dos resultados, os quais serão amplamente discutidos na seção a seguir.

A meta geral estabelecida para o projeto foi a redução do número de defeitos nos motores diesel de 46 para 36. Por meio do gráfico sequencial, observou-se o comportamento do indicador durante a implementação do projeto (Figura 31). O número que defeitos foi reduzindo à medida que o projeto foi avançando. Observou-se que na fase de verificação, a

média do número de defeitos ficou em 28,67, representando uma redução de 38% no número de defeitos nos motores diesel (Tabela 13).

Figura 31 – Comportamento do número de defeitos nos motores diesel



Fonte: Autoria própria.

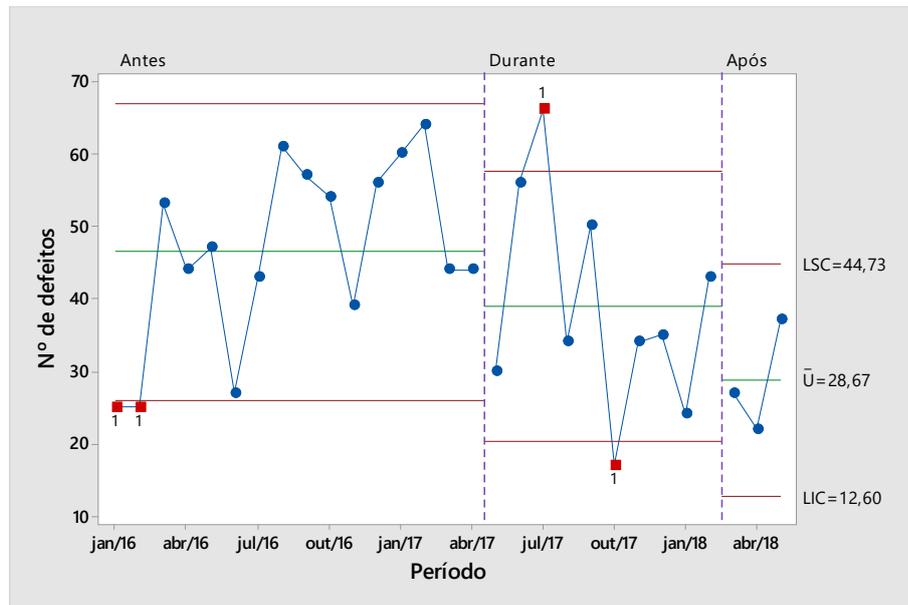
Tabela 13 – Resultado na fase de verificação do número de defeitos

Média histórica	46,44 defeitos
Meta Proposta	35,72 defeitos
Alcance na Verificação	28,67 defeitos
Redução Alcançada	38%

Fonte: Autoria própria.

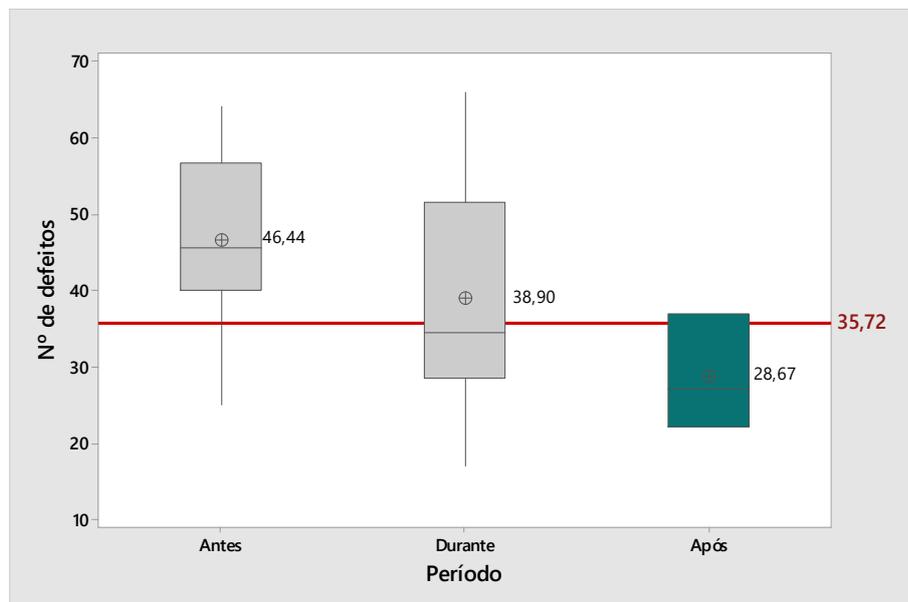
De acordo com a Figura 32, observa-se que a variabilidade dos dados não alterou significativamente durante as três fases do projeto. Entretanto, percebe-se uma redução significativa na média dos defeitos, atingindo na fase de verificação o valor de $\bar{X}=28,67$, não sendo identificadas causas especiais em nenhuma das fases.

Figura 32 – Falhas nos motores antes, durante e após a implementação do projeto



Fonte: Autoria própria.

Observa-se através do *Box-plot* que, antes do projeto, mais de 75% dos dados estavam acima da meta estabelecida e, à medida que as ações foram implementadas, houve um deslocamento dos quartis, com mais de 50% dos dados abaixo da meta. Na fase de verificação, quase todos os dados estavam dentro da meta estabelecida, apresentando uma média de 28,7 defeitos para uma meta de 35,72 (Figura 33).

Figura 33 – Comportamento das falhas através do *Box-plot*

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, considerando-se os valores finais de média (28,667), desvio-padrão (7,638) e limites de especificação LSE e alvo (36,00), foi calculada a capacidade do processo, obtendo-se por meio da tabela 6, o índice Ppk de 0,32, na fase de verificação, contra um valor de -0,28,

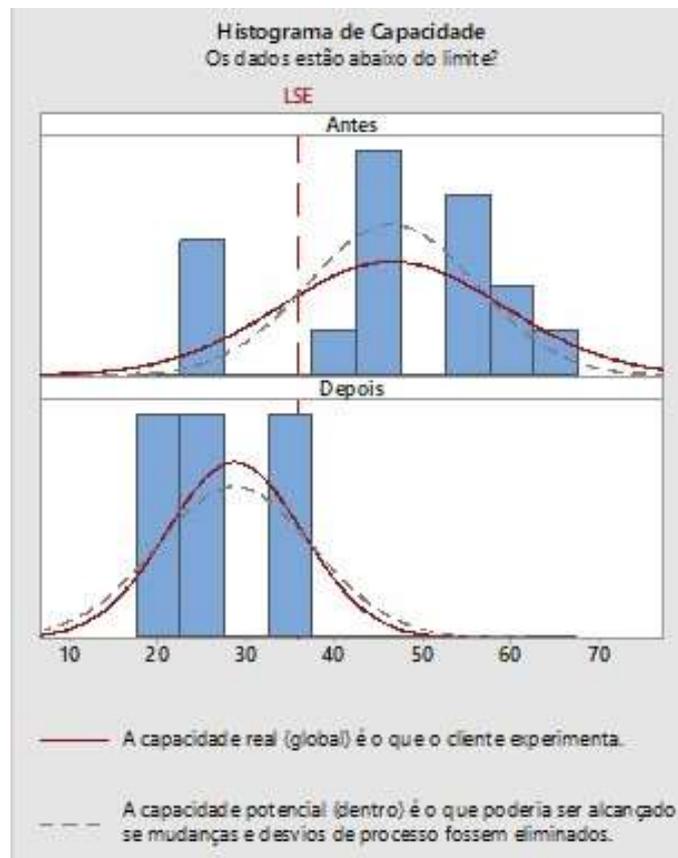
para este mesmo índice, na fase inicial (Tabela 14). Quanto aos itens fora de especificação, o percentual foi reduzido em 65,96%, de 86,37% para 20,41% (Figura 34).

Tabela 14 – Relatório de desempenho do processo

Estatística	Antes	Depois	Modificação
Média	46,438	28,667	-17,771
Desv Pad (Global)	12,623	7,6376	-4,9849
Capacidade Real			
Pp	*	*	*
Ppk	-0,28	0,32	0,60
% fora de especificação	86,37	20,41	-65,96
PPM (DPM O)	863660	204062	-659598

Fonte: Autoria própria.

Figura 34 – Relatório de desempenho do processo



Fonte: Autoria própria.

Avaliando-se o *Z-bench*, esse apresentava um valor de 0,67 no início do projeto; já na fase de verificação, o valor calculado foi de 2,46, representando um aumento de 1σ para 2σ (Tabela 15).

Tabela 15 – Número de defeitos em relação ao nível sigma.

Nível sigma	Nível da qualidade	Taxa de Erro	Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)
1 σ	30,90%	69,10%	691.462
2 σ	69,10%	30,90%	308.538
3 σ	93,30%	6,70%	66.807
4 σ	99,38%	0,62%	6.21
5 σ	99,977%	0,023%	233
6 σ	99,99966%	0,00034%	3.4

Fonte: Autoria própria.

5.2 ALCANCE DAS METAS ESPECÍFICAS

Foram estabelecidas na fase de análise do fenômeno, 8 metas específicas para o projeto, todas foram acompanhadas e suas ações foram implementadas com o foco na redução do número de defeitos.

Observou-se na etapa anterior, que o projeto alcançou a meta geral, reduzindo de 10 defeitos, para reduzidos 11 defeitos nos motores diesel dos caminhões fora de estrada. Em relação as metas específicas, das 8 metas estabelecidas, 2 não alcançaram os resultados definidos, conforme a Tabela 16.

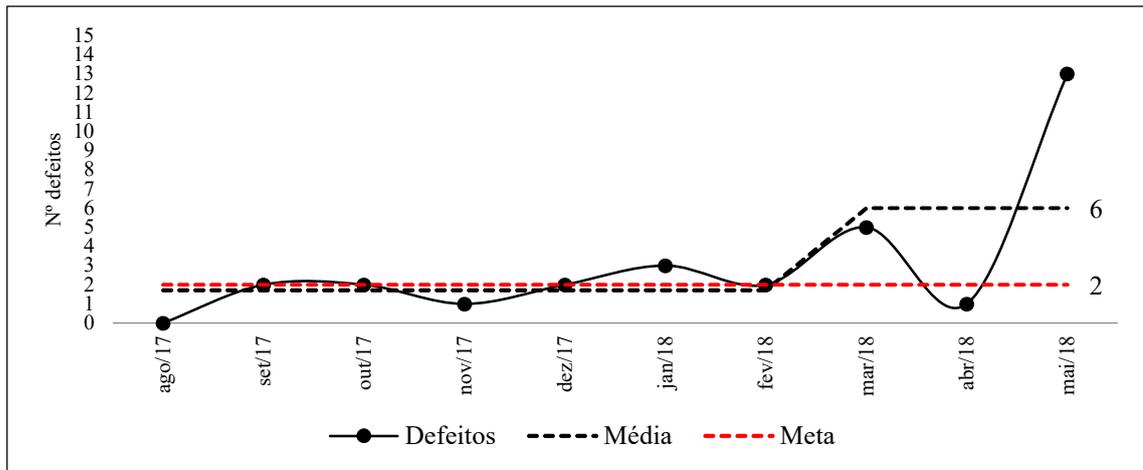
Tabela 16 – Alcance das metas específicas.

Conjunto	Item	Meta	Verificação
Turbina	Turbina	2	2
	Mangote Admissão	1	1
	Junta de vedação Turbina	1	2
	Abraçadeira junção carcaça quente	1	0
Filtro Diesel	Filtro secundário	2	6
Sensor Temperatura Exaustão	Sensor temperatura Exaustão	2	0
Switch Nível de Óleo Motor	Switch Nível de Óleo Motor	1	0
Coletor Descarga	Vedação	1	0
Resultado		10	11

Fonte: Autoria própria.

Constatou-se que a meta específica filtro secundário foi a que apresentou os resultados mais críticos em relação a meta proposta, identificou-se durante a fase de verificação contaminação do diesel que abasteceu os equipamentos, impactando na performance dos filtros (Figura 35).

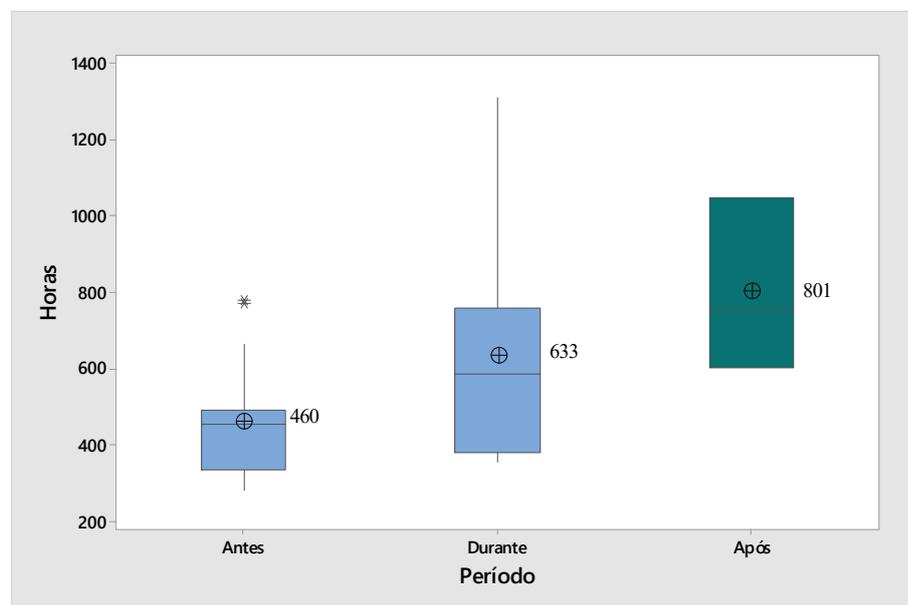
Figura 35 – Comportamento do foco de atuação filtro secundário



Fonte: Autoria própria.

Enfim, observou-se uma substancial redução no número de defeitos nos motores diesel. Considerando-se que o ganho estabelecido no início do projeto, era aumentar o tempo médio entre as falhas – MTBF seria de 29%, representando 544,25 horas. Com a implementação do projeto, no entanto, esse aumento no tempo saiu de uma média de 460 horas no período histórico para 801 horas na fase de verificação, representando um ganho de 81% em relação ao que estabeleceu como estratégia de aumento no MTBF (Figura 36).

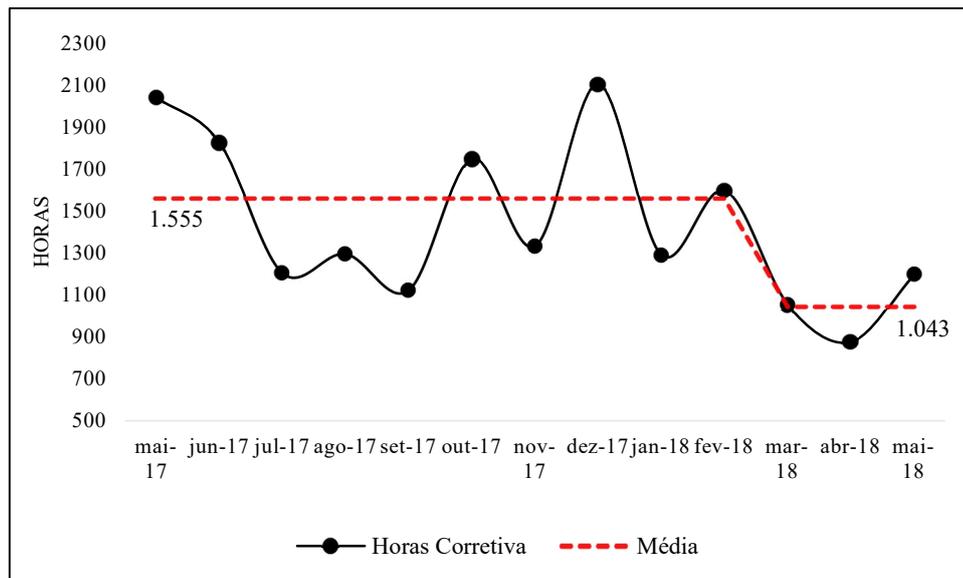
Figura 36 – Indicador de MTBF no período do projeto



Fonte: Autoria própria.

Em relação as horas corretivas nos motores diesel, observou-se uma redução de 33% em relação ao período histórico, sendo utilizadas em média 1555 horas com corretiva e na fase verificação reduziu-se para 1043 horas (Figura 37).

Figura 37 – Indicador de horas corretivas nos motores diesel



Fonte: Autoria própria.

Foram obtidos como ganhos intangíveis a melhoria das condições de trabalho e a redução de riscos de acidentes, redução da sobrecarga sobre os empregados, com a criação de alguns dispositivos, melhoria na capacitação da equipe em função dos conhecimentos estatísticos obtidos, estabilidade do processo, confiabilidade dos equipamentos e a satisfação dos executantes e clientes.

5.3 PADRONIZAÇÃO

Após a verificação dos resultados alcançados com a implementação do projeto, precisava-se garantir que as mudanças realizadas no processo seriam mantidas ao longo do tempo.

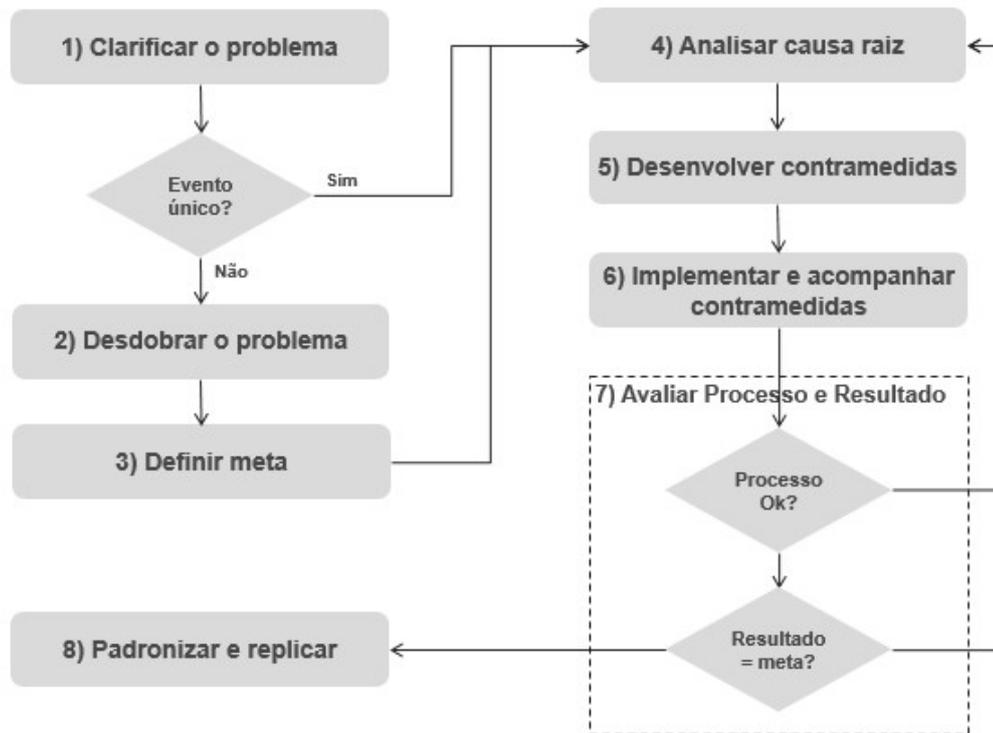
Assegurou-se a manutenção dos resultados com a criação de controles para a substituição dos componentes, divulgação e padronização das recomendações do fabricante em relação a manutenção dos motores, elaborando-se treinamentos específicos para substituição das turbinas nos motores.

Criou-se uma sistemática de acompanhamento do processo, de modo que o problema permanecesse inexistente e que as melhorias alcançadas se mantivessem em longo prazo. Para isso, estabeleceu-se que o gerenciamento dos indicadores seria acompanhado por meio do FMDS (*Floor Management Development System*). O gerente da área conduziria uma reunião com toda a equipe responsável pelos indicadores semanalmente, avaliando-se o desempenho.

Se o indicador não estivesse dentro da meta estabelecida, seriam geradas ações para correção. E, se o problema fosse recorrente, estudava-se e elaboravam-se soluções por meio da

ferramenta A3 Solução de Problemas. Tal ferramenta possui todos os passos do PDCA e auxilia na eliminação da causa raiz do problema (Figura 38).

Figura 38 – Método prático para Solução de Problemas: 8 Passos



Fonte: Adaptado de Shook, 2008.

6. DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO

Um dos objetivos da implementação da última etapa do projeto Seis Sigma, é assegurar que os avanços alcançados e o conhecimento obtidos sejam mantidos e replicados para outros processos. As atividades desenvolvidas nesse projeto foram replicadas em um novo projeto com o intuito de avaliar a eficiência da implementação do Seis Sigma.

6.1 ETAPA DEFINIR

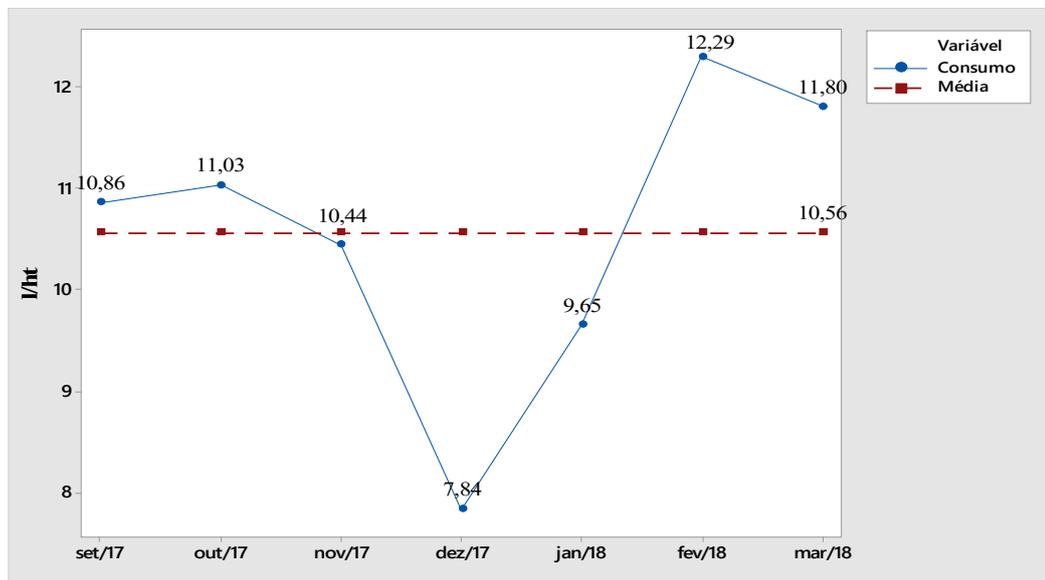
Durante a construção do planejamento estratégico da organização, dentre os itens avaliados, foi estabelecido o desafio de elevar a margem líquida, que é impactada diretamente pelo custo operacional de cada unidade de produção. Avaliando-se o processo de manutenção dos equipamentos de infraestrutura de Mina, o problema apontado como o mais significativo para a elevação dos custos foi o excessivo consumo de óleo hidráulico da frota de máquinas carregadeiras L1850. A redução no consumo desse óleo, certamente contribuiria para a redução dos custos com essa operação, auxiliando no alcance da meta orçamentária estabelecida: a redução em 15% no custo total da aquisição de óleo.

O escopo do projeto restringiu-se ao consumo de óleo hidráulico da frota de carregadeiras L1850, cuja análise preliminar definiu os meses de setembro de 2017 a março de

2018 como período histórico para análise. Esse período foi estabelecido já que o ciclo orçamentário da organização acontece entre os meses de maio a agosto de cada ano. Para quantificação do consumo, foi utilizada uma razão entre os litros consumidos e as horas trabalhadas dos equipamentos (l/ht).

Diante do estabelecido pela alta gestão, buscou-se a redução de 15% no custo com a aquisição do óleo lubrificante. Inicialmente, realizou-se uma avaliação do consumo de óleo das carregadeiras, cujos resultados estão demonstrados pela Figura 39. Observa-se que, em média, tais equipamentos consumiam 10,56 l/ht, sendo que o mês de dezembro de 2017 apresentou o menor consumo, com uma média de 7,84 l/ht, e o mês de fevereiro de 2018 apresentou o maior consumo, chegando a 12,29 l/ht.

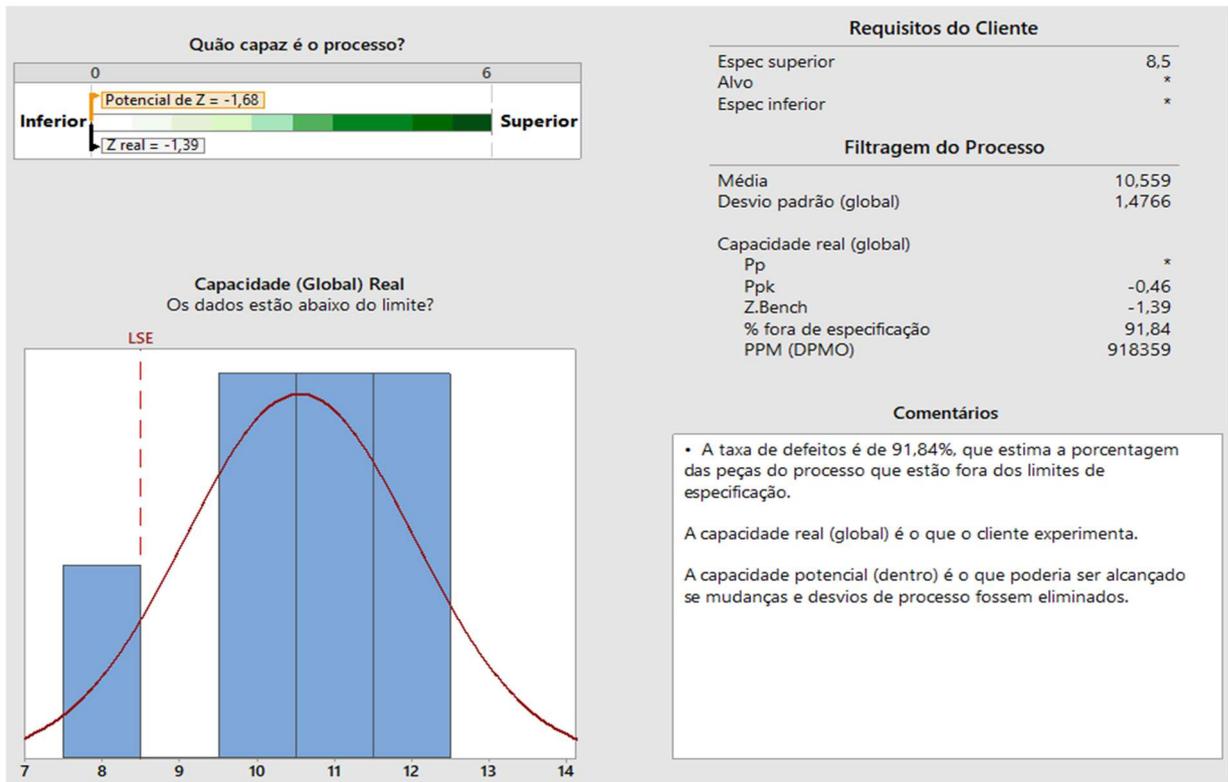
Figura 39 – Consumo de óleo hidráulico carregadeira L1850



Fonte: Autoria própria.

Para entender melhor esse indicador do projeto, foi realizada uma análise do comportamento do processo e, conforme informações apresentadas pela Figura 40, observou-se que a média do consumo estava em 10,55 l/ht com um desvio padrão de 1,4766. Em relação à capacidade do processo, observou-se um índice *Ppk* de $-0,46$, ou seja, o processo estaria operando de forma imprevisível. O *Z-bench*, que, conforme já mencionado, é utilizado para estimar a capacidade Sigma de um processo, apresentou o valor de $-1,39$, representando 918.359 defeitos por milhão de oportunidades. Em relação ao histograma, observou-se uma considerável dispersão dos dados, apresentando um % fora de especificação igual a 91,84.

Figura 40 – Análise de capacidade do processo



Fonte: Autoria própria.

Após a identificação do problema, foi necessário determinar os objetivos e as metas com o desenvolvimento do projeto de Seis Sigma. Para definição da meta do projeto, foram analisados os métodos dos quartis, lacuna ou definição de uma meta geral a partir dos objetivos de redução de custo estabelecidos no planejamento estratégico da área.

Avaliando o método dos quartis, ou seja, a divisão do conjunto de dados em quatro partes iguais, foi escolhido o 1º quartil, ou seja, o valor até o qual se encontram 25% da amostra, verificando-se que o limite do 1º quartil apresentou uma meta de 9,65 l/ht (Tabela 17).

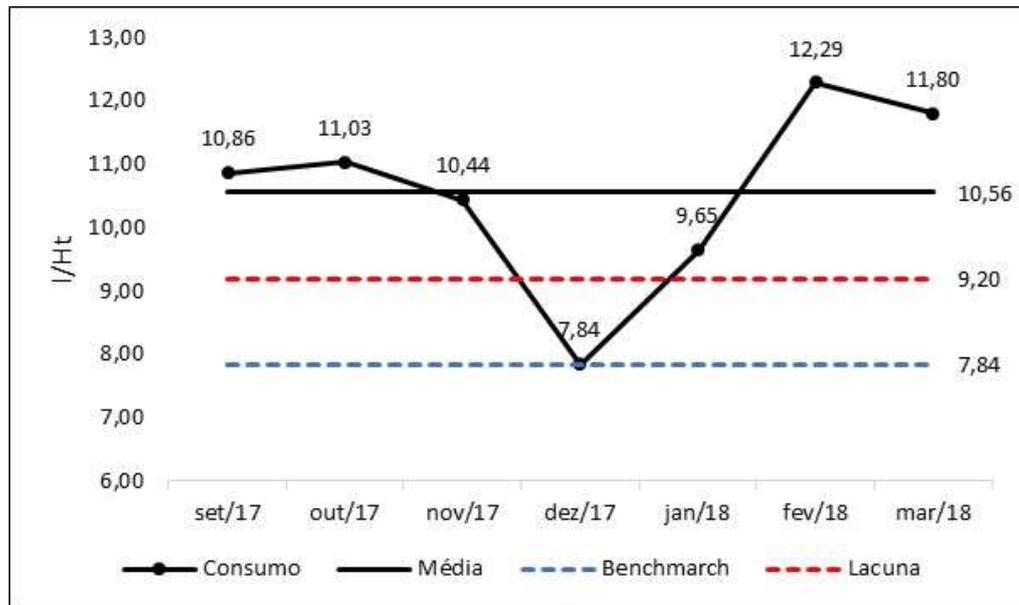
Tabela 17 – Estatística descritiva do método dos quartis para definição da meta geral

N	N*	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
7	0	10,559	0,558	1,477	7,840	9,650	10,860	11,800	12,290

Fonte: Autoria própria.

O segundo método utilizado foi da lacuna, ou seja, analisou-se a diferença entre a média do resultado atual e o melhor resultado no período e, na busca por uma meta desafiadora e factível, definiu-se a utilização de 50% da lacuna entre a média dos dados e o menor resultado apresentado no período histórico. A meta encontrada foi de 9,20 l/ht, apresentando uma meta mais desafiadora em relação ao método dos quartis (Figura 41).

Figura 41 – Método da lacuna para definição da meta geral



Fonte: Autoria própria.

As duas metas estabelecidas não atenderiam o cumprimento da estratégia da organização para a redução no custo total com a aquisição de óleo lubrificante em 15%. O *Sponsor* do projeto estabeleceu um desafio de redução em 20% no consumo de óleo, ou seja, uma meta de 8,50 l/ht (Tabela 18).

Tabela 18 – Definição da meta do projeto

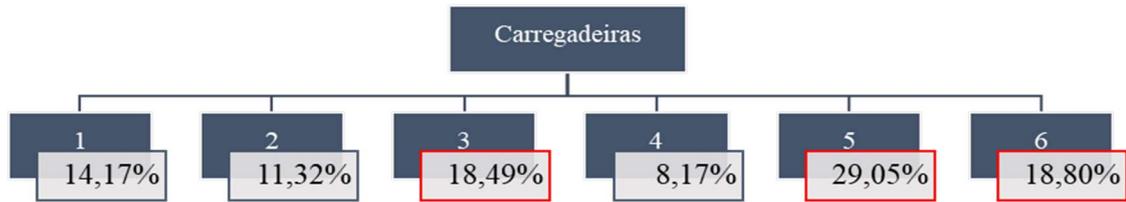
	Consumo	Projeção na verificação	Gasto (R\$)	% redução
Consumo de óleo na <i>Base Line</i>	10,56 l/ht	95040	461894,4	
Meta Quartil	9,56 l/ht	86040	418154,4	9
Meta Lacuna	9,2 l/ht	82800	402408,0	13
Meta Gerencial	8,5 l/ht	76500	371790,0	20
Custo óleo	4,86 R\$/l			

Fonte: Autoria própria.

6.2 ETAPA MEDIR

Após a definição da meta geral do projeto, o problema foi estratificado, apresentando-se de forma mais clara e propiciando priorizar os fatores mais críticos. A priorização foi realizada estratificando os modelos das máquinas, com o foco em qual equipamento apresentava o maior consumo de óleo hidráulico por hora trabalhada. Observa-se na Figura 42, que a estratificação ocorreu por meio dos percentuais de contribuição no consumo para cada carregadeira.

Figura 42 – Estratificação dos equipamentos com maior consumo de óleo

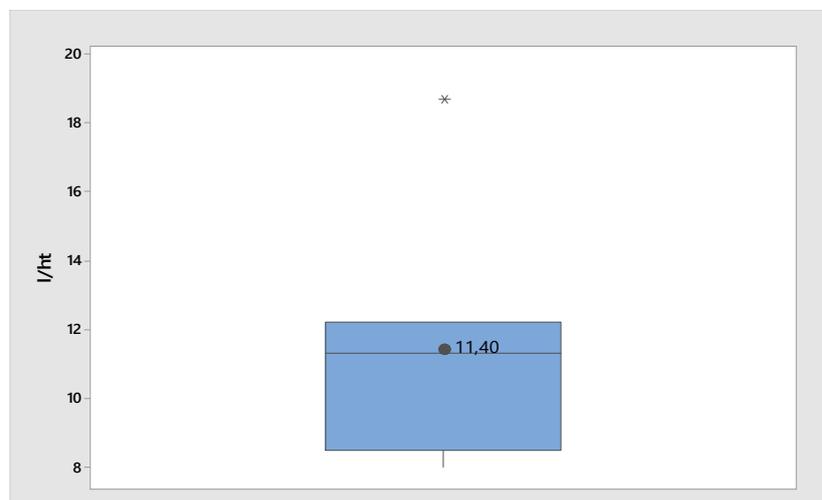


Fonte: Autoria própria.

Os equipamentos que apresentaram os maiores consumos foram o 3 (18,49%), o 5 (29,05%) e o 6 (18,80%), correspondendo a 66,34% do consumo total de óleo da frota no período estudado.

Após a priorização dos equipamentos que mais impactavam no consumo, foi realizada uma avaliação do comportamento, utilizando ferramentas como *Box-plot*, a estatística descritiva e carta de controle.

Com a utilização do *Box-plot*, foi possível avaliar a variação dos dados observados por meio dos quartis e identificação de possíveis *outliers*. No foco 3, foi identificada a presença de *outliers*, cujo resultado foi apresentado pela Figura 43. Por meio da estatística descritiva, identificou-se uma média dos dados de 11,40 l/ht e a mediana de 11,34 l/ht, cujo os valores variaram entre 8,00 até 18,66 l/ht, com um desvio padrão de 3,61 l/ht (Tabela 19).

Figura 43 – *Box-plot* do foco de atuação 3

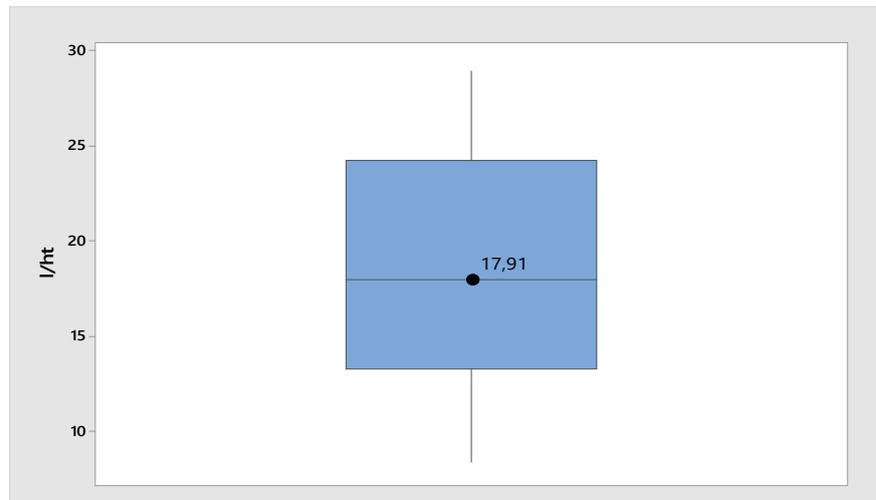
Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 – Estatística descritiva do foco de atuação 3

N	N*	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
7	0	11,40	1,36	3,61	8,00	8,51	11,34	12,22	18,66

Fonte: Autoria própria.

Avaliado o foco 5, não foi identificada a presença de *outliers* (Figura 44) e, conforme Tabela 20, a média dos dados foi calculada em 17,91 l/ht e a mediana, 17,95 l/ht, observado que os valores variavam entre 8,40 até 28,91 l/ht e o desvio padrão foi calculado em 6,97 l/ht.

Figura 44 – *Box-plot* do foco de atuação 5

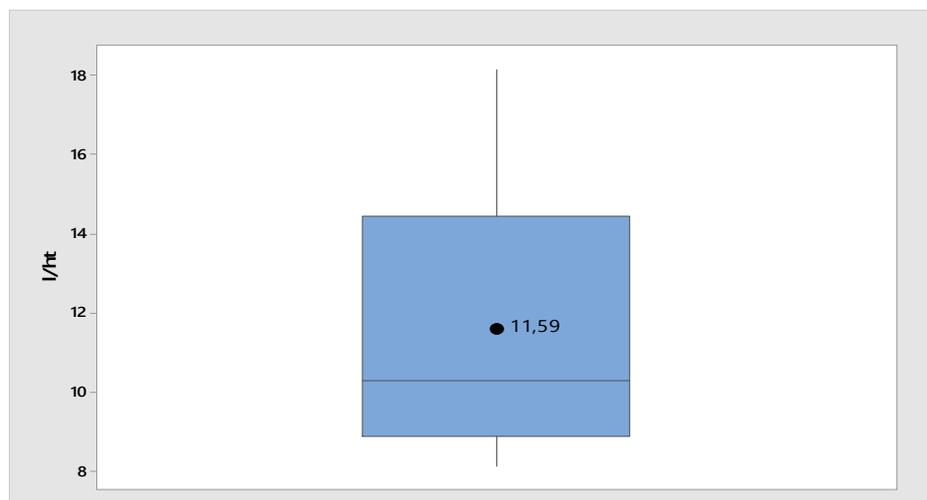
Fonte: Autoria própria.

Tabela 20 – Estatística descritiva do foco de atuação 5

N	N*	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
7	0	17,91	2,63	6,97	8,40	13,30	17,95	24,24	28,91

Fonte: Autoria própria.

Em relação ao foco de atuação 6, conforme os resultados apresentados na Figura 45, não foi identificada a presença de *outliers*, a média dos dados foi calculada em 11,59 l/ht e a mediana, 10,30 l/ht, observado que os valores variaram entre 8,14 até 18,15 l/ht e o desvio padrão foi calculado em 3,52 l/ht (Tabela 21).

Figura 45 – *Box-plot* do foco de atuação 6

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21 – Estatística descritiva do foco de atuação 3

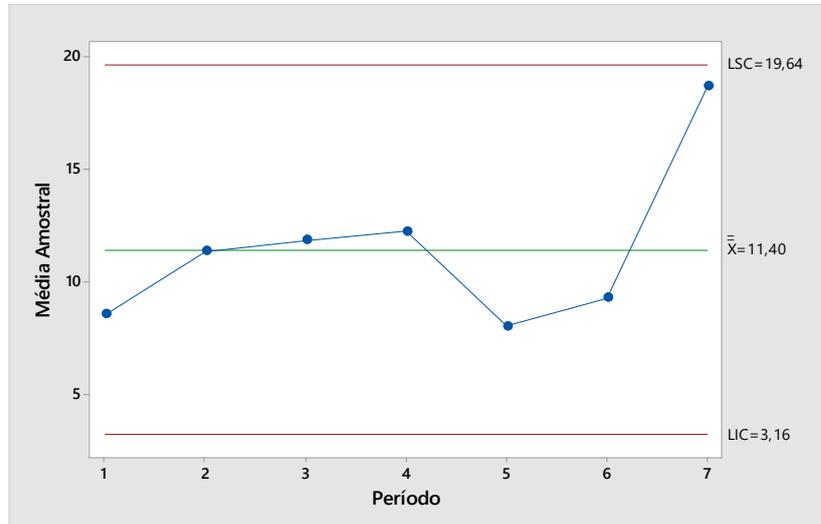
N	N*	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
7	0	11,59	1,33	3,52	8,14	8,91	10,30	14,44	18,15

Fonte: Autoria própria.

Para verificar estatisticamente o comportamento dos focos de atuação, foi utilizada uma carta de controle para cada um. Conforme demonstram as Figuras 46, 47 e 48, não foram

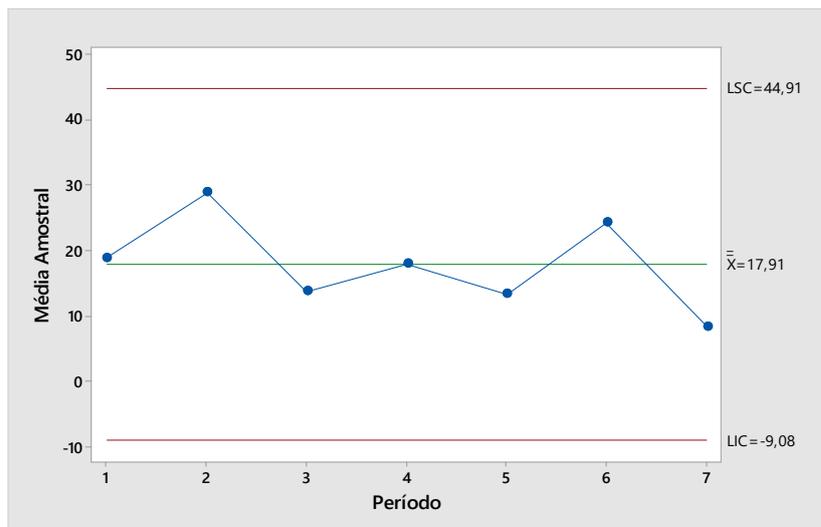
observadas causas especiais por tendência, ciclicidade ou pontos fora dos limites de controle em relação aos focos de atuação.

Figura 46 – Carta de controle relativa ao foco de atuação 3



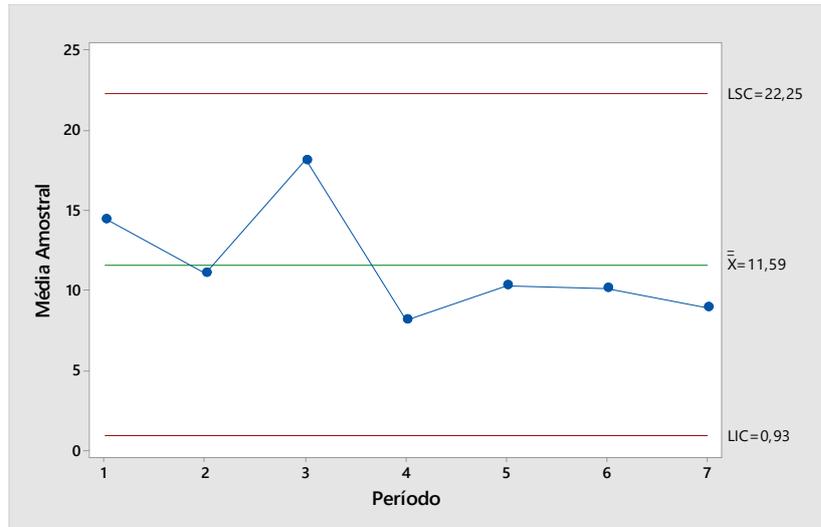
Fonte: Autoria própria.

Figura 47 – Carta de controle relativa ao foco de atuação 5



Fonte: Autoria própria.

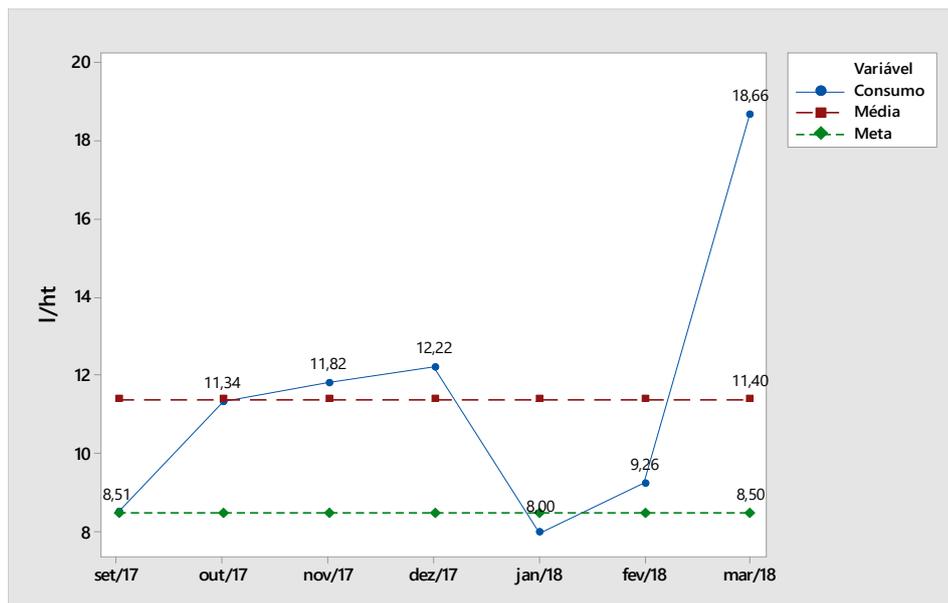
Figura 48 – Carta de controle relativa ao foco de atuação 6



Fonte: Autoria própria.

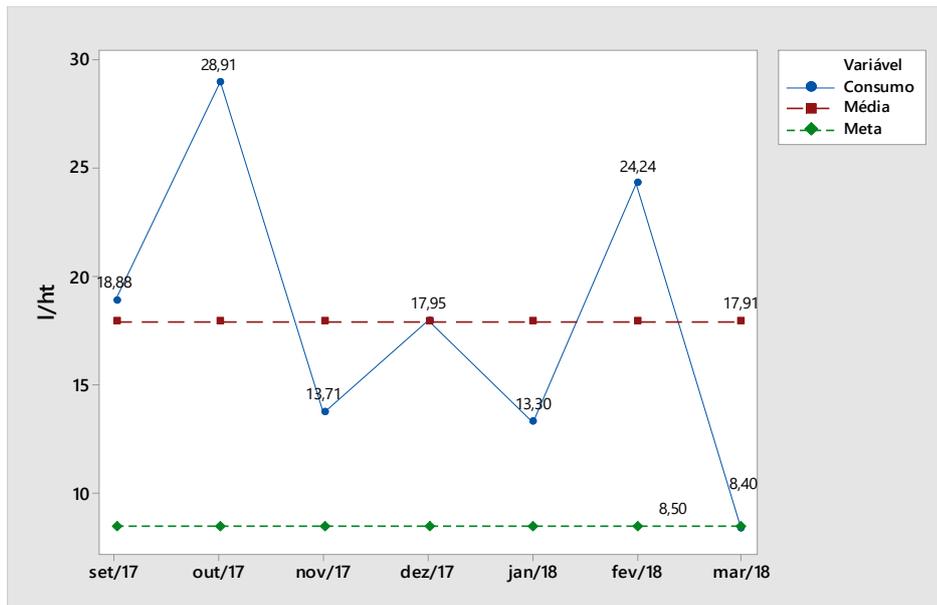
Após a estratificação e a análise de variações dos problemas priorizados, foram definidas as metas específicas. Como a meta geral do projeto foi estabelecida por uma decisão do *Sponsor*, decidiram-se que as metas específicas para os focos de atuação considerassem o mesmo valor, ou seja, 8,50 l/ht (Figuras 49, 50 e 51).

Figura 49 – Metas específicas para cada foco de atuação 3



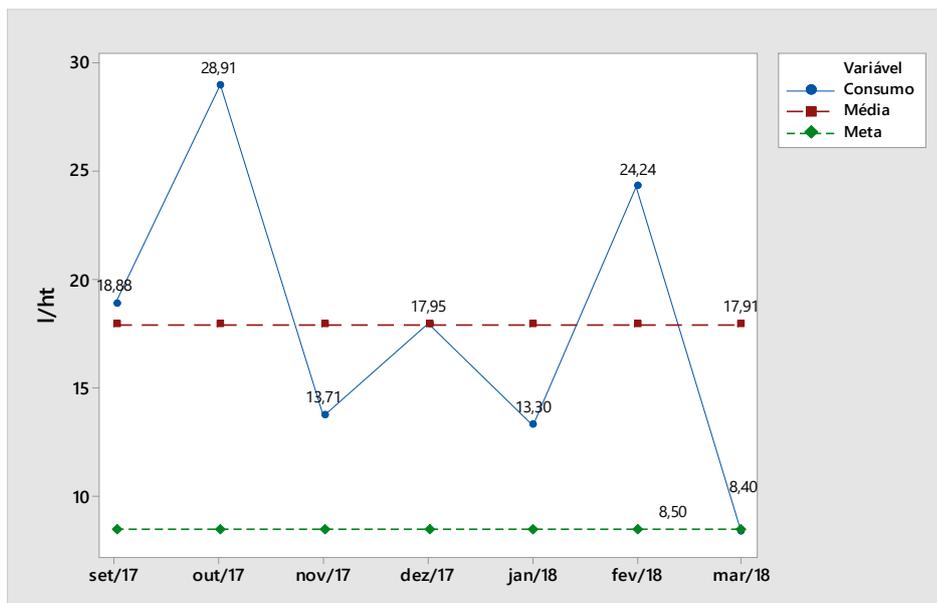
Fonte: Autoria própria.

Figura 50 – Metas específicas para cada foco de atuação 5



Fonte: Autoria própria.

Figura 51 – Metas específicas para cada foco de atuação 6



Fonte: Autoria própria.

6.3 ETAPA ANALISAR

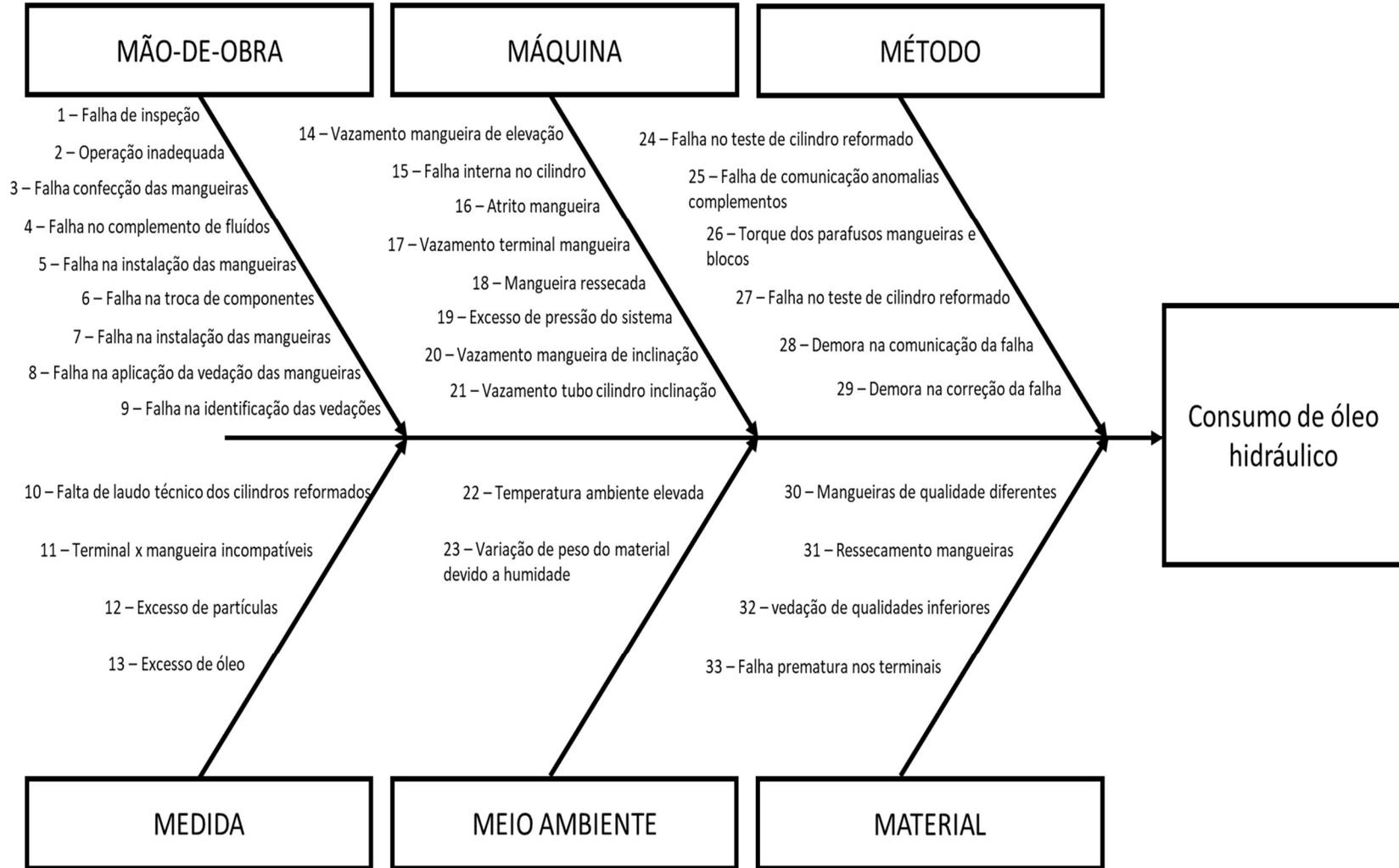
Para compreensão do processo, análise e quantificação das causas que influenciaram o consumo de óleo, a equipe desenvolveu o FMEA. Esta é uma ferramenta bastante versátil, podendo ser combinada com o diagrama de causa e efeito e o gráfico de Pareto, sendo muito utilizada na manutenção, por determinar os possíveis modos de falha. Com o FMEA, considerando-se os critérios de severidade, ocorrência e facilidade na detecção dos modos de falhas, foram identificadas 25 possíveis causas (Figura 52); com a construção do diagrama de causa e efeito foram identificadas mais 33 causas prováveis (Figura 53).

Figura 52 – FMEA para identificação das causas

NOME DO COMPONENTE	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DA FALHA POTENCIAL	CAUSA (S) POTENCIAL DA FALHA	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	RISCO DETECÇÃO	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA	RESPOSÁVEL	PRAZO
Bombas e motores hidráulicos	Falha na fixação dos blocos das bombas	Vazamento	Acentamento incorreto das vedações	9	9	5	Realizar análise no faceamento dos blocos aplicados	Engenharia	nov/18
Linhas hidráulicas	Trinca terminal de mangueiras	Vazamento	Rompimento de terminais das mangueiras	9	9	5	Orientar equipe a utilizar torquímetro nas mantagens dos blocos	Engenharia	nov/18
Cilindros	Vazamento pelo redutor da haste	Vazamento	Desgaste retentores	9	9	5	Trocar conforme mapa de condição	Engenharia	nov/18
Reservatório	Falha de inspeção de atrito nas mangueiras	Vazamento	Atrito	5	9	3	Criar sistemática semanal para tratamento das falhas das mangueiras	Engenharia	nov/18
Operação	Operação inadequada (escavação)	Sobrecarga no sistema hidráulico	Rompimento das mangueiras e vedações em geral	5	5	5	Avaliar corte no movimento de elevação da caçamba em caso de sobrecarga	Engenharia	nov/18

Fonte: Autoria própria.

Figura 53 – Diagrama de causa e efeito para identificação das causas



Fonte: Autoria própria.

A equipe do projeto identificou 58 possíveis causas com a utilização das ferramentas FMEA e o diagrama de causa e efeito, as quais foram avaliadas em campo, comprovando-se, conforme relatórios técnicos gerados, 10 causas (Quadro 7).

Quadro 7 – Lista das causas comprovadas

Nº	Lista das causas comprovadas
1	Instalação incorreta das vedações.
2	Rompimento dos terminais das mangueiras
3	Desgaste dos retentores
4	Alta temperatura de trabalho dos cilindros
5	Reforma inadequada
6	Terminal das mangueiras incompatível
7	Desgaste e ressecamento das vedações
8	Excesso de complementos
9	Desgaste prematuro
10	Complementos inadequados

Fonte: Autoria própria.

6.4 ETAPA MELHORAR

Após a definição das causas fundamentais, uma sessão de *brainstorming* entre a equipe do projeto e os colaboradores da manutenção identificaram-se e propuseram-se algumas possíveis soluções, avaliando o impacto das soluções nos componentes da carregadeira (Quadro 8).

Esperava-se as correções dos problemas, a fim de buscar maior confiabilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, a redução dos custos com o consumo de óleo lubrificante. Para esse fim, realizou-se uma avaliação das soluções definidas em uma máquina de pequeno porte, identificou-se a efetividade das possíveis soluções.

Quadro 8 – Lista das causas comprovadas

Bombas e motores hidráulicos	Linhas Hidráulicas	Cilindros	Modo de falhas	Possíveis Soluções
x	x	x	Falha fixação dos blocos (manifold)	1- Realizar faceamento dos blocos aplicados nas carregadeiras. 2- Orientar equipe em utilizar vedações e parafusos de fixação recomendadas pelo fabricante. 3- Orientar equipe a utilizar torquímetro nas montagem dos blocos.
	x		Trinca terminal de mangueiras	1- Montar somente mangueiras e terminais com a mesma recomendação do fabricante.
		x	Vazamento pelo retentor da haste	1- Acompanhar análise falha do componente.
		x	Passagem intema	1- Reativar plano termográfico
x		x	Baixa performance.do componente reformado	1- realizar estudo de vida
	x		rompimento de mangueiras, vedações em geral	1- Certificar cumprimento do plano de manutenção e inspeção (Tarefa Retirada de Atrito). 2- Implantar controle de falhas de mangueiras. 3- Incluir nas solicitações do inspetor o motivo da troca da mangueira. 4- Melhorar condição de proteção e retirada atrito mangueiras. 5- Estabelecer local de identificação de vedações por part number.
x			Vazamento nos retentores e dreno carcaça	1- Acompanhar análise do componente. 2- Conferir e ajustar pressões do sistema.
x	x	x	Demora no tratamento dos complementos anormais	1- Analisar tempo de chamado da operação e comparar com o atendimento / solução da equipe de manutenção.
x		x	Falta controle vida situação atual dos componentes hidráulicos	1- Criação mapa condição 2- Troca conforme mapa de condição
x	x	x	Falta de componente reserva disponível	1- Criação mapa condição 2- Troca conforme mapa de condição

Fonte: Autoria própria.

A partir da validação da solução proposta, a equipe do projeto elaborou um plano com ações de curto e médio prazo (Quadro 9). Após a implementação de todas as ações, a equipe do projeto coletou novos dados a fim de identificar os ganhos obtidos com o projeto e, vencidas as etapas de investigação, desenvolvimento, validação da solução e implementação do projeto, chegou-se à etapa de avaliação dos resultados, os quais serão amplamente discutidos na seção a seguir.

Quadro 9 – Plano de ação para acompanhamento das ações

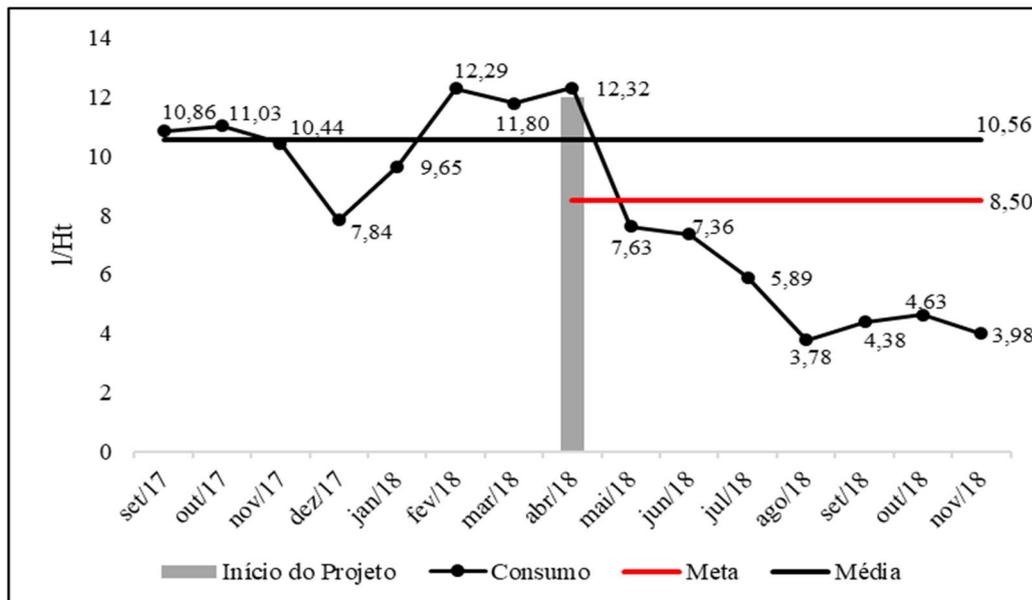
COMPARTIMENTO	ITEM	PROBLEMA	CAUSA	O QUE FAZER?	QUEM?	QUANDO?
Hidraulico	Bombas e motores hidraulicos	Falha fixação dos blocos (manifold)	acentamento incorreto das vedações.	Analisar face dos blocos, torque e vedações	Analista	30/03/2018
Hidraulico	Bombas e motores hidraulicos	Baixa performance do componente reformado	Reforma inadequada	Realizar análise de vida do componente	Engenharia	20/04/2018
Hidraulico	Bombas e motores hidraulicos	Vazamento nos retentores e dreno carcaça	Desgaste, ressecamento vedações	Acompanhar análise do componente Analisar tempo de chamado da operação e comparar com o atendimento / solução da equipe de manutenção.	Engenharia	23/04/2018
Hidraulico	Bombas e motores hidraulicos	Demora no tratamento dos complementos anormais	Excesso de complementos devido não tratamento da falha.		Lubrificação	24/04/2018
Hidraulico	Bombas e motores hidraulicos	Falta controle vida situação atual dos componentes hidraulicos	desgaste fim de vida, falha processo de reforma.	Avaliar a existencia de controles / iniciativas	Engenharia	04/05/2018

Fonte: Autoria própria.

6.4 ETAPA CONTROLAR

Observou-se o comportamento do indicador de consumo do óleo hidráulico da carregadeira L1850 durante a implementação, o qual indica que houve uma redução significativa durante a implementação do projeto, fechando o último mês da verificação com um consumo de 3,98 l/ht, representando uma redução de 62% em relação à média no período histórico que era 10,56 l/ht (Figura 54).

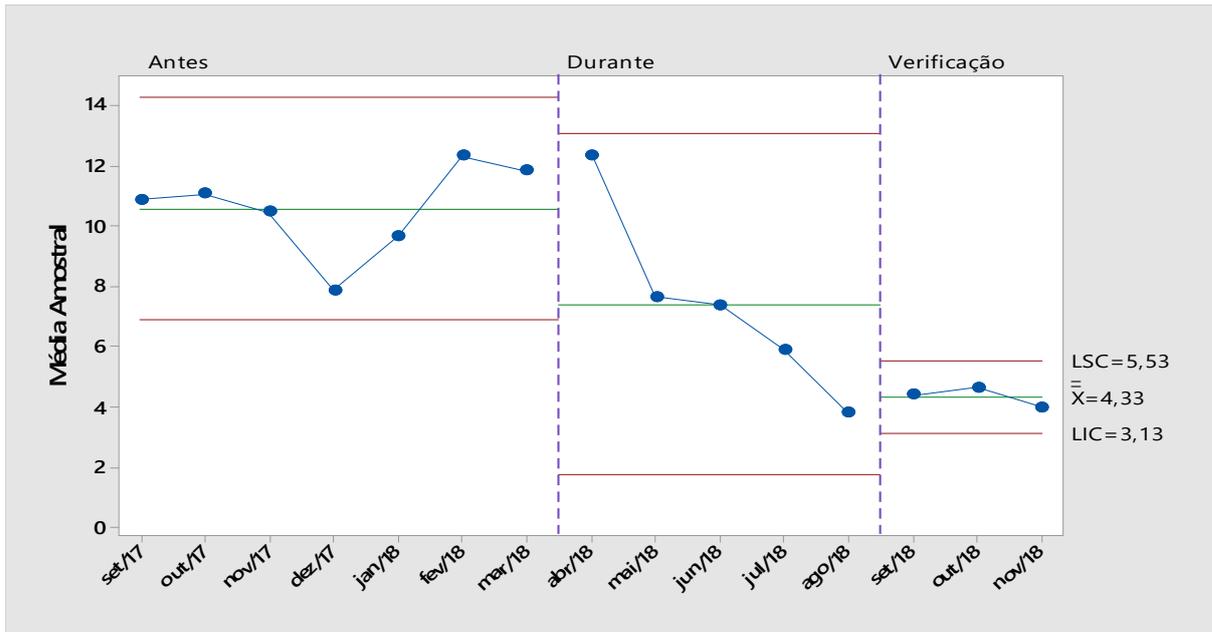
Figura 54 – Consumo de óleo hidráulico carregadeira L1850



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Figura 55, observa-se que a variabilidade dos dados oscilou consideravelmente durante as três fases do projeto. Entretanto, percebe-se uma redução da média de consumo de óleo durante todo o período do projeto e, principalmente, na fase de verificação, atingindo o valor de $\bar{X} = 4,33$, não sendo identificadas causas especiais em nenhuma das fases.

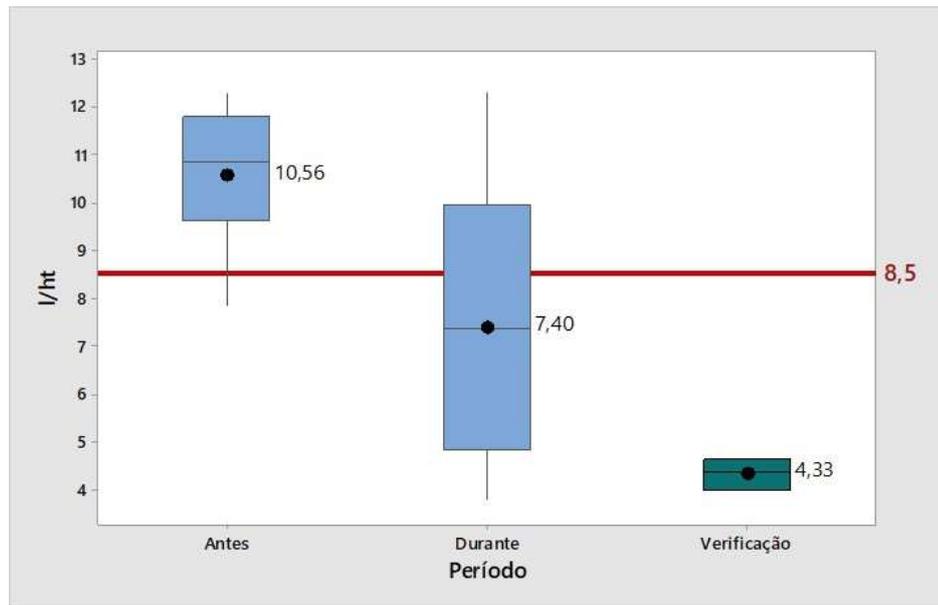
Figura 55 – Consumo de óleo hidráulico durante o projeto



Fonte: Autoria própria.

Observa-se através do *Box-plot* que, antes do projeto, mais de 75% dos dados estavam acima da meta estabelecida e, à medida que as ações foram implementadas, houve um deslocamento dos quartis, com mais de 50% dos dados abaixo da meta. Na fase de verificação, todos os dados estavam dentro da meta estabelecida, apresentando um consumo de óleo em média de 4,33 l/ht para uma meta de 8,50 l/ht (Figura 56).

Figura 56 – Comportamento do consumo de óleo



Fonte: Autoria própria.

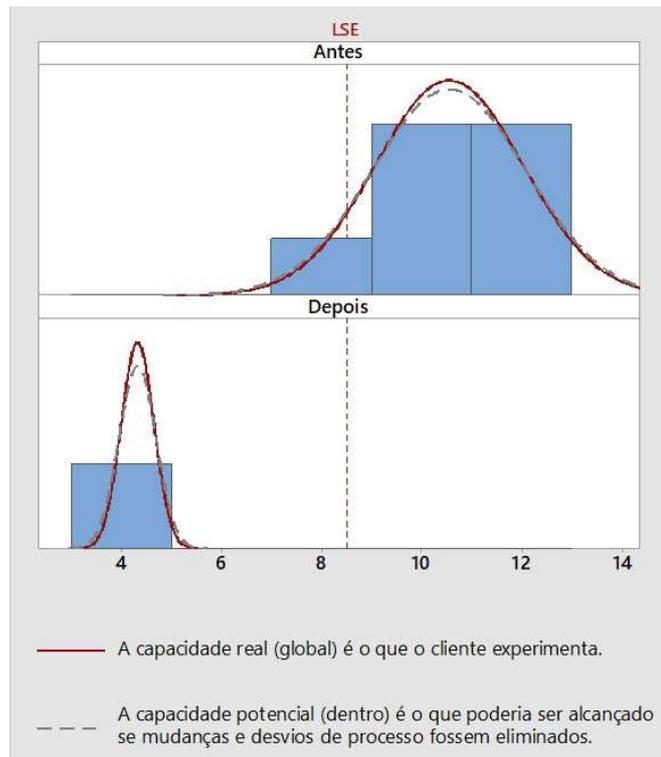
Em seguida, considerando-se os valores finais de média (4,33 l/ht), desvio-padrão (0,33 l/ht) e limites de especificação LSE e alvo (8,50), foi calculada a capacidade do processo, obtendo-se por meio da tabela 6, o índice Ppk de 4,24, na fase de verificação, contra um valor de -0,46, para este mesmo índice, na fase inicial. Avaliando-se o *Z-bench*, esse apresentava um valor de -1,39 no início do projeto; já na fase de verificação, o valor calculado foi de 12,72, equivalente ao nível 6 da escala sigma (Tabela 22). Quanto aos itens fora de especificação, o percentual foi reduzido em 100%, de 91,84% para 0,00% (Figura 57).

Tabela 22 – Relatório de desempenho do processo

Estatística	Antes	Depois	Modificação
Média	10,559	4,33	-6,2286
Desv Pad (Global)	1,4766	0,32787	-1,1487
Capacidade Real			
Pp	*	*	*
Ppk	-0,46	4,24	4,70
<i>Z-Bench</i>	-1,39	12,72	14,11
% fora de especificação	91,84	0,00	-91,84
PPM (DPM O)	918359	0	-918359

Fonte: Autoria própria.

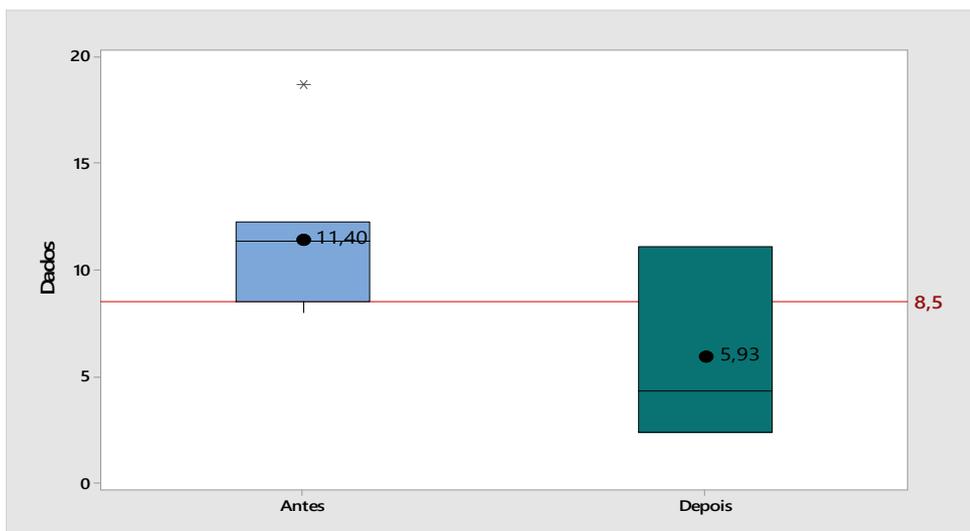
Figura 57 – Relatório de desempenho do processo



Fonte: Autoria própria.

Estabeleceram-se 3 metas específicas para o projeto, durante a investigação do problema; todas foram acompanhadas e suas ações foram implementadas com o foco na redução do consumo de óleo. Em relação a meta específica 3, observou-se uma redução do consumo de uma média de 11,40 l/ht para 5,39 l/ht, representando uma redução de 48%. Não foi observada a presença de *outliers* após a implementação do projeto (Figura 58).

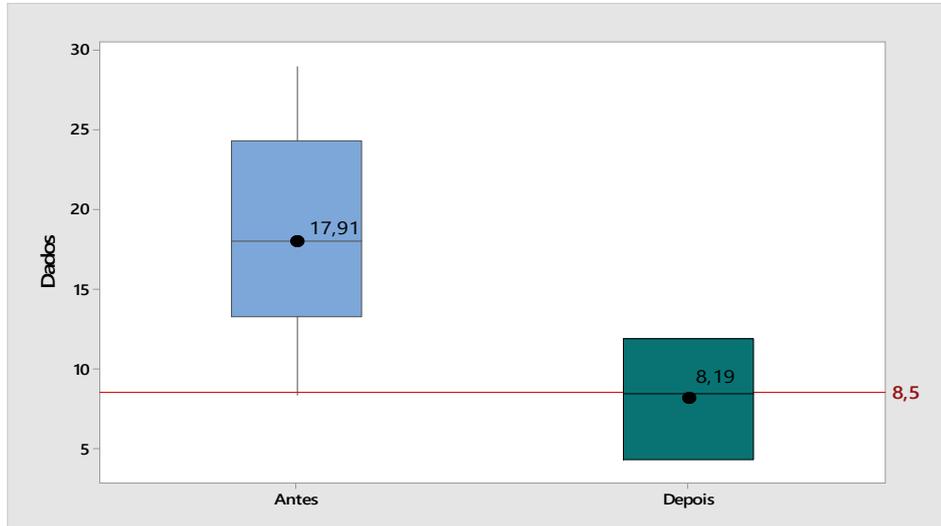
Figura 58– Meta específica - foco 3



Fonte: Autoria própria.

Para a meta específica 5, observou-se uma redução do consumo de 17,91 l/ht para 8,19 l/ht, representando uma redução de 54% e não foi observada a presença de *outliers* após a implementação do projeto (Figura 59).

Figura 59 – Meta específica - foco 5



Fonte: Autoria própria.

Em relação a meta específica 6, houve uma redução no consumo de 11,59 l/ht para 3,35 l/ht, representando uma redução de 71% e não foi observada a presença de *outliers* após a implementação do projeto (Figura 60).

Figura 60 – Meta específica - foco 6



Fonte: Autoria própria.

Enfim, observou-se uma substancial redução nos níveis de consumo do óleo lubrificante. Considerando-se a meta gerencial estabelecida no início do projeto, a redução dos custos com a aquisição desse produto estava fixada em R\$ 90.104,00. Com a implementação do projeto, no entanto, essa redução atingiu o valor de R\$ 311.767,90, representando um ganho de 346% em relação ao que estabeleceu como estratégia de redução dos custos. Vale ressaltar

que o ganho financeiro foi calculado em função da redução no consumo de óleo nos 3 focos de atuação, conforme os resultados apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Definição do ganho no projeto

	Consumo		Projeção na verificação	Custos (R\$)	Economia (R\$)
Consumo de óleo na <i>Base Line</i>	10,56	l/ht	95040	461.894,40	
Projeção Meta Gerencial	8,50	l/ht	76500	371.790,00	90.104,00
Verificação	4,33	l/ht	30890	150.126,50	311.767,90
Custo óleo	4,86	R\$/l			

Fonte: Autoria própria.

Para controlar as intervenções realizadas no processo, a equipe gerou alguns procedimentos operacionais, alterou um procedimento técnico e treinou o público alvo. Um procedimento sistemático *online* foi disponibilizado pela organização para o acompanhamento das variáveis, de forma a garantir a manutenção dos resultados, e, por fim, foi estruturado um processo para tratar os desvios, quando ocorrerem.

7. CONCLUSÃO

Este capítulo apresentará as considerações finais sobre a argumentação acerca dos entendimentos e resultados produzidos no desenvolvimento da pesquisa. Procurou-se apresentar a conclusão do estudo alinhada ao posicionamento teórico explicitado, bem como, expondo as limitações observadas, e sobretudo a sugestões de novas pesquisas que poderão enriquecer o tema abordado.

A partir do estudo realizado, chegou-se à conclusão de que a metodologia Seis Sigma se centra na redução da variabilidade do processo ao ajudar as organizações a produzir de melhor forma, mais rápida e mais econômica. Em termos tradicionais, o Seis Sigma focaliza a prevenção de defeitos, a redução dos tempos de ciclo, a economia de custos e redução da variabilidade.

O objetivo principal do projeto era a redução do número de horas com a manutenção corretiva nos motores diesel dos equipamentos fora de estrada. Identificou-se uma média de 1555 horas com a manutenção corretiva dos motores diesel e na fase de verificação, as horas com a manutenção corretiva reduziram para 1043 horas, representando um ganho para o processo de 33%. Para suportar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Demonstrar a aplicação da metodologia Seis Sigma na redução do número de defeitos no processo de manutenção corretiva;

- Analisar as vantagens e desvantagens da utilização do mapa de raciocínio na condução do projeto de Seis Sigma;
- Apresentar a metodologia de Pesquisa-Ação sugerida por COUGHLAN & COUGHLAN e as formas para a sua correta aplicação;
- Apresentar, a partir dos resultados obtidos, um plano de manutenção eficiente, capaz de aumentar a confiabilidade dos motores diesel;
- Replicar o projeto de Seis Sigma em outro processo para avaliar a efetividade de aplicação do método.

O primeiro objetivo era realizar a aplicação da metodologia Seis Sigma na redução do número de defeitos com as manutenções corretivas. Foi estruturado todas as etapas para iniciar um projeto de Seis Sigma relacionado aos defeitos nos motores diesel, realizando o levantamento dos dados referentes a 16 meses e estudado o comportamento das horas de manutenção corretiva. Identificou-se que no período histórico mais de 50% das horas de manutenção estavam sendo utilizadas com a manutenção corretiva. Essa avaliação permitiu um desdobramento e identificação do sistema que mais estava impactando as horas de manutenção corretiva. Verificou-se que 26% das manutenções corretivas estavam associadas aos motores diesel. Após a implementação das etapas de análise e soluções, constatou-se na fase de verificação em média de 28,67 defeitos. Essa redução representa um ganho de 38% no processo, já que foi identificado no período histórico em média 46,44 defeitos e a meta do projeto era 35,72 defeitos.

Avaliando o nível sigma, o processo apresentava um nível de 1σ , ou seja, uma Taxa de Erro de 69,10% que representa 691.462 defeitos por milhão de unidades. Com a implementação do projeto de Seis Sigma e a redução do número de defeitos nos motores diesel, o nível sigma elevou para 2σ , reduzindo o total de defeitos em 55%.

Outro ganho identificado com a redução do número de defeitos nos motores diesel foi o aumento do tempo médio entre as falhas (MTBF). No período histórico, o MTBF apresentava uma média de 460 horas. Com a meta definida no projeto para a redução dos defeitos, foi estimado um MTBF de 544,25 horas, que representaria um ganho de 29%. Com o andamento do projeto, verificou-se um tempo médio entre as falhas de 633 horas. Para a fase de verificação, identificou e validou o tempo médio entre as falhas de 801 horas para os motores diesel, representando um ganho de 81% em relação à média histórica.

Com a apuração desses resultados, demonstra que o objetivo de aumentar o tempo médio entre as falhas nos motores diesel foi alcançado. Esse resultado foi validado pela área responsável dentro da organização objeto de estudo.

O segundo objetivo específico era analisar as vantagens e desvantagens da utilização do mapa de raciocínio na condução do projeto de Seis Sigma. O Seis Sigma é uma metodologia utilizada para incrementar a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos, sendo implementado por fase. O Mapa de Raciocínio é uma ferramenta utilizada para documentar de forma progressiva o raciocínio utilizado durante a execução do projeto. A utilização do mapa facilitou a comunicação entre as partes interessadas do projeto, permitindo a compreensão do escopo do trabalho e acionamento da cadeia de ajuda. Outro ponto positivo, é o constante monitoramento das etapas de cada fase do projeto, sendo uma ferramenta importante de transferência de conhecimento e aprendizado entre as equipes. Uma desvantagem foi a ferramenta ser considerada burocrática, já que o projeto foi monitorado através do preenchimento correto do Mapa.

O terceiro objetivo é apresentar a metodologia de Pesquisa-Ação sugerida por COUGHLAN & COGHLAN e as formas para a sua correta aplicação. Com a implementação do projeto, foi possível apresentar e implementar um ciclo da metodologia de pesquisa-Ação sugerida por COUGHLAN & COGHLAN. Destacaram-se a necessidade e o processo de colaboração entre os pesquisadores e profissionais em torno dos objetivos da pesquisa, proporcionando reflexões e aprofundamento dos conhecimentos sobre o processo de manutenção corretiva dos motores diesel. A condução desse tipo de pesquisa trouxe resultados positivos tanto para a universidade como para a empresa, mas a sua adoção deve ser conduzida com rigor para que os objetivos sejam alcançados.

O quarto objetivo era apresentar, a partir dos resultados obtidos, um plano de manutenção eficiente, capaz de aumentar a confiabilidade dos motores diesel. A manutenção dos resultados foi assegurada com a criação de controles para a substituição dos componentes mais críticos, padronização das recomendações do fabricante em relação a manutenção dos motores e principalmente, o acompanhamento sistemático e tratamento dos desvios que possam surgir no processo. Com essas medidas, foi possível estabilizar os resultados e assegurar uma maior confiabilidade dos motores diesel.

O quinto objetivo específico era replicar o projeto de Seis Sigma em outro processo para avaliar a efetividade de aplicação do método. O projeto foi desenvolvido na manutenção dos equipamentos de infraestrutura de Mina, o problema mais significativo foi o consumo elevado

de óleo hidráulico na frota de carregadeiras L1850, que estava impactando no custo da área. O projeto seguiu todas as etapas de implementação do Método Seis Sigma e foi acompanhado por meio da ferramenta Mapa de Raciocínio. Na fase de investigação do problema, foi definida pela organização uma redução de 15% no custo com a aquisição do óleo lubrificante, representando uma economia de R\$ 90.104,00. Na fase de verificação, observou-se uma economia de R\$ 311.767,90, representando um ganho de 346% em relação a meta estabelecida. Em relação ao consumo do óleo, foi identificado uma média de 10,56 l/ht estabelecido uma meta de 8,50 l/ht para o projeto. Na fase de verificação, foi identificada uma média de 4,33 l/ht, representando uma redução de 243% em relação à média observada no período histórico. Verificou-se também que apesar de cada ferramenta da qualidade apresentar particularidades conceituais e de aplicação, elas se complementam e que quando usadas em conjunto permite maior compreensão do fenômeno estudado, podendo descobrir a causa raiz dos defeitos e, desta forma, reduzir ou eliminar o seu impacto.

Portanto, todos esses resultados demonstram que a aplicação da metodologia Seis Sigma contribuiu significativamente para a redução do número de horas com a manutenção corretiva nos motores diesel dos equipamentos fora de estrada.

Foram obtidos alguns ganhos intangíveis a melhoria das condições de trabalho e a redução de riscos de acidentes, com a organização do ambiente de trabalho e a maior qualificação dos empregados. A redução da sobrecarga sobre os empregados foi obtida através do balanceamento das atividades e com a criação de alguns dispositivos.

Outro ponto importante foi a capacitação das equipes com treinamentos técnicos. Essa ação favoreceu uma manutenção mais assertiva, com a propagação de conhecimentos estatísticos, com a estabilidade do processo, confiabilidade dos equipamentos e a satisfação dos executantes e clientes.

7.1 LIMITAÇÕES DO PROJETO

Pelo método de pesquisa utilizado foi apresentada algumas limitações. A pesquisa-ação é considerada uma metodologia mais fluida e menos rigorosa, compreendendo-a como abstrato a aplicação de algumas etapas. Importante estabelecer os critérios para validação de cada etapa.

Para atingir o objeto da pesquisa, foram elaborados instrumentos com base na literatura, que na sua maioria apresentam o Seis Sigma como um programa de melhoria dentro das organizações. A pesquisa visava apresentar o Seis Sigma como uma metodologia de estabilização e melhoria do processo na busca por uma estratégia de manutenção mais eficiente

para a organização. Este fato gerou uma limitação na ligação dos fatores críticos de sucesso da implementação de estratégias de manutenções com foco em confiabilidade.

As organizações funcionam em um ambiente dinâmico com atribuições definidas entre os seus empregados. O Seis Sigma, traz para a organização, uma metodologia capaz de solucionar problemas ligados a estratégia do negócio, porém exigindo uma dedicação dos especialistas que foram treinados na aplicação da metodologia sem deixar de lado as suas atribuições. Esse acúmulo de funções, associado aos não reconhecimento financeiro, representa uma limitação fortíssima para o entendimento dos conhecimentos ligados ao Seis Sigma, portanto, o comprometimento do empregado com o projeto.

7.2 SUGESTÕES PARA PROJETOS FUTUROS

Através do desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível compreender os fatores abordados na literatura e comprovados na aplicação. A partir dos conhecimentos adquiridos através deste trabalho, e visando uma melhor compreensão dos assuntos ligados a sustentação do Seis Sigma, algumas propostas de estudos futuros são estabelecidas a seguir:

- Aumentar o escopo da pesquisa, aplicando a metodologia do Seis Sigma no segundo item que mais impacta na disponibilidade física dos equipamentos fora de estrada;
- Aplicação das etapas de implementação da manutenção centrada em confiabilidade para o motor diesel;
- Desenvolvimento de um projeto para identificação, quantificação e eliminação das falhas no filtro secundário, já que ficou acima da meta estabelecido;
- Submissão de trabalho acadêmico sobre a importância da aplicação do método de Seis Sigma com a redução dos defeitos no processo de manutenção.

Que este trabalho possa ter cumprido os seus objetivos, auxiliando os futuros pesquisadores estudiosos do tema, enxergando uma contribuição e aumentando o conhecimento da metodologia tema de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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*, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 203-219, maio/ago. 2007.

ALRABGHI, A.; TIWARI, A.; SAVILL, M. **Simulation-based optimisation of maintenance systems**: Industrial case studies. *Journal Of Manufacturing Systems*, v. 44, p.191-206, 2017.

ARAÚJO, J. C.; VITA, K.; FACHINI, M. G.; DUARTE, R. L.; TOFOLI, E. T. **Análise de SWOT**: uma ferramenta na criação de uma estratégia empresarial. Lins, 2015. V Encontro

Científico e Simpósio de Educação Alesiano, Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Faculdade de Lins, 2015.

ARNHEITER, E.; MALEYEFF, J. **The integration of lean management and six sigma**. The TQM Magazine, York, England, v.17, n.1, p.5-18, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5462: 1994**. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BANUELAS, R., ANTONY, J., BRACE, M. **An application of Six Sigma to reduce waste**. Quality and Reliability Engineering International. 21(6), 553-570, 2005.

BARAN, L. R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na Redução de Falhas: um estudo de caso**. 2011. Monografia (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

BATISTA, R. A. T. M; RODRIGUES, L. B.; MATOS, C. J, V. **Estudo da implantação do planejamento e controle de manutenção na empresa Águia Química LTDA**. Paraná: Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, 2014. Vol.01 N°09.

BAXTER.P; JACK.S. Qualitative Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. **The Qualitative Report**, v.13, n.4, p. 544-559, 2008.

BEHARA, R. S.; FONTENOT, G. F.; GRESHAM, A. **Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma**. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, England, v.12, n.3, p.9-18, 1995.

BEHR, A.; MORO, E. L. S.; ESTABEL, L. B. **Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca**. Ci. Inf., Brasília, v. 37, n. 2, p. 32-42, maio/ago. 2008.

BERTO, A. M.; DIAS JUNIOR, C. M.; CESCO NETO, S. M.; SOUZA, G. P. **Manutenção e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) como elementos de redução dos custos de produção – um estudo simulado**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 14, n. 1, p. 234-248, jan./mar. 2018.

BLOCH, P.; GEITNER, K. **Machinery Component Maintenance and Repair: practical machinery management for process plants**. 3^a. ed. Burlington: Elsevier Inc., v. 3, 2005.

BRANCO, F. G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

BREYFOGLE III, F. W.; CUPELLO, J. M.; MEADOWS, B. **Managing Six Sigma: a practical guide to understanding, assessing and implementing the strategy that yields bottom-line success**. New York: John Wiley, 2001.

BRYMAN, Alan; BELL, Emma. **Business Research Methods**. 3. ed. Oxford: Ed. Oxford University Press, 2011.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2012, 2.ed.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p.405-432, abr./jun. 2015.

CORONADO, R. B. e ANTONY, J., **Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations**. The TQM Magazine, p. 92-99, 2002.

COSTA, J. B.; CASELLI, F. T. R. **Proposta de solução de problemas para uma empresa de varejo baseada no modelo Toyota A3**. Brazilian Journal of Development: Curitiba, v. 4, n. 7, Edição Especial, p. 3598-3612, nov. 2018.

COSTA JUNIOR, E. R.; PAIVA, E. J.; BRITO, T. G.; OLIVEIRA, J. F. R.; NUNES, T. C. **A importância da aplicação do mapa de raciocínio em um projeto de seis sigma**. Maceió: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018.

COSTA, M. A. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Trabalho conclusão de curso Engenharia de Produção. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

COUGHLAN, P.; COGHLAN. **Action research: action research for operations management**. International Journal os Operations and Production Management. v.22, n.2, p.220-240, 2002.

DALTON, J. **Brainstorming**. Great Big Agile. Apress, Berkeley, CA. 2019.

DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma: o Método que Levou a Ge e Outras Empresas a Transformar Processos Em Lucro**. Editora Campos, 2001.

ERBIYIK, H., SARU, M. **Six Sigma Implementations in Supply Chain: An Application for na Automotive Subsidiary Industry in Bursa in Turkey**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 195, 2556-2565, 2015

ERKOYUNCU, J. A. et al. **Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality**. Cirp Annals, v. 66, n. 1, p.465-468, 2017.

FERREIRA, A. B. D. H. **Novo dicionário de língua portuguesa**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

FILHO, G. B. A. **Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

GANGA. G. M. D. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012. 361p.

GARZA, Luiz. **A Case Study of the Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV)**. 2002. 85 f. Thesis (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.

GHORANI, R.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; DEHGHANINAN, P.; LI, W. **Identifying critical components for reliability centred maintenance management of deregulated power systems**. The Institution of Engineering and Technology. v. 9, pp. 828–837, 2015.

GOMES, L. P. C., MARQUES, D. M. N., GUERRINI, F. M. **Programa Seis Sigma Auto-organizado: modelo da situação atual e necessidades de mudanças**. Gest. Prod., São Carlos, v.24, n.1, p. 95-107, 2017.

HARRY, M. **Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability**. Quality Progress, 31(5), 60 – 64, 1998.

HENNING, E.; WALTER, O. M. C. F.; SOUZA, N. S.; SAMOHYL, R. W. **Um estudo para aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável**. Revista Sistemas & Gestão, 9(1), 2-13. 2014.

HERPICH C.; SANSON, F. **Aplicação de fmeca para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, v. 5, n. 9, p. 70-88, 2013.

KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KRONER, W. **Produtividade e Qualidade na Manutenção**. Apostila apresentada no curso para Gerenciamento da Manutenção – Weiland Kroner, São Paulo, 1999.

LEITE, M. S. R. e GASPAROTTO, A. M. S. **Análise SWOT e suas funcionalidades: o autoconhecimento da empresa e sua importância**. Revista Interface Tecnológica, v. 15 n. 2. 2018.

LIN, C.; CHEN, F.; WAN, H.; CHEN, Y.; KURIGER, G. **Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology**. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 29(3), 95–103, 2012.

LINDERMAN, K.; SCHROEDER, K.; ZAHEER, S.; CHOO, A. **Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective**. Journal of Operations Management, 21(2), 193–203, 2003.

LIKER, J. K.; CONVIS, G. L. **O Modelo Toyota de liderança Lean - como conquistar e manter a excelência pelo desenvolvimento de lideranças**. 1ed. s.l.:Bookman, 2006.

LIKER, Jeffrey K; HOSEUS, Michael. **A cultura Toyota. A alma do modelo Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LIU Y., HUANG. **Optimal selective maintenance strategy for multi-state systems under imperfect maintenance**. IEEE Transactions on Reliability, v. 59, n. 2, p. 356-367, 2010.

MEHRABI, J. **Application of Six-Sigma in Educational Quality Management**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 47, 1358–1362, 2012.

MELLO, C.; TURRIONI, J.; XAVIER, A.; CAMPOS, D. **Pesquisa-ação na engenharia de produção**: proposta de estruturação para sua condução. Produção, v.22, n. 1, p.1-13, Jan./Fev. 2012.

MONCHY, F. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da Qualidade** (4a ed.). Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance**: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NAKAGAWA, M. **Ferramenta**: análise SWOT (clássico), estratégia e gestão. Movimento Empresa. São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, G. D.; SANTOS, J. D.; SILVA, V. L.; RÖDER, C. **Aplicação do controle estatístico do processo em uma indústria de autoadesivos**. Exacta – EP, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 135-154, 2018.

PAIVA, E. J. **Otimização de processos de manufatura com múltiplas respostas baseada em índices de capacidade**. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2008. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1672/dissertacao0032819.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 de set. 2019.

PAPIC, Ljubisa; ARONOV, Joseph & PANTELIC, Milorad. **Safety Based Maintenance Concept**. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.

PENÃ, R. M. **Aplicação da metodologia Seis Sigma para melhorar a qualidade de um fornecedor**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus Porto Alegre.

PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N., **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

PRASHAR, A. **Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality**. International Journal of Productivity and Performance Management, 63, 103-126, 2014.

PYZDEK, T.; KELLER, P. **O Seis Sigma**: guia do Profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e gerentes de todos os níveis. 3. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

RAMAN, R. S.; BASAVARAJ, Y.; PRAKASH, A.; GARG, A. **Analysis of six sigma methodology in exporting manufacturing organizations and benefits derived**: A review. In Computational Intelligence & Communication Technology (CICT), 2017.

RAMAN, R. S.; BASAVARAJ, Y. **Defect reduction in a capacitor manufacturing process through Six Sigma concept: A case study.** Management Science Letters, 253–260, 2019.

RODRIGUES, A. L. D.; SANTOS, M. S.; SERRA, M. C.; PINHEIRO, E. M. **A utilização do ciclo pdca para melhoria da qualidade na manutenção de shuts.** Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil, v. 9, n. 18, p. 48 - 70, 2017.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços.** São Paulo: Atlas, 2013.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações.** Gest. Prod., São Carlos, v. 15, n. 1, p. 43-56, jan.-abr. 2008.

SCHROEDER, R.; LINDERMAN, K.; LIEDTKE, C.; CHOO, A. **Six Sigma: Definition and underlying theory.** Journal of Operations Management, 26(4), 536–554, 2008.

SILVA, B. G. J.; LISBOA, A. P.; SANTOS, A. H, A.; SANTOS, G. S.; SANTANA, K. S.; SILVA, I. P. **Seis Sigma e a Filosofia Lean: Uma abordagem teórica da integração Lean Seis Sigma.** Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção: Sergipe, 2018.

SILVA, G. S.; GOMES, M. S. G.; OLIVEIRA, A. S. **Aplicação do diagrama de Ishikawa para determinação das causas do tempo excessivo de fila no restaurante universitário.** Produção em Foco: Santa Catarina, v. 08, n. 01: p. 25-40, 2018.

SILVA, Michel Philippe da Trindade e. **Aplicação de técnicas de manutenção preditiva para o aumento da confiabilidade de locomotivas diesel-elétricas.** Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro – RJ, 2012.

SINGH, A.; KHANDUJA, D. **Defining Quality Management in Auto Sector: A Six-sigma Perception.** Procedia Materials Science, 5, 2645–2653, 2014.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação.** 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 2017. 4.ed.

SHOOK, J. **Gerenciando para o aprendizado: usando o processo de gestão A3 para resolver problemas, promover alinhamento, orientar e liderar.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica.** 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

STRÖHER, Leandro Martin. **Evolução do Planejamento e Controle de Manutenção na ótica da manutenção de classe mundial.** Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES. Lajeado – RS, 2012.

SULLIVAN, G. P. *et al.* **Operations & Maintenance: best practices**. 2ª. ed. U.S. Department of Energy: Pacific Northwest National Laboratory, 2004.

TÁVORA, K. F. D. **Aplicação da metodologia Seis Sigma no processo de corte de uma indústria produtora de capas para bancos de automóvel**. Dissertação Mestrado em Gestão Comercial. Porto, 2009.

VALER. **Apostila do curso Seis Sigma Green Belt**. Vale: Rio de Janeiro, 2017.

VIANA, Herbert R. G. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. 1ª Edição, Qualitymark Editora. Rio de Janeiro - RJ, 2014.

ZIKMUND, Willian G.; BABIN Barry. J.; CARR, Jon. C.; GRIFFIN, Mitch. **Business Research Method**. 9. ed. Canadá: Ed. Cengage Learning, 2013.

YSSAAD, B.; ABENE, A. **Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems**. Electrical Power and Energy Systems. p.350-360, 2015

WANG W. **An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modeling**. Reliability Engineering and System Safety, v. 106, p. 165-178, 2012.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, v. 1, 2002a.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura lean seis sigma**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 259 p.

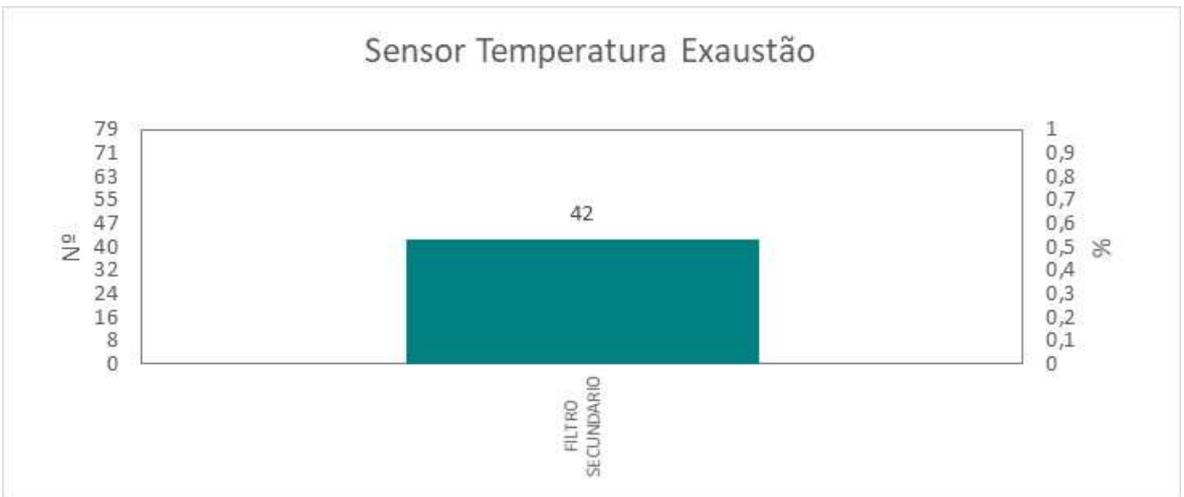
WERNER, L; RODRIGUES, J.T.M. **Seis Sigma: característica do programa em onze empresas situadas na região metropolitana de Porto Alegre**. Produção Online: Florianópolis, SC, v.12, n.1, 2012.

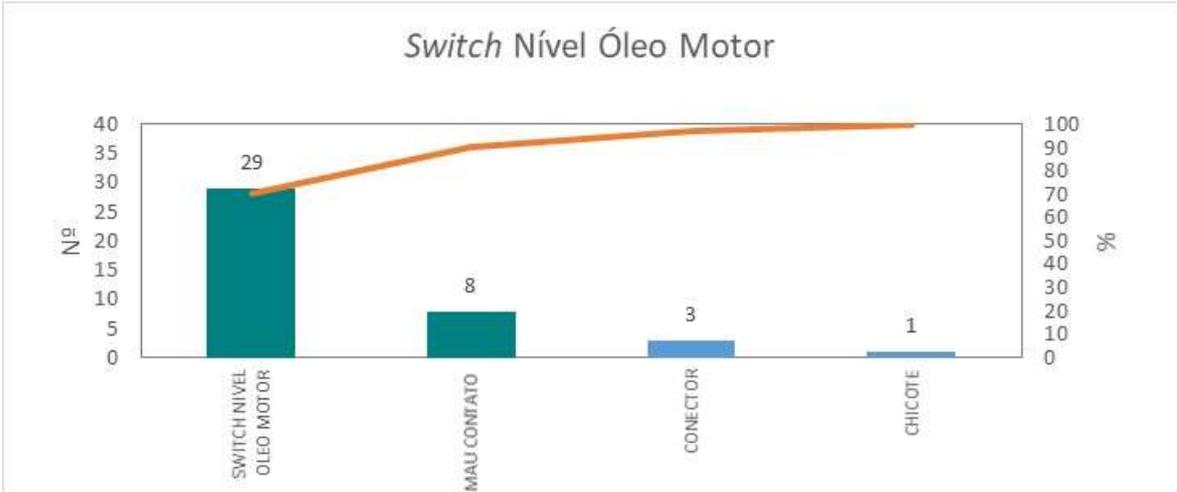
WITT, P. W.; BAKER, T. **Personality characteristics and Six Sigma: a review**. International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 35 No. 3, 2018 pp. 729-761

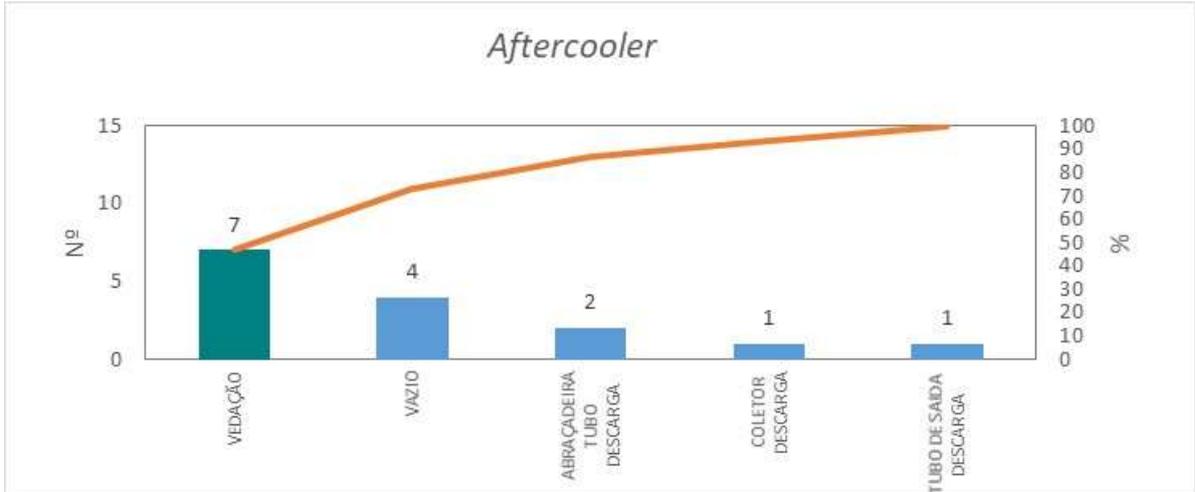
WONG, K. C. **Using an Ishikawa diagram as a tool to assist memory and retrieval of relevant medical cases from the medical literature**. Journal Med Case Reports; 5; 20; 2011.

WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total**. Um Modelo Adaptado. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

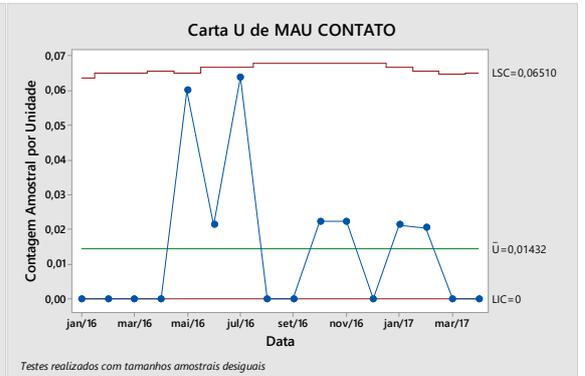
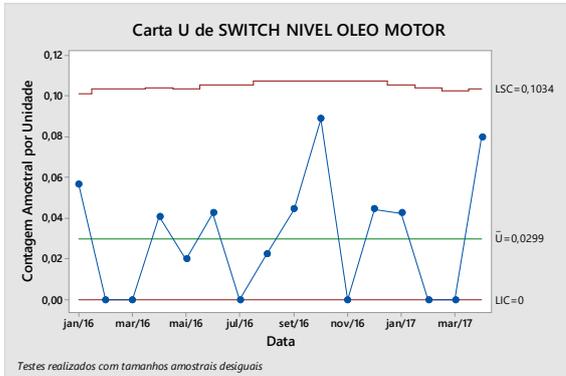
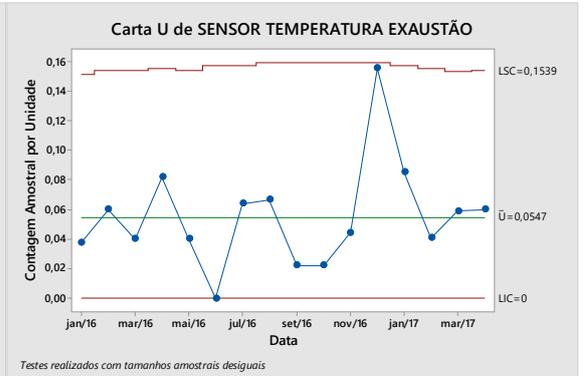
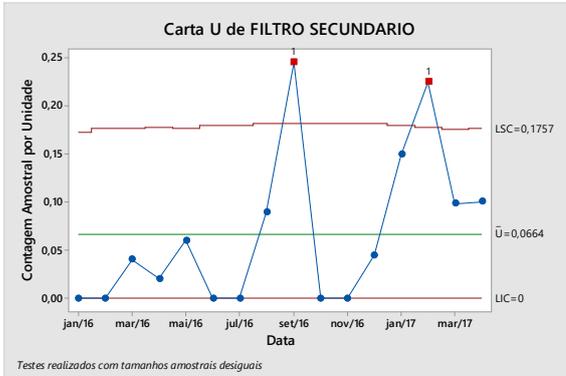
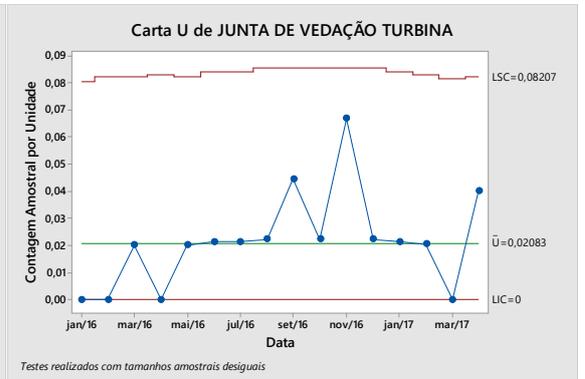
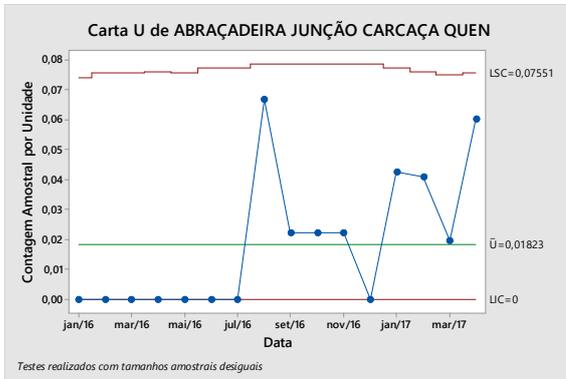
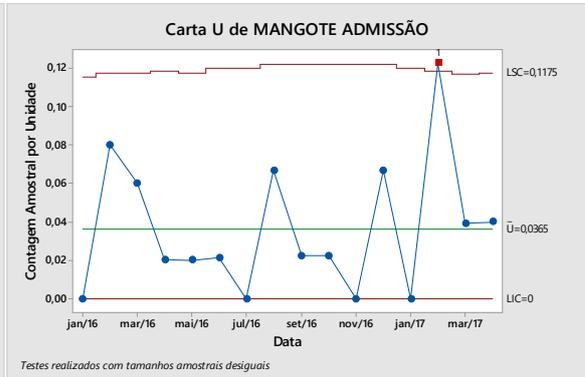
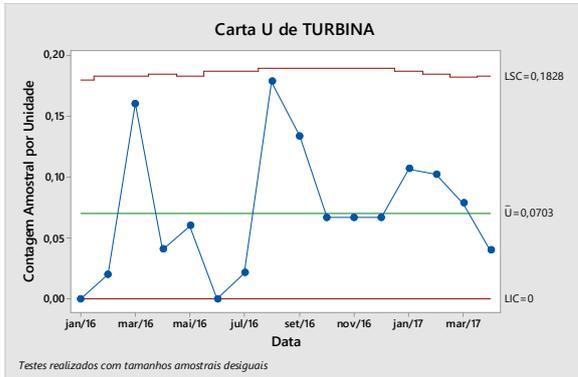
APÊNDICE A – GRÁFICOS DE PARETO PARA A PRIORIZAÇÃO DOS FOCOS DE ATUAÇÃO

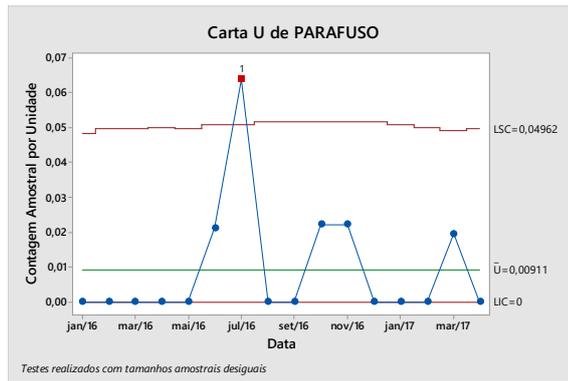
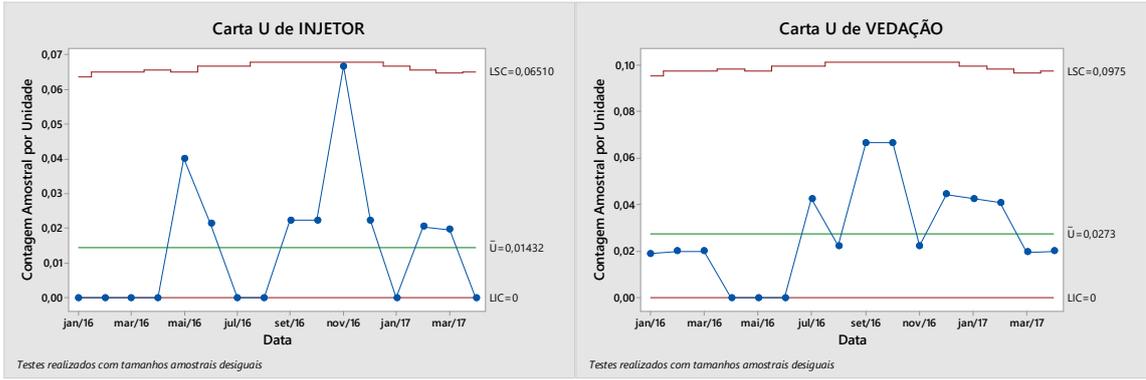






APÊNDICE B – CARTAS U DOS FOCOS DE ATUAÇÃO QUE NÃO APRESENTARAM CAUSAS ESPECIAIS





APÊNDICE C – ARTIGOS SUBMETIDOS EM CONGRESSOS E PERIÓDICOS

1. *Production Planning and Control*



Application of Six Sigma methodology to reduce maintenance process costs

Journal:	<i>Production Planning & Control</i>
Manuscript ID	TPPC-2020-0171
Manuscript Type:	Research paper for Regular Issue
Date Submitted by the Author:	26-Mar-2020
Complete List of Authors:	Costa Júnior, Efigênio; UNIFEI José de Paiva, Emerson; UNIFEI Caixeta, Tiago; UNIFEI Lucas, Fábio; UNIFEI Mata, Flávio; UNIFEI Mascarenhas, Gilberto; UNIFEI
Keywords:	maintenance, six sigma, process capability, tools

2. Minerals Engineering



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Minerals Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/mineng

Submission Confirmation

De: Minerals Engineering (eesserver@eesmail.elsevier.com)

Para: kaxetta@yahoo.com.br

Data: terça-feira, 16 de julho de 2019 00:10 BRT

*** Automated email sent by the system ***

Minerals Engineering

Title: Optimization of iron ore flotation parameters using statistical techniques

Authors: Tiago Caixeta Nunes, Master's Degree student; Efigenio R Costa Júnior, Master's Degree student; Tarcísio G Brito, Doctorate; Emerson J Paiva, Doctorate; Rubén A Miranda Carrillo, Doctorate

Article Type: SI: Flotation '17

Dear Mr. Nunes,

Your paper has been received with thanks. It will now be reviewed by at least two members of the Minerals Engineering editorial board. Please allow at least four weeks for refereeing. You will be notified again when your manuscript has been assigned a reference number.

If you are not already subscribed to MEI Online's free fortnightly newsletter, you should do so by submitting your email address in the box in the right hand column of www.min-eng.com. The newsletter will alert you to the latest refereed publications, as well as all the latest mineral processing news from around the world.

Please do not hesitate to contact me if you have any queries.

Regards,

Barry Wills
Minerals Engineering

3. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção

XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
 "A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"
 Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.

A IMPORTÂNCIA DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MAPA DE RACIOCÍNIO EM UM PROJETO DE SEIS SIGMA

Efigênio Rodrigues da Costa Júnior
 efigenio.costa@hotmail.com

Emerson José de Paiva
 emersonjpaiva@gmail.com

Tarcísio Gonçalves de Brito
 brito.tarcisio@gmail.com

Junio Flávio Rodrigues Oliveira
 juniofro@hotmail.com

Tiago Caixeta Nunes
 kaxetta@yahoo.com.br



O Seis Sigma traduz os problemas em oportunidades de crescimento das organizações, concentrando-se na diminuição ou eliminação da incidência de erros, defeitos, e falhas, visando reduzir a variabilidade para os eventos críticos em um processo. O método é implementado por fase, de modo que, para finalizar uma determinada fase e iniciar a próxima, todas as atividades da fase anterior devem ser concluídas. O mapa de raciocínio consiste em uma documentação progressiva da forma de raciocínio durante a execução de um trabalho. Trata-se de uma ferramenta importante no programa Seis Sigma, sendo utilizada durante todo o desenvolvimento do projeto. Mapa auxiliará na implementação do Método Seis Sigma, organizando todas as etapas de implementação, com perguntas que direcionarão as atividades. O objetivo do artigo é estudar a importância de uma das ferramentas disponibilizados pelo método, denominada Mapa de Raciocínio, acompanhando-se e implementando-se cada fase.

Palavras-chave: Mapa de Raciocínio, Seis Sigma, DMAIC

4. 72º Congresso Anual da ABM



IMPLANTAÇÃO DO ESCRITÓRIO DE PROJETOS COMO ESTRATÉGIA DE GESTÃO INTEGRADA NAS MINAS DA DIRETORIA DE FERROSOS SUDESTE*

Erton Andrade Vieira¹

Fábio Lucas Silva²

João Marcelo Tarbes Vianna Mendes³

Marcio José Campos Borba⁴

Thales Vinicius Gomes de Assis⁵

Ana Paula de Paiva Costa⁶

Andrea de Oliveira Furtado⁷

Efigenio Rodrigues da Costa Junior⁸

Resumo

A cotação do minério de ferro caiu muito nos últimos anos. Em função disto, a Vale buscou se adaptar para continuar atendendo às condições do mercado. Considerando que o principal cliente mundial atualmente é a China, que os principais concorrentes estão na Austrália, e que as suas operações deste produto estão localizadas no Brasil, os desafios da Vale têm sido cada vez maiores para se produzir com qualidade e com baixo custo. Com este cenário, o desdobramento da estratégia da empresa, bem como sua execução, têm merecido destaque especial na Diretoria de Ferrosos Sudeste. Em meio a este momento, foi implantado o Escritório de Projetos, que recebeu a responsabilidade pela condução do planejamento estratégico, desdobramento da estratégia e gestão de carteira de projetos nessa Diretoria, de forma integrada com outros pilares da Gestão da Qualidade.

Palavras-chave: Gestão Integrada; Escritório de Projetos; PDCA; Planejamento Estratégico.

IMPLEMENTATION OF THE PROJECT MANAGEMENT OFFICE AS AN INTEGRATED MANAGEMENT STRATEGY IN THE MINES OF THE DIRETORIA DE FERROSOS SUDESTE

Abstract

The price of iron ore has dropped a lot in recent years. As a result, Vale sought to adapt to continue to meet market conditions. Considering that the main worldwide customer is China, that the main competitors are in Australia, and that its operations of this product are located in Brazil, the challenges of Vale have been increasing to produce with quality and with low cost. With this scenario, the unfolding of the company's strategy, as well as its execution, have deserved special mention in the Diretoria de Ferrosos Sudeste. In the middle of this moment, the Project Office was implemented, which was given responsibility for conducting strategic planning, strategy deployment and portfolio management of projects in this Diretoria, in an integrated way with other pillars of Quality Management.

Keywords: Integrated Management; Project Management Office; PDCA; Strategic Planning.

¹ Graduado em Geografia, Pós Graduado em Gestão de Pessoas, Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, São Gonçalo do Rio Abaixo/MG, Brasil.

² Tecnólogo em Processos Gerenciais, Pós Graduado em Gestão Empresarial, Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, Itabira/MG, Brasil.

³ Graduado em Turismo, Pós Graduado em Sistema de Gestão Integrada e Engenharia de Produção, Supervisor, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, Mariana/MG, Brasil.

⁴ Graduado em Relações Públicas, Pós Graduado em Gestão de Projetos, Gestão de Pessoas e Engenharia de Processos Industriais, Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, Mariana/MG, Brasil.

⁵ Graduado em Engenharia de Produção, Pós Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho, Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, São Gonçalo do Rio Abaixo/MG, Brasil.

⁶ Graduação em Gestão Ambiental, Pós em Gestão Ambiental e Engenharia de Produção Enxuta. Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, Mariana/MG, Brasil.

⁷ Graduação em Administração, Especialização em Gestão de Projetos pelo IBMEC e Especialização em Engenharia de Produção Enxuta no IETEC. Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, São Gonçalo do Rio Abaixo/MG, Brasil.

⁸ Graduação em Engenharia Ambiental e em Ciências Biológicas pela Fundação Comunitária de Ensino Superior e Itabira, Pós-graduação em Engenharia de Segurança pela Faculdade Pitágoras. Pós-graduação em Planejamento e Gestão Ambiental pela Fundação Comunitária de Ensino Superior e Itabira. Analista de Qualidade e Gestão, Gerência de Qualidade e Gestão Integrada, Vale S/A, Itabira/MG, Brasil.

* Contribuição técnica ao 72º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 17º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.

APÊNDICE D – CERTIFICAÇÃO ESPECIALISTA SEIS SIGMA



APÊNDICE E – PARTICIPAÇÃO BANCA AVALIADORA DO TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO

1. Trabalho: Modelo conceitual para a gestão de riscos baseada no conhecimento (GRBC): uma análise aplicada a projetos de melhoria



Certificado

O curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, certifica para devidos fins, que os examinadores abaixo relacionados, participaram, na qualidade de membros titulares, da Banca Avaliadora de Trabalho Final de Graduação – TFG, do trabalho adiante discriminado:

Candidato: Izabelle Jennifer Romualdo Caetano Barros

Título do Trabalho: MODELO CONCEITUAL PARA A GESTÃO DE RISCOS BASEADA NO CONHECIMENTO (GRBC): UMA ANÁLISE APLICADA A PROJETOS DE MELHORIA

Data da Defesa Pública: *19/11/2018*

Banca Avaliadora: Presidente: *Prof.ª Dra. Sandra Miranda Neves*
Avaliador(a) 1: *Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva*
Avaliador(a) 2: *Efigênio Rodrigues da Costa Júnior*

Itabira (MG), 19 de novembro de 2018.

André Pereira Feitosa
Prof. Dr. André Pereira Feitosa

Coordenador de TFG do Curso de Engenharia de Produção

2. Trabalho: Aplicação da ferramenta A3 no armazém de uma mineradora por meio do método *Design Science Research*



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

Certificado

O curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, certifica para devidos fins, que os examinadores abaixo relacionados, participaram, na qualidade de membros titulares, da Banca Avaliadora do Trabalho Final de Graduação (TFG) – Pré-defesa, do trabalho adiante discriminado:

Candidato: *Tatiane Elisa Martins de Oliveira*

Título do Trabalho: *Aplicação da Ferramenta A3 no armazém de uma mineradora por meio do método Design Science Research*

Data da Defesa Pública: *05/07/2019*

Banca Avaliadora: Presidente: *Profa. Dra. Ana Carolina Oliveira Santos (orientadora)*
Avaliador(a) 1: *Efigênio Rodrigues da Costa Júnior*

Itabira (MG), 05 de julho de 2019.

Prof. Dr. André Pereira Feitosa
Coordenador de TFG do Curso de Engenharia de Produção

APÊNDICE F – PARTICIPAÇÃO NA FEIRA DE ESTÁGIOS EM ENGENHARIAS DE ITABIRA

CERTIFICADO



Certificamos para os devidos fins que

EFIGÊNIO RODRIGUES DA COSTA JÚNIOR

ministrou o workshop intitulado “Como solucionar problemas utilizando um A3?”, com duração de 4h, na 2ª. Feira de Estágios em Engenharias de Itabira – FEEI, da Universidade Federal de Itajubá, campus de Itabira.

Itabira, 23 de maio de 2019



TÁBATA F. PEREIRA
Coordenadora da FEEI