

NATÃ BARBOSA COSTA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A  
REDUÇÃO DE CUSTOS COM ÓLEO LUBRIFICANTE  
EM UMA EMPRESA DO RAMO FRIGORÍFICO**

Dourados - MS

Junho de 2021

NATÃ BARBOSA COSTA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A  
REDUÇÃO DE CUSTOS COM ÓLEO LUBRIFICANTE  
EM UMA EMPRESA DO RAMO FRIGORÍFICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos  
Orientador

Dourados - MS  
Junho de 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C838a Costa, Natã Barbosa  
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS COM ÓLEO  
LUBRIFICANTE EM UMA EMPRESA DO RAMO FRIGORÍFICO [recurso eletrônico] / Natã  
Barbosa Costa. -- 2021.  
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Rodrigo Borges Santos.  
TCC (Graduação em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2021.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Seis Sigma. 2. DMAIC. 3. Processo de Lubrificação. 4. SIPOC. 5. Ishikawa. I. Santos,  
Rodrigo Borges. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

---

**ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aluno: **NATÃ BARBOSA COSTA**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS COM ÓLEO LUBRIFICANTE EM UMA EMPRESA DO RAMO FRIGORÍFICO**

**BANCA EXAMINADORA**

**1. Presidente (orientador):**

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

**2. Membro:**

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

**3. Membro:**

Prof. Dr. Augusto Salomão Bornschlegell, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos **APROVADO** (Aprovado/Reprovado) o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 09 de junho de 2021.

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

Prof. Dr. Augusto Salomão Bornschlegell

## RESUMO

Com o passar dos anos, a preocupação das empresas em produzir produtos que atendam um mercado cada vez mais exigente faz com que elas desenvolvam e apliquem ferramentas da engenharia da qualidade, visando aumentar a qualidade de seus produtos, reduzir custos, otimizar processos e mitigar falhas. Neste cenário, o objetivo deste trabalho é usar o modelo Seis Sigma aplicando o método de resolução de problemas DMAIC em busca da melhoria do processo de lubrificação de uma empresa do ramo frigorífico. O problema a ser resolvido são os altos gastos com óleo lubrificante, o que gera altos custos de manutenção. Para a execução do método DMAIC são utilizadas importantes ferramentas da qualidade, tais como a matriz SIPOC, o diagrama de Ishikawa e o método dos cinco "porquês". A causa raiz do problema é identificada como sendo a utilização de óleo lubrificante do tipo mineral, que apresenta baixa vida útil, demandando curtos intervalos de trocas, a cada 250 horas. Então, para a causa raiz identificada, é definida como ação a utilização do óleo sintético Mobil Rarus 827 com maior vida útil, 2000 horas. Aplicando a solução, verifica-se 80% de redução de custos com óleo lubrificante. Finalmente, este trabalho permite o entendimento e a aplicação do método DMAIC para melhoria de processos.

**Palavras-chave:** Seis Sigma, DMAIC, SIPOC, Ishikawa, Cinco "Porquês".

## **ABSTRACT**

Over the years, companies' concern to produce products that meet an increasingly demanding market makes them develop and apply quality engineering tools, simplify the quality of their products, reduce costs, optimize and mitigate failures processes. In this scenario, the objective of this work is to use the Six Sigma model applying the DMAIC problem solving method in order to improve the lubrication process of a company in the meatpacking industry. The problem to be solved is the high expenses with lubricating oil, which generate high maintenance costs. For the execution of the DMAIC method, quality tools are used, such as a SIPOC matrix, the Ishikawa diagram and the five "whys" method. The root cause of the problem is identified as the use of lubricating oil of the mineral type, which has a short service life, requiring short change intervals, every 250 hours. Therefore, for the identified root cause, the use of synthetic oil Mobil Rarus 827 with longer service life, 2000 hours, is defined as action. Applying the solution, there is an 80% cost reduction with lubricating oil. Finally, this work allows the understanding and application of the DMAIC method for process improvement.

**Keywords:** Six Sigma, DMAIC, SIPOC, Ishikawa, Five Whys.

## LISTA DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 2.1  | Ciclo DMAIC . . . . .  | 15 |
| Figura 2.2  | Diagrama de Ishikawa . . . . .   | 20 |
| Figura 3.1  | Custo acumulado em reais (R\$) com óleo mineral Mobil Rarus 427 em oito trocas, totalizando 2000 horas. . . . .                                | 23 |
| Figura 3.2  | Valor normalizado para viscosidade a 40°C do óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas. . . . .                               | 24 |
| Figura 3.3  | Teor de ferro em valor normalizado para trocas de óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas. . . . .                          | 24 |
| Figura 3.4  | Teor de cobre em valor normalizado para trocas de óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas. . . . .                          | 25 |
| Figura 3.5  | Teor de alumínio em valor normalizado para trocas de óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas. . . . .                       | 25 |
| Figura 3.6  | Diagrama de Ishikawa para o problema estudado . . . . .  | 26 |
| Figura 3.7  | Comparativo do custo acumulado em reais (R\$) entre óleo mineral Mobil Rarus 427 e com o óleo sintético Mobil Rarus 827 em 2000 horas. . . . . | 28 |
| Figura 3.8  | Valor normalizado para viscosidade a 40°C do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas. . . . .                                 | 29 |
| Figura 3.9  | Teor de ferro em valor normalizado para trocas do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas. . . . .                            | 29 |
| Figura 3.10 | Teor de cobre em valor normalizado para trocas do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas. . . . .                            | 30 |
| Figura 3.11 | Teor de Alumínio em valor normalizado para trocas do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas. . . . .                         | 30 |

## LISTA DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela 2.1 | Etapas e atividades realizadas na aplicação do DMAIC. . . . .                          | 16 |
| Tabela 2.2 | Etapas e atividades para aplicação do SIPOC. . . . .                                   | 18 |
| Tabela 3.1 | Matriz SIPOC para mapeamento do processo de lubrificação de bombas<br>a vácuo. . . . . | 21 |
| Tabela 3.2 | Valores gastos com lubrificação em oito trocas (2000 horas). . . . .                   | 22 |
| Tabela 3.3 | Aplicação do método dos cinco "porquês". . . . .                                       | 26 |
| Tabela 3.4 | Valores gastos com óleo sintético Mobil Rarus 827. . . . .                             | 27 |



## **LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES**

|              |   |
|--------------|---|
| <b>DMAIC</b> | Define, Measure, Analyze, Improve, Control      |
| <b>GPD</b>   | Gerenciamento Pelas Diretrizes                  |
| <b>MASP</b>  | Methodology for Analyzing and Solving Problems  |
| <b>PDCA</b>  | Plan, Do, Check, Act                            |
| <b>PPM</b>   | Partes Por Milhão                               |
| <b>SIPOC</b> | Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers |
| <b>TPM</b>   | Total Productive Maintenance                    |
| <b>TQM</b>   | Total Quality Management                        |
| <b>TQC</b>   | Total Quality Control                           |
| <b>WCM</b>   | World Class Manufacturing                       |

## SUMÁRIO

|              |                                    |           |
|--------------|------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b>                  | <b>11</b> |
| 1.1          | Objetivos . . . . .                | 12        |
| 1.2          | Metodologia . . . . .              | 13        |
| <b>2</b>     | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>       | <b>14</b> |
| 2.1          | Seis Sigma . . . . .               | 14        |
| 2.2          | Método DMAIC . . . . .             | 14        |
| 2.3          | Ferramentas da Qualidade . . . . . | 17        |
| <b>2.3.1</b> | <b>Matriz SIPOC</b>                | <b>17</b> |
| <b>2.3.2</b> | <b>Diagrama de Ishikawa</b>        | <b>19</b> |
| <b>2.3.3</b> | <b>Método dos Cinco Porquês</b>    | <b>20</b> |
| <b>3</b>     | <b>ESTUDO DE CASO</b>              | <b>21</b> |
| 3.1          | Etapa D: Definir . . . . .         | 21        |
| 3.2          | Etapa M: Medir . . . . .           | 22        |
| 3.3          | Etapa A: Analisar . . . . .        | 26        |
| 3.4          | Etapa I: Melhorar . . . . .        | 27        |
| 3.5          | Etapa C: Controlar . . . . .       | 29        |
| <b>4</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>        | <b>31</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS</b>                 | <b>32</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Na economia globalizada dos dias atuais, a sobrevivência das organizações depende de sua habilidade e rapidez de inovar e efetuar melhorias, visando melhorar produtos, processos, serviços e reduzir desperdícios. Diante disso, as empresas vêm buscando incessantemente a inclusão de novas ferramentas de gerenciamento que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços.

Diante deste cenário, as empresas devem recorrer a modelos de gestão da qualidade que sejam eficazes na melhoria contínua de seus processos. Vários modelos tem sido desenvolvidos, tais como o ciclo PDCA (do inglês: *Plan, Do, Check, Act*), Kaizen, *Lean thinking* (Mentalidade enxuta), *Lean Six Sigma*, TPM (do inglês, *Total Productive Maintenance*), Seis Sigma, TQM (do inglês, *Total Quality Management*), Cinco Porquês, entre outros.

Seis-Sigma é uma metodologia bem estruturada que se concentra em reduzir quantitativamente ou eliminar as perdas de um processo por meio do auxílio de determinadas ferramentas da qualidade e de gestão. Para aplicação do seis-sigma se propõe o trabalho por meio do método DMAIC (do inglês, *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) e do uso de ferramentas estatísticas para monitorar e controlar a qualidade do processo.

Diversos trabalhos mostram a aplicação do DMAIC para solução de problemas em processos. Na indústria petrolífera Amaral e Manzela (2016) utilizou o DMAIC para o tratamento de anomalia ocorrida na fase de perfuração do poço de petróleo, cujo objetivo principal foi identificar uma oportunidade de melhoria no processo de tratamento de falhas para evitar futuras reincidências, buscando a redução no seu custo. Os autores mostram que o custo da falha (em alguns casos) é maior do que a substituição do componente inapropriado. Para que seja evitada perda financeira, tempo e desgaste com o cliente, deve-se estabelecer controles rigorosos na implementação de quaisquer componentes críticos à operação.

Freiberger (2017) utilizou o DMAIC para aumentar a eficiência e a segurança das operações, da manutenção na torrefação de café de uma empresa do ramo cafeeiro. Os resultados mostram redução nas manutenções corretivas, e possibilitou também verificar e antecipar as falhas, garantindo uma intervenção de forma planejada, e mensurar a situação atual dos equipamentos.

Holanda et al. (2013) aplicou a metodologia DMAIC numa indústria de calçados, visando resolver as não conformidades ou desenvolver produtos com qualidade superior, bem como evitar desperdícios e reduzir custos. Após a aplicação da metodologia foi possível alcançar os objetivos propostos.

Servin et al. (2011) utilizou a metodologia DMAIC para ajudar uma indústria moageira de trigo a diminuir as perdas de produção provenientes de paradas não programadas do seu processo de moagem, contribuindo para a empresa no controle de suas paradas programadas e eliminando as perdas.

Neste contexto, o presente trabalho busca a melhoria do processo de lubrificação das bombas de vácuo de uma empresa do ramo frigorífico. O foco principal é resolver o problema de altos gastos com óleo lubrificante utilizado pela empresa, e conseqüentemente, gerando altos custos de manutenção. Por se tratar de um estudo de melhoria de eficácia de processo e com base em dados quantitativos será abordado o modelo Seis Sigma utilizando o método de resolução de problemas DMAIC. Além, disso, para execução do método será utilizado ferramentas da qualidade, tais como a matriz SIPOC, diagrama de Ishikawa, entre outras.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo de caso de melhoria continua utilizando o método DMAIC. O problema a ser resolvido são os altos gastos com óleo lubrificante de bombas de vácuo em uma empresa do ramo frigorífico.

De forma a atingir o objetivo principal, pode-se listar alguns objetivos específicos:

- Aplicação da matriz SIPOC para entendimento e mapeamento do processo.
- Identificação da causa raiz do problema proposto aplicando o diagrama de Ishikawa e método dos cinco "porquês".
- Calcular os ganhos financeiros após implementação da solução proposta.

## 1.2 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho é considerado as seguintes etapas:

### 1. Escolha do tema

Foi definido após o autor acompanhar as atividades de prestação de serviços de uma empresa do setor de lubrificantes à uma empresa do ramo frigorífico. Durante às atividades realizadas ficou evidente a importância do processo de lubrificação de equipamentos no setor de manutenção industrial e, também, constatou-se oportunidade de melhoria do processo, principalmente, objetivando a redução de custos com óleo lubrificante. Além disso, o aprendizado a ser agregado nessa área de estudo é de grande relevância para a formação profissional do autor.

### 2. Fundamentação teórica

Neste capítulo é abordada a teoria envolvida para o desenvolvimento do trabalho, tais como: a metodologia seis sigma por meio da aplicação do DMAIC e algumas ferramentas da qualidade utilizadas no estudo. Para isso, realizou-se pesquisas em artigos, livros, monografias, dissertações, teses, entre outras fontes de pesquisa.

### 3. Coleta de dados

Essa etapa envolve o levantamento de informações para entendimento do processo de lubrificação realizado na empresa, de forma a possibilitar a elaboração da matriz SIPOC do processo e, também, compreender as possíveis causas do alto gasto com óleo lubrificante. Essas informações foram coletadas por meio de reuniões e acompanhamento das atividades da empresa prestadora de serviço de lubrificação realizadas junto ao pessoal do setor de manutenção. Além disso, foram fornecidos laudos técnicos da análise de óleo realizadas pela empresa prestadora de serviços. Para preservar a confidencialidade dos dados fornecidos, os seus valores foram normalizados (divididos) pelos seus respectivos valores máximos.

### 4. Aplicação DMAIC

Nessa etapa é utilizado o método DMAIC no estudo de caso proposto, ou seja, é aplicado a ferramenta de melhoria no processo de lubrificação com o objetivo de reduzir gastos com óleo lubrificante.

### 5. Considerações finais

Finalmente, são apresentas considerações sobre a metodologia de melhoria estudada e, também, os principais resultados obtidos são discutidos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Seis Sigma

O Seis Sigma tornou-se conhecido como o programa responsável pelo sucesso da Motorola, que em 15 de janeiro de 1987 aplicou a metodologia com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar seus concorrentes, que fabricavam produtos de qualidade superior a preços menores.

A metodologia Seis Sigma é uma estratégia gerencial, onde define-se como vai ser a rotina e como vai desenvolver um trabalho de melhoria nos processos das empresas. O termo Seis Sigma, tem origem do “sigma”, um símbolo que, em qualidade, significa desvio padrão. Assim, quanto maior o nível sigma, menor a variabilidade sobre os processos ou produtos, por consequência, menor será a aparição de erros.

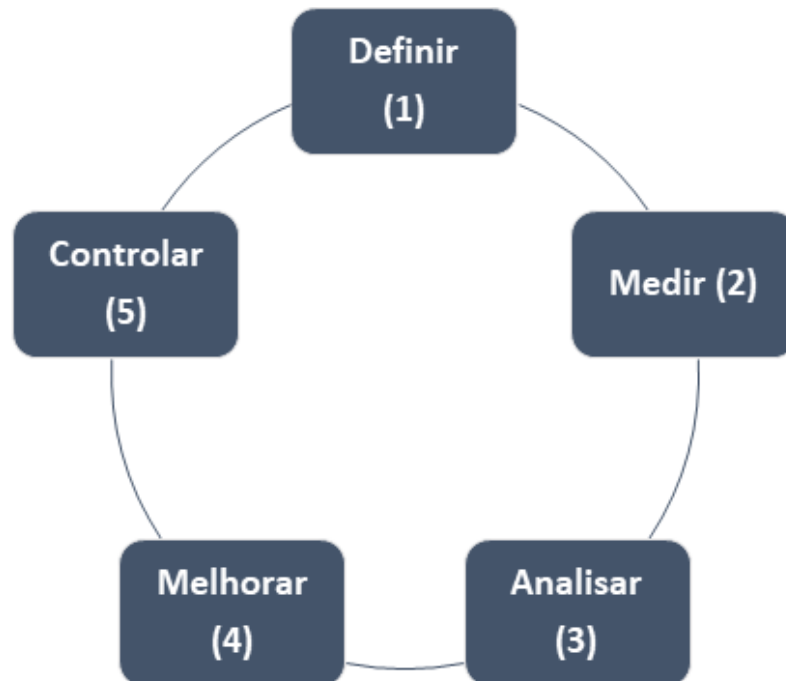
É uma ferramenta quantitativa, pois trabalha com estatística baseada em dados e, é estruturada, pois utiliza o método DMAIC para a resolução de problemas. Além disso é disciplinada, pois exige um tempo mínimo de dedicação em função de um bom resultado.

### 2.2 Método DMAIC

O DMAIC é um método de gestão de mudanças e resolução de problemas. É uma metodologia com passos bem definidos para a resolução estruturada de problemas com foco na melhoria contínua. Esse método indica o que alcançar em cada etapa do projeto e como fazer isso por meio de cinco etapas principais e cada etapa faz uso de ferramentas gráficas, práticas e analíticas.

O DMAIC consiste de cinco etapas principais, cada letra corresponde a uma palavra da língua inglesa : Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analisar), Improve (Melhorar), Control (Controlar). Cada etapa do processo é interligada com a anterior e com a posterior, formando um ciclo, como mostra a Figura 2.1.

Figura 2.1 - Ciclo DMAIC



Fonte: elaborado pelo autor.

### **Definir (Define)**

Nesta etapa deve-se identificar minuciosamente com toda a equipe os processos críticos responsáveis pela geração de maus resultados. É fundamental selecionar os problemas de forma objetiva e deixar claro os objetivos que se espera alcançar.

### **Medir (Measure)**

Nesta etapa deve levantar dados e informações sobre o processo. A coleta de dados é essencial para identificar e quantificar os problemas ou as oportunidades. Assim, aqui é importante ter dados quantitativos (indicadores) que permitem fazer comparação e verificar eficácia das melhorias propostas através dos resultados.

### **Analisar (Analyze)**

Trata-se da etapa em que é realizada a identificação das variáveis que afetam o processo, sendo necessário encontrar as causas raiz do problema para que se aprofunde nos detalhes.

### Melhorar (Improve)

Nesta etapa, determina-se a forma de intervenção para a redução do nível de defeitos dos processos. Propõe-se uma solução para cada causa raiz.

### Controlar (Control)

A etapa de controle é a última etapa do DMAIC. Neste momento, é importante monitorar os resultados alcançados após a implementação das melhorias e padronizar controles que garantam a sustentabilidade dos resultados.

A tabela 2.1 mostra um exemplo de atividades e ferramentas da qualidade utilizadas na aplicação do DMAIC.

Tabela 2.1 - Etapas e atividades realizadas na aplicação do DMAIC.

| <b>Etapas</b>    | <b>Atividades</b>  | <b>Ferramentas</b>  | <b>Saídas</b>   |
|------------------|--|---|---|
| <b>Definir</b>   | 1. Identificar o problema<br>2. Especificar o problema   | 1. Business case<br>2. Folha de verificação<br>3. Análise econômica<br>4. Matriz SIPOC      | 1. Definição do problema<br>2. Escopo do projeto  |
| <b>Medir</b>     | 1. Coletar dados<br>2. Integrar dados<br>3. Gerar tabelas e gráficos do funcionamento<br>4. Mensurar percas econômicas | 1. Plano de Coleta de Dados<br>2. Gráfico de pareto<br>3. Histograma, Análise de capacidade | 1. Checagem de dados<br>2. Definição de estratificação<br>3. Descrição de metas específicas |
| <b>Analisar</b>  | 1. Investigar causa raiz   | 1. Diagrama de Ishikawa<br>2. Análise econômica<br>3. Brainstorming                         | 1. Causa raiz do problema   |
| <b>Melhorar</b>  | 1. Propor melhorias<br>2. Comparação dos resultados da melhoria  | 1. Análise econômica<br>2. Matriz de priorização  | 1. Proposta de melhoria   |
| <b>Controlar</b> | 3. Controlar os resultados alcançados  | 1. Carta de controle<br>2. Relatório de anomalias<br>3. Treinamento                         | 1. Plano de ação de implementação   |

Fonte: elaborado pelo autor.



## 2.3 Ferramentas da Qualidade

As ferramentas da qualidade são um conjunto de técnicas gráficas usadas para identificar e solucionar problemas. Podem ser aplicadas com os objetivos de coletar e analisar dados, identificar e verificar as causas raízes, gerar novas ideias e planejar soluções, medir e analisar os resultados. Além disso, podem ser aplicadas em tratamento de problemas, tais como: falhas e quebras de equipamentos, desvios de indicadores, não-conformidades, etc. Podendo também serem aplicadas em melhorias de processos, buscando superação de resultados, redução de custos, controle de perdas e redução de riscos.

Essas ferramentas são utilizadas de forma combinada com diferentes métodos de melhoria contínua de processos, tais como: PDCA (do inglês: Plan, Do, Check, Act), Seis Sigma, TQC (Controle da Qualidade Total), MASP (Metodologia de Análise e Solução de Problemas), Lean, TPM (Manutenção Produtiva Total), WCM (do inglês: World Class Manufacturing), GPD (Gerenciamento pelas Diretrizes).

As principais ferramentas da qualidade são: matriz SIPOC, fluxograma, folha de verificação, diagrama de causa e efeito (Ishikawa), histograma, diagrama de dispersão, diagrama de Pareto e gráfico de controle. Essas ferramentas são de suma importância para obtenção de resultados visando qualidade, e podem ser aplicadas em quaisquer sistemas desde que sejam válidas para cada caso. Na sequência, são apresentados conceitos básicos das principais ferramentas da qualidade utilizadas neste trabalho.

### 2.3.1 Matriz SIPOC

A matriz SIPOC (do inglês, suppliers, inputs, process, outputs e customers) é um sistema de gerenciamento, que permite entender de forma adequada, de maneira prática e intuitiva as principais etapas de um processo e, é utilizada para melhorar o entendimento de um processo gerador de um problema. O SIPOC descreve uma interação sequenciada considerando os fornecedores, as entradas, os processos, as saídas e os clientes.

A elaboração da matriz SIPOC têm início no preenchimento da coluna Processos, mostrada na tabela 2.2. Na primeira linha desta coluna é descrito o início do processo, e na última linha o fim do processo. Na sequência, são descritas as principais saídas de cada etapa do processo e são definidos os respectivos clientes (destinatários) de cada saída. Em seguida, são identificadas as entradas (insumos) para cada etapa do processo e, finalmente, são indicados os fornecedores dos insumos.

De forma a facilitar o preenchimento da matriz SIPOC, são realizadas questões direcionadas para cada coluna da matriz, conforme mostrado na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Etapas e atividades para aplicação do SIPOC.

| A quem reclamo ?                         | O que é feito ou transformado ?      | Qual a ação ?   | Qual o resultado ?         | Destino ?                      |
|--|--------------------------------------|---|----------------------------|--------------------------------|
| <b>Fornecedores</b><br>(Suppliers)       | <b>Entradas</b><br>(Inputs)          | <b>Processos</b><br>(Process)                             | <b>Saídas</b><br>(Outputs) | <b>Clientes</b><br>(Customers) |
| Fornecedores de materiais para o sistema | Mão de obra, recursos e equipamentos | Onde tudo acontece, transformação de entradas em separado | Produtos finalizados       | Clientes existentes            |

Fonte: elaborado pelo autor.

Para melhor entendimento, abaixo é apresentada uma breve descrição de cada etapa da matriz SIPOC.

**S- Fornecedores (Suppliers):** Nesta etapa é descrita a origem das entradas (insumos), pois toda entrada tem um fornecedor. Podendo ser pessoas, empresas, departamentos, ou processos relacionados a outros departamentos.

**I- Entradas (Inputs):** As entradas são os elementos necessários para que todo o processo ocorra, podendo ser materiais, recursos, ou até serviços.

**P- Processo (Process):** Etapa na qual ocorre a descrição das principais etapas do processo, ou seja, aqui é descrito o fluxo de atividades que estão sendo mapeadas. É necessário dar um nome a cada atividade, por exemplo, fazer coleta de óleo.

**O- Saídas (Outputs):** As saídas são os resultados do processo, podendo ser um serviço ou o um produto disponibilizado para o cliente.

**C- Clientes (Customers):** O processo precisa ter algum cliente, algum fim, podendo ser pessoas, outras empresas, ou a comprovação de uma melhoria implantada.

### 2.3.2 Diagrama de Ishikawa

Criado por Kaoru Ishikawa, no ano de 1943, o diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta que visa identificar todas as causas que podem gerar um efeito (problema). Por ser uma ferramenta visual e um método prático, o diagrama de Ishikawa é muito utilizado para auxiliar na organização e no raciocínio da equipe, para determinar as causas raiz dos problemas que diminuem a produtividade da organização.

O diagrama de Ishikawa, mostrado na Figura 2.2, é composto por seis categorias, conhecidas como 6 Ms: Método, Material, Máquinas, Mão de Obra, Meio Ambiente e Medidas. Essas categorias são utilizadas para direcionar a determinação das causas do efeito, e são descritas a seguir:

**Método:** Mostra como a forma de executar um trabalho influencia no problema. Deve-se analisar o quanto a forma de trabalhar influencia no problema, por exemplo, se houve planejamento, se foi executado conforme o planejado e se as ferramentas certas foram utilizadas.

**Máquina:** Mostra como os equipamentos utilizados no processo influenciam o problema. Aqui deve descrever as causas originadas de falhas no maquinário usado durante o processo, como funcionamento incorreto, falha mecânica, entre outras.

**Medida:** Essa categoria abrange como as métricas utilizadas para medir o desenvolvimento da atividade influenciam o problema, sendo essas as métricas utilizadas para medir, monitorar e controlar o processo.

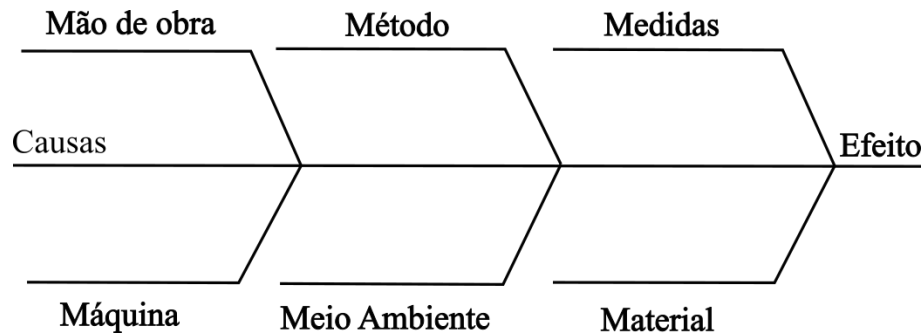
**Meio ambiente:** Nesta categoria, deve-se analisar como o meio em que a atividade está sendo desenvolvida influencia o problema. Analisa-se como o ambiente interno e o ambiente externo da empresa podem influenciar a ocorrência dos problemas, como poluição, calor, falta de espaço, layout, entre outras.

**Material:** Descreve as possíveis causas devido a matéria-prima (material) utilizado, como as propriedades do material, tamanho incorreto, vencido, fora da temperatura ideal, entre outras.

**Mão de obra:** Como as pessoas envolvidas na atividade influenciam o problema, levando em consideração pressa, imprudência, falta de qualificação, falta de competência, outros.

A Figura 2.2 mostra o diagrama conhecido como espinha de peixe, contendo as seis categorias (6 Ms) que devem ser preenchidas com as causas principais para se chegar a causa raiz.

Figura 2.2 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: elaborado pelo autor.

Abaixo são apresentados o passo a passo para fazer o diagrama de Ishikawa:

1. Definir o problema, isto é, o efeito a ser analisado.
2. Fazer o levantamento de todas as causas possíveis. Aqui pode-se utilizar a técnica de Brainstorming ("chuva de ideias" coletadas de um grupo de pessoas).
3. Escrever cada uma das causas em categorias.
4. Destacar a causa principal que gerou o problema.
5. Encontrar a razão principal e as possibilidades de solução a serem tomadas.

### 2.3.3 Método dos Cinco Porquês

O método dos Cinco Porquês foi criado por Sakichi Toyoda, fundador da empresa Toyota. Para Santos et al. (2018) os Cinco Porquês consistem em solucionar cada problema através de perguntas e respostas, onde para chegar à causa raiz deve-se aprofundar no problema selecionado por pelo menos cinco vezes, sempre questionando a causa anterior, entretanto nada impede que a causa seja encontrada antes de chegar a quinto porquê.

1. Porquê: Tem-se um sintoma, o porquê de como funciona, do ponto de vista operacional.
2. Porquê: Tem-se uma desculpa, refere-se, de um ponto de vista mais lógico visando responder ao item anterior.
3. Porquê: Tem-se um culpado, o que permite analisar além dos limites do mesmo.
4. Porquê: Tem-se uma causa, analisa o problema a partir da sua natureza do contexto no qual esta inserido.
5. Porquê: Tem-se a causa raiz, assim pode-se encontrar soluções para os problemas.

### 3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será aplicado a metodologia para a redução de custos com óleo lubrificante de bombas a vácuo em uma empresa do ramo frigorífico. Para isso, será aplicado o método DMAIC apresentado a seguir.

#### 3.1 Etapa D: Definir

Nesta etapa será aplicado a matriz SIPOC para mapeamento do processo. Após o mapeamento do processo é indicado o problema ou a oportunidade de melhoria e os objetivos a serem atingidos. A tabela 3.1 mostra a matriz SIPOC para o mapeamento do processo de lubrificação de bombas à vácuo.

Tabela 3.1 - Matriz SIPOC para mapeamento do processo de lubrificação de bombas a vácuo.

| <b>S</b>                                  | <b>I</b>                     | <b>P</b>   | <b>O</b>  | <b>C</b>                                  |
|---|------------------------------|--|---|---|
| Setor de manutenção                       | Horímetro da bomba de vácuo  | Monitorar horímetro  | Alerta para troca do óleo (próximo a 200 horas) | Almoxarifado de manutenção                |
| Almoxarifado de manutenção                | Óleos disponíveis em estoque | Verificar disponibilidade do óleo mineral Mobil Rarus 427 em estoque | Resposta quanto a disponibilidade de óleo       | Almoxarifado de manutenção                |
| Almoxarifado de manutenção                | Recursos para compra de óleo | Realizar compra do óleo (caso não tenha em estoque)                  | Entrada de óleo no estoque                      | Setor de manutenção                       |
| Setor de manutenção                       | Programador de manutenção    | Programar parada para manutenção                                     | Manutenção programada                           | Responsável pela manutenção (operacional) |
| Responsável pela manutenção (operacional) | Óleo mineral                 | Realizar troca (a cada 250 horas)                                    | Troca de óleo realizada                         | Setor de manutenção                       |
| Setor de manutenção                       | Óleo mineral usado           | Realizar descarte do óleo  | Óleo descartado                                 | Comprador do óleo usado                   |

Fonte: elaborado pelo autor.

#### **Definição do problema**

O problema a ser resolvido é reduzir os gastos com óleo lubrificante utilizado nas bombas de vácuo. Como observado no mapeamento do processo de lubrificação, as trocas de óleo ocorrem a cada 250 horas de funcionamento da máquina (período recomendado no manual da bomba e do fabricante do óleo).

### Oportunidade de melhoria

Após aplicação de uma solução para o problema exposto, espera-se reduzir os gastos com o processo de lubrificação e, também, obter ganho de produção devido a redução do número de paradas programadas para realização das trocas de óleo.

#### 3.2 Etapa M: Medir

De forma a medir o custo com lubrificação, pode-se definir um indicador baseado em três variáveis importantes: a quantidade de óleo, o valor do litro do óleo e o valor do filtro. Outros dois fatores que não foram levados em consideração por motivos de confidencialidade, são: Valor Homem-Hora (VHH) e a perda de produção devido à parada para realização da troca de óleo.

A equação 1 é utilizada para obter o indicador do custo gasto com lubrificação para uma bomba.

$$V_G = L * V_L + V_F \quad (1)$$

Sendo:

$V_G$  = Valor gasto. [R\$]

$L$  = Quantidade de óleo mineral em litros. [L]

$V_L$  = Valor do litro do óleo. [R\$]

$V_F$  = Valor do filtro. [R\$]

A tabela 3.2 abaixo mostra os valores gastos em oito trocas, totalizando 2.000 horas.

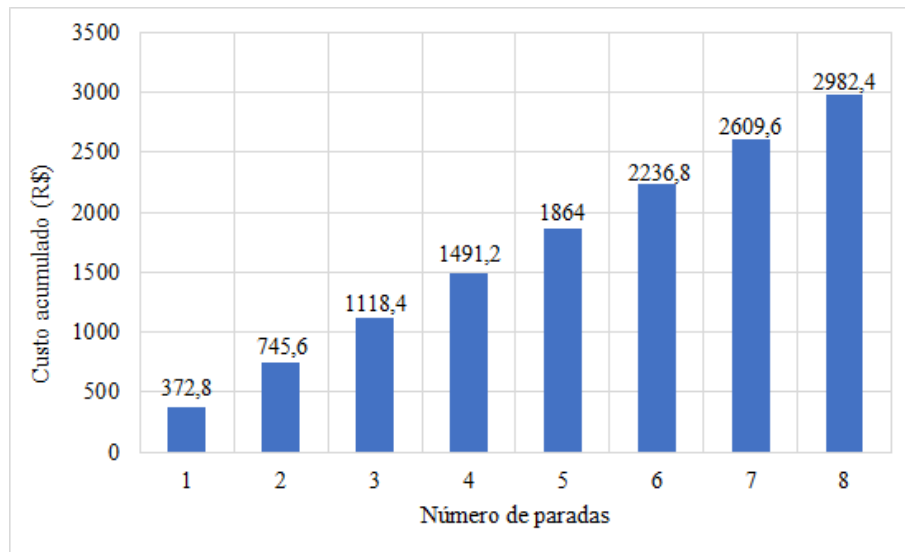
Tabela 3.2 - Valores gastos com lubrificação em oito trocas (2000 horas).

| Litros [L] | Valor litro | Tempo de uso | Valor total do óleo | Valor do filtro | Quantidade de filtros | Valor de uma troca 250 horas | Valor em 2.000 horas |
|------------|-------------|--------------|---------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|
| 9          | R\$ 19,20   | 250 Horas    | R\$ 172,80          | R\$ 200,00      | 8                     | R\$ 372,80                   | R\$ 2.982,40         |

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 3.1, mostra o custo acumulado de 8 paradas para realizar a troca do óleo mineral a cada 250 horas, acumulando um total de 2000 horas.

Figura 3.1 - Custo acumulado em reais (R\$) com óleo mineral Mobil Rarus 427 em oito trocas, totalizando 2000 horas.

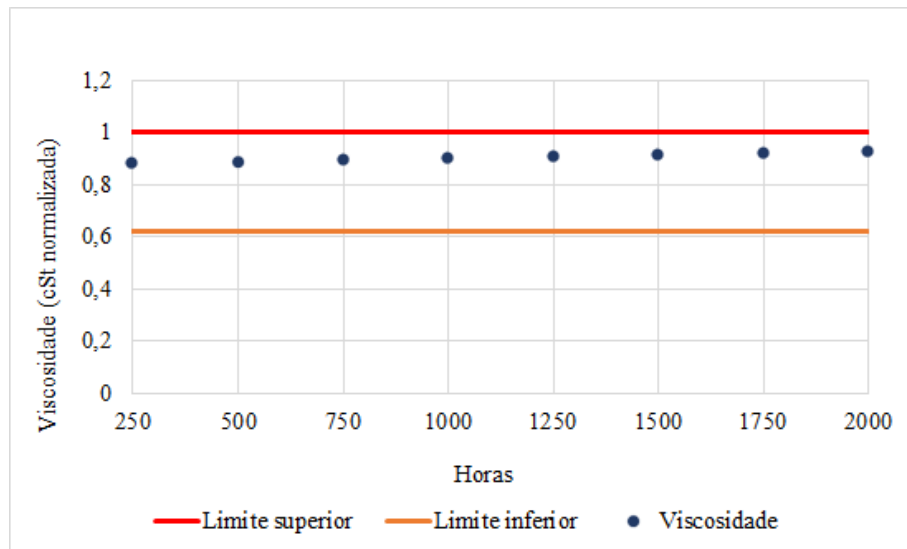


Fonte: elaborado pelo autor.

Uma das ferramentas preventivas utilizadas pelos setores de manutenção é realizar a análise de óleo para avaliar o desgaste das peças por meio de indicadores que mostram a presença de substâncias contaminantes, partículas e elementos químicos no lubrificante. A análise desses indicadores permite aos responsáveis da manutenção identificar e antecipar possíveis falhas de máquinas e, assim, evitar o mau desempenho do serviço e qualidade dos produtos. Os principais indicadores obtidos em laudos de análise de óleo são baseados em características físico-químicas do lubrificante, como a viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$  ou cSt) e, também, a quantidade de partículas metálicas (teor de ferro, cobre, alumínio, outras) presentes no lubrificante.

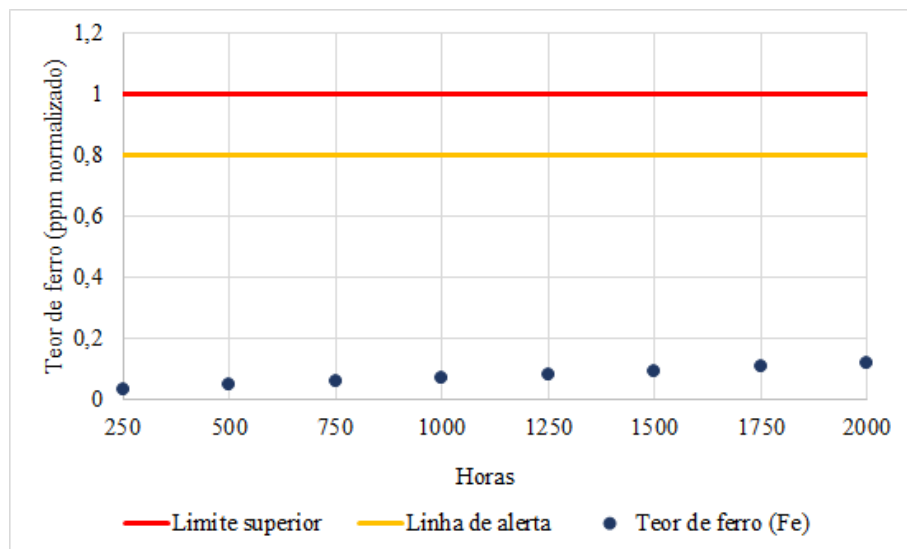
Neste trabalho, são apresentados resultados para os parâmetros de viscosidade, teores de ferro, cobre e alumínio. Importante ressaltar que os dados aqui apresentados, por questões de confidencialidade, foram normalizados em relação ao seus respectivos valores máximos e, isso, não compromete a análise dos resultados. A Figura 3.2 mostra o valor da viscosidade normalizada a  $40^\circ\text{C}$  para o óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas realizadas a cada 250 horas. Note que a viscosidade está dentro de seus limites (inferior e superior) de sua especificação em todas as análises realizadas, ou seja, o óleo não perde suas características viscosas em 250 horas de funcionamento da máquina. Já as Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 mostram, respectivamente, os teores de ferro, cobre e alumínio. Pode-se observar que todos os teores de partículas metálicas (ppm - parte por milhão) estão dentro de suas especificações e, portanto, indicando que os componentes da máquina estão com níveis de desgaste aceitável.

Figura 3.2 - Valor normalizado para viscosidade a 40°C do óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

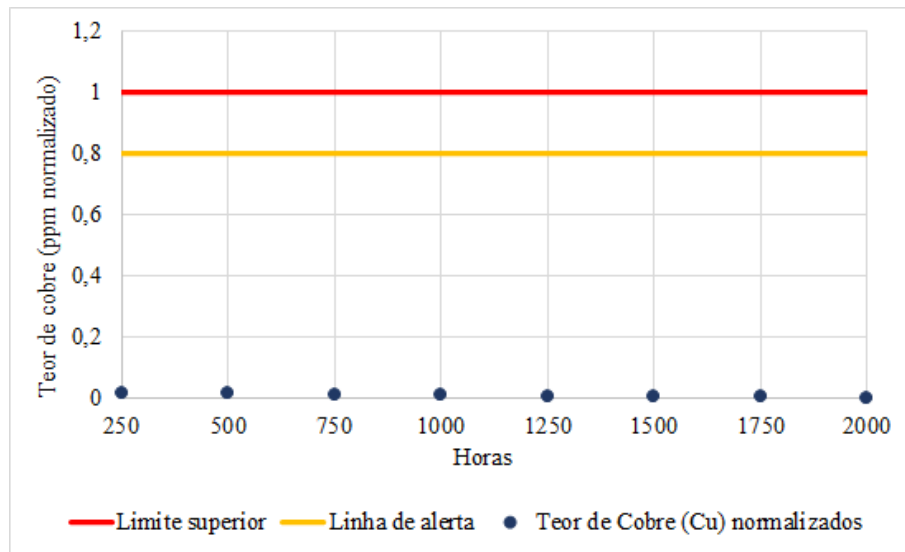
Figura 3.3 - Teor de ferro em valor normalizado para trocas de óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

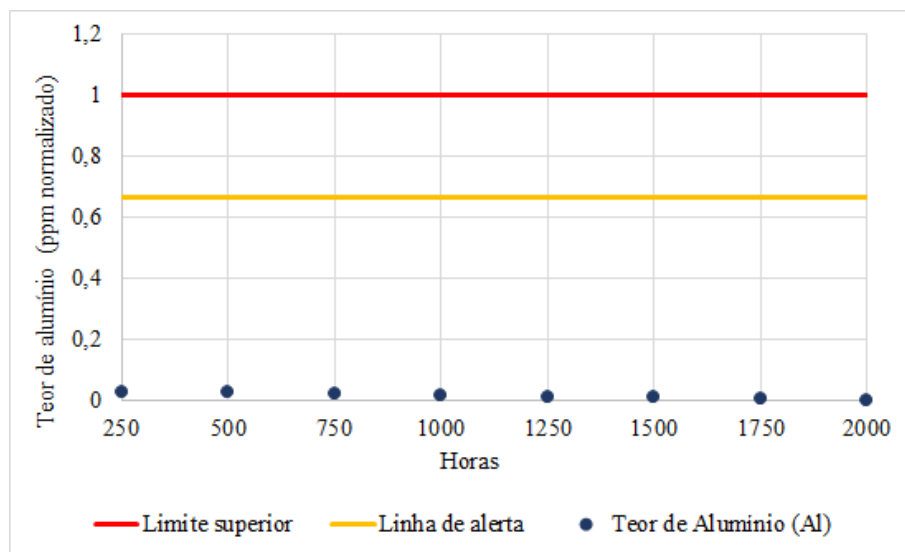


Figura 3.4 - Teor de cobre em valor normalizado para trocas de óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 3.5 - Teor de alumínio em valor normalizado para trocas de óleo mineral Mobil Rarus 427 para trocas em cada 250 horas.



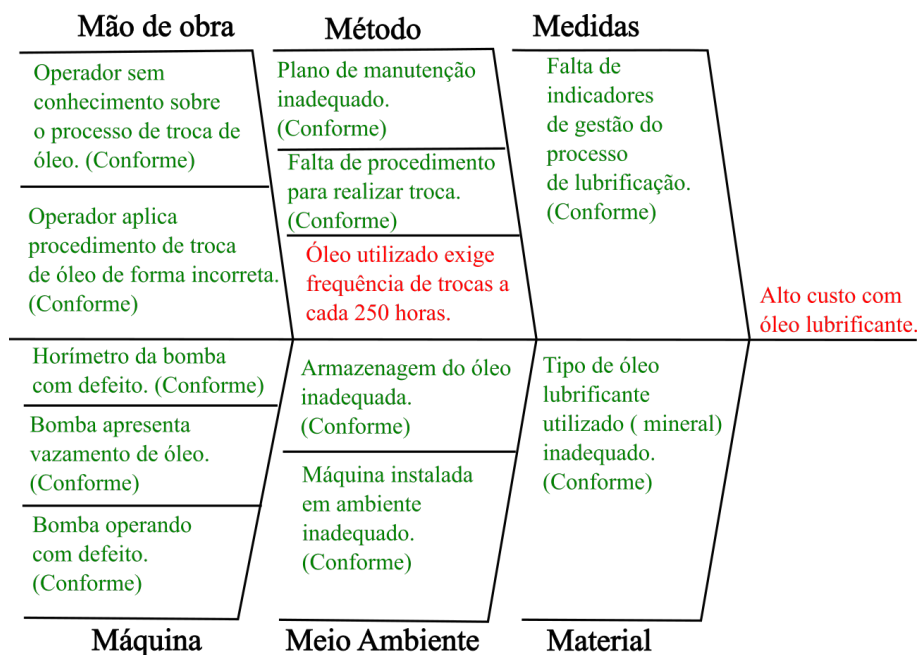
Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3 Etapa A: Analisar

Nesta etapa busca-se identificar a principal causa do problema a ser resolvido. E, para isso, após a coleta de informações é aplicado o diagrama de Ishikawa para estudar as possíveis fontes de problemas.

Inicialmente é definido no diagrama o efeito a ser analisado, isto é, os altos gastos com óleo lubrificante. E, então, são listadas em cada uma das categorias 6 Ms, as principais causas possíveis para o problema, conforme mostrado na figura 3.6.

Figura 3.6 - Diagrama de Ishikawa para o problema estudado



Fonte: elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, o diagrama de Ishikawa fornece uma visão clara das possíveis causas do problema. Porém, essas causas devem ser analisadas para descobrir se são de fato causas ou consequências de alguma causa. Após realizar análise de cada causa junto a equipe de manutenção, a causa "Óleo utilizado exige frequência de trocas a cada 250 horas" é apontada como sendo a principal causa, isto é, a mais relevante. As demais causas foram verificadas e consideradas conformes, e foram descartadas. Finalmente, é aplicada para a causa principal o método dos cinco "porquês" para determinar a causa-raiz, conforme mostra a tabela 3.3 abaixo:

Tabela 3.3 - Aplicação do método dos cinco "porquês".

| 1º PORQUÊ  | 2º PORQUÊ                               | 3º PORQUÊ                    | 4º PORQUÊ     | 5º PORQUÊ     |
|--|---|------------------------------|---------------|---------------|
| Óleo utilizado exige frequência de trocas a cada 250 horas | Recomendação de vida útil do fabricante | Por ser óleo do tipo Mineral | Não aplicável | Não aplicável |

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise dos cinco “porquês” foi encerrada no terceiro “porquê”, pois foi suficiente para determinar a causa-raiz: "por ser óleo do tipo mineral". A próxima etapa apresenta as possibilidades de solução a serem tomadas para a resolver causa raiz detectada.

### 3.4 Etapa I: Melhorar

O objetivo desta etapa é encontrar soluções para a causas-raiz detectada anteriormente. Como identificado na fase anterior a causa raiz apontada é devido o setor de manutenção estar aplicando óleo lubrificante do tipo mineral, que apresenta baixa vida útil, demandando trocas em períodos curtos (250 horas) de funcionamento da máquina. Para solucionar o problema foi identificado no mercado o óleo sintético Mobil Rarus 827 com capacidade de trabalho de 2000 horas.

A equação 1 é utilizada para obter o valor gasto com a lubrificação usando o óleo sintético para uma bomba. Pode-se visualizar na tabela 3.4 os valores gastos com óleo sintético Mobil Rarus 827 para uma troca em 2.000 horas.

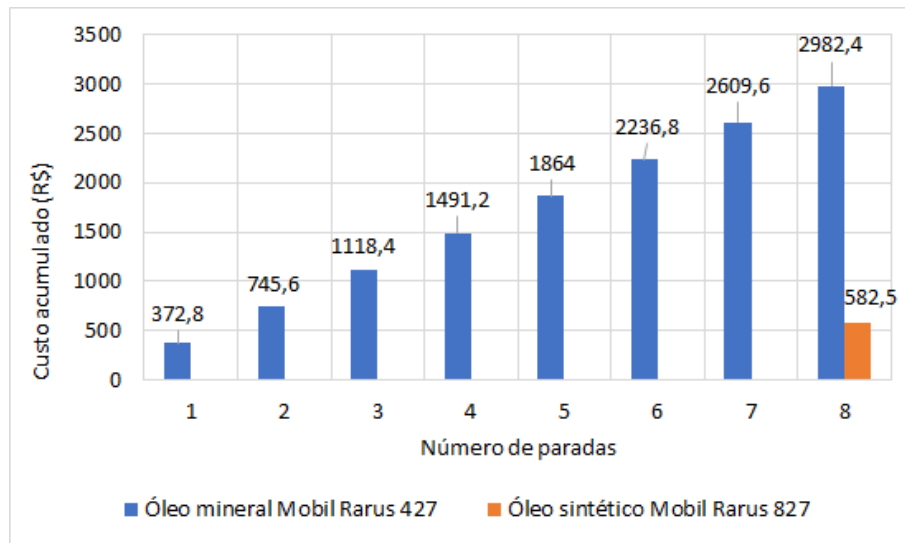
Tabela 3.4 - Valores gastos com óleo sintético Mobil Rarus 827.

| Litros [L] | Valor do litro | Tempo de uso | Valor total do óleo | Valor do filtro | Trocas de filtros | Valor de uma troca 2000 horas |
|------------|----------------|--------------|---------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| 9          | R \$ 42,50     | 2000 Horas   | R \$ 382,50         | R \$ 200,00     | 1                 | R\$ 582,50                    |

Fonte: elaborado pelo autor.

Fazendo um comparativo entre os valores gastos com o óleo mineral mostrados na tabela 3.2 e os valores gastos com o óleo sintético mostrados na tabela 3.4, é observado um ganho de R\$ 2.399,90 ou seja, um ganho de 80% ao se utilizar o óleo sintético, como mostrado na Figura 3.7.

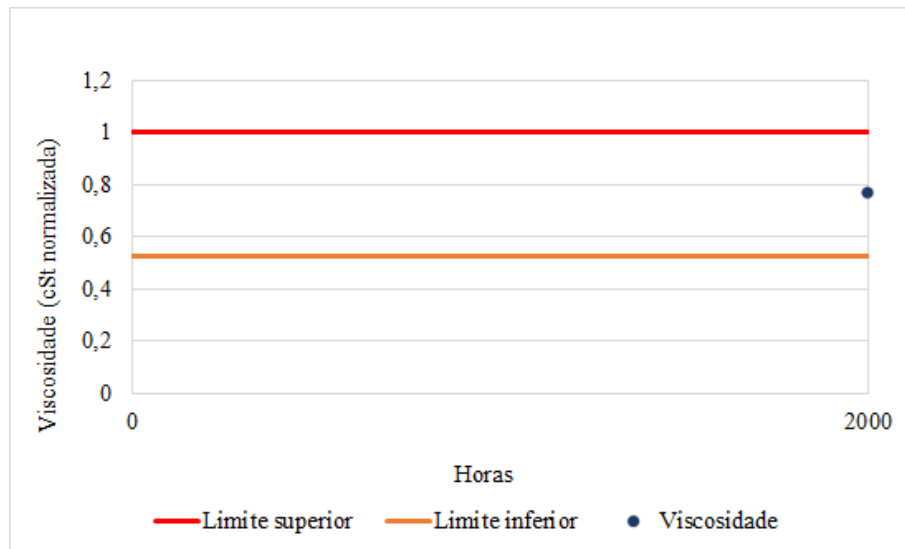
Figura 3.7 - Comparativo do custo acumulado em reais (R\$) entre óleo mineral Mobil Rarus 427 e com o óleo sintético Mobil Rarus 827 em 2000 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

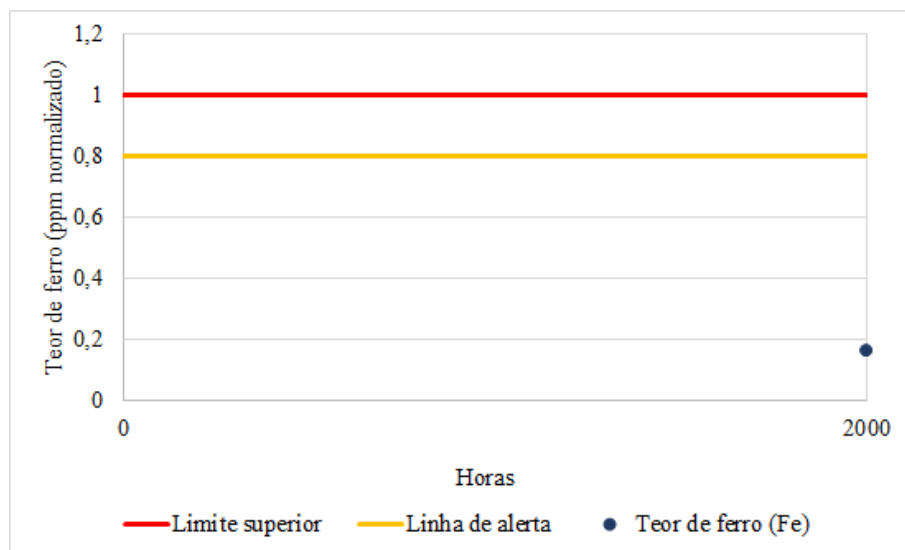
De forma a verificar a viabilidade de implantação da solução proposta, isto é, utilização de óleo sintético, é realizado a análise deste óleo em 2000 horas. A Figura 3.8 mostra o valor da viscosidade normalizada a 40°C para o óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas realizadas a cada 2000 horas. Note que a viscosidade está dentro de seus limites (inferior e superior) de sua especificação, ou seja, o óleo não perde suas características viscosas em 2000 horas de funcionamento da máquina. Já as Figuras 3.9, 3.10 e 3.11 mostram, respectivamente, os teores de ferro, cobre e alumínio. Pode-se observar que todos os teores de partículas metálicas (ppm - parte por milhão) estão dentro de seus limites de suas especificações e, portanto, indicando que os componentes da máquina estão com níveis de desgaste aceitável.

Figura 3.8 - Valor normalizado para viscosidade a 40°C do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 3.9 - Teor de ferro em valor normalizado para trocas do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas.

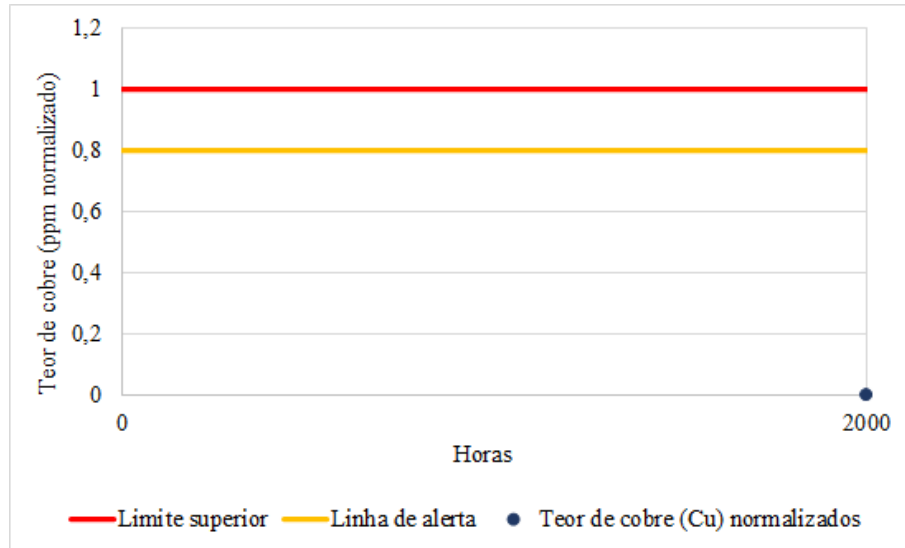


Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.5 Etapa C: Controlar

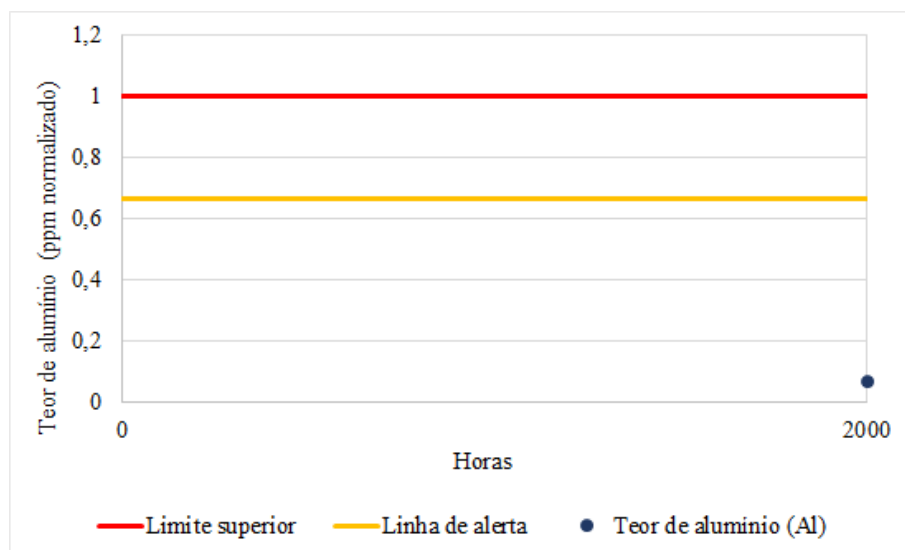
Nesta etapa são padronizados os indicadores para acompanhamento do processo melhorado. Neste caso, o plano de manutenção é atualizado considerando a utilização do óleo sintético e, também, o horímetro da bomba é reprogramado para alarme próximo a 2000 horas de funcionamento da máquina. Além disso, é importante realizar treinamento da equipe de manutenção para conhecimento das melhorias, dos ganhos e dos novos procedimentos do processo de lubrificação.

Figura 3.10 - Teor de cobre em valor normalizado para trocas do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 3.11 - Teor de Alumínio em valor normalizado para trocas do óleo sintético Mobil Rarus 827 para trocas em 2000 horas.



Fonte: elaborado pelo autor.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste trabalho realizou-se um estudo de caso de melhoria de um processo de lubrificação utilizando o método DMAIC. O problema resolvido foi os altos custos com óleo lubrificante utilizados em bombas de vácuo. Para resolver o problema foram aplicadas importantes ferramentas da qualidade, tais como: a matriz SIPOC para entendimento e mapeamento do processo, o diagrama de Ishikawa e o método dos cinco "porquês" para identificação da causa raiz do problema proposto.

A causa raiz do problema foi identificada como sendo o setor de manutenção estar aplicando óleo lubrificante do tipo mineral, que apresenta baixa vida útil, demandando trocas em períodos curtos (250 horas) de funcionamento da máquina. Assim, para esta causa, foi definida como ação a utilização do óleo sintético Mobil Rarus 827 com vida útil de 2000 horas. Aplicando essa solução, verificou-se 80% de redução de custos com óleo lubrificante.

Finalmente, este trabalho permitiu o entendimento e a aplicação do método DMAIC para melhoria de processos e, além disso, proporcionou ao autor conhecimento nessa área de estudo, melhorando a sua formação profissional.

## REFERÊNCIAS

ALVES, C. d. C. et al. Gráficos de controle cusum: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos. Florianópolis, SC, 2003.

AMARAL, P. D. B. D.; MANZELA, A. A. Confiabilidade através da metodologia dmaic em sistemas de perfuração e avaliação em tempo real de poços de petróleo. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n. 3, p. 10–21, 2016.

FREIBERGER, D. R. G. Implantação da gestão de manutenção. UNIVERSIDADE CESUMAR, 2017.

HOLANDA, L. M. C. D.; SOUZA, I. de D.; FRANCISCO, A. C. de. Proposta de aplicação do método dmaic para melhoria da qualidade dos produtos numa indústria de calçados em alagoa nova-pb. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 32, n. 4, p. 31, 2013.

SANTOS, F. B. D.; JESUS, I. N. de; CORREA, J. C.; BARBOSA, T. da S. Aplicação das ferramentas da qualidade dentro do processo produtivo de ilhoses em uma empresa de aviamentos metálicos. **Gestão pela Qualidade Volume 3**, p. 51, 2018.

SERVIN, C. A. L. et al. Aplicação da metodologia dmaic para a redução de perdas por paradas não programadas em uma indústria moageira de trigo. Universidade Federal da Grande Dourados, 2011.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2017.