

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

**FELIPE GONÇALVES FERREIRA**

**TESTE DE DEGRADAÇÃO EM BUCHAS DE VÁLVULAS AB**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2019**

**FELIPE GONÇALVES FERREIRA**

**TESTE DE DEGRADAÇÃO EM BUCHAS DE VÁLVULAS AB**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA**

**2019**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **TESTE DE DEGRADAÇÃO EM BUCHAS DE VÁLVULAS AB**

por

**FELIPE GONÇALVES FERREIRA**

Esta monografia foi apresentada em 04 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Wanderson Stael Paris MSc.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

A Deus que tem iluminado e traçado caminhos de prosperidade na minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade e saúde. Sem Ele não seria possível chegar até aqui.

A minha querida esposa Talita pelo companheirismo e força.

Aos meus pais, Ivani e Hélio por me ensinarem a dar valor a vida e a tratar todas as pessoas com dignidade.

A minha tia Irani que sempre me deu muita energia para executar meus estudos.

Também dedico ao Rodrigo Germano que me proporcionou e me deu muita força para executar essa especialização.

## RESUMO

FERREIRA, Felipe. **TESTE DE DEGRADAÇÃO EM BUCHAS DE VÁLVULAS AB.** Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A constante evolução das indústrias aliada a necessidade de aumento de produtividade, obriga uma nação que quer se desenvolver a ter uma infraestrutura bem consolidada. A ferrovia é um dos meios mais eficazes e lucrativos para o bom desenvolvimento da economia e comércio mundial, em especial em países de dimensões continentais como o Brasil. Sendo assim, os veículos ferroviários estão ficando mais robustos para poderem suportar toda a demanda do setor. Este trabalho realiza um estudo das válvulas de freio de vagões ferroviários (AB), demonstrando os desgastes de um de seus principais componentes a fim de encontrar o tempo correto de garantia. A proposta do trabalho é utilizar o software Weibull ++ para encontrar o tempo de garantia da válvula e assim as empresas do setor poderão ganhar confiabilidade evitando paradas indesejadas da composição, acidentes ferroviários e produtividade, diminuindo o ciclo de vezes em que o vagão entra em um posto de manutenção. A utilização do módulo de degradação do software Weibull ++ é um meio de realizar testes de vida nos casos em que a falha está associada alguma medida de degradação do produto. Ao final da pesquisa constatou-se através da análise estatística que a bucha apresentou um desgaste maior que o esperado diminuindo assim o tempo de garantia da válvula.

**Palavras-chave:** Válvulas de Freio. Confiabilidade. Ferrovia. Acidentes Ferroviários.

## SUMMARY

FERREIRA, Felipe. **TEST OF DEGRADATION IN VALVE BUSHINGS AB.** Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The constant evolution of industries combined with the need for increased productivity, forces a nation that wants to develop to have a well-established infrastructure. The railroad is one of the most effective and profitable means for the good development of the world economy and trade, especially in countries of continental dimensions such as Brazil. As a result, rail vehicles are becoming more robust to withstand all the demand in the industry. This work conducts a study of railway wagon brake valves (AB), demonstrating the wear of one of its main components in order to find the correct warranty time. The purpose of the work is to use Weibull ++ software to find the valve warranty time so that companies in the industry can gain reliability by avoiding unwanted breakdowns, rail accidents and productivity by shortening the cycle of times the wagon enters a vehicle. maintenance post. Using the Weibull ++ software degradation module is a means of performing life tests in cases where failure is associated with some measure of product degradation. At the end of the research it was verified through the statistical analysis that the bushing presented a larger than expected wear thus reducing the warranty time of the valve.

**Keywords:** Brake Valves. Reliability Software. Railroad Railway Accidents.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 - Fluxograma do processo.....                                     | 20 |
| Figura 2.1 - Serra de Paranaguá.....   | 23 |
| Figura 2.2 - Decreto de lançamento da Ferrovia .....                         | 24 |
| Figura 2.3 - Construção de Viaduto Ferroviário - Serra de Paranaguá .....    | 25 |
| Figura 2.4 - Horários de partida de Trem / Notícia da viagem inaugural ..... | 26 |
| Figura 2.5 - Sistema de freio de vagão .....                                 | 28 |
| Figura 2.6 - Evolução das válvulas de serviço .....                          | 29 |
| Figura 3.1 - Gráfico de resultados de degradação .....                       | 34 |
| Figura 3.2 - Histograma Simétrico.....                                       | 35 |
| Figura 3.3 - Histograma com Assimetria Positiva.....                         | 36 |
| Figura 3.4 - Histograma com Assimetria Negativa .....                        | 36 |
| Figura 3.5 - Histograma em Plateau.....                                      | 37 |
| Figura 3.6 - Histograma Dois picos e Duas modas .....                        | 37 |
| Figura 3.7 - Espinha de Peixe - Ishikawa .....                               | 38 |
| Figura 4.1 - Visão explodida da válvula AB.....                              | 40 |
| Figura 4.2 - Desmontagem da Válvula AB .....                                 | 41 |
| Figura 4.3 - Colocação da Bucha.....   | 42 |
| Figura 4.4 - Preparação da Bucha .....                                       | 42 |
| Figura 4.5 - Pistão da Válvula .....   | 43 |
| Figura 4.6 - Colocação do Pistão .....                                       | 43 |
| Figura 4.7 – Ferramenta para Retificação .....                               | 44 |
| Figura 4.8 – Ajuste do Anel .....  | 44 |
| Figura 4.9 – Parâmetros de Retificação .....                                 | 45 |
| Figura 4.10 – Bancada de Testes .....  | 45 |
| Figura 4.11 – Dados Adquiridos no Estudo .....                               | 46 |
| Figura 4.12 – Função Densidade de Probabilidade .....                        | 48 |
| Figura 4.13 – Vida Média .....   | 49 |
| Figura 4.14 – Mapa Ferroviário .....   | 50 |
| Figura 4.15 – Ishikawa .....   | 50 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1.1 - Produção Mensal de Transporte Ferroviário de Cargas, em Tonelada - Quilômetro Útil (TKU) ..... | 15 |
| Tabela 4.1 - Resultado da distribuição .....  | 47 |
| Tabela 4.2 - Resultado de tempo até falha .....   | 47 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1.1 - Número de acidentes ferroviários .....         | 16 |
| Gráfico 1.2 - Farol de Roda Fria.....                        | 17 |
| Gráfico 1.3 - KMFE - Operação Ferroviária Sul do Brasil..... | 17 |
| Gráfico 3.1 - Gráfico de Resultados de Degradação.....       | 34 |
| Gráfico 4.1 - Linha do Tempo F/S .....                       | 48 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

### **LISTA DE ABREVIATURAS**

RMS – RUMO MALHA SUL

### **LISTA DE SIGLAS**

TKU – TONELADAS UTEÍIS TRANSPORTADAS POR KILOMETRO

KMEF – KILOMETROS ENTRE FALHAS

### **LISTA DE ACRÔNIMOS**

PSI – POUND FORCE PER SQUARE INCH

AB – AIR BRAKE

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$  - Beta

$\eta$  - Eta

$y$  - desempenho

$x$  - tempo

$b$  - são os parâmetros do modelo

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INTRODUÇÃO.....   | 14 |
| 1.1   | PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA .....                             | 15 |
| 1.2   | OBJETIVOS.....  | 18 |
| 1.3   | JUSTIFICATIVA.....  | 19 |
| 1.4   | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                   | 20 |
| 1.5   | ESTRUTURA DO TRABALHO .....   | 21 |
| 2.    | HISTÓRIA DA FERROVIA – PARANÁ.....                                  | 23 |
| 2.1   | PRIMEIRA FERROVIA .....   | 23 |
| 2.2   | CONCESSÃO .....   | 26 |
| 2.3   | SISTEMAS DE FREIO DE VAGÕES FERROVIÁRIOS.....                       | 27 |
| 2.4   | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....                               | 31 |
| 3.    | ANÁLISE DE VIDA - DEGRADAÇÃO.....                                   | 32 |
| 3.1   | INTRODUÇÃO .....  | 32 |
| 3.2   | MEDINDO A DEGRADAÇÃO DO PRODUTO.....                                | 32 |
| 3.2.1 | Convertendo Dados de Degradação em Dados de Tempo para Falhas ..... | 33 |
| 3.3   | GRÁFICOS.....   | 35 |
| 3.4   | DIAGRAMA DE ESPINHA DE PEIXE - ISHIKAWA.....                        | 37 |
| 3.4.1 | METODOLOGIA ISHIKAWA.....   | 38 |
| 3.5   | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....                               | 39 |
| 4.    | ESTUDO DE CASO.....   | 40 |
| 4.1.  | PROCESSO DE MAUTENÇÃO DA VÁLVULA.....                               | 40 |
| 4.1.1 | Desmontagem .....   | 41 |
| 4.1.2 | Montagem.....   | 41 |
| 4.1.3 | Resultados Obtidos .....  | 46 |
| 4.2   | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....                               | 51 |
| 5.    | CONCLUSÃO .....   | 52 |
| 5.1   | Proposta de trabalhos Futuros.....                                  | 52 |
|       | Referências .....   | 54 |

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Hobsbawn, (1996), o crescimento populacional e a globalização introduziram na sociedade a necessidade de aumentar a produção de alimentos, tornando as regiões agrárias relevantes para a sociedade e economia de um país. Além da matéria prima para a alimentação, a população necessita de muitos insumos para garantir seu desenvolvimento, sendo esse, estrutural e tecnológico.

De acordo com Bezerra, (2019) também cita que este progresso surgiu da Revolução Industrial na Europa, principalmente na Inglaterra a partir do século XVIII, nesta época o país europeu tinha muitos portos e um bom sistema de navegação que facilitava o escoamento de mercadorias para abastecimento interno e para fora do país, com isso acabou se tornando uma potência. O aumento de produção foi um passo muito importante para todo o mundo, mas que encontrou uma grande dificuldade: como seria transportada a matéria prima ou mesmo como a grande produção ganharia o mundo?

Foi então que George Stephenson apresentou a primeira locomotiva a vapor em 1814. Através da ferrovia, se tornou possível transportar com rapidez grandes quantidades produzidas de uma única vez, (Santos e Antonelli, (2015a)).

No Brasil a ferrovia surgiu em meados de 1828 através do Barão de Mauá, que logo viu a importância e necessidade das estradas de ferro. As ferrovias inicialmente foram utilizadas para o transporte de pessoas e tinha a função de ligar os estados brasileiros. Com o passar do tempo a malha ferroviária brasileira aumentou e as ferrovias se desenvolveram muito, hoje os veículos ferroviários conseguem transportar grandes quantidades de carga, os veículos que antigamente transportavam 35 toneladas agora já chegam a 120 toneladas, a velocidade que inicialmente era de 20km/h chega hoje a 80 km/h em alguns trechos. Com isso a confiabilidade do sistema rodante se torna primordial a cada dia, pois uma grande quantidade de veículos ferroviários atravessam muitos municípios brasileiros carregando insumos para os portos, oferecendo riscos operacionais a muita gente (Santos e Antonelli (2015a)).

## 1.1 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA

As empresas ferroviárias se desenvolveram muito com o passar dos anos, cada uma adquiriu conhecimento e tecnologia para controlar bem seus ativos, através de processos de manutenção que englobam controles rígidos de parâmetros do sistema rodante. Ao verificar o processo de manutenção de uma determinada empresa ferroviária nota – se que faltam investimentos em sistemas que possam facilitar a tomada de decisão no dia – a – dia e até mesmo a melhorar a confiabilidade dos ativos.

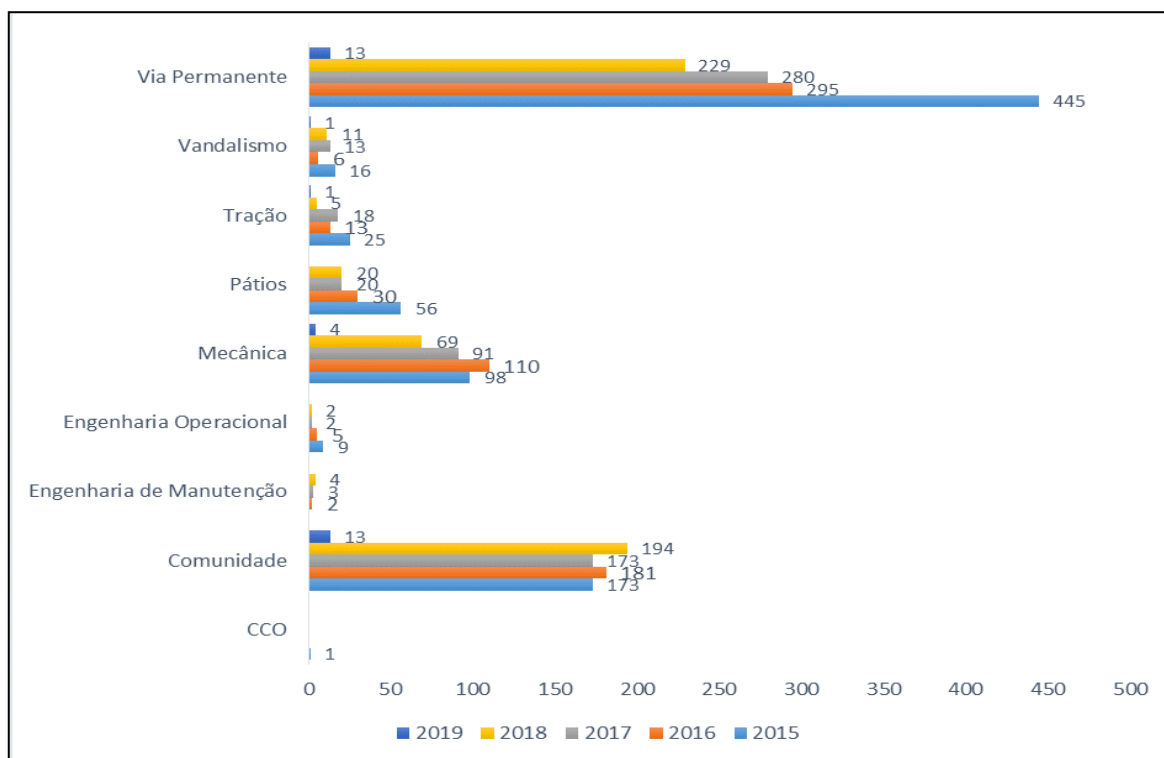
Tabela 1.1 - Produção Mensal de Transporte Ferroviário de Cargas, em Tonelada - Quilômetro Útil (TKU)

| Ano  | Produção Mensal de Transporte Ferroviário (milhões de TKU) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | Total  | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   |
| 2006 | 18.423   | 1.063 | 1.206 | 1.502 | 1.442 | 1.346 | 1.700 | 1.805 | 1.939 | 1.924 | 1.862 | 1.332 | 1.301 |
| 2007 | 17.147   | 1.048 | 1.196 | 1.518 | 1.393 | 1.383 | 1.553 | 1.607 | 1.639 | 1.697 | 1.638 | 1.360 | 1.115 |
| 2008 | 17.378   | 1.182 | 1.239 | 1.613 | 1.497 | 1.454 | 1.569 | 1.650 | 1.551 | 1.505 | 1.531 | 1.368 | 1.219 |
| 2009 | 17.196   | 1.202 | 1.117 | 1.470 | 1.596 | 1.746 | 1.698 | 1.658 | 1.667 | 1.468 | 1.257 | 1.167 | 1.151 |
| 2010 | 17.474   | 1.155 | 1.162 | 1.420 | 1.464 | 1.575 | 1.506 | 1.668 | 1.648 | 1.575 | 1.558 | 1.460 | 1.283 |
| 2011 | 18.121   | 1.129 | 1.164 | 1.388 | 1.481 | 1.487 | 1.671 | 1.658 | 1.731 | 1.773 | 1.668 | 1.588 | 1.383 |
| 2012 | 16.297   | 1.067 | 1.091 | 1.348 | 1.270 | 1.458 | 1.337 | 1.487 | 1.578 | 1.468 | 1.494 | 1.474 | 1.225 |
| 2013 | 15.789   | 1.258 | 1.154 | 1.274 | 1.303 | 1.406 | 1.301 | 1.319 | 1.522 | 1.407 | 1.435 | 1.268 | 1.142 |
| 2014 | 14.692   | 1.015 | 1.058 | 1.273 | 1.181 | 1.283 | 1.150 | 1.336 | 1.316 | 1.364 | 1.306 | 1.272 | 1.138 |
| 2015 | 14.058   | 974   | 955   | 1.198 | 1.164 | 1.236 | 1.288 | 1.190 | 1.383 | 1.271 | 1.254 | 1.128 | 1.018 |
| 2016 | 11.831   | 735   | 861   | 1.036 | 1.036 | 1.068 | 1.093 | 1.151 | 1.212 | 1.083 | 929   | 818   | 809   |
| 2017 | 13.556   | 664   | 831   | 1.080 | 1.066 | 1.204 | 1.159 | 1.353 | 1.391 | 1.386 | 1.272 | 1.120 | 1.030 |
| 2018 | 14.391   | 832   | 918   | 1.187 | 1.218 | 1.231 | 1.305 | 1.348 | 1.420 | 1.341 | 1.343 | 1.187 | 1.060 |

Fonte: ANTT, (2019).

Observa –se na tabela 1.1 que o transporte ferroviário em 2006 teve uma grande produção, porém com a falta de investimento e com a economia do país com deficiências a produção teve uma queda.

Gráfico 1.1 - Número de acidentes ferroviários



Fonte: o autor (2019)

Como mostra o gráfico 1.1, com o passar dos anos o número de acidentes cresceu significativamente, chegando em 2015 a números altíssimos. Porém ações foram tomadas e se torna visível a queda do número de ocorrências levando em consideração 2015 a 2018, mas o número ainda preocupa, pois é necessário um maior investimento para modernizar os ativos e a malha que ficou por um longo período abandonada.

O gráfico 1.2 mostra nitidamente que a falta de investimento de muitos anos acabou prejudicando alguns sistemas de vagões.

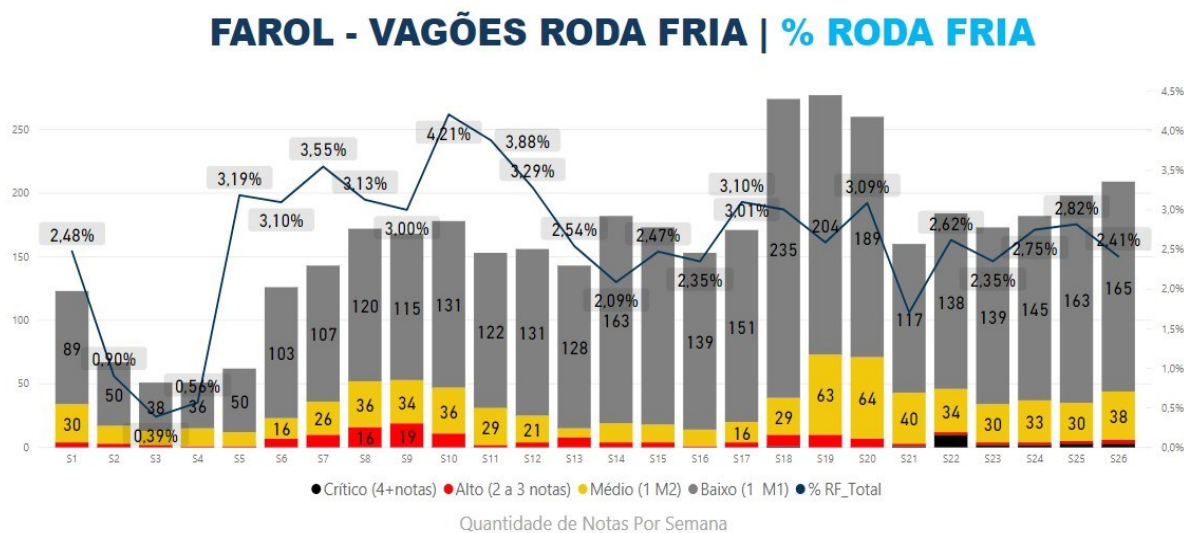
Este gráfico relata a quantidade de vagões que descem a serra de Paranaguá e apresentam problema de freio (Roda fria), que é uma deficiência no sistema de frenagem do vagão na descida da serra. Esse problema acaba sendo muito preocupante, pois pode causar um disparo da composição na serra vindo a causar um grande acidente ferroviário.

Ações como: controle de vagões reincidentes e recomendação de vagões críticos para tratamento estão sendo tomadas e esse número vem caindo, este



estudo irá ajudar a prever um tempo de garantia para o componente mais importante do sistema de freio, a válvula de serviço.

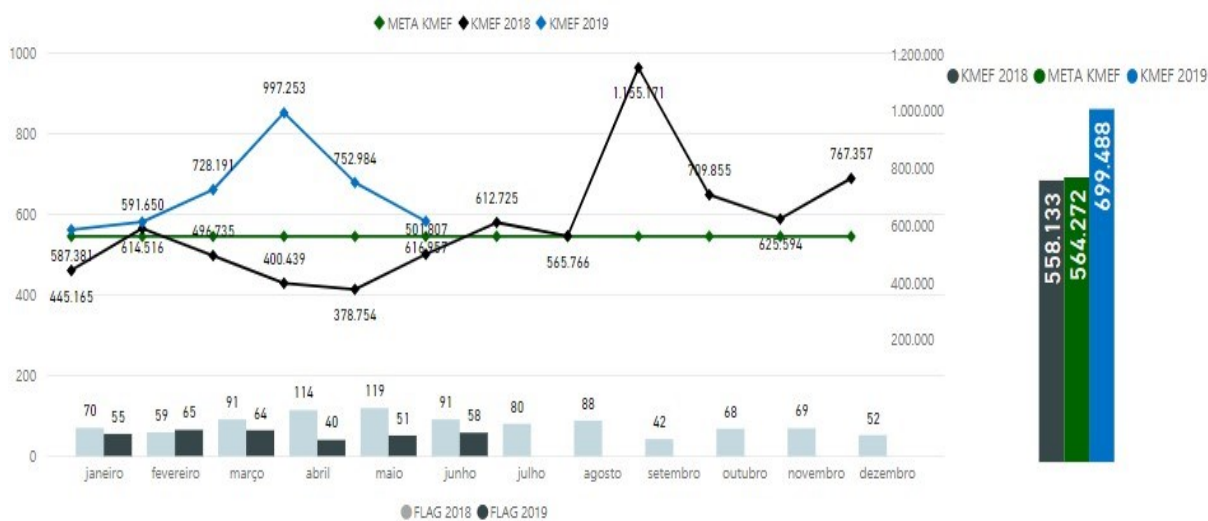
Gráfico 1.2 - Farol de Roda Fria



Fonte: o autor, (2019).

Em 2018 o KMEF de vagões foi muito prejudicado pelas falhas de freio que aconteceram. O processo e a manutenção dos ativos vêm sofrendo investimentos e em 2019 já vemos alguns resultados.

Gráfico 1.3 - KMEF - Operação Ferroviária Sul do Brasil



Fonte: o autor, (2019).

Em 2018 quando deparado com esse problema, foi visto que o sistema estava frágil, e que o principal componente do sistema de freio não estava com uma manutenção bem-feita. Faltavam alguns alinhamentos e até mesmo a reformulação de procedimentos e revisão de parâmetros. Muitos trens sofreram paradas indesejadas e a companhia foi impactada financeiramente por essas falhas.

Houve uma grande mudança na manutenção deste componente, com diversas melhorias, tanto em pessoas como em processos, mas ainda há deficiências e perguntas não respondidas, por isso iniciou -se este estudo para ajudar a responder uma destas perguntas. Qual o tempo de garantia terá este componente?

Por este motivo realizaremos estudos de engenharia de confiabilidade por meio de distribuições estatísticas, utilizando uma ferramenta comercial que possui os atributos necessários para definir o tempo de garantia das válvulas de serviço, com isso manteremos a confiabilidade dos ativos liberados dos postos de manutenção e também a disponibilidade da frota e a garantia de uma boa rentabilidade para as operadoras ferroviárias.

Por meio do módulo de degradação desta ferramenta, será feita uma análise de dados do desgaste da bucha para definir o tempo de garantia para as válvulas. Neste caso o tempo de garantia é a quantidade de ciclos (aplicações de frenagem) que a válvula faz sem apresentar problemas como: aplicações de freio involuntariamente, vazamentos, não realização de aplicação de freio e até desprendimento involuntário da bucha. A vantagem em saber o tempo ideal de garantia é evitar possíveis paradas involuntárias na circulação de trens gerando prejuízos para as empresas do ramo.

## **1.2 OBJETIVOS**

### Objetivo Geral

Determinar a vida útil das válvulas de freio por intermédio de ensaios acelerados realizados em bancadas de teste de uma empresa do ramo ferroviário, simulando os dados coletados para encontrar o tempo de garantia ideal.

## Objetivos Específicos

Para conseguir atingir o objetivo geral, esse trabalho deverá:

- Definir o software a ser utilizado;
- Definir o modelo de válvulas estudado;
- Montar o experimento de bancada para realização dos ensaios acelerados;
- Definir os dados a serem coletados;
- Definir as grandezas de variação;
- Acompanhar o processo de ensaio acelerado das válvulas em bancada;
- Acompanhar o processo de verificação das dimensões pós ensaio;
- Estudar as distribuições.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O estudo proposto será feito por meio de dados coletados da casa de freio de uma determinada empresa do ramo ferroviário, onde foi acompanhado o processo de reparação e montagem das válvulas, testes em bancada, inspeção final e coleta de dados.

O tema do trabalho foi escolhido para oferecer aos colaboradores e aos praticantes de serviços ferroviários uma fonte de dados e fatos, reparação de válvulas de freio (AB) e também para demonstrar que as ferramentas atuais de confiabilidade que existem no mercado conseguem nos fornecer parâmetros e dados para trabalhar melhor o controle da manutenção dos ativos ferroviários.

Nos anos de 2017 e 2018 muitos eventos relacionados a freio agarrado aconteceram nas operações ferroviárias e grande parte desses eventos estão relacionados a válvula de freio, com isso a ferrovia acaba levando diversos prejuízos operacionais e financeiros, pois, é diretamente impactada com trens parados e tempo de trânsito muito longo. Sendo assim, buscamos com o *software* de confiabilidade o tempo de garantia do componente que mais pode impactar a

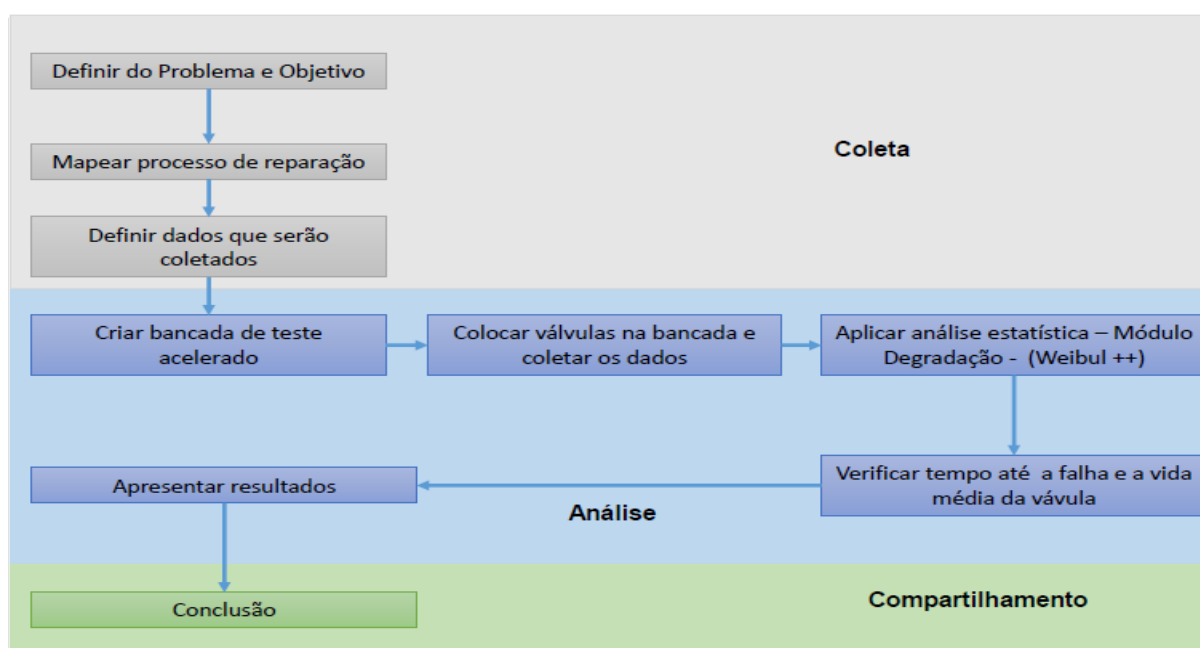
operação. Hoje esse tempo é de 5 anos porém, não há base para dizer se está correto.

O trabalho também irá apresentar definições, conceitos e também propor que estas ferramentas de confiabilidade façam parte do corpo técnico desta empresa ferroviária, para assim facilitar na implementação de novos procedimentos, ciclos de manutenção e também evitar possíveis paradas de trem e até mesmo acidentes ferroviários.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo afirma Rudio, (1999) “a pesquisa científica se distingue de qualquer outra modalidade de pesquisa pelo método, pelas técnicas, por estar voltada para a realidade empírica, e pela forma de comunicar o conhecimento obtido.” Neste trabalho apresenta – se: uma metodologia de estudo de caso dentro de uma determinada empresa do ramo ferroviário, técnicas utilizando conceitos relacionados a engenharia de confiabilidade sendo mais precisamente técnicas de degradação e por estas estarem ligadas a necessidade real da empresa no momento.

Figura 1.1 - Fluxograma do processo



Também será adotado um estudo de material bibliográfico demonstrando conceitos relacionados ao estudo de degradação e a história e desenvolvimento da ferrovia que será apresentado em capítulo específico. O levantamento de dados ocorrerá a partir de documentos obtidos na casa de freio, os dados serão extraídos de ensaios não destrutivos (bancada de simulação) feitos em válvula de freio (AB).

O capítulo 4 é composto pelo desenvolvimento do estudo de caso que segundo Yin Stake, (2015a) fala que um estudo de caso que busca validar o que foi feito, podem ser conduzidos seguindo os passos abaixo:

- **Formulação do problema:** Escolher um tema para se avançar na pesquisa;
- **Definição da unidade de caso:** Indicar os casos de acordo com o propósito da pesquisa;
- **Determinação do número de casos:** definir e justificar se os estudos de caso serão constituídos de um único ou de múltiplos casos;
- **Elaboração do protocolo:** Construir o documento que contém o instrumento de coleta de dados e que define a conduta a ser adotada para sua aplicação;
- **Coleta de dados:** obter dados mediante procedimentos para garantir a qualidade dos resultados obtidos de modo a tornar possível a conferência da validade ao estudo, evitando que ele fique subordinado à subjetividade do pesquisador.
- **Avaliação e análise dos dados:** analisar e interpretar os dados coletados.

O capítulo 5 é constituído da conclusão do estudo de caso, levando em consideração todos resultados obtidos na etapa anterior.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O início do trabalho apresenta a introdução sobre o tema proposto com sua justificativa.

O capítulo 2 apresenta uma base relacionada a história da ferrovia e seu desenvolvimento na região sul do Brasil e também conceitos relacionados a confiabilidade, mais precisamente a metodologia de testes de degradação.

O capítulo 3 apresenta uma revisão voltada a análise de degradação, histogramas e diagrama de causa e efeito (Ishikawa), estes relacionados a engenharia de confiabilidade.

O capítulo 4 apresenta o estudo proposto no trabalho, acompanhamentos e descrição de todo o processo da casa de freio de uma determinada empresa ferroviária.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 HISTÓRIA DA FERROVIA - PARANÁ

Este capítulo apresenta fatos do desenvolvimento da ferrovia no Paraná, conceitos sobre a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade que será adotada no capítulo 4 e também aspectos e conceitos sobre freio ferroviário. Estes conceitos nos servirão como base para entendimento no futuro.

A movimentação de mercadorias das cidades do interior ou mesmo da capital Paranaense teve uma trajetória interessante, o percurso com muitas curvas através das montanhas e vales na serra de Paranaguá foi desbravado pelos índios bem antes de se pensar em descer a serra com os trens. Através desses caminhos é que se tornou possível o escoamento de mercadorias, como alimentação, móveis e etc. Tudo era transportado em lombos de burros ou mesmo em trabalho braçal pelo meio da floresta (Santos e Antonelli (2015a)).

“Foram esses percursos que ajudaram por muitos anos o Paraná a se desenvolver. Tudo que veio para o planalto ou foi para o Litoral passou por esses caminhos” (Aimoré Índio do Brasil Arantes).

Esse mesmo percurso foi então intensificado pelos portugueses no século XVII, sendo que três estradas tiveram grande destaque: Graciosa, Itupava e Arraial.

### 2.1 PRIMEIRA FERROVIA

A primeira ferrovia paranaense foi inaugurada em 2 de fevereiro de 1885, com sua engenharia de encher os olhos e a mente de orgulho.

Figura 2.1 - Serra de Paranaguá



Fonte: Lando Rogério Kroetz, (1985).

Pode – se ver na figura 2.1 a ousadia que o homem teve na época em construir uma estrada de ferro em meio a montanhas e penhascos enormes, com pouca tecnologia e recursos escassos. Levando 15 anos para sua construção, surgiu no governo imperial com o nome de Estrada de Ferro Dona Isabel, homenagem a esposa de D. Pedro II, com o objetivo de destravar e alavancar a movimentação de mercadorias entre a capital e o litoral do Paraná, que até então era província do Paraná.

Na figura 2.2 estão algumas partes do decreto de construção da ferrovia:

Figura 2.2 - Decreto de lançamento da Ferrovia

*O Decreto*

**3,5 mil contos de réis** era o capital exigido para o cumprimento da concessão (ao final o custo foi de 11 mil contos de réis);

**50 anos** era o período que a ferrovia poderia ser explorada pela concessionária.

*Prazos*

A companhia responsável pela construção deveria ser organizada em até dois anos. As obras deveriam ser iniciadas em até um ano a partir da organização da companhia, havendo um prazo máximo de 5 anos para a conclusão da ferrovia. Em casos de força maior o prazo poderia ser estendido por mais um ano. Se os prazos estipulados não fossem cumpridos a concessão tornar-se-ia caduca.

*Passagens*

As tarifas das passagens seriam tabeladas pelo governo, podendo ser reajustadas a cada três anos. Havia a possibilidade de redução das tarifas quando a receita líquida anual da empresa ultrapassasse 12%.

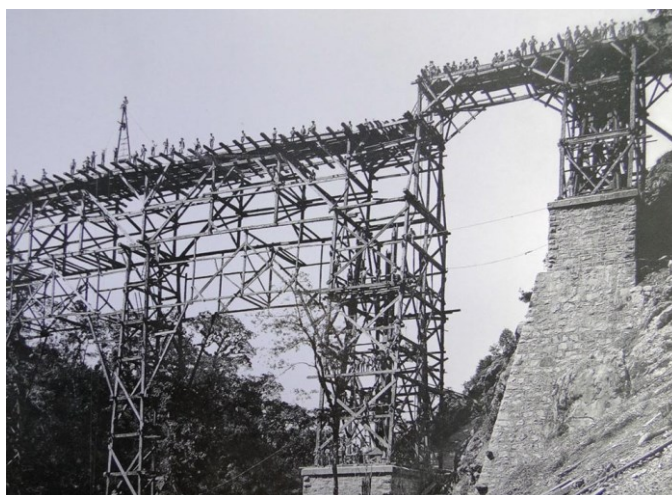
Fonte: Arthur Wischral, (1930).

O pedido de construção ocorreu por volta de 1870, quando o império recebeu o pedido de concessão. A ideia inicial é que a linha partisse de Antonina com destino a Curitiba, mas, logo após a decisão ser dada como certa pelo império logo foi contestada pela cidade vizinha Paranaguá, que não aceitou a decisão e entrou na briga para que a linha partisse de seu porto. Essa briga durou por cerca de quatro anos, e foi muito influenciada politicamente por famílias importantes da época, até que o império em 1875 colocou um fim na disputa e decretou que a linha partiria mesmo de Paranaguá por ter uma bacia mais profunda para atracagem de navios maiores.



Quando a disputa terminou outro empasse apareceu no caminho da ferrovia, a falta de recursos, pois na época, o império estava com gastos elevadíssimos com a Guerra do Paraguai. Foi então que buscaram capital estrangeiro para construção da sonhada ferrovia, contratando uma empresa francesa - *Compagnie Générale de Chemins de Fer Brésiliens*.

Figura 2.3 - Construção de Viaduto Ferroviário - Serra de Paranaguá



Fonte: Arthur Wischral, (1930).

A construção da ferrovia veio a ser oficializada por D. Pedro II em 1880, com as obras já iniciadas. Durante a construção muitos desafios foram vencidos, como: o Túnel de Roça Nova, o Viaduto do Carvalho e a Ponte São João. Obras estas que enchem os olhos de orgulho, pelos detalhes e garra daqueles que tornaram possível o desenvolvimento do nosso país.

A ferrovia da serra de Paranaguá foi concluída em 2 de fevereiro de 1885.

Figura 2.4 - Horários de partida de Trem / Notícia da viagem inaugural

**Estrada de Ferro do Paraná.**

Faz-se publico que o trafego regular para toda a linha desde Paranaguá até Curitiba começará no dia 8 do corrente mez e todas as estações receberão desde esse dia passageiros e cargas mediante os preços das tarifas approvedos pelo Governo Imperial, as quaes achão se affixadas nas mesmas Estações.

O horario dos trens regulares será o seguinte :

*Nos dias pares de cada mez :*

|                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| Partida de Curitiba      | 8 h 30 m manhã     |
| » de S. José dos Pinhães | 9 h 04 m »         |
| » de Piraquára           | 10 h 03 m »        |
| » de Porto de Cima       | 12 h 09 m da tarde |
| » de Morretes            | 1 h 08 m »         |
| » de Alexandra           | 2 h 03 m »         |
| » de Porto D. Pedro II   | 2 h 40 m »         |
| Chegada a Paranaguá      | 2 h 45 m »         |

*Nos dias impares de cada mez excepto no dia 1º quando o mez anterior fôr de 31 dias.*

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Partida de Paranaguá     | 11 h 28 m manhã |
| » de Porto D. Pedro II   | 11 h 36 m »     |
| » de Alexandra           | 12 h 07 m tarde |
| » de Morretes            | 1 h 16 m »      |
| » de Porto de Cima       | 1 h 58 m »      |
| » de Piraquára           | 4 h 35 m »      |
| » de S. José dos Pinhães | 5 h 30 m »      |
| Chegada á Curitiba       | 5 h 54 m »      |

Curitiba. 3 de Fevereiro de 1855.

O DIRECTOR  
J. T. Soares.

Fonte: Bruno Covello, (2015).

A figura 2.4 mostra a divulgação da viagem inaugural da ferrovia ligando Paranaguá a Curitiba. Foi de grande importância a inauguração da ferrovia para o estado e população, pois, proporcionou a muitos da época transportarem seus produtos e até mesmo se locomoverem para o litoral paranaense com mais facilidade.

## 2.2 CONCESSÃO

As concessões ferroviárias vieram muito forte na década de 90 no Brasil, no sul surge então a ferrovia Sul Atlântico operando em trechos ocupados pela Rede Ferroviária Federal.

Nos anos seguintes as operadoras vieram investindo em via permanente e ativos para manterem o negócio rentável.

Em 2015 a RMS entra em operação adquirindo a operadora anterior, com cerca de 16.000 ativos em circulação, vem investindo muito para tornar o negócio cada dia mais rentável.

## 2.3 SISTEMAS DE FREIO DE VAGÕES FERROVIÁRIOS

Temas ligados a ferrovia são poucos explorados no Brasil, o que é uma pena pois a ferrovia tem muito a se desenvolver em nosso país. O que muitas pessoas não sabem é que um vagão possui um sistema de frenagem que ajuda na parada do trem e garante a segurança operacional de uma ferrovia.

O sistema de freio de vagões está dividido em duas partes: pneumática e mecânica.

O sistema pneumático é composto por:

- Encanamento geral – leva o ar proveniente dos compressores das locomotivas para os vagões, inicia na locomotiva e termina no último vagão.
- Suporte de encanamentos – serve de suporte para a válvula e encanamentos auxiliares.
- Encanamento auxiliar – Liga o suporte de encanamentos ao reservatório de ar, cilindro de freio e retentor de alívio.
- Válvula de serviço – Funciona como o cérebro do sistema, faz carregamento, aplicação, recobrimento e soltura do sistema de freio.
- Retentor de alívio – Controla a soltura do sistema de freio.
- Coletor de pó – Filtra as impurezas do sistema (impurezas maiores) e isola o sistema (encanamento geral) em caso de alguma avaria.
- Cilindro de freio – transforma a força pneumática em mecânica.
- Torneira angular – fecha e abre o sistema – está entre um vagão e outro.
- Reservatório combinado – Acondiciona ar para garantir a frenagem do vagão.

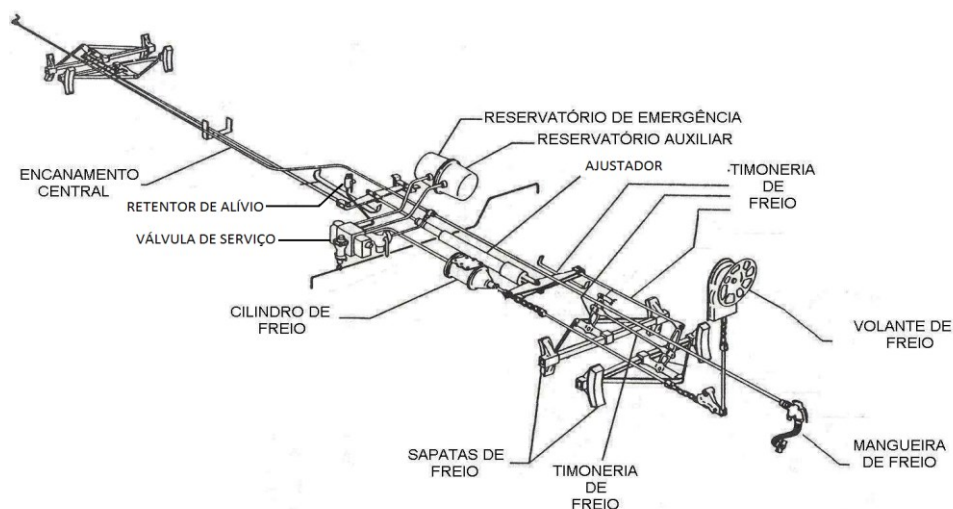
O sistema mecânico é composto por:

- Ajustador de folga – controla a folga entre sapata e roda e garante o curso (regulagem) do cilindro de freio.
- Timoneria (conjunto de alavancas e tirantes) – multiplica a força de frenagem levando até os truques.
- Truque

- Alavancas truque – faz multiplicação da força de frenagem.
- Barra de compressão – liga uma alavanca a outra e propicia a graduação dos truques.
- Triângulos de freio – leva a força de frenagem até as rodas.

A figura 2.5 ilustra o sistema mecânico de um vagão.

Figura 2.5 - Sistema de freio de vagão



Fonte: Fresimbra, (1960).

O encanamento geral começa na locomotiva e atravessa toda a composição sendo que liga de um vagão para outro através de mangueiras. O ar que alimenta esse sistema é proveniente do compressor que está na locomotiva. O sistema é carregado com 90 PSI.

O ar então entra no sistema e passa pelo coletor de pó que filtra as impurezas maiores, entra no suporte de encanamentos que por sua vez leva até a válvula de serviço que começa o carregamento do reservatório de ar.

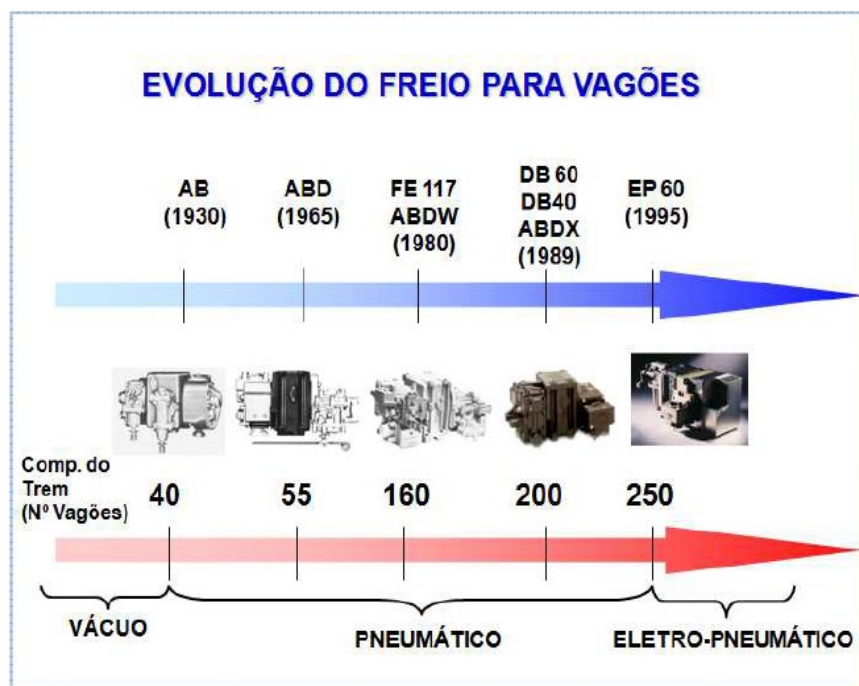
Para o bom funcionamento do sistema é necessário que ele esteja totalmente carregado. Sendo assim toda a vez que houver uma queda no encanamento geral proveniente de uma aplicação de freio na locomotiva a válvula de serviço fará com que uma parte do ar acondicionado no reservatório seja transferido para o cilindro de freio. O cilindro então será acionado e a sua força será multiplicada através das alavancas de freio e tirantes, até chegar nas rodas.

### Válvula de Serviço:

A válvula de serviço (também conhecida como porção de serviço) é o componente mais importante do sistema de freio de um vagão, ela é responsável pelo carregamento, aplicação, recobrimento e soltura do sistema de freio.

O sistema de freio de vagão passou por diversas evoluções ao longo do tempo, como representa figura 2.6.

Figura 2.6 - Evolução das válvulas de serviço



Fonte: Julio, (2012).

A figura 2.6 mostra que o freio que antigamente era a vácuo passou por uma evolução entre 1930 a 1995, proporcionando as ferrovias aumentarem o volume de transporte com um número maior de vagões nas composições

### Válvula AB:

A válvula de serviço é composta por 3 partes:

- Suporte de encanamentos;
- Parte de serviço,
- Parte de Emergência.

Segundo Fresimbra, (1960) a parte de serviço é composta por:

1. Pistão de Serviço 33 – movimenta a válvula de gaveta e graduadora de serviço, o movimento acontece toda a vez em que houver variação de pressão no encanamento geral.
2. Válvula graduadora de serviço 34 – abre e fecha as ligações entre: reservatório e emergência quando válvula de gaveta está na posição de alívio e do encanamento geral ao volume de serviço rápido quando a válvula de gaveta está em posição de alívio normal.
3. Válvula de gaveta de serviço 36 que abre e fecha os orifícios e ligações:
  - a) Entre reservatório auxiliar e o reservatório de emergência através da válvula graduadora;
  - b) Do encanamento geral para o volume de serviço rápido através da válvula graduadora;
  - c) Do cilindro de freio através da válvula limitadora;
  - d) Do cilindro de freio para o retentor
  - e) Do reservatório auxiliar para o cilindro de freio através da válvula graduadora;
  - f) Do reservatório auxiliar a superfície interna da válvula asseguradora de alívio;
  - g) Da superfície interna da válvula asseguradora de alívio ao retentor.
4. A mola de retorno 43 do pistão de serviço e caixa 42 que impedem o movimento do pistão de serviço para a posição de carregamento retardado.
5. A mola estabilizadora 39 e a guia 40 que asseguram a estabilidade da ação de serviço rápido impedindo o movimento do pistão de serviço rápido para a posição preliminar de serviço.
6. A válvula asseguradora de alívio 75 que faz com que o pistão de serviço volte para a posição de alívio.

7. Válvula limitadora 64 proporciona uma pressão mínima dentro do cilindro de freio.

## **2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO**

Neste capítulo foram abordados conceitos relacionados a construção e a inauguração da primeira ferrovia paranaense, concessões ferroviárias que ocorreram na década de 90 e também conceitos sobre a funcionalidade do sistema de freio de vagões e seus componentes.

A partir da pesquisa compreende –se que o desenvolvimento da ferrovia no Paraná foi um marco para o crescimento da economia do estado e também que a partir dos conceitos apresentados entende –se que o tema abordado é de grande interesse para que a ferrovia continue em pleno desenvolvimento.

Os conceitos relacionados ao sistema de freio de vagões serão importantes e ligados ao entendimento do trabalho por mostrar o funcionamento do sistema de freio de um vagão, tema que pouco é encontrado em bibliografia e fundamental para o assunto abordado.

O próximo capítulo trata – se de conceitos relacionados a análise de degradação, histogramas e a metodologia de Ishikawa.

A utilização das ferramentas de confiabilidade unida aos conceitos ferroviários proporcionarão o desenvolvimento do trabalho e a busca pelo resultado proposto pela pesquisa.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a metodologia de análise de degradação e suas aplicações em condições normais e aceleradas. Nosso estudo utilizará ensaios acelerados não destrutivo em bancada.

As empresas atuais sabem que é necessário ter uma boa base de dados para se conseguir obter análises de vida de seus produtos, porém, para isso é necessário tempo e investimentos. Muitas empresas não conseguem realizar tais testes, pois, com a grande concorrência no mercado precisam ser ágeis no desenvolvimento de novos produtos para poderem acompanhar o mercado. Outro ponto que se faz relevante é a análise de vida na manutenção ou reparação de componentes onde muitas empresas ainda descrevem como um investimento desnecessário, mas acabam arcando com falhas prematuras, desconhecimento do tempo de garantia, ou seja, não conseguem prever o tempo que o equipamento ficará em operação sem apresentar falhas ou mesmo o tempo para troca.

Utilizando a análise de degradação obteremos informações que nos proporcionarão a tomada de decisão com relação ao tempo de garantia, através das falhas que estão diretamente relacionadas ao produto e assim atender as necessidades dos clientes.

A realização do estudo de degradação depende que sejam feitas com dados obtidos em condições normais ou em ensaios acelerados (aumentando o nível de estresse). Após a obter os dados são utilizados softwares existentes no mercado que conseguem realizar simulações do tempo até a falha, podendo também levar em consideração altos níveis de estresse.

#### 3.2 MEDINDO A DEGRADAÇÃO DO PRODUTO

Segundo Reliasoft, (2014) para usar dados de degradação para estimar o tempo até a falha do produto, o fator de degradação que está sendo medido deve estar diretamente relacionado a um mecanismo de falha do produto e deve haver um nível definido de degradação no qual uma falha é dito ter ocorrido.



Para realizar estudos e provisões mediremos a degradação do componente ao longo do tempo. Citando exemplos ligados a ferrovia como desgaste de sapatas de freio, acompanhamento da altura de molas da suspensão de vagões, acompanhamento de desgaste de friso de rodeiros, entre outros.

Por outro lado, encontramos situações em que é impossível o acompanhamento físico da degradação, por isso são necessárias técnicas invasivas ou ensaios destrutivos que acabam destruindo o produto ou tornando - o inutilizável.

De acordo com Magda, (2007) os testes de degradação proporcionam o descobrimento da trajetória do produto até a falha. Com isso consegue –se adotar medidas de controle que irão prolongar a vida do equipamento e também aumentam a capacidade do pesquisador em conhecer os modos de falha que podem aparecer no futuro.

O registro dos dados e a quantidade de amostras é um passo primordial para o sucesso da análise, Liliana at al, (1998) cita que quanto mais unidades são testadas maior é a certeza nos resultados e assim conseguir resultados satisfatórios e que atendam aos clientes.

### **3.2.1 Convertendo Dados de Degradação em Dados de Tempo para Falhas**

A seguir estão os modelos matemáticos segundo Reliasoft, (2014) utilizados para estimar o tempo até a falha.

#### **1. Linear**

$$y = a.x + b$$

#### **2. Exponencial**

$$y = b.e^{ax}$$

#### **3. Potência**

$$y = b.x^a$$

#### **4. Logarítmica**

$$y = a.\ln(x) + b$$

Segue a representação da simbologia nas fórmulas:

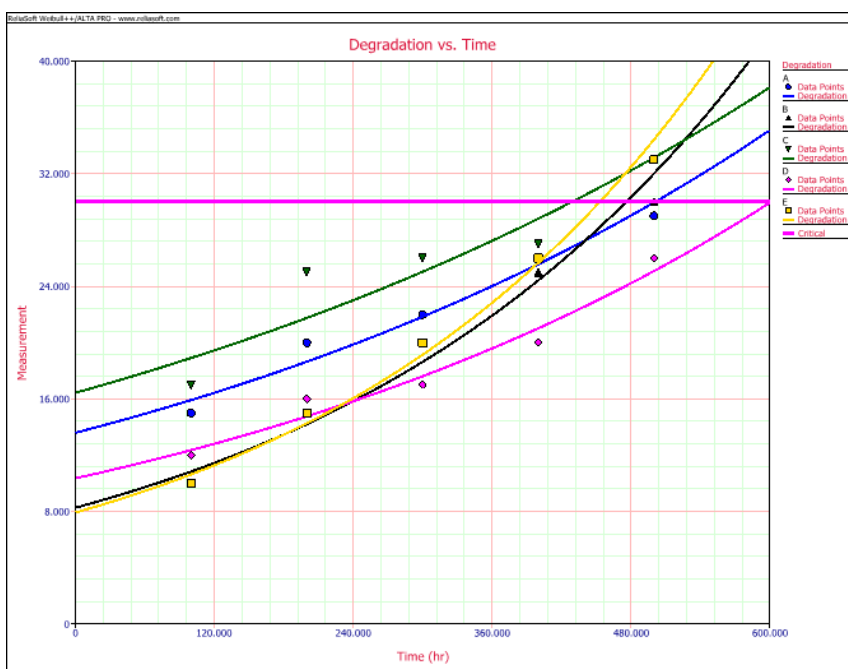
**y** - desempenho

**x** - tempo

**b** - são os parâmetros do modelo

De acordo com Magda, (2007) uma vez que os parâmetros do modelo  $a_i$  e  $b_i$  são estimados para cada amostra  $i$ , um tempo ( $x_i$ ) pode ser extrapolado que corresponde ao nível definido de falha  $y$ . O  $x_i$  computado pode então ser usado como pontos de tempo até falha na análise de dados de vida subsequente. Como acontece com qualquer tipo de extrapolação, você deve ter cuidado para não extrapolar muito além do intervalo real de dados para evitar grandes erros de modelagem.

Figura 3.1 - Gráfico de resultados de degradação



Fonte: Reliasoft, (2014).

Na figura 3.1 estão os modelos de gráfico gerados Weibull ++ da Reliasoft.

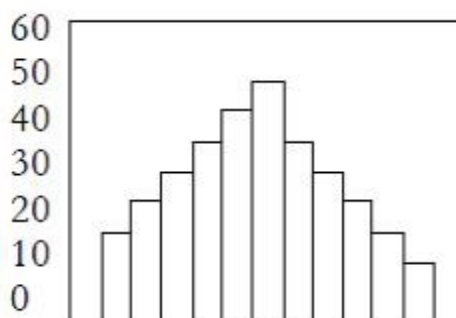
### 3.3 Gráficos

Segundo Guimarães *et al*, (2007) a representação gráfica dos dados tem por finalidade representar os resultados obtidos, permitindo chegar-se a conclusões sobre a evolução do fenômeno ou sobre como se relacionam seus valores. A escolha do gráfico mais apropriado fica a critério do analista. Contudo, os elementos simplicidade, clareza e veracidade devem ser considerados quando da elaboração de um gráfico.

Conforme Lopes Dias, (2003) cita que o gráfico é utilizado para variáveis contínuas, sendo que: cada barra representa a frequência do intervalo respectivo, os intervalos devem ter a mesma amplitude e as barras devem estar todas juntas.

Ao observar um histograma conclui –se que:

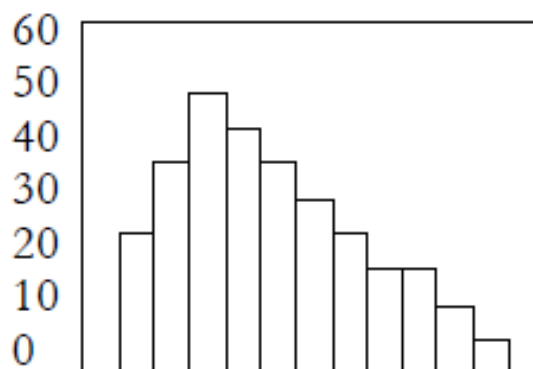
Figura 3.2 - Histograma Simétrico



Fonte: Lopes Dias, (2003)

A medida dos dados está no centro do desenho. As frequências mais altas também estão no centro da figura. Nos processos industriais, esta é a forma desejável.

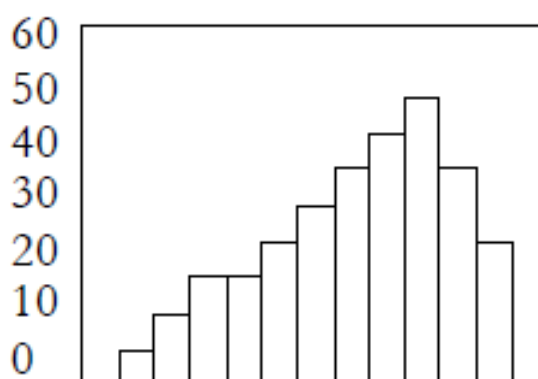
Figura 3.3 - Histograma com Assimetria Positiva



Fonte: Lopes Dias, (2003)

De acordo com Minitab, (2019) a assimetria a direita mostra tempos de espera. Esse nome é dado por seu valor ser maior que 0. Os tempos de espera podem variar, podendo ser curtos e longos.

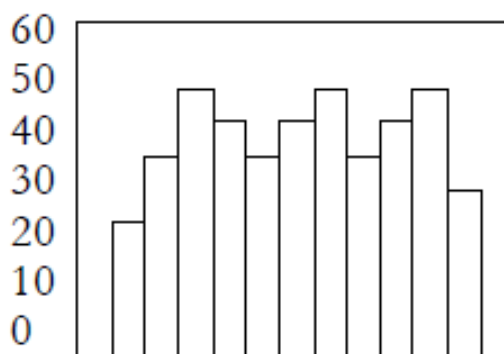
Figura 3.4 Histograma com Assimetria Negativa



Fonte: Lopes Dias, (2003).

Para Rinaldo, (2014) a forma representativa de uma assimetria negativa está representada com a calda voltada para esquerda e a concentração de dados está nos pontos mais altos. Esta forma ocorre quando o limite superior é controlado ou quando não podem ocorrer valores acima de certo limite.

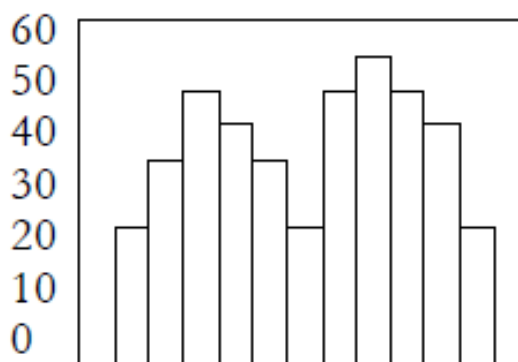
Figura 3.5 Histograma em Plateau



Fonte: Lopes Dias, (2003).

Com exceção das primeiras e das últimas classes, Lopes Dias, (2003) cita que todas as outras têm frequências quase iguais. Essa forma ocorre quando se misturam várias distribuições com diferentes médias.

Figura 3.6 - Histograma Dois picos e Duas modas



Fonte: Lopes Dias (2003).

Como relata Delaware, (2006) as frequências são baixas no centro da figura, mas existem dois picos fora do centro. Esta forma ocorre quando duas distribuições com médias bem diferentes se misturam. Podem estar misturados, por exemplo, os produtos de dois turnos de trabalho.

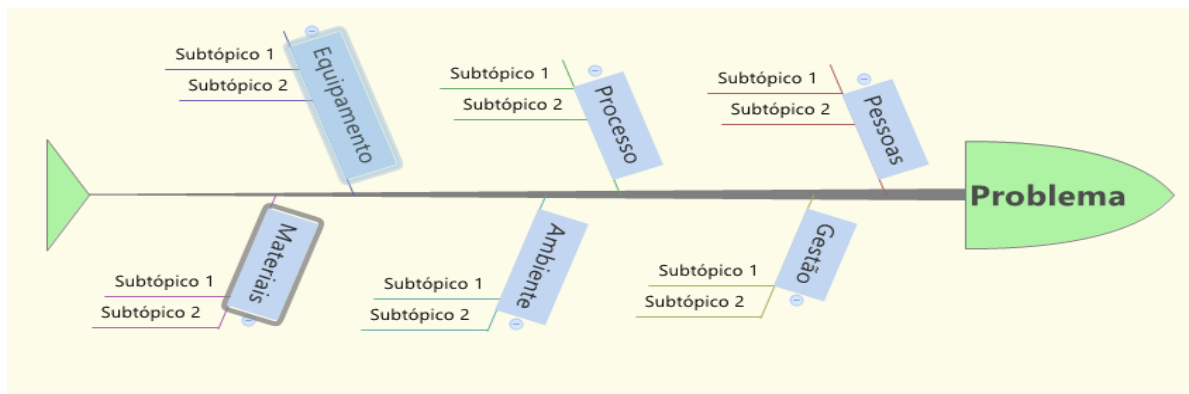
### 3.4 Diagrama de Espinha de Peixe – Ishikawa

De acordo com Peinado, (2007) diagrama de Ishikawa ou também conhecido como diagrama de causa e efeito foi elaborado por Kaoru Ishikawa (1915-1989) é um elemento gráfico em forma de espinha de peixe que tem como finalidade

identificar, organizar e apresentar de maneira ordenada as causas de problemas encontrados em processos.

Na figura 3.7 está um modelo retirado do software *Xmind*:

Figura 3.7 - Espinha de Peixe - Ishikawa



Fonte: o autor, (2019).

A figura 3.7 mostra a espinha de peixe e suas causas divididas em subcategorias, onde:

- Pessoas - causas que envolvem colaborador
- Processo – procedimentos utilizados
- Equipamento – Máquinas utilizadas no processo
- Gestão – Acompanhamento de resultados e decisões tomados ao longo do processo
- Ambiente – Questões físicas ligadas ao processo
- Materiais – Matéria prima utilizada no processo

### 3.4.1 Metodologia Ishikawa

Andrade, (2013) cita que o diagrama de Ishikawa, é uma representação simples de ser construída e de fácil entendimento, traz muitos benefícios para as equipes de trabalho. Alguns desses benefícios são:

1. Definir objetivo ou identificação do problema;
2. Desenhar uma linha com uma caixa de texto a direita, escrevendo o problema a ser investigado na caixa;

3. Realizar uma reunião para classificar e formular as causas que influenciam no problema estudado;
4. Verificar se as causas não são apenas sintomas;
5. Garantir que são variáveis do processo, caso identifiquem que não seja deve-se ter uma reformulação;
6. Colocar as variáveis dentro do diagrama, de acordo com as causas encontradas;
7. Verificar cada ramo para ver se não existem subtópicos;

### **3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO**

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos relacionados a análise vida utilizando a metodologia de degradação que está relacionado ao tema do trabalho. Também foram tratados de temas relacionados a histogramas, demonstrando suas principais assimetrias e a metodologia de Ishikawa.

Com os conceitos relacionados a degradação se torna capaz de embasar o capítulo 4, que utiliza esta metodologia para definir o tempo de garantia do componente em estudo.

As outras metodologias ajudarão a entender o processo de manutenção e suas principais fragilidades, para no final do estudo ressaltar os resultados.

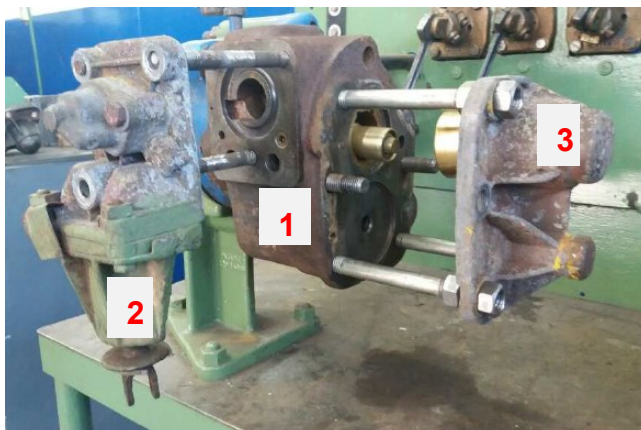
No próximo capítulo será descrito o estudo realizado com a válvula de serviço para definir um tempo de garantia para o componente.

Uniremos também os conceitos para conseguir chegar ao objetivo do trabalho.

## 4. ESTUDO DE CASO

Neste estudo aborda -se o desgaste que ocorre da bucha da válvula de freio (AB), provocando uma folga entre anel e bucha e ocasionando possíveis vazamentos comprometendo o funcionamento da válvula. Após realizar a análise será inserido os dados no software para podermos propor um tempo de garantia e de troca para este componente. A válvula AB é o único modelo que utiliza este tipo de bucha. A figura 4.1 mostra uma válvula AB explodida.

Figura 4.1 – Visão explodida da válvula AB



Fonte: o autor, (2019).

É possível observar o corpo da válvula (1) e seus subcomponentes como: válvula de alívio rápido (2) e tampa da válvula (3).

### 4.1. Processo de Manutenção da Válvula

O processo de manutenção dos equipamentos de freio, de uma determinada ferrovia, está concentrado apenas em uma localidade, as válvulas possuem uma célula exclusiva com ambiente climatizado e controlado para evitar contaminantes que podem comprometer seu funcionamento.

Antes de entrarem na célula de freio as válvulas passam por um processo de triagem e lavagem, logo após são destinadas para a desmontagem.



### 4.1.1 Desmontagem

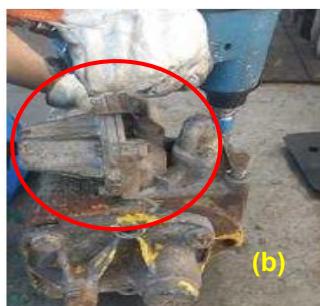
A figura 4.2 nos mostra os componentes da válvula que são desmontados:

- Pistão
- Dupla de alívio
- Tampa da válvula
- Bujões em geral

Figura 4.2 – Desmontagem da Válvula AB



Válvula montada – início do processo



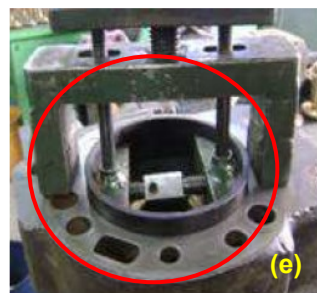
Válvula de alívio rápido



Retirada da tampa



Retirada dos bujões



Retirada da bucha

Fonte: o autor, (2019).

Após a desmontagem total da válvula, inicia – se o processo de limpeza e reparação de cada subcomponente mostrado na figura 4.2.

### 4.1.2 Montagem

Todos os processos de montagem e desmontagem e testes da válvula são complexos e requerem de profissionais qualificados para a realização. Neste

processo os componentes desmontados e recuperados separadamente serão unidos ao corpo da válvula novamente. Um dos processos mais complexos e de risco para a confiabilidade deste componente é a recolocação da bucha como mostra a figura 4.3.

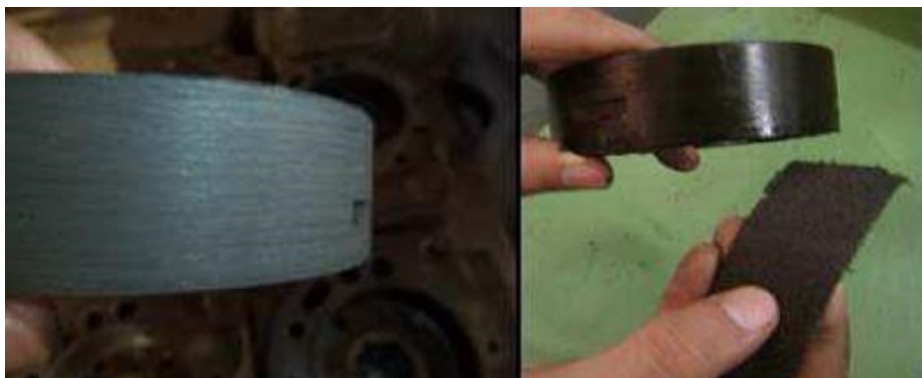
Figura 4.3 - Colocação da bucha



Fonte: o autor, (2019).

Para a colocação de uma nova bucha é necessário seguir os passos: ajuste da bucha utilizando uma lixa como mostra a figura 4.4, após o ajuste a bucha será colada no corpo da válvula, figura 4.3.

Figura 4.4 – Preparação da Bucha



Fonte: o autor, (2019).

Após a realização desse processo o próximo passo é a retificação do diâmetro interno da bucha. Este processo consiste em ajustar a bucha para que o anel do pistão encaixe.

Figura 4.5 - Pistão da Válvula



Fonte: o autor, (2019).

O pistão da válvula, figura 4.5, terá que encaixar dentro da bucha.

Figura 4.6 - Colocação do pistão



Fonte: o autor, (2019).

A figura 4.6 mostra o pistão sendo encaixado na bucha.

Figura 4.7 - Ferramenta para retificação



Fonte: o autor, (2019).

A figura 4.7 mostra a ferramenta utilizada na retificação interna da bucha. A retificação é feita de acordo com o anel utilizado, figura 4.8.

Figura 4.8 - Ajuste do anel



Fonte: o autor, (2019).

Na figura 4.9 estão os parâmetro de retificação da bucha.

Figura 4.9 - Parâmetros de retificação

| REPARO | DIÂMETRO           |
|--------|--------------------|
| 1º     | 4.000" - 101,600mm |
| 2º     | 4.004" - 101,702mm |
| 3º     | 4.008" - 101,803mm |
| 4º     | 4.012" - 101,905mm |

Fonte: Neri, (2017).

A retificação é feita no interior da bucha para verificar qual anel utilizar, no caso da bucha nova, ela será retificada para utilizar anéis do primeiro reparo e assim seguir sua vida até chegar no quarto reparo e ter que passar pelo processo de troca de bucha novamente.

Após a realização de todo o processo de montagem a válvula foi então colocada em uma bancada para simular aplicações de freio.

Figura 4.10 - Bancada de testes



Fonte: o autor, (2019).

Utilizou – se para o teste de ensaio acelerado uma bancada de testes com todos os equipamentos de freio pertencentes ao sistema de freio de um vagão. Esta bancada era aplicada em treinamentos técnicos e foi adequada para os testes, figura

4.10, neste caso é simulou -se aproximadamente 9000 aplicações o equivalente a 2 anos de operação.

#### 4.1.3 Resultados Obtidos

Para a coleta de dados, foram submetidas a bancada de testes 2 válvulas do modelo AB “Air Brake” da fabricante Westing House, ambas da década de 70. Este modelo de válvula foi escolhido por ser crítico nas operações ferroviárias, com muitas falhas e paradas de trem causadas pelo desprendimento da bucha.

As duas válvulas foram colocadas na banca de teste e com um simulador de aplicações submetidas a simulações como se estivessem em operação.

A cada 1000 ciclos a válvula foi retirada e teve a bucha inspecionada para a verificação do desgaste.

Foram utilizados no estudo das válvulas anéis do 3º reparo, pois, existe dificuldade de encontrar anéis do 1º e 2º reparo.

Figura 4.11 - Dados adquiridos no estudo

| Tempo da Inspeção (CICLOS) | Medição | ID Unidade |
|----------------------------|---------|------------|
| 0                          | 101,803 | A          |
| 1000                       | 101,805 | A          |
| 2000                       | 101,81  | A          |
| 3000                       | 101,816 | A          |
| 4000                       | 101,821 | A          |
| 5000                       | 101,829 | A          |
| 6000                       | 101,832 | A          |
| 7000                       | 101,84  | A          |
| 8000                       | 101,847 | A          |
| 9000                       | 101,853 | A          |
| 0                          | 101805  | B          |
| 1000                       | 101,851 | B          |
| 2000                       | 101,816 | B          |
| 3000                       | 101,859 | B          |
| 4000                       | 101,825 | B          |
| 5000                       | 101,865 | B          |
| 6000                       | 101,831 | B          |
| 7000                       | 101,869 | B          |
| 8000                       | 101,845 | B          |
| 9000                       | 101,875 | B          |

Fonte: o autor, (2019).

Na figura 4.11 estão os dados coletados para a realização do estudo.

Tabela 4.1 - Resultado da distribuição

| <b>Parâmetros</b> |             |
|-------------------|-------------|
| Distribuição      | Weibull 3P  |
| Análises          | NLRR        |
| Método do IC      | FM          |
| Ranqueando        | MED         |
| Beta              | 1,153295    |
| Eta (C)           | 5265,092345 |
| Gama (C)          | 42,14318    |
| Valor da LK       | -18,540538  |
| Rho               | 1           |
| F \ S             | 2 \ 0       |

Fonte: o autor, (2019).

Os parâmetros obtidos são:

$\beta = 1,15$  (Fator de forma – característica da falha)

$\gamma = 421$  ciclos (Tempo livre de degradação)

$\eta = 5265$  ciclos (vida característica)

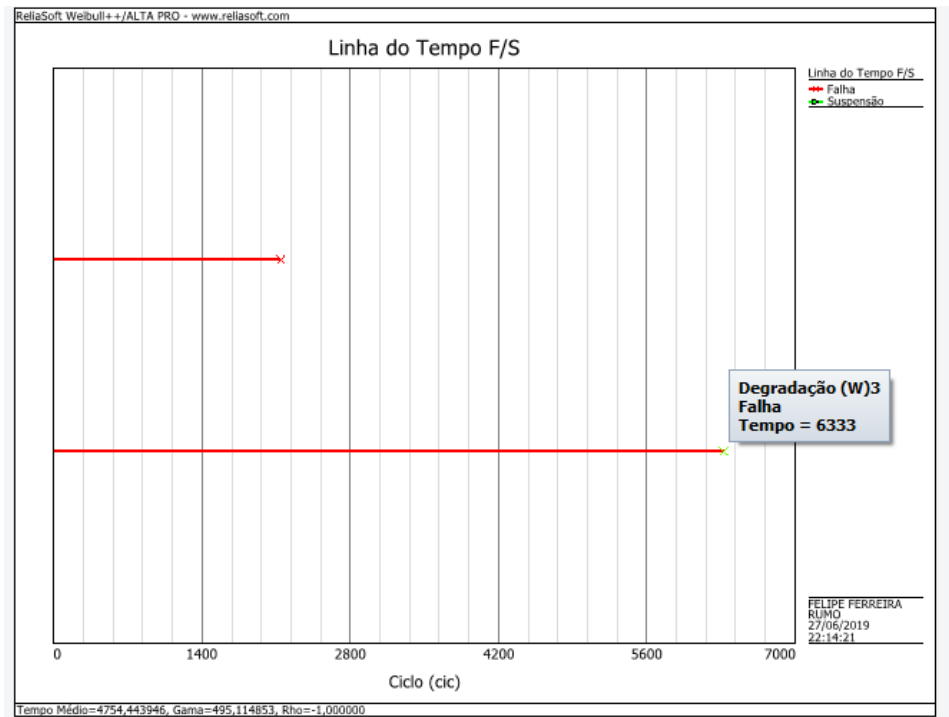
Tabela 4.2 - Resultado de tempo até falha

| <b>Tempos</b> |                      |                       |
|---------------|----------------------|-----------------------|
| <b>F/S</b>    | <b>Tempo até F/S</b> | <b>ID<br/>Unidade</b> |
| F             | 2142,878682          | A                     |
| F             | 6333,323976          | B                     |

Fonte: o autor, (2019).

A tabela 4.2 nota –se que o tempo até a falha da válvula A é menor.

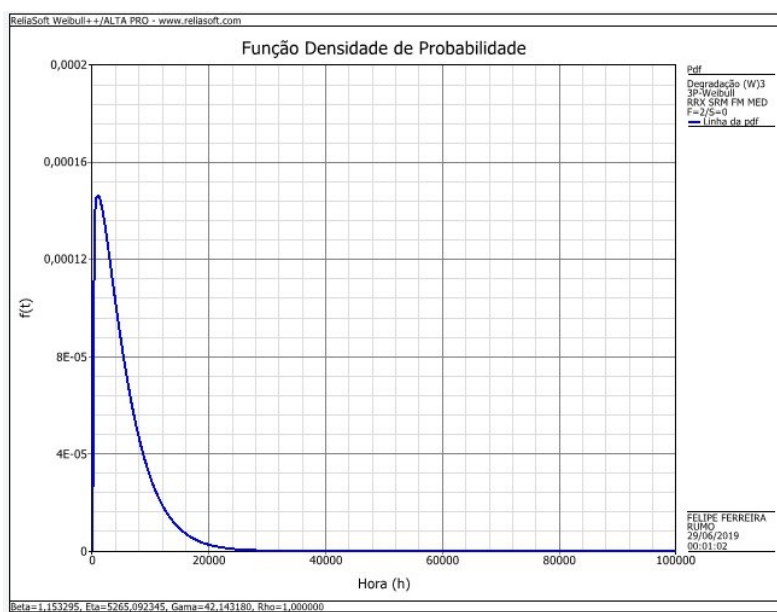
Gráfico 3.1 - Linha do Tempo F/S



Fonte: o autor, (2019).

No gráfico 4.1 nota -se que houve uma degradação maior na bucha da primeira válvula (A), sendo que as duas foram testadas nas mesmas condições.

Figura 4.12 - Função densidade de Probabilidade

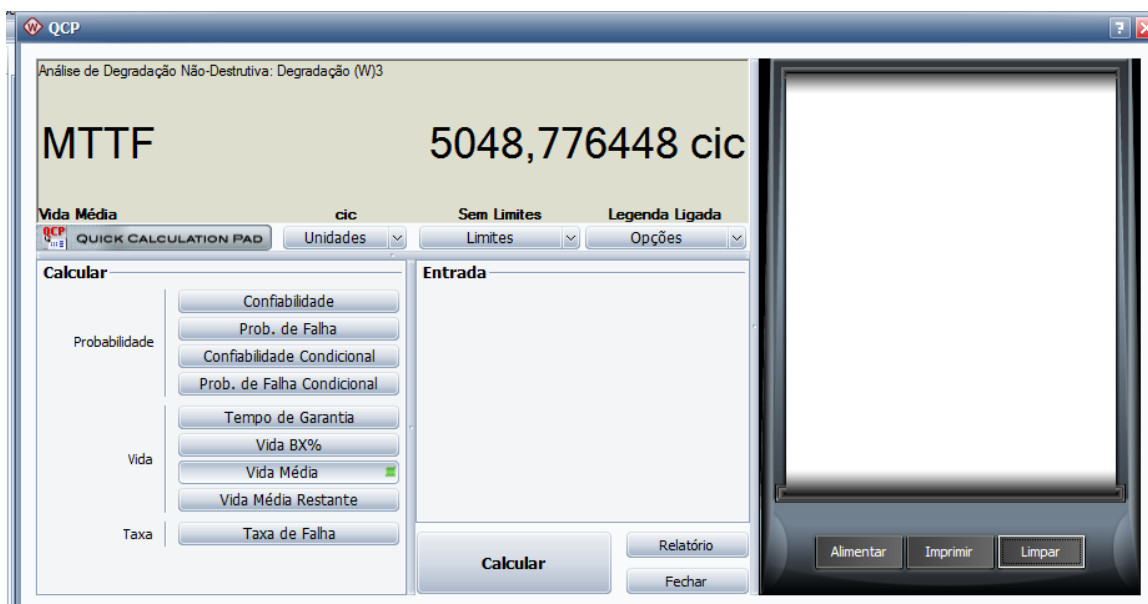


Fonte: o autor, (2019).



Na figura 4.12 é notado que de “zero” até 421 ciclos o desgaste está em níveis aceitáveis, após esse valor começa a ter níveis de desgaste maiores.

Figura 4.13 - Vida Media



Fonte: o autor, (2019).

A figura 4.13 mostra que o limite crítico de desgaste da bucha está em 5049 ciclos. Após esse número a válvula terá que ser recolhida para manutenção novamente, pois possivelmente aparecerá passagem de ar entre anel e bucha e a válvula começará a apresentar problemas.

Levando em consideração o principal corredor ferroviário do Paraná, Maringá ao porto de Paranaguá, figura 4.14, segundo dados internos de uma determinada empresa ferroviária, os trens nesse percurso realizam 111 aplicações de freio.

Comparando esse dado ao da simulação estatística que mostra que nossa válvula (A) alcançou um tempo aproximado até a falha de 2142 ciclos constatou -se que a válvula conseguiria realizar apenas 19 viagens e 6 meses de garantia, acaba sendo inviável para o sistema ferroviário continuar com um componente como este.

A válvula (B) alcançou um tempo aproximado até a falha de 6333 ciclos e conseguiria realizar 57 viagens e teria 19 meses de garantia.



manutenções, o processo inadequado de reparação deste componente e por último o tempo de uso elevado da válvula.

Após o teste acelerado compreende - se que se torna inviável manter a garantia da válvula em 2 anos, para que isso aconteça o processo de reparação da válvula precisa ser revisto, já que a bucha se soltou rapidamente do corpo da mesma provocando a falha, ou descontinuado, pois somente essa empresa ferroviária executa este procedimento.

Entende –se que a válvula AB necessita ser restrita a alguns tipos de operação, já que seu funcionamento não se adequa ao tamanho das composições por ter um tempo de reposta mais lento e sua manutenção está se tornando cada dia mais complexa pelo grau de desgaste que seus componentes estão apresentando.

## **4.2 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO**

Este capítulo abordou o estudo de caso para resolução do problema abordado no capítulo 1. Nele foi descrito todo o processo de manutenção da válvula e também o teste de ensaio acelerado para determinar o prazo de garantia da mesma, que era o objetivo do trabalho.

Através do estudo de caso une -se os conceitos apresentados nos capítulos anteriores, onde conceitos ferroviários interligam –se com conceitos e ferramentas de engenharia de confiabilidade para atingir o resultado proposto inicialmente.

Este capítulo demonstra os resultados e norteia as perspectivas para a manutenção do componente em estudo.

No próximo capítulo apresenta –se o resultado e a conclusão obtida a partir do estudo do capítulo 4.

## 5 Conclusão

Face os resultados alcançados com o modelo estatístico, pode-se afirmar que o trabalho conseguiu garantir uma simulação que mostra realmente os impactos da válvula AB na operação ferroviária sendo que esta é muito suscetível a falhas.

Adicionalmente, há de se fazer diversas considerações em relação ao tema deste trabalho, que inicialmente, foi proposto para verificar o tempo de garantia de um dos componentes mais importantes para manter a boa circulação de trens na operação ferroviária. Como mostrado, na base de dados coletados com a pesquisa logo percebe - se que há uma fragilidade no processo de manutenção do componente, sendo que somente esta operadora ferroviária faz tal reparação. Outro ponto é que como se trata de um componente antigo acaba não mais satisfazendo as necessidades operacionais do momento, com trens mais longos e aumento de produção constante. Mesmo encontrando resultados não satisfatórios, o trabalho abre diversas oportunidades para estudos de desenvolvimento de materiais na própria bucha e melhorias de processos se assim forem necessários para a operadora. O trabalho também cria diversas oportunidades para a realização do mesmo estudo em outros modelos de válvulas utilizados e assim respectivamente o tempo de garantia.

Desta forma, concluí -se que a utilização da metodologia de engenharia de confiabilidade junto a ferramentas digitais presentes no mercado ajudam a constatar e entender melhor a eficácia da reparação e a confiabilidade dos componentes, principalmente ao tempo de garantia como visto no trabalho.

### 5.1 Proposta de trabalhos Futuros

Existe uma grande diversidade de componentes ferroviários, sendo que o ramo de vagões e locomotivas não é muito explorado em pesquisas. Abaixo estão algumas sugestões de pesquisas a serem feitas em trabalhos futuros:

1. Análise de Degradação em Ajustadores Automáticos de Folga. Definição de tempo de garantia.
2. Analisar a Degradação e definição de garantia para válvulas ferroviárias modelo ABDX e DB10.

3. Analisar a disponibilidade de ativos ferroviários utilizando a ferramenta de confiabilidade BlockSim.

Esses estudos sendo feitos, contribuem muito para o desenvolvimento da manutenção em ativos ferroviários e do nosso país.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Luiza; Diagrama de Ishikawa: O que é e como fazer. 13 de set. 2013. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/metodologias/diagrama-de-ishikawa/>. Acessado em: Abr. 2019.

ANTT. Produção Mensal de Transporte Ferroviário de Cargas, em Tonelada - Quilômetro Útil (TKU). 2019. Disponível em: <https://antt.gov.br>. Acesso em 09 Mar. 2019.

COVELLO, Bruno. Horários de partida de Trem / Notícia da viagem inaugural. 2015. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 15 Fev. 2019.

FRESINBRA: Equipamento de Freio AB para Vagões – Referência – Elaboração. 1960.

GUIMARÃES, G; GITIRANA, V; MARQUES, M.; CAVALCANTI, M. Abordagens Didáticas no Ensino de Representações Gráficas. Anais do IX Encontro Nacional de Educação Matemática (ENEM), Belo Horizonte, 2007.

HOBBSAWM, Eric J.; A Era das Revoluções 1789-1848. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

INSPER. Acesso docentes, 2014. Disponível em: [https://www.insper.edu.br/docentes/rinaldoartes/wpcontent/uploads/sites/14/2014/09/Medidas-de-forma-Assimetria\\_2014.pdf](https://www.insper.edu.br/docentes/rinaldoartes/wpcontent/uploads/sites/14/2014/09/Medidas-de-forma-Assimetria_2014.pdf). Acesso em 16 Nov. 2019.

KROETZ, Leandro, R. Serra de Paranaguá. 1985. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 15 Fev. 2019.

BEZERRA, Juliana. Revolução Industrial Inglesa. 2019. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/revolucao-industrial-inglesa/>. Acesso em 18 Nov. 2019.

LOPES DIAS. Controle Estatístico de Processo, apostila do Curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa da UFSM, Santa Maria, RS, 2003.

MINITAB. Suporte Minitab, 2019. Interpretar os principais resultados para gráfico de simetria. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/symmetry-plot/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em 15 Nov. 2019.

NERI, João. Procedimento operacional de freio. RMS, Mafra, (2017).

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. Administração da produção: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007. Acesso em 14 Nov. 2019

PIRES, Magda; Testes de Degradação e Testes de Degradação Acelerados. Departamento de Estatística Métodos Estatísticos em Confiabilidade e Manutenção, 12 de Nov. 2007. Acesso em 08 Jun. 2019.

POHL, Liliana; RIBEIRO, José; CALCAGNOTTO, Josemir; HERCÍLIO Marcelo. Modelos de Degradação aplicados a Melhoria da Confiabilidade de Produtos. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – UFRGS, 1998. Acessado em: 14 Nov. 2019.

RELIASOFT CORPORATION: Análise de Degradação. Recuperado em 1º de janeiro de 2014, da ReliaWiki.org . Disponível sob uma Licença Internacional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0. Disponível em: [http://reliawiki.org/index.php/Degradation\\_Data\\_Analysis](http://reliawiki.org/index.php/Degradation_Data_Analysis). Acesso em 10 Mar. 2019.

RMS. Mapa ferroviário 2019. Disponível na oficina de vagões Mafra.

RUDIO, Franz V; Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica. Vozes, 1999.

SANTOS e ANTONELLI; Ferrovia 130 Anos, Parte 1, Caminhos do Paraná. Gazeta do Povo, Curitiba (PR), 23 fev. 2015a. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 20 jan. 2019.

SANTOS e ANTONELLI; Ferrovia 130 Anos, Parte 2, A Primeira Ferrovia. Gazeta do Povo, Curitiba (PR), 24 fev. 2015a. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 20 jan. 2019.

SANTOS e ANTONELLI; Ferrovia 130 Anos, Parte 4, A Rede Ferrovia. Gazeta do Povo, Curitiba (PR), 25 fev. 2015a. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 20 jan. 2019.

SANTOS e ANTONELLI; Ferrovia 130 anos, Parte 4, Galeria de Fotos. Gazeta do Povo, Curitiba (PR), 25 fev. 2015a. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 20 jan. 2019.

SILVA, Julio. Evolução das válvulas de serviço. 2012. Disponível em: <http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON052.pdf>. Acesso em 13 Abr. 2019.

UNIVERSITY OF DELAWARE. Probabilidade e estatística, 2006. Distribuição de frequência. Disponível em: [https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/classroom/prob\\_estatistica/2006\\_1/lecture\\_slides/aula04.pdf](https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/classroom/prob_estatistica/2006_1/lecture_slides/aula04.pdf). Acesso em 17 Nov. 2019.

YIN STAKE, Robert E. Estudo de caso: Planejamento e Métodos, 5 ed. Bookman, 2015a.

WISCHRAL, Arthur. Decreto de lançamento da ferrovia. 1930. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 15 Fev. 2019.

WISCHRAL, Arthur. Construção de Viaduto Ferroviário - Serra de Paranaguá. 1930. Disponível em: <https://especiais.gazetadopovo.com.br/ferrovia-130-anos/>. Acesso em 15 Fev. 2019.