

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

WLADIMYR JUNIOR LACERDA

**ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DOS FREIOS DE UM REDUTOR
SECUNDÁRIO DO SISTEMA DE BASCULAMENTO DE
CONVERTEDORES DE UMA ACIARIA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

WLADIMYR JUNIOR LACERDA

**ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DOS FREIOS DE UM REDUTOR
SECUNDÁRIO DO SISTEMA DE BASCULAMENTO DE
CONVERTEDORES DE UMA ACIARIA**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DOS FREIOS DE UM REDUTOR SECUNDÁRIO DO SISTEMA DE BASCULAMENTO DE CONVERTEDORES DE UMA ACIARIA

por

WLADIMYR JUNIOR LACERDA

Esta monografia foi apresentada em 10 de novembro de 2017, 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.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradeço a ArcelorMittal Tubarão pela oportunidade dada para participação deste projeto da Especialização em Engenharia de Confiabilidade focado em garantia da confiabilidade e estabilidade da empresa utilizando estes novos conhecimentos e metodologias inteligentes e com foco em resultados.

Agradeço aos Gerentes Erick Torres Bispo dos Santos, Jose Sergio Brandão Leal, Juliano Coelho Santos, Flávio Pugnall da Silva, pelas oportunidades e desafios propiciados com a vivência e aplicação destes conhecimentos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Rigoni, ao Prof. Denis Mazzei e demais professores, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

Aos meus colegas de sala e de empresa pelas discussões e aprendizados discutidos. Agradeço aos colegas de equipe no levantamento de informações e aplicações dos conceitos na rotina de manutenção da área, resultando em evolução do aprendizado e nível de confiabilidade dos equipamentos escopo deste trabalho.

Registro também, o meu reconhecimento à minha família, pois sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Agradeço a todos os que contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

LACERDA, Wladimir Junior. **Análise de dados de vida dos freios de um redutor secundário do sistema de basculamento de convertedores de uma Aciaria.** 2017. 71 p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A Análise de Dados de Vida de sistemas e componentes ainda é uma metodologia pouco aplicada na indústria brasileira em geral e principalmente na área de Siderurgia. Este trabalho avalia a aplicação da metodologia e realiza a análise da mesma em um equipamento crítico de uma Aciaria. Os sistemas críticos, para atingir resultados focados em elevação de segurança e desempenho, exigem utilização de análises apuradas a partir do histórico de falhas disponíveis e conceitos da Engenharia de Confiabilidade. O sistema avaliado neste trabalho são os freios do sistema de basculamento do Conversor. Este sistema altamente crítico, pois pode impactar na segurança de pessoas e equipamentos da Aciaria e como consequência no resultado de produção da empresa. Após a avaliação e compilação dos dados de históricos de falhas são realizadas análises através do software Weibull ++, identificando a confiabilidade atual do sistema de forma quantitativa e as curvas de falhas características. Com o resultado é possível avaliar o nível de manutenção atual realizado no sistema indicando a necessidade de implementação de análises qualitativas ou investimentos para atingir o nível de confiabilidade requerida para o sistema, alinhado com o foco da estratégia da manutenção a ser definida também como resultado dos números identificados. Os dados utilizados na pesquisa e desenvolvimento dos trabalhos são reais e validados no histórico do sistema informatizado de manutenção da ArcelorMittal Tubarão e confirmam a análise qualitativa atualmente realizada na manutenção da área.

Palavras-chave: Análise de Dados de Vida. Weibull. Engenharia de Confiabilidade. Freio. Conversor.

ABSTRACT

LACERDA, Wladimyr Junior. **Análise de dados de vida dos freios de um redutor secundário do sistema de basculamento de convertedores de uma Aciaria.** 2017. 71 p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The system and components Life Data Analysis is still a few applied methodology in the Brazilian industry in general and mainly in the Steel industry. This research evaluates the application of the methodology and performs the analysis in a critical equipment of a Steelmaking Plant. Critical systems, to achieve results focused on increased safety and performance, require the use of accurate analysis from the available failures data and Reliability Engineering concepts. The system evaluated in this research are the brakes of the BOF Converter vessel tilting system. This highly critical system, since it can impact the people safety people and equipment of the Steelmaking and as a consequence in the production company result. After evaluation and compilation of failure history data, Weibull ++ software analysis is performed, identifying the system current reliability in a quantitative way and the characteristic failure curves. With the result it is possible to evaluate the current level of maintenance in the system indicating the need to implement qualitative analyzes or investments to reach the reliability level required for the system, aligned with the focus of the maintenance strategy to be defined also as a result of the numbers. The data used in the research and development of the works are real and validated in the history of ArcelorMittal Tubarão TI maintenance system and confirm the qualitative analysis currently performed in the area maintenance.

Palavras-chave: Life Data Analysis. Weibull. Reliability Engineering. Break. BOF Converter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. 1 - Layout da ArcelorMittal Tubarão- em destaque área da Aciaria	15
Figura 1. 2 - Layout Convertedor e Sistema de recuperação de Gás LD	16
Figura 1. 3 - Redutor Secundário basculamento do Convertedor 3	19
Figura 1. 4 - Montagem redutores primários, secundário no eixo do convertedor.....	19
Figura 2. 1 - Conversor Bessemer.....	23
Figura 2. 2 - Seção transversal esquemática de um convertedor LD utilizando insuflação de oxigênio pelo topo	24
Figura 2. 3 - Seção transversal esquemática de um forno “Siemens-Martin”	25
Figura 2. 4 - Vista lateral freio 3C com 02 atuadores a esquerda e foto de conjunto de freio com disco sólido	27
Figura 2. 5 - Vista superior do freio 3C com esquema indicação Lado Direito	28
Figura 2. 6 - Tabela com principais dimensões e informações do freio e cotas conforme figuras 2.4 e 2.5.....	28
Figura 2. 7 - Condição de operação do freio no convertedor e componentes	29
Figura 2. 8 - Bobina com trinca identificada durante peritagem do freio	30
Figura 3. 1 - Variável de estado $X(t)$ e seus estados.....	33
Figura 3. 2 - Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x	35
Figura 3. 3 - Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x	36
Figura 3. 4 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull.....	38
Figura 3. 5 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull.....	39
Figura 3. 6 - Representação de taxa de falha com distribuição exponencial.....	39
Figura 3. 7 - Representação de pdf com distribuição Weibull	40
Figura 3. 8 - Considerações sobre a Taxa de Falhas.....	41
Figura 4. 1 - Relatório simplificado com lista dos registros de falhas do período pesquisado	47
Figura 4. 2 - Filtro do sistema para consulta do Relatório Simplificado de anomalias	47
Figura 4. 3 - Print da tela do Plano de Serviço de limpeza e ajuste dos freios.....	48
Figura 4. 4 - Print da tela do Plano de Serviço de limpeza das bobinas durante paradas de linha do convertedor 1	49
Figura 4. 5 - Print da tela do Plano de inspeção mensal dos freios.....	50
Figura 4. 6 - Print da tela do detalhamento do Plano de inspeção mensal dos freios	50
Figura 4. 7 - Print da tela do detalhamento de Ordem de Serviço Individual.....	51
Figura 4. 8 - Gráfico da Confiabilidade Condicional para os freios da posição 1 e 3 utilizando Análise de Dados de Eventos Recorrentes (RDA).....	53
Figura 4. 9 - Tela da base de dados para RDA de Sistemas Reparáveis lançados no Weibull ++	54

Figura 4. 10 - Gráfico de Confiabilidade condicional para o freio posição 1.....	55
Figura 4. 11 - Gráfico de Confiabilidade condicional para o freio posição 3.....	56
Figura 4. 12 - Gráfico de probabilidade de Falha condicional para o freio posição 3	56
Figura 4. 13 - Gráfico de Confiabilidade condicional para o freio troca de conjuntos	57
Figura 4. 14 - Diagrama de Bloco de Confiabilidade do sistema de freios	58
Figura 4. 15 - Gráfico de probabilidade de falha do sistema de freio com LDA.....	58
Figura 4. 16 - Calculadora do módulo Weibull++ com resultado da probabilidade de falha pontual do sistema LDA.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	ASPECTOS GERAIS	14
1.2	ASPECTOS ESPECÍFICOS	14
1.3	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.4	OBJETIVOS	17
1.4.1	Objetivo Geral.....	17
1.4.2	Objetivos Específicos	17
1.5	JUSTIFICATIVAS	18
1.6	METODOLOGIA.....	20
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	CONTEXTO DE PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO DA ACIARIA.....	22
2.1	INTRODUÇÃO	22
2.2	ASPECTOS GERAIS	22
2.3	OPERAÇÃO DO CONVERTEDOR LD E MÉTODOS DE MANUTENÇÃO 25	
2.4	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS FREIOS A DISCO	27
2.5	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO	30
3	CONCEITOS DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	32
3.1	INTRODUÇÃO	32
3.2	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	32
3.3	LDA – LIFE DATA ANALYSIS	33
3.3.1	Tempo até a falha.....	33
3.3.2	Descrevendo confiabilidade.....	34
3.3.3	Taxa instantânea da falha e distribuição de tempos até a falha	35
3.3.4	Análise de confiabilidade de sistemas	41
3.3.5	Análise de dados recorrentes (RDA) para análise de falhas	41
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	42
4	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO LDA	44
4.1	DEFINIÇÃO DO SISTEMA, COLETA DE DADOS E RBD	44
4.2	SIMULAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE CURVA DE FALHA.....	52
4.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	59
5	CONCLUSÃO	61
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	63

ANEXO A – DESCRIÇÃO CÓDIGO DO FREIO VULKAN	64
ANEXO B – MODOS DE FALHAS DO REGISTRO HISTÓRICO	66
ANEXO C – PERITAGEM DE CONJUNTO DE FREIOS REALIZADO EM FORNECEDOR EXTERNO SIME	68
ANEXO D – REPARO DE CONJUNTO DE FREIO FORNECEDOR EXTERNO	70

1 INTRODUÇÃO

A busca por alcance de ativos confiáveis para garantia dos resultados objetivos de uma organização motiva adotar ações para alcançar excelência na gestão, indispensável para o sucesso empresarial e pessoal.

Neste contexto torna-se necessário e premissa para evolução da gestão dos ativos a aplicação de Engenharia de Confiabilidade Quantitativa, orientando a direção para tomada de decisões de manutenções preventivas e controle de custo com garantia de desempenho dos equipamentos. Os modelamentos e estudos realizados já são aplicados em vários segmentos da indústria e no fornecimento de serviços mundiais, com resultados comprovados de ganhos financeiros ou eliminação de perdas.

1.1 ASPECTOS GERAIS

A Análise de Dados de Vida torna-se ferramenta essencial para a início da criação da cultura de análise quantitativa, permitindo análises mais assertivas e definição de ações estratégicas dentro da manutenção das áreas de uma Usina Integrada de Siderurgia no cenário de desafio constante de alta performance da excelência no resultado das operações.

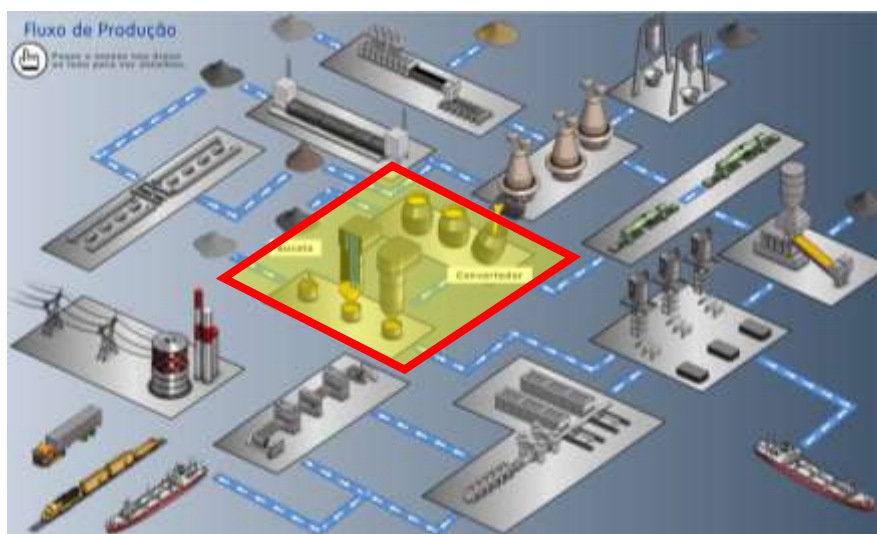
A aplicação da metodologia permitirá entender os mecanismos de falha de forma quantitativa e realizar previsões de desempenho durante a vida útil dos ativos.

1.2 ASPECTOS ESPECÍFICOS

A ArcelorMittal Tubarão é uma usina integrada de produção de aço. Seu processo produtivo engloba:

- Recebimento, preparação e estocagem das matérias-primas;
- Fabricação de sínter, coque e gusa;
- Produção de aço líquido;
- Transformação do aço líquido em placas e destas em bobinas a quente;
- Embarque dos produtos acabados em sistema multimodal;

Figura 1. 1 - Layout da ArcelorMittal Tubarão- em destaque área da Aciaria

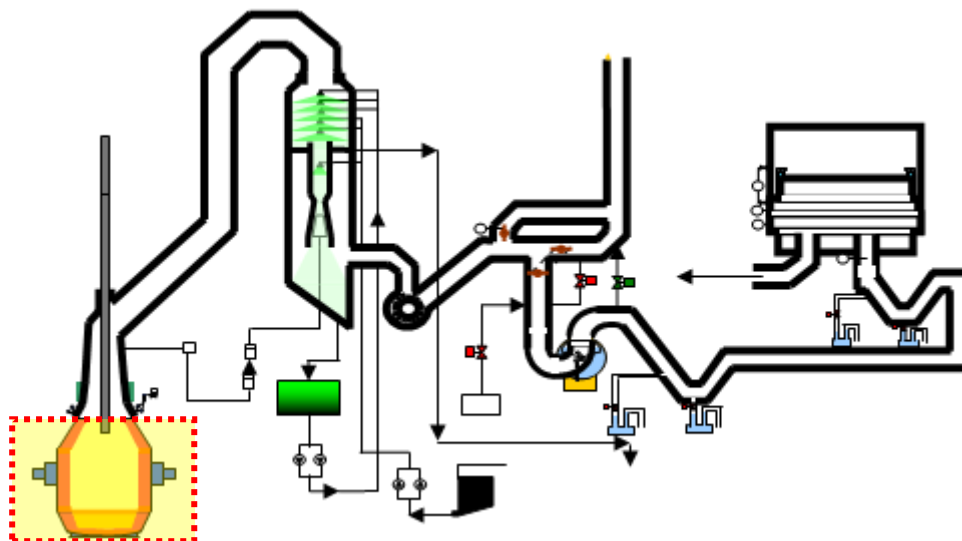


Fonte: Adaptado de <http://tubarao.arcelormittal.com/quem-somos/arcelor-mittal-tubarao/estrutura-organizacional/index.asp> 2017.

No processo de fabricação de aço nos Convertedores LD, ocorrem as fases de fusão e refino da carga metálica (gusa + sucata), através do sopro de oxigênio, objetivando preferencialmente a descarburização. Durante o sopro de oxigênio ocorre a oxidação dos elementos contidos no ferro-gusa (C, P, Si, Mn, etc), gerando elevação da temperatura do metal (fase fusão), e eliminação dos elementos indesejáveis na fase de refino do aço (P, Si, etc).

Os Convertedores 1 e 2 tiveram seu *startup* de operação em 1983, o Convertedor 3 com *startup* em 2006 e têm capacidade para tratamento de 315 toneladas de aço líquido por corrida. Possui sistema de basculamento com 04 motores/ redutores primários e 01 redutor secundário de basculamento para permitir o giro do Convertedor em 360°, possibilitando o carregamento do gusa e vazamento do aço e escória após processamento.

Figura 1. 2 - Layout Convertedor e Sistema de recuperação de Gás LD



Fonte: Sistema de desenhos e informações técnicas AMT - Meridian, 2017.

O sistema de basculamento do Convertedor é um sistema crítico com classificação máxima de impacto (AA) na produção da usina, conforme critério de avaliação definido no Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos da empresa.

Os redutores Secundários possuem um rolamento de esferas de grande porte. Para permitir parada do basculamento em qualquer ângulo necessário de operação, cada motor de acionamento possui um sistema de freio com 02 atuadores por motor, totalizando 08 freios operando 24 horas no sistema de basculamento do Convertedor.

O trabalho propõe uma análise de dados de vida dos freios do sistema de basculamento de convertedores de uma aciaria.

1.3 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O histórico de manutenção dos equipamentos com confiabilidade dos dados de intervenções é desafio para pesquisa na base do Sistema Informatizado de Manutenção do sistema proposto.

A proposta também se refere à utilização de informações de reparos em fornecedores externos e internos dos freios do basculamento através da consulta do sistema de compras corporativa e código do conjunto de freios.

Atualmente as trocas e manutenções dos freios do sistema de basculamento são realizadas baseado no histórico de experiência dos mantenedores. Desta forma ocorre troca de freios antes do período necessário podendo gerar inclusão de falha humana durante as intervenções de troca dos freios e custo elevado de manutenção. Também ocorre risco elevado de perda de produção, devido à possibilidade de falha dos freios podendo ocasionar danos elevados ao sistema de basculamento do convertedor. Em 2016 a falha do sistema de basculamento do convertedor 3 (06/03/2016) ocasionou perda de produção de aproximadamente 12 horas nas Máquinas de Lingotamento Contínuo. Considerando uma margem de contribuição de referência de US\$ 120/ tonelada de aço e uma produtividade de 315 toneladas/ hora, a parada teve um impacto de perda de margem de contribuição de aproximadamente US\$ 453.600.

A análise de falha deste evento indicou forte correlação de cargas axiais que também podem ser geradas devido falhas dos freios, ocasionando cargas axiais elevadas nos rolamentos dos eixos pinhões com risco de quebra dos mesmos e parada do equipamento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver análise de dados de vida dos freios do sistema de basculamento dos convertedores e propor uma estratégia de gestão destes ativos críticos, com foco em aumento da Confiabilidade da Aciaria.

Com o conhecimento da vida característica deste subsistema e o histórico de manutenções realizadas será possível avaliar e definir a melhor estratégia de manutenção e trocas de conjuntos de freios, reduzindo o risco de falhas, sobrecargas no sistema e paradas com perdas de produção.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar as características de vida dos freios do basculamento dos convertedores 1 e 2;

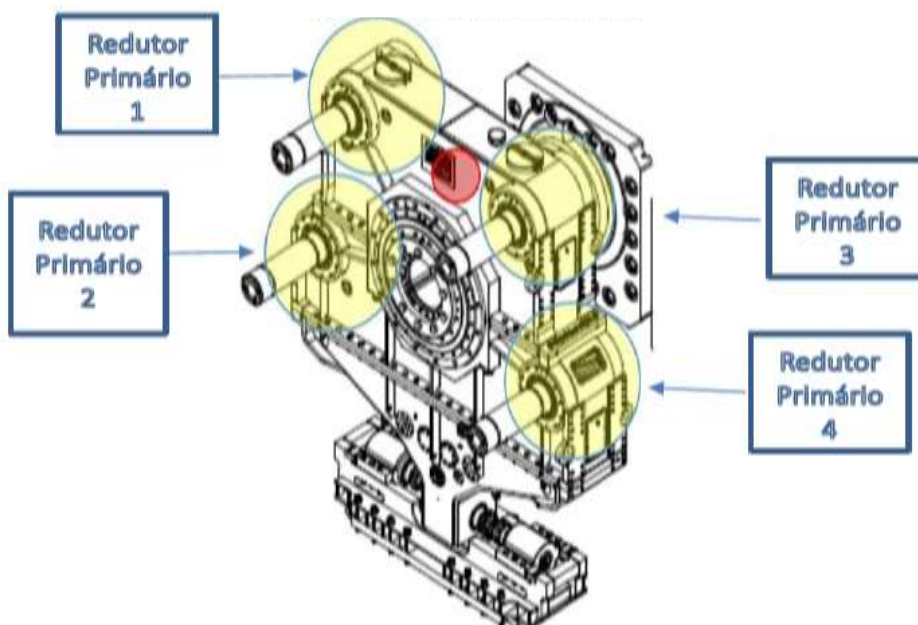
- Organizar o processo de coleta, organização e validação dos dados de falhas dos itens foco da pesquisa;
- Identificar estratégias de manutenção e gestão dos ativos do sistema de basculamento para auxílio na definição de paradas programadas e frequência de planos de manutenção;
- Levantar a confiabilidade atual do sistema avaliando a premissa de nível de confiabilidade necessária para o patamar de produção necessário para os desafios do aumento de produção;
- Aplicar a metodologia LDA e Engenharia de Confiabilidade em ativos de uma Aciaria, testando a aplicabilidade e ganhos esperados;
- Promover uma análise quantitativa da confiabilidade dos ativos definidos no escopo para verificação de alinhamento da estrutura gerencial e da direção da empresa, contribuindo para a tomada de decisão e nível de investimento necessário;

1.5 JUSTIFICATIVAS

As falhas dos sistemas de freios do basculamento, conforme já registrado em histórico de ocorrências, gera elevado impacto e altas cargas no sistema de acionamento (engrenagens de redutores e rolamentos) sendo potencial modo de falha deste sistema com possível consequência de grandes paradas para reparo deste sistema que requer fabricação de componentes importados e com elevado tempo de fabricação.

Por estes motivos torna-se necessário e condição de garantia de confiabilidade do equipamento projetar a vida útil destes componentes.

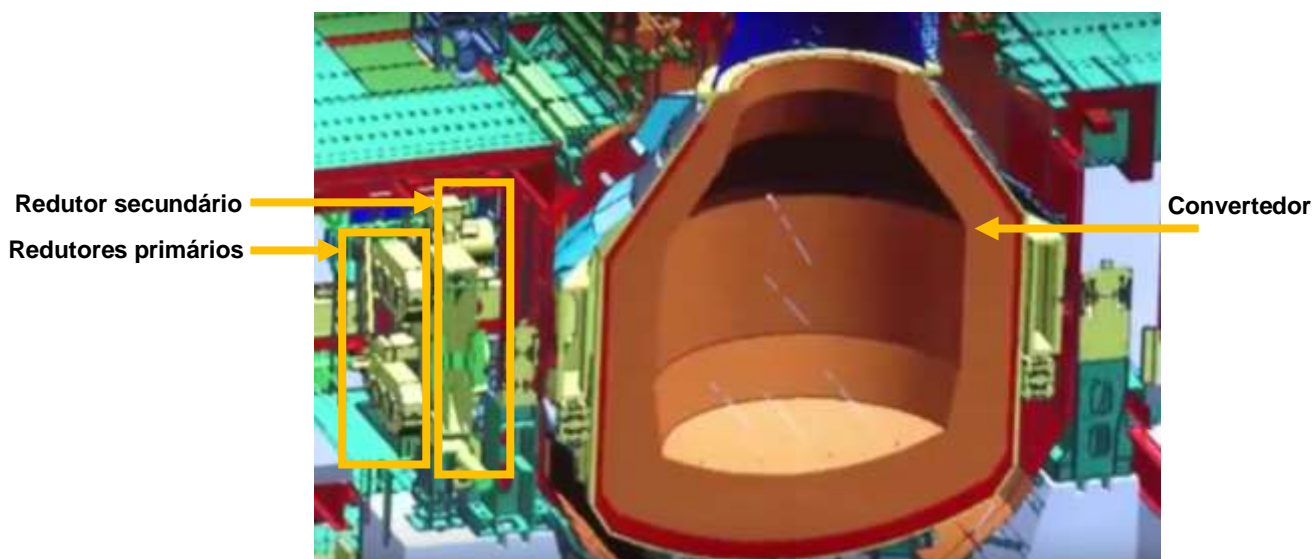
Figura 1. 3 - Redutor Secundário basculamento do Convertedor 3



Fonte: Desenho AMT Meridian, 2017.

No redutor secundário conforme mostrado na figura acima são montados os redutores primários, freios e motores elétricos nos respectivos eixos.

Figura 1. 4 - Montagem redutores primários, secundário no eixo do convertedor



Fonte: Adaptado de <https://www.primetals.com/pt/portfolio/producao-de-aco/fabricacao-de-aco-carbono-em-convertedor/>, 2017.

Os redutores primários são montados nas 04 pontas de eixo do redutor secundário e são responsáveis pela transmissão de torque para o redutor secundário e basculamento do convertedor.

1.6 METODOLOGIA

Flávio Fogliatto (2009) considera que a função de vida residual média corresponde à vida remanescente esperada da unidade, dado que ela sobreviveu até o tempo t . O autor também descreve que a função de confiabilidade $R(t)$ informa a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação (isto é, ausência de falhas) no intervalo de tempo $(0, t)$ e ainda estar funcionando no tempo t . A função de confiabilidade $R(t)$ é também denominada função de sobrevivência.

Utilizando análise de dados de vida para identificar o comportamento de vida e vida característica para os componentes propostos esperasse ajustar o melhor modelo de gestão de componentes.

A pesquisa bibliográfica identificará os principais conceitos relacionados a Análise de Dados de Vida (LDA) e os métodos e técnicas possíveis para aplicação na análise da gestão dos ativos.

Na primeira fase é descrito o processo em que será analisado e aplicado a metodologia, definindo os conceitos dos processos e equipamentos envolvidos, bem como seus limites de atuação, para foco na análise

Na segunda fase o foco é contextualizar a teoria da Engenharia da Confiabilidade e LDA, tendo por base as pesquisas bibliográficas realizadas. Identificou-se os conceitos de confiabilidade e LDA, tipos de distribuições aplicáveis e parâmetros balizadores, disponíveis na literatura pertinente, para análise das condições próprias para o andamento da pesquisa. Alinhado os parâmetros e conhecimentos aplicáveis, iniciou-se a análise dos dados consolidados. Os dados foram coletados do sistema informatizado de manutenção utilizado na empresa (SISMANA), considerando uma base de 16 anos de histórico, reparos emergenciais, trocas programadas por solicitação individual ou planos automáticos de serviço e relatórios de ocorrências e análises de falhas.

Para as análises foi utilizado *software* específico da Reliasoft com os módulos Weibull ++ e BlockSim.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto por 05 capítulos, sendo:

- Capítulo 1 – Introdutório.
- Capítulo 2 – Descrição do processo limite da pesquisa.
- Capítulo 3 – Fundamentação teórica e procedimentos metodológicos.
- Capítulo 4 – Análises e resultados da pesquisa, propostas.
- Capítulo 5 – Conclusões e Elementos complementares.

O Capítulo 1, introdutório do trabalho, está alinhado com a prática da metodologia de pesquisa, definindo o problema de pesquisa e justificativas para execução da análise e etapas com planejamento do estudo.

O Capítulo 2 estabelece e define os limites da pesquisa e contexto de equipamentos e processos onde será aplicado, indicando a relação intensa entre a área de aplicação e a fundamentação do processo de produção.

O Capítulo 3 inicia a fundamentação teórica da pesquisa com as descrições dos conceitos aplicados conforme referências bibliográficas pesquisadas, evidenciando os elementos da Engenharia de Confiabilidade e Análise de Dados de Vida.

O Capítulo 4 aborda a análise realizada do sistema de basculamento com aplicação de LDA, considerando as análises pertinentes para o desenvolvimento e aplicação da metodologia. Considerando o conhecimento do sistema, análise focada para auxílio na tomada de decisão da Gestão de Manutenção.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos na análise com as devidas considerações e aprendizados detalhados. Com a análise dos resultados são descritas as conclusões e possibilidades de evolução.

2 CONTEXTO DE PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO DA ACIARIA

Este capítulo apresenta o processo de operação do basculamento do convertedor e demais relações da área de operação da aciaria com foco na produção de Aço. A partir dessa abordagem serão alinhadas as demandas do processo da Aciaria e relação com o basculamento do convertedor e critérios de manutenção.

2.1 INTRODUÇÃO

Os itens abordados neste capítulo fundamentam as análises que serão realizadas com base na LDA. Também procura esclarecer as interferências do processo de operação e manutenção visando analisar soluções para as dificuldades desta interface de processo e manutenção. O conhecimento do processo produtivo permitirá conhecer as fontes das causas dos modos de falhas que podem impactar no histórico de falha do conjunto de freios do sistema de basculamento.

2.2 ASPECTOS GERAIS

O processo da produção de aço dos Convertedores requer uma alta confiabilidade dos equipamentos da Aciaria para garantir a entrega do volume de produção necessário com segurança. O posicionamento do vaso do Convertedor (ângulo de operação) é realizado pelo sistema de acionamento do basculamento que é composto pelos subsistemas abaixo:

04 DRIVES DE ACIONAMENTO

04 MOTORES

04 REDUTORES PRIMÁRIOS

08 FREIOS ESTACIONÁRIOS

01 REDUTOR SECUNDÁRIO

01 EIXO MUNHÃO PRINCIPAL DO CONVERTEDOR

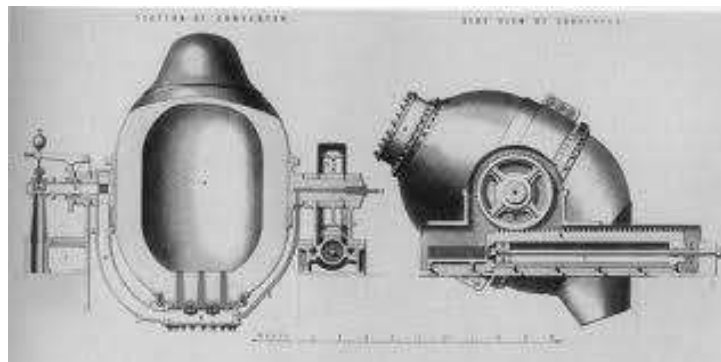
O ferro é um metal utilizado desde as civilizações antigas pelo homem. As civilizações da Assíria, Babilônio, Egito, Pérsia, China, Índia e mais tarde a Grécia e Roma fabricavam, por processos primitivos, armas e objetos de ferro e aço.

De acordo com Chiaverini, em épocas mais recentes, a partir provavelmente do século XIII, o processo mais comum era o da “forja catalã”, na qual o material comumente obtido era exatamente o ferro pudlado.

Sendo o ferro gusa uma liga de ferro-carbono em que as impurezas se encontram em teores elevados, a sua transformação em aço, segundo Chiaverini, que é uma liga de mais baixos teores de C, Si, Mn, P e S, corresponde a processo de oxidação, por intermédio do qual a porcentagem dos elementos indesejados é reduzida até valores especificados.

Um dos processos pneumáticos, que ocorre com a injeção de ar ou oxigênio pelo fundo, lateral ou topo é o conversor Bessemer, cujo nome é devido ao inventor, em 1847, na Inglaterra.

Figura 2. 1 - Conversor Bessemer



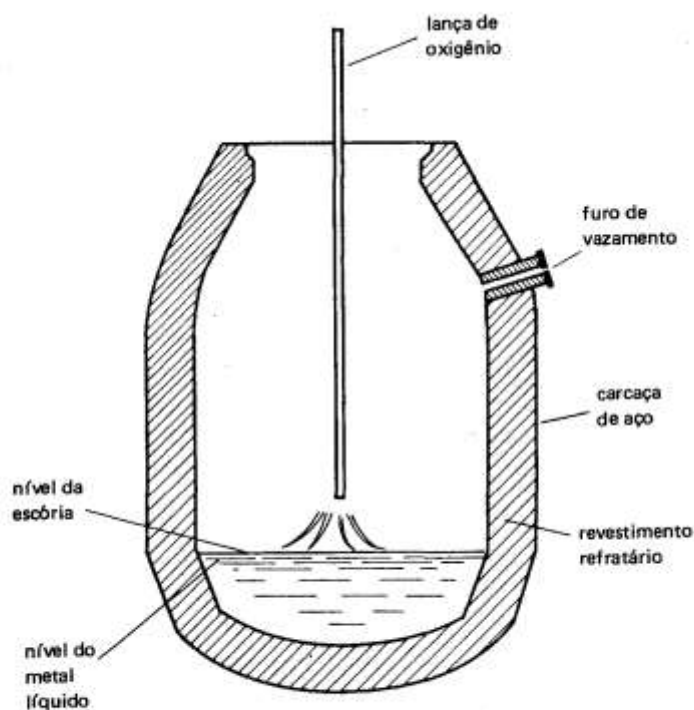
Fonte: CHIAVERINI, 1986.

O posicionamento deste tipo de conversor era realizado por um sistema de cremalheira que garantia os ângulos requeridos para o carregamento e vazamento do gusa e aço.

O conversor sopro pelo topo mais famoso é o processo LD (Linz- Donawitz). Neste processo o oxigênio puro (95 a 99,5%) é introduzido por uma lança refrigerada a água. Um conversor 2t foi instalado em Linz (Áustria), e em Donawitz foram desenvolvidos trabalhos posteriores em convertedores de 5 a 10t. Em agosto

de 1954 entrou em operação a primeira aciaria LD fora da Austria, em Hamilton, Canadá.

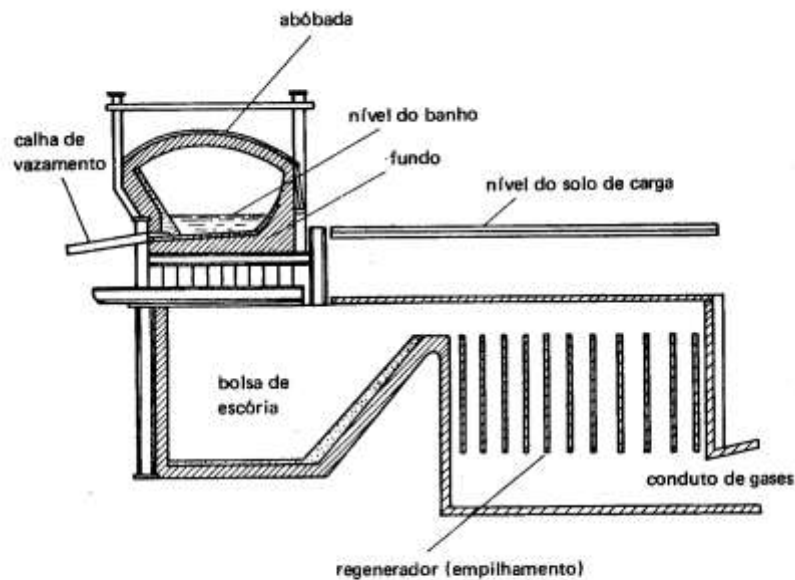
Figura 2. 2 - Seção transversal esquemática de um conversor LD utilizando insuflação de oxigênio pelo topo



Fonte: CHIAVERINI, 1986.

Outro tipo de conversor é o processo Siemens-Martin que consiste em aquecer uma determinada carga de material ferroso num forno de sola mediante um combustível em mistura com ar, ambos previamente aquecidos, de modo a atingir a temperatura de vazamento de aproximadamente 1650 °C. A grande dificuldade deste forno é o tempo utilizado para o processo (6 a 8 horas em média), que é muito superior ao tempo nos Conversores LD (15 a 20 minutos). Desde o início do século XX até a década de 60 foi o principal tipo de forno utilizado nas aciarias. Deixou de ser viável devido à redução do preço de energia elétrica em relação ao aquecimento de gás.

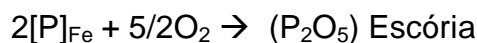
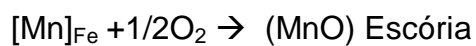
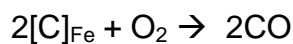
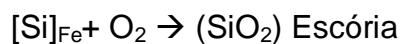
Figura 2. 3 - Seção transversal esquemática de um forno “Siemens-Martin”



Fonte: CHIAVERINI, 1986.

2.3 OPERAÇÃO DO CONVERTEDOR LD E MÉTODOS DE MANUTENÇÃO

Na transformação do ferro gusa em aço o carbono é queimado e projetado para fora do banho de metal líquido na forma de CO e CO₂. Os elementos Silício, Manganês e Fósforo são oxidados durante o sopro de O₂, e formam a escória. Segue as principais reações que ocorrem nesta etapa:



O sopro de Oxigênio tem duração de 15 a 24 minutos. Para as etapas de produção do aço são requeridas posições de basculamento do Convertedor de forma a permitir a realização da etapa da produção do aço, conforme abaixo:

- 40 a 47° - Carregamento do Convertedor com gusa líquido e sucata pela Ponte rolante (boca lado carregamento);
- -2 a 2° - Sopro de oxigênio no Convertedor (boca para cima);
- -90 a -30° – Vazamento do aço após sopro de oxigênio na Panela de Aço (boca para lado vazamento);
- 110 a 140° - Vazamento de escória no pote (lado vazamento porem abaixo da linha horizontal);

O processo de produção de aço da ArcelorMittal Tubarão é de convertedor tipo LD. O giro do Convertedor pode ser realizado a 360° sobre o seu eixo, permitindo também a realização do *slag colting* (basculamento com um residual de escória na parte interna no convertedor que protegerá o refratário para a próxima corrida) e proteção com sucata no fundo do Convertedor. Devido condição de equilíbrio de massa do vaso do Convertedor, em posições de ângulo diferente de 0° ocorre o efeito “João Bobo”, onde o equipamento busca a condição do centro do equilíbrio da massa retornando para a posição 0°. O projeto do vaso do convertedor é elaborado para garantir esta condição de operação, eliminando a possibilidade de derramamento de aço líquido no piso do convertedor e danos aos equipamentos, em caso de falta de alimentação elétrica dos motores ou falhas dos freios (não fechamento dos freios).

Durante o movimento de basculamento do convertedor os drives fazem o monitoramento do torque de forma independente em cada motor de acionamento. Caso ocorra diferença de torque entre os motores o drive faz a correção para o motor requerido. A rotação nominal máxima do sistema é de 1,5RPM e esta velocidade é atingida com até 4 segundos de acionamento.

As paradas programadas do sistema de basculamento são executadas em frequência de 56 dias (duração de até 16 horas), para manutenção de rotina, e a cada 06 meses para paradas de manutenção de fim de campanha de refratário, com duração entre 07 a 15 dias.

O Sistema de Basculamento do Convertedor é classificado como sistema de criticidade AA em função da avaliação de criticidade realizada de acordo com o Sistema de Gestão de Ativo da ArcelorMittal Tubarão.

2.4 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS FREIOS A DISCO

O sistema de basculamento dos Convertedores possui freios a disco eletromagnético SIME modelo 3C-RA. O Código registrado no sistema de materiais da ArcelorMittal Tubarão é o 12070687 (referência: SIME DO BRASIL FED2 3C; RA 30 D SP 00 00 PP PS;). Os freios eletromagnéticos a disco possuem bobinas que trabalham com corrente contínua energizada e controlada através de conversores estáticos (fontes de alimentação).

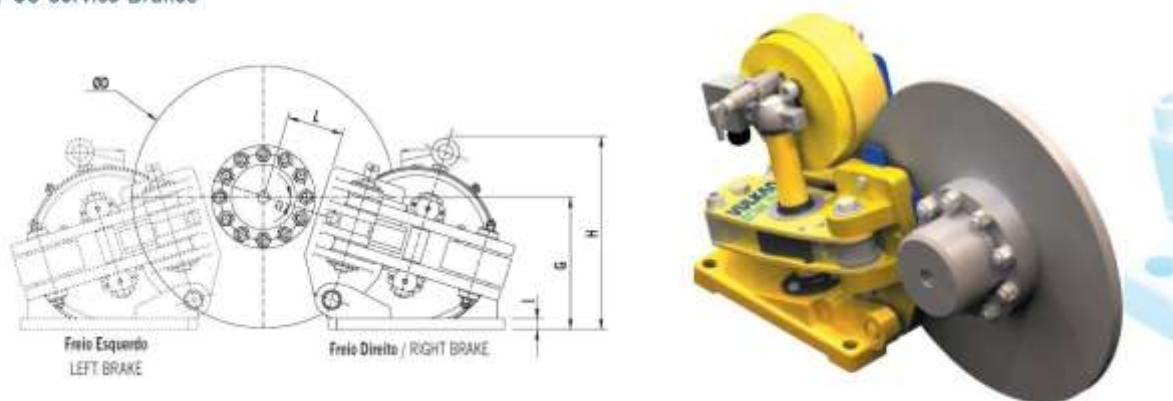
A força dos freios eletromagnéticos pode ser regulada para mais ou menos, ajustando-se a compressão do empilhamento de molas prato. A classificação é de freio de serviço, pois permitem um grande número de manobras por hora, devido à relação entre a força de frenagem e as dimensões de suas pastilhas, podendo ser aplicados com discos sólidos e autoventilados.

Segue abaixo descrição do complemento código do modelo de freio aplicado no referido equipamento, com as características técnicas:

- 3C – Modelo do freio
- RA – Recuperação automática de desgaste

Figura 2. 4 - Vista lateral freio 3C com 02 atuadores a esquerda e foto de conjunto de freio com disco sólido

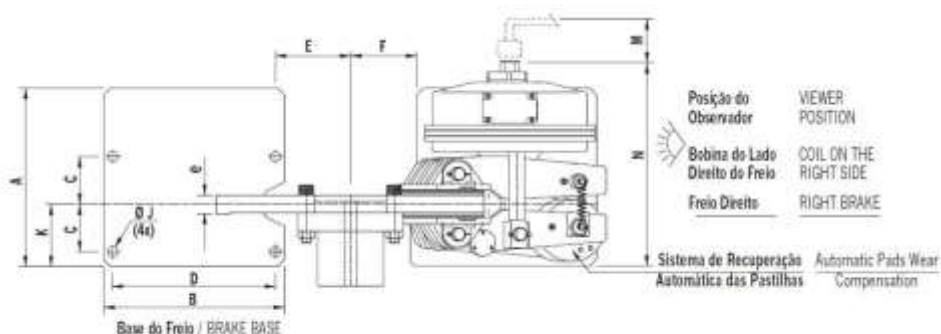
Linha C - Freios de Serviço 4C / 3C
C Line - 4C / 3C Service Brakes



Fonte: Catálogo técnico Freios Eletromagnéticos a disco Vulkan Drive Tech 2011/05.

O modelo em estudo utiliza 02 atuadores por disco. São aplicados discos sólidos conforme cálculo de carga das condições do convertedor.

Figura 2. 5 - Vista superior do freio 3C com esquema indicação Lado Direito



Fonte: Catálogo técnico Freios Eletromagnéticos a disco Vulkan Drive Tech 2011/05

O esquema da figura acima indica a configuração de montagem do freio que pode ser esquerda ou direita. Esta condição é definida pela posição do observador olhando do lado do sistema de recuperação automática de pastilhas. A bobina localizada a esquerda ou direita define o esquema de montagem.

Figura 2. 6 - Tabela com principais dimensões e informações do freio e cotas conforme figuras 2.4 e 2.5

Freio 3C - Peso: 190 [kgf] / 3C Brake - Weight: 190 [kgf]																		
Discos / Discs	MF	EF	Dimensões Principais [mm] / Main Dimensions [mm]															
OD [mm]	[Nm]	[N]	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	e	α
445	1.725						100	80	285					90				
495	1.985						120	100	295					115				
550	2.265	10.300	390	400	117,5	360	150	130	305					145				
625	2.650						185	165	315	405	25	$\emptyset 22$	135	180	100	540	30	19° 30'
705	3.065						225	205	330					225				
795	3.530						265	245	345					265				

A VULKAN se reserva o direito de alterar formas, valores e dimensões construtivas sem prévio aviso.
VULKAN reserves the right to change shapes, values and construction dimensions without prior notice.

19

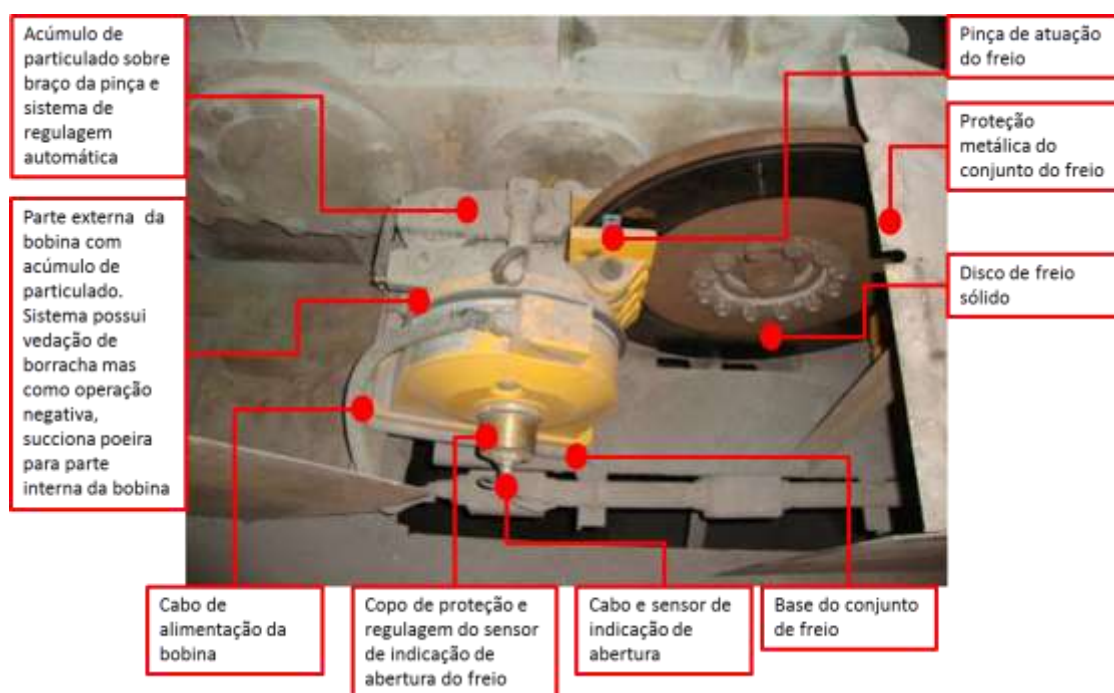
Fonte: Catálogo técnico Freios Eletromagnéticos a disco Vulkan Drive Tech 2011/05

Os freios operam com disco de diâmetro de 705mm conforme desenho AMT de referência B4120MX00892, resultando em um momento de frenagem de 3.065Nm. O custo médio de um novo conjunto de freio é de R\$ 19.790. O custo do reparo pode variar de 30% a 70% do custo do freio novo. Os reparos são realizados após peritagem realizada pelo fornecedor do reparo, definindo os componentes que deverão ser trocados. Após reparo é enviado um *data-book* pelo fornecedor

detalhando os itens substituídos, testes realizados, ferramentas e materiais utilizados.

A figura abaixo apresenta a condição de operação dos freios. Ocorre deposição de poeira e temperatura elevada na posição de operação devido às condições de processo.

Figura 2. 7 - Condição de operação do freio no conversor e componentes



Fonte: Peritagem e inspeção de área, 2011.

O acúmulo de particulado sobre os braços das pinças podem gerar travamentos do sistema. Outros pontos onde pode ocorrer acúmulo de material são a parte interna da bobina, sistema de compensação automática, compartimento do sensor de indicação de abertura dos freios. Apesar da proteção de borracha existente na parte externa do entre ferro da bobina o freio opera com pressão negativa na parte interna, podendo ocorrer sucção de particulado para a parte interna. O acúmulo deste particulado gera calço interno no entre ferro da bobina, ocasionando abertura inadequada do gap e fechamento/ falha indevida do freio. Em peritagens durante reparo do conjunto foi identificada trinca da bobina. As trincas ocasionam perda de força do campo magnético gerado pela bobina.

Figura 2. 8 - Bobina com trinca identificada durante peritagem do freio



Fonte: Peritagem e inspeção de reparo externo do freio, 2011.

O plano atual de manutenção estabelece a necessidade de limpeza periódica do freio, porém a condição mostrada na figura acima só pode ser identificada com a desmontagem do freio em bancada. Para esta condição é importante ressaltar a condição de peritagem criteriosa durante reparo do conjunto, permitindo identificar este tipo de falha. A fixação adequada da borracha de proteção do entre ferro é item crítico que deve fazer parte do plano de inspeção de rotina do freio em operação.

2.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os processos de produção de aço, informações históricas do processo produtivo e características técnicas dos freios a disco considerados para o estudo em questão. Foram descritas as características do equipamento utilizado na análise tornando possível o diagnóstico do comportamento dos componentes e seus respectivos modos de falha.

O conhecimento do processo de produção de aço permitiu uma análise da importância do componente e subsistema avaliado no estudo, tornando possível a compreensão das características de funções destes componentes e seus

respectivos riscos para o processo produtivo, para o equipamento e para a segurança das pessoas.

A confiabilidade do sistema de basculamento esta alinhada a função de vazamento de aço e demais manobras com o vaso do convertedor nas respectivas velocidades e torques requeridos, sendo as falhas do sistema definidas a partir das falhas funcionais relacionadas ao processo de produção do aço.

Os conceitos e definições descritos no próximo capítulo são as formulações matemáticas elaboradas para tratar as variáveis das amostras de dados de vida que serão utilizadas para analisar o comportamento do sistema definido neste trabalho. Portanto as características descritas neste capítulo permitirão uma avaliação completa do sistema e permitirão também definir seus limitadores frente ao método escolhido para o desenvolvimento da pesquisa.

3 CONCEITOS DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

3.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Leemis (1995) “a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período.” O conceito de confiabilidade em sistemas técnicos vem sendo aplicado há pouco mais de 50 anos. O conceito foi utilizado com aplicação tecnológica após o término da Primeira Guerra Mundial, quando foi utilizado para descrever estudos comparativos feitos em aviões com um, dois ou quatro motores. Naquele contexto, a confiabilidade era medida como o número de acidentes por hora de voo (FOGLIATTO, 2009).

Durante a Segunda Guerra Mundial, engenheiros da equipe de von Braun trabalharam na Alemanha para desenvolvimento de mísseis V1. Após o fim da guerra foi registrado que os protótipos desenvolvidos falharam durante os testes, explodindo durante ou antes do voo. Foi contratado o matemático Robert Lusser para analisar o sistema operacional dos mísseis. A partir da análise foi proposta a lei da probabilidade de um produto com componentes em série, que estabelecia que a confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das confiabilidades de suas partes. Foi comprovado que sistemas em série com muitos componentes tendem a apresentar baixa confiabilidade e o efeito da melhoria de confiabilidade dos componentes individualmente sobre o sistema tende a ser pequeno.

Em 1963 surgiu nos Estados Unidos a primeira associação que reunia engenheiros de confiabilidade.

3.2 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

A engenharia de confiabilidade é o ramo da engenharia voltado para o estudo da confiabilidade de sistemas de forma geral, durante o ciclo de vida e pode ser tratada de forma qualitativa e/ou também de forma quantitativa.

A seguir estão relacionados alguns tipos de análises Quantitativas: LDA, RDA, RGA, RAM *analysis*, QALT *analysis*, DOE e FTA. As variáveis que vão

quantificar a confiabilidade não podem ser definidas com exatidão, ou seja, são variáveis aleatórias, requerendo um tratamento estatístico.

3.3 LDA – LIFE DATA ANALYSIS

3.3.1 Tempo até a falha

A engenharia de confiabilidade é o ramo da engenharia voltado para o estudo da confiabilidade de sistemas de forma geral, durante o ciclo de vida e pode ser tratada de forma qualitativa e/ou também de forma quantitativa.

O tempo até a falha consiste no tempo desde o momento em que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha. $t=0$ é o início de operação do sistema. O tempo até a falha é definido com uma variável aleatória T . Fogliatto, 2009 descreve que o estado da unidade em um tempo t pode ser descrito por uma variável de estado $X(t)$, que é uma variável aleatória definida por dois estados: $X(t)=1$, no caso de a unidade estar operacional no tempo t , e $X(t) = 0$, no caso de a unidade estar não-operacional no tempo t . Segue abaixo a relação entre a variável de estado $X(t)$ e o tempo até a falha T :

Figura 3. 1 - Variável de estado $X(t)$ e seus estados



Fonte: FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009.

Variável é usada para atribuição de valores correspondentes aos dados observados. Os dados não são necessariamente numéricos, uma vez que podem dizer respeito a atributos qualitativos na população. As variáveis são definidas conforme categorias:

- Variável aleatória: assume valores fora do controle do observador;
 - Variável aleatória Discreta: conjunto de variáveis quantitativas do grupo dos números inteiros naturais;
 - Variável aleatória Contínua: conjunto de variáveis quantitativas do conjunto não enumerável. Refere-se a dados de mensuração. Exemplo: diâmetro de peças e peso de recém-nascido;

Tempo até a falha nem sempre é medido de forma contínua, podendo ser valores discretos, como número de ciclos até a falha.

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u) du, t > 0 \quad (1)$$

A função $F(t)$ que é a probabilidade de falha da unidade (1) em uma missão de duração menor ou igual a t . A densidade da probabilidade (2) é definida da seguinte forma:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) \quad (2)$$

3.3.2 Descrevendo confiabilidade

A confiabilidade da unidade é definida como sua probabilidade acumulada (3) de sucesso (FOGLIATTO, 2009). Assim em tempo t , a função de confiabilidade $R(t)$ é:

$$N_0 = N_F(x) + N_S(x) \quad (3)$$

Assim:

$$R(x) = N_S(x) / N_0 \quad (4) \quad \text{e} \quad F(x) = N_F(x) / N_0 \quad (5)$$

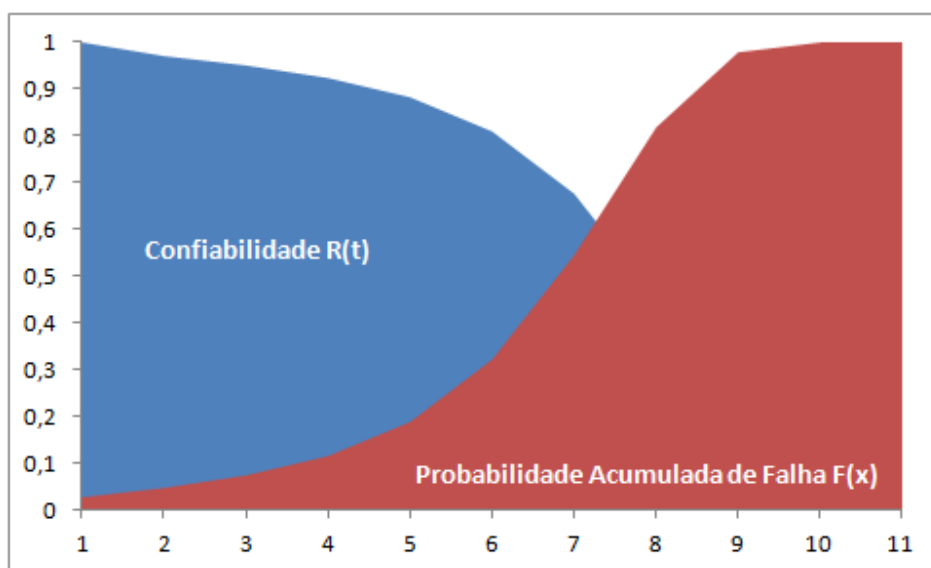
Onde $R(x)$ é a Confiabilidade (4) e $F(x)$ é a Probabilidade Acumulada de Falha ou Não Confiabilidade (5).

Assim, a função de confiabilidade $R(t)$ informa a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação (6), isto é, ausência de falhas, no intervalo de tempo $(0, t)$ e estar operando no tempo t . A função confiabilidade $R(t)$ é também conhecida como função de sobrevivência.

Conclui-se portanto que:

$$R(x) + F(x) = 1 \quad (6)$$

Figura 3. 2 - Relação probabilidade de falha $F(x)$ e probabilidade de sobrevivência após o ponto x



Fonte: adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

3.3.3 Taxa instantânea da falha e distribuição de tempos até a falha

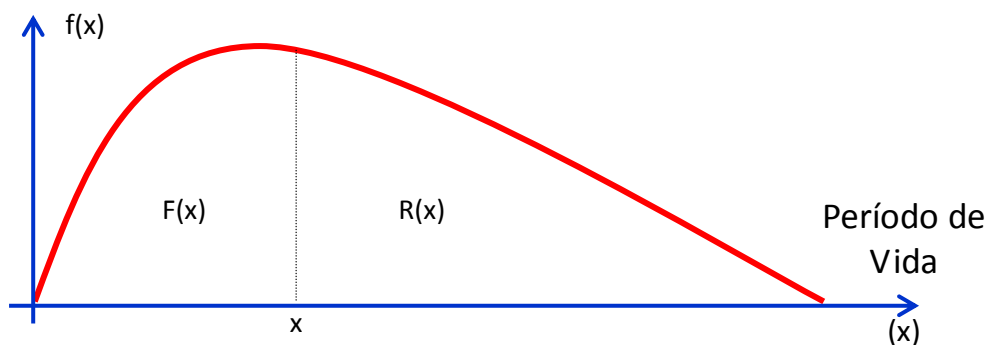
Com a derivação da função da Probabilidade Acumulada de Falha $F(x)$ ao longo do Período de Vida (x) é possível obter a Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(x)$ ou *Probability Density Function* (pdf), sendo representado por:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{d(x)} = \frac{1}{N_0} \times \frac{dNF(x)}{dx} = -\frac{dR(x)}{dx} = -\frac{1}{N_0} \times \frac{dN_s(x)}{dx} \quad (7)$$

Integrando-se $f(x)$, ao longo do período de vida (x), tem-se:

$$F(t) = \int_0^x f(x)dx \quad (8)$$

Figura 3. 3 - Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x



Fonte: adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

Considerando que a área da curva $f(x)$ (7) deve ser unitária, a equação da Confiabilidade pode ser reescrita como:

$$R(t) = \int_x^{\infty} f(x)dx \quad (9)$$

A Taxa Instantânea de Falha ou Probabilidade Condicional de Falha é dada por:

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{R(x)} \quad (10)$$

ou,

$$\lambda(x) = \frac{\text{Número de Falhas por Unidade do Período de Vida}}{\text{Número de Itens Expostos à Falha}} \quad (11)$$

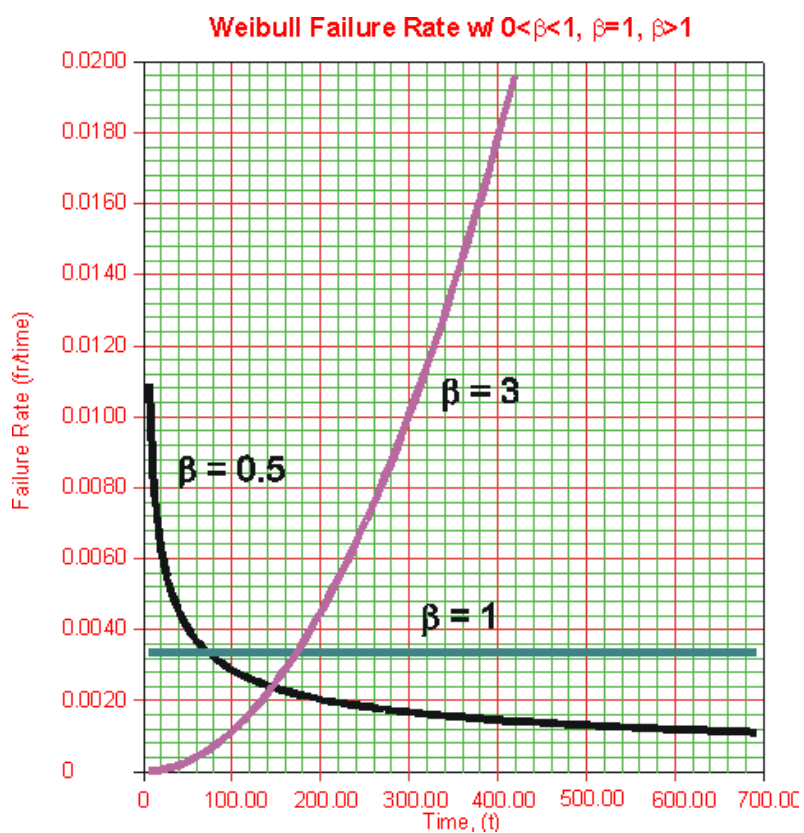
De acordo com Fogliatto (2009), tempo até a falha de uma unidade entende-se o tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até a sua primeira falha. Tais tempos podem ser conhecidos através do histórico de falhas do equipamento ou obtidos de verificações de desempenho do equipamento na área de operação ou em laboratório.

As principais distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até a falha de componentes e sistemas são: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal.

A distribuição exponencial para os estudos de confiabilidade é única distribuição contínua com função de risco constante e destaca a simplicidade das expressões derivadas. Uma das propriedades da exponencial a ser destacada é para componentes sujeitos a cargas aleatórias ou choques de processo (Fogliatto, 2009).

Distribuição de Weibull é uma das mais importantes na modelagem de confiabilidade devido a flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos. Na análise de tempos até a falha a suposição com distribuição de Weibull é um bom referencial de partida da análise. O parâmetro de forma define a função de risco. Quando $\beta < 1$ o risco é decrescente conforme indicado no gráfico abaixo. Quando $\beta = 1$, o risco é constante e a Weibull transforma-se na distribuição exponencial. Quando $\beta > 1$ o risco é crescente. A distribuição Weibull é atualmente a mais utilizada nas análises LDA e Engenharia de Confiabilidade pois possui 3 parâmetros na sua forma completa e por isso modela uma grande variedade de modos ou comportamentos de falha.

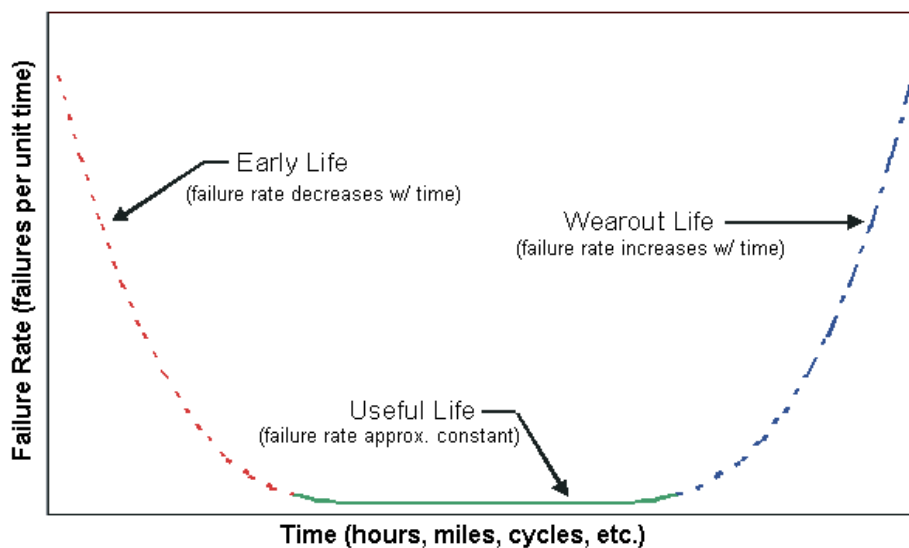
Figura 3. 4 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull



Fonte: Reliasoft. Reliability HotWire, edição 3, 2005.

O gráfico seguinte mostra um exemplo da curva da banheira indicando os comportamentos da taxa de falha em etapas da vida do ativo.

Figura 3. 5 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull



Fonte: Reliasoft. Reliability HotWire, edição 3, 2005.

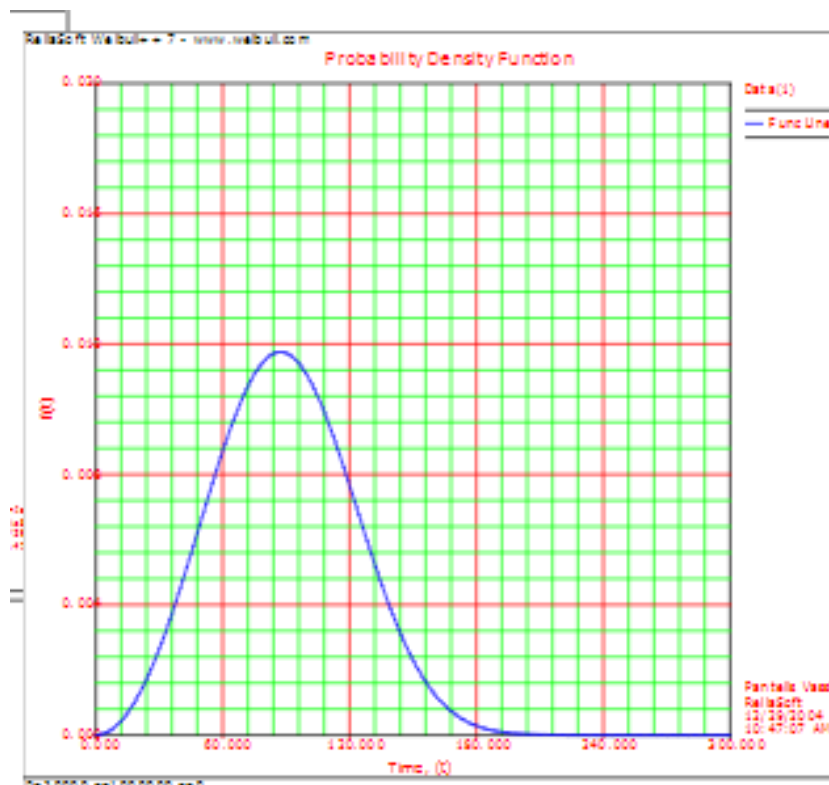
Conforme indicado no gráfico da figura anterior as falhas prematuras podem ser oriundas de falhas de projeto, montagem ou condições de treinamento para equipes de manutenção de conjunto externo. Para componentes que apresentam curva com aumento da taxa de falha ao longo da vida útil do componente, são característica de componentes mecânicos submetidos ao processo de desgaste natural característico deste tipo de sistema.

Figura 3. 6 - Representação de taxa de falha com distribuição exponencial



Fonte: Fogliatto e Ribeiro, 2009.

Figura 3. 7 - Representação de pdf com distribuição Weibull



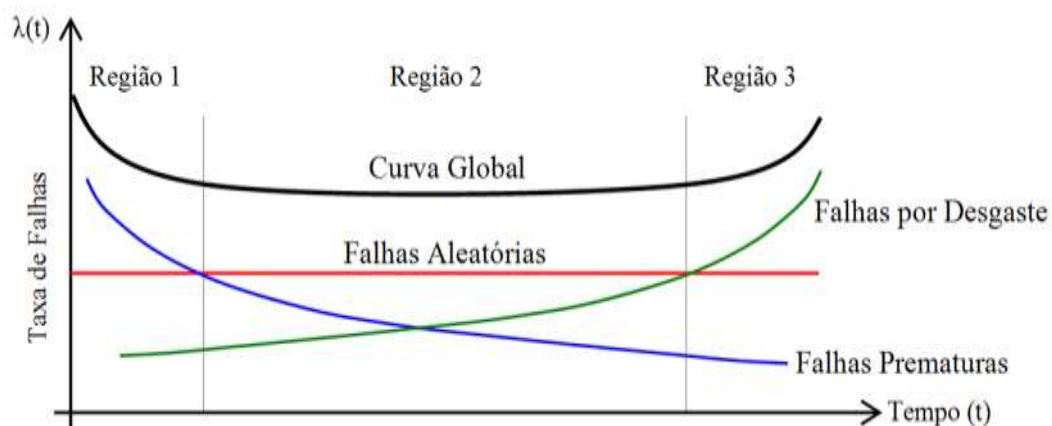
Fonte: Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

A distribuição Gama é generalizada da distribuição exponencial. Seja uma unidade exposta a uma série de choques que ocorrem conforme um processo homogêneo, com intensidade γ .

O tempo até a falha T de uma unidade segue uma distribuição lognormal se $Y = \ln T$ for normalmente atribuído (Fogliatto, 2009). Esta distribuição é muito utilizada em modelagem de tempos de reparo de sistemas reparáveis. Observa-se que a função de risco da lognormal tem o formato invertido da curva da banheira, com o risco crescendo inicialmente e, após, decrescendo de forma assintótica ao eixo x .

As falhas prematuras (mortalidade infantil) são falhas em equipamentos recém montados ou saindo de manutenção. As falhas por desgaste (fim de vida útil ou fim de vida econômica) são falhas em equipamentos com tempo elevado de uso. As falhas aleatórias ocorrem devido situações não usuais ou por influência externa ao funcionamento do equipamento.

Figura 3. 8 - Considerações sobre a Taxa de Falhas



Fonte: adaptado de Reliasoft apresentação UTFPR, 2017.

O gráfico acima mostra o comportamento dos tipos de falhas a que os sistemas estão submetidos, permitindo análise específica destes modos de falha e tratamento das causas de acordo com o comportamento da curva do sistema.

3.3.4 Análise de confiabilidade de sistemas

Para a Confiabilidade, um sistema não reparável é uma coleção de subsistemas ou componentes arranjados de maneira sequencial lógica, permitindo que o sistema cumpra sua função.

Um sistema reparável é uma coleção de subsistemas, equipamentos e itens ou componentes os quais possam ser reparados ou substituído afim de permitir que este sistema possa restabelecer as funções principais após sua falha funcional.

Um *Reliability Block Diagram* (RBD) é um diagrama de blocos representando um sistema e podem estar configurados em série, paralelo simples, combinado, reserva (*standby*), compartilhado (*load share*) e paralelo alternado (revezamento).

3.3.5 Análise de dados recorrentes (RDA) para análise de falhas

A Análise de Dados de Eventos Recorrentes (RDA) é utilizada em vários campos de aplicações da confiabilidade, medicina, ciências sociais, economia,

negócios e criminalística. Considerando a Análise de Dados de Vida (LDA) o método é assumido para eventos de falha independentes ou dependentes considerando os reparos do sistema. Na aproximação paramétrica o software Weibull ++ é utilizado para entender o efeito do reparo na vida do sistema.

Os reparos realizados nos sistemas são rastreados em um período de tempo, conforme histórico de ocorrência e realização dos reparos. Cada reparo registra qualquer dano acumulado e esta relacionado a falhas atuais do sistema. O objetivo da aplicação desta metodologia é determinar a efetividade dos reparos realizados.

É estabelecido o fator de restauração r , que pode ser um número entre 0 e 1, onde 1 indica que o conjunto ou componente está “*as good as new*” (tão bom quanto o novo) após a realização das ações de manutenção, e 0 indica que o conjunto não teve melhoria com a ação de manutenção. Utilizar o fator de restauração de 0,5 implica em 50% de melhoria no conjunto e idade do conjunto com 50% da idade acrescentada com a ação de manutenção. Quando é utilizado o Tipo II no modelo virtual do software Weibull ++ módulo paramétrico RDA, o fator de restauração é equivalente a $1 - q$. Como exemplo para um fator de restauração de 0,0684, o que implica em melhoria de 6,8% no sistema com a realização do reparo.

3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os conceitos da Engenharia de Confiabilidade e detalhadas as definições da análise de dados de vida que irá subsidiar a metodologia proposta. Estes conceitos resultaram do conhecimento de especialistas e bibliografias sobre a teoria referenciada.

A descrição dos conceitos foi possível a partir da consulta das referências bibliográficas citadas no trabalho e permitirão a análise para a aplicação desta metodologia no sistema proposto, considerando o histórico de vida registrado para os componentes integrantes dos limites do sistema definido. Este referencial é essencial para o entendimento e criação das relações para o sistema proposto.

No próximo capítulo são pesquisados todos os registros de falhas e manutenções do sistema proposto e realizado esta análise de dados de vida

gerando as curvas de vida característica para o sistema, totalmente alinhado com os conceitos expostos neste capítulo. Percebe-se a aplicabilidade dos conceitos pesquisados no método proposto, contribuindo para a convergência da análise focada no diagnóstico das manutenções atualmente realizadas resultando na proposição de ganhos para a estratégia de manutenção.

4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO LDA

Os dados utilizados neste trabalho são ocorrências de falhas do sistema de freios do basculamento do convertedor 1, independente do impacto na produção diária de aço. Esta abordagem de falha é necessária devido a quantidade de conjuntos de freios do sistema. A utilização de falhas apenas que geraram paradas podem resultar em percepção inadequada da confiabilidade do sistema uma vez que os freios podem ser isolados e trocados em intervalos de paradas operacionais sem impactar em perda de produção direta, porém significam instabilidade do processo de funcionamento dos freios e podem impactar em grandes falhas com perdas de produção em médio longo prazo.

4.1 DEFINIÇÃO DO SISTEMA, COLETA DE DADOS E RBD

O sistema de basculamento pode ser definido com diagrama de blocos funcional, com a análise série e paralelo conforme função do sistema. Pode-se descrever com a sequência da função dos componentes utilizando *Reliability Block Diagram* (RBD). Os blocos representam os componentes do sistema e as linhas interligam unidirecionalmente os blocos entre si.

Os dados de falha dos freios do basculamento são coletados do Sistema Informatizado de Manutenção da empresa (SISMANA) e devem considerar as consultas das seguintes bases de dados:

- Relatórios de Anomalia da Manutenção do Turno;
- Relatórios de Anomalia da Manutenção do Setor (Inspeção);
- Ordens de Serviço Individuais emitidas pela Inspeção;
- Ordens de serviço de Planos programados;
- Análises de falha do sistema;

Os REAMS de turno são registros dos atendimentos de emergências realizados pelas equipes de atuação 24 horas para reparo corretivo imediato. Os REAMS de setor consideram os registros dos atendimentos e informações de

ocorrências com atendimento das equipes de inspeção. As falhas podem ser de natureza elétrica, mecânica ou de processo (operação).

As Ordens de Serviços Individuais são emitidas após identificação de necessidade de reparos ou troca dos conjuntos de freios. Já as Ordens de Serviços de Planos são geradas automaticamente pelo SISMANA, conforme frequência e escopo definido nos Planos de Manutenção.

O quadro abaixo apresenta o registro de falhas do sistema de freio do Convertedor 1 e ordens de serviços para troca programadas ou corretivas dos freios. Os registros de falha e Ordens de Serviço foram retirados do Sistema Informatizado de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão (SISMANA) e mostra as falhas ocorridas em emergências.

Quadro 4.1 - Histórico de falhas 2011 a 2017 dos freios do Convertedor 1

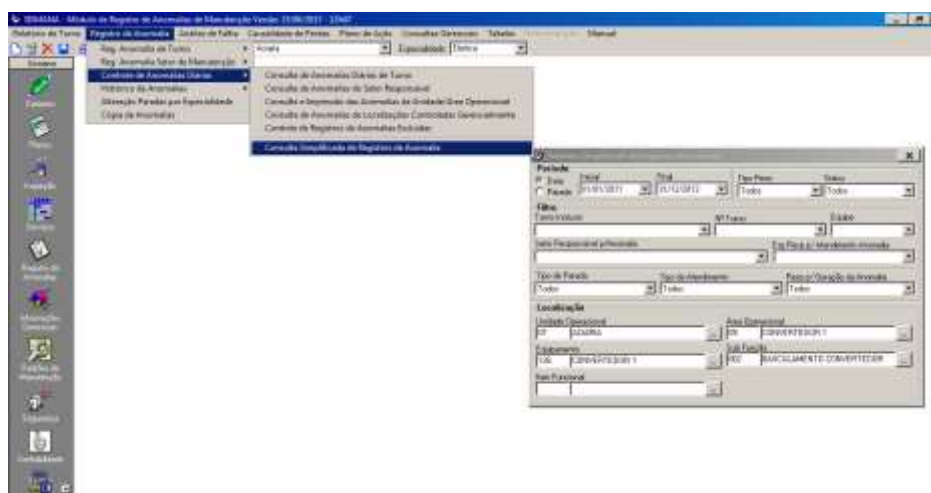
continua

Data	Motivo	Falha ou Suspensão
01/02/2011	Troca freio esquerdo e direito motor 3	
05/02/2011	Falha freio 1B motor 3	F
01/07/2011	Falha freio motor 3- sensor de freio desajustado	F
30/07/2011	Freio motor 3 devido desgaste pastilha	F
04/08/2011	Freio B motor 3 com cabo do sensor do freio com mau contato – troca do cabo	F
10/08/2011	TROCA FREIO ESQUERDO E DIREITO	S
17/08/2011	Falha freio motor 4 – limpeza do entre ferro, centralização do conjunto e ajuste sensor	F
22/08/2011	Falha freios 3A/3B muito lento – limpeza entre ferro e ajuste sensor	F
21/11/2011	Falha freio 3 – Convertedor 2?	S
24/02/2012	Travamento freio 3	F
09/07/2012	Freio número 4 travado	F
17/07/2012	Freio número 3 ruído anormal	S
02/08/2012	Falha freio motor 2	F
03/08/2012	Falha abertura freio 4- desajustado	F
13/08/2012	Falha freio basculamento	F

conclusão

Data	Motivo	Falha ou Suspensão
14/08/2012	Falha freio motor 3	F
30/08/2012	Análise falha LD1	F
09/2012	Falha freio motor 4 – desalinhado. Ajustado freio e liberado	F
01/03/2013	Freio esquerdo motor 1	F
07/03/2013	TROCA FREIO ESQUERDO REDUTOR PRIMÁRIO 1	S
16/05/2013	Inversão fonte freio	F
22/05/2013	Freio motor 3 lado direito desajustado. Freio esquerdo 3 pastilhas gastas	F
13/01/2014	Falha freio 04 – tensão de economia	F
27/02/2014	TROCA FREIO DIREITO REDUTOR 01	S
11/08/2015	TROCAR FREIO DIREITO REDUTOR 01	S
10/11/2015	TROCAR DOIS FREIOS ESQUERDO E DIREITO DO REDUTOR PRIMÁRIO	S
08/04/2016	Freio motor 1 com falha	F
09/05/2016	Falha atuação freio 1 motor 3 devido mau contato do plug	F
10/05/2016	Falha funcionamento freio 1 motor 3 intermitente	F
11/05/2016	Falha no freio 1 motor 3	F
30/07/2016	Falha freio 1 motor 4	F
17/03/2016	Indicação falha no freio 2 motor 2	F
20/01/2017	Falha freio 2 motor 1	F
21/01/2017	Falta de alimentação de controle do sensor do freio 1B – motor 1	F
24/01/2017	Falha freio 1 motor 1	F
09/02/2017	Falha freio 1 motor 1	F
13/02/2017	Ajuste sensor Freio 1 motor 1	F
15/02/2017	Queima pastilha do Freio 1 motor 1	F
21/03/2017	Ajuste sensor freio 1 motor 1	F
21/03/2017	TROCAR FREIO MOTOR 1	S
27/05/2017	Falha sensor freio 1 motor 1	F

Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).



Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).

A figura abaixo mostra a descrição e informações de frequência, recursos, criticidade e outras principais características dos planos gerados automaticamente conforme frequência definida nos planos de serviço.

Figura 4. 3 - Print da tela do Plano de Serviço de limpeza e ajuste dos freios

Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).

A frequência de limpeza e ajuste dos freios é a cada 06 meses, ou seja, durante as paradas de manutenção de fim de campanha de refratário do convertedor. De 2011 a 2016 o intervalo entre realização destes serviços era de 09

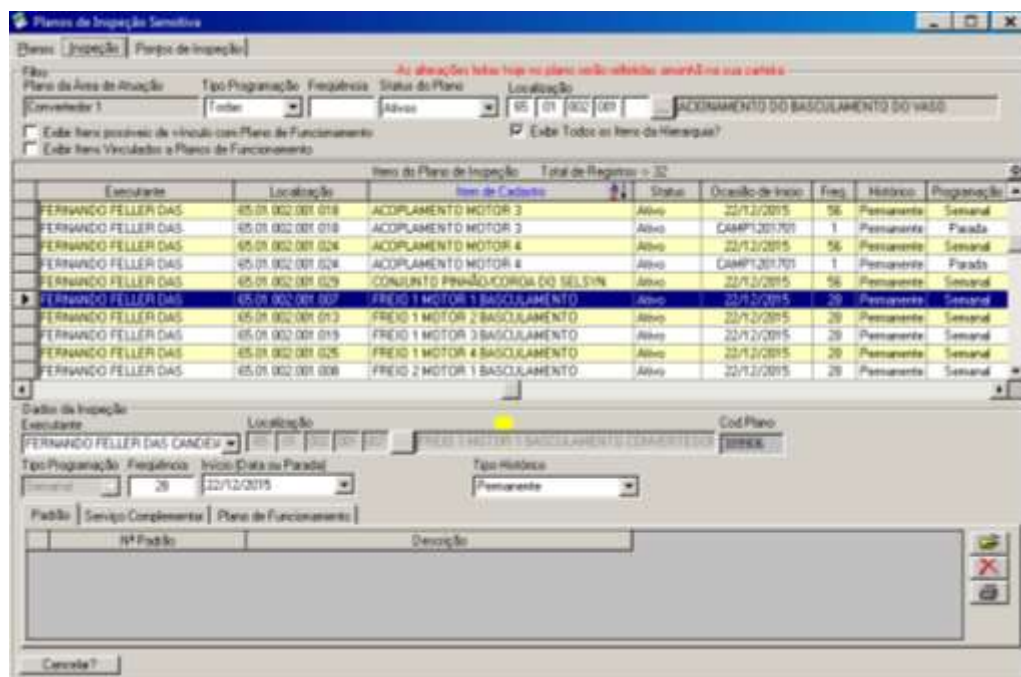
meses. Com a alteração da estratégia de paradas de fim de campanha de refratário dos convertedores foram alterados também os planos, atendendo a frequência atual das paradas de fim de campanha de refratário.

Figura 4. 4 - Print da tela do Plano de Serviço de limpeza das bobinas durante paradas de linha do convertedor 1

Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).

O plano de serviço apresentado na figura acima tem como escopo a limpeza do entre ferro das bobinas conforme modo de falha descrito no capítulo 2, para eliminação de particulado que tende a acumular neste ponto da bobina podendo gerar falhas de abertura dos freios. A limpeza do entre ferro da bobina magnética nas paradas programadas (a cada 56 dias).

Figura 4. 5 - Print da tela do Plano de inspeção mensal dos freios



Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).

Estas inspeções são realizadas com o sistema em operação com foco na identificação da condição dos freios em funcionamento.

Conforme definido no Plano de Inspeção sensitiva a cada 28 dias são realizadas inspeções para verificação dos itens abaixo destacados na figura abaixo.

Figura 4. 6 - Print da tela do detalhamento do Plano de inspeção mensal dos freios

The screenshot displays the 'Plano de Inspeção Sensitiva' window with the 'Pontos de Inspeção' tab selected. It shows a table with columns for 'Pontos de Inspeção', 'Ocorrência de Inspeção', and 'Método de Inspeção'. The table contains 5 rows of data, including items like '1-FREIO', '2-FREIO', '3-PASTILHAS FREIO', '3-COPO DE APOIO', and '4-DISCO DE ATUAÇÃO'. A status bar at the bottom indicates 'Total de Registros = 5'.

Pontos de Inspeção	Ocorrência de Inspeção	Método de Inspeção
1-FREIO	Limpeza	Visual
2-FREIO	Ruído	Auditivo
3-PASTILHAS FREIO	Desgaste	Visual
3-COPO DE APOIO	Fixação	Visual
4-DISCO DE ATUAÇÃO	Fixação	Visual

Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).

Nas inspeções sensitivas com frequência de 28 dias são verificadas condições de limpeza, ruído, desgaste de pastilhas e fixação do conjunto do freio e disco de atuação.

Abaixo esta destacado uma Ordem de Serviço para troca de 02 freios do sistema de basculamento do Convertedor 01.

Figura 4. 7 - Print da tela do detalhamento de Ordem de Serviço Individual

Fonte: SISMANA, módulo REAM (2017).

O serviço foi emitido individualmente pelo inspetor, ou seja, não é uma ordem de serviço gerada automaticamente pelo sistema. A emissão da OS é uma saída da condição identificada na inspeção sensível realizada pelo inspetor ou para correção de algum desvio identificado em um atendimento de turno.

A relação abaixo apresenta o histórico de Ordens de Serviço de reparos e troca de freios realizadas em 2011.

Quadro 4.2 – Histórico de Ordens de Serviço Individual e de Planos

Nº do Serviço	Título	Item de Cadastro	Status	Descitem	Local	Dt. Prevista	Parada
0400.2011.36.0472	EXECUTAR - LIMPEZA NO ENTRE FERRO DAS BOBINAS MAGNÉTICAS DOS FREIOS DO BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	23/12/2011 00:00:00	CONV1.2011.05
0400.2011.40.0119	TROCAR - AS PROTEÇÃO NOS FREIOS DO BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR 1	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	11/10/2011 00:00:00	IDF01.2011.02
0400.2010.27.0381	TROCAR - DOIS FREIOS ESQUERDO E DIREITO DO REDUTOR PRIMÁRIO DO BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR.	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	10/08/2011 00:00:00	
0400.2010.27.0360	EXECUTAR - LIMPEZA NO ENTRE FERRO DAS BOBINAS MAGNÉTICAS DOS FREIOS DO BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	14/06/2011 00:00:00	CAMP1.2011.01
0400.2010.27.0371	LIMPAR - FREIOS A DISCO DO CONVERTEDOR (CAMPANHA)	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	13/06/2011 00:00:00	CAMP1.2011.01
0410.2011.22.0038	DESLIGAR - FREIOS DO MOTOR 4 DE BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR 01	07.09.126.002.028	EX	FREIOS MOTOR 04 BASCULAMENTO CONVERTEDOR	Hist.OnLine	13/06/2011 00:00:00	CAMP1.2011.01
0400.2011.04.0192	TROCAR - O FREIO ESQUERDO DO REDUTOR PRIMÁRIO nº03 DO BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR. (Devolução a Vulcan)	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	01/02/2011 00:00:00	CONV1.2011.01
0400.2009.48.0355	EXECUTAR - LIMPEZA NO ENTRE FERRO DAS BOBINAS MAGNÉTICAS DOS FREIOS DO BASCULAMENTO DO CONVERTEDOR	07.09.126.002.007	EX	FREIOS A DISCO ELETROMAGNÉTICOS BASCULAMI	Hist.OnLine	01/02/2011 00:00:00	CONV1.2011.01
0410.2011.05.0033	DESLIGAR - FREIO DO MOTOR 3 DO BASCULAMENTO - CONVERTEDOR 01	07.09.126.002.027	EX	FREIOS MOTOR 03 BASCULAMENTO CONVERTEDOR	Hist.OnLine	01/02/2011 00:00:00	CONV1.2011.01

Fonte: o autor (2017).

Em 2011 foram realizadas a troca de 03 freios por solicitação individual. Para as análises de simulação com LDA estas falhas foram consideradas suspensões do método, pois os freios estavam operando e foram substituídos preventivamente antes da falha catastrófica. Para a análise de confiabilidade dos reparos, montagem e manutenções realizadas foram consideradas também estes eventos, com foco em identificar a qualidade dos reparos realizados.

4.2 SIMULAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE CURVA DE FALHA

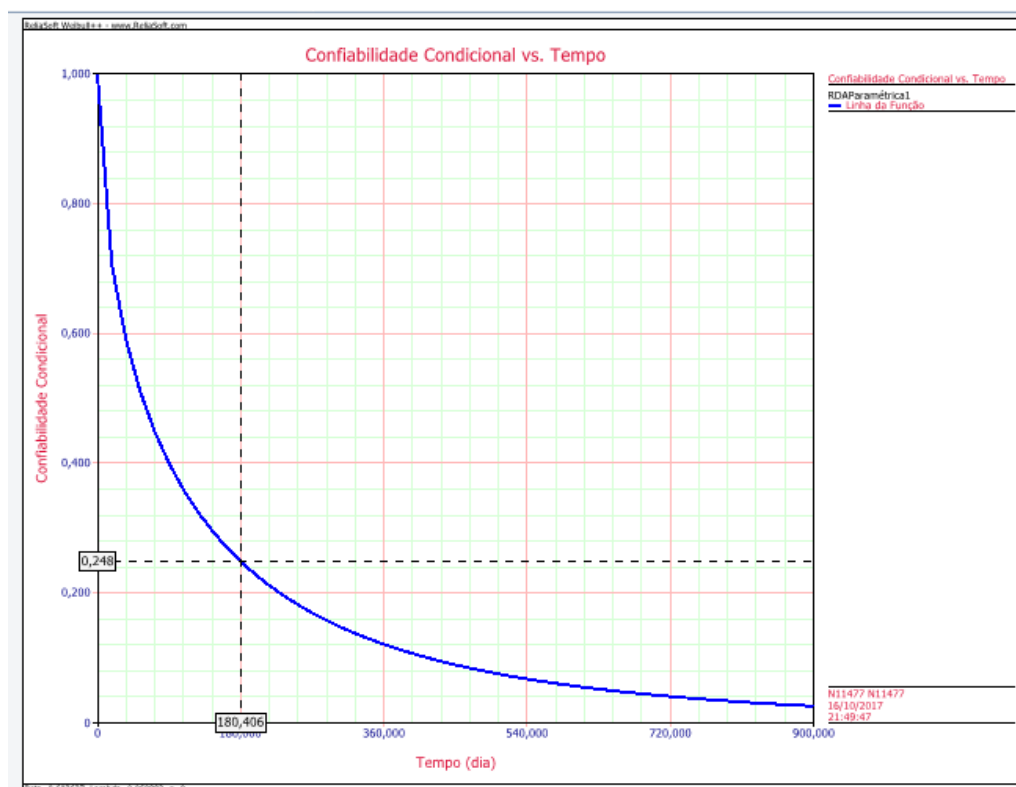
Após o levantamento do histórico de falhas foi realizado a simulação no software Weibull++ (Reliasoft) considerando os freios 1 e 3 por contemplarem o maior número de registros de falhas.

Foram considerados em primeira análise os freios como sistemas reparáveis. Com o objetivo de calcular a confiabilidade e qualidade do reparo do sistema contemplando as 02 posições de freio, simulou-se utilizando a distribuição Weibull 03 parâmetros, definindo a variável de fator de restauração 1. Fator de restauração é definida pelo parâmetro 1-q. Fator de restauração igual a 1, considera que o item é reparado e retorna para operação “as good as new” após o reparo.

O processo de reparo passado ou atual pode afetar o processo de falha futura. Com esta análise será possível avaliar a qualidade dos reparos realizados na área, reparos realizados externamente no conjunto e a qualidade total dos reparos indicando o nível de confiabilidade destes reparos realizados.

Abaixo é apresentado o gráfico de confiabilidade condicional no tempo dos freios nas posições 1 e 3. A análise Tipo II considera restauração desde o início do histórico de dados.

Figura 4. 8 - Gráfico da Confiabilidade Condicional para os freios da posição 1 e 3 utilizando Análise de Dados de Eventos Recorrentes (RDA)



Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Identifica-se uma baixa confiabilidade condicional. Para o período de 180 dias de operação a confiabilidade condicional é abaixo de 25%, confirmando a baixa confiabilidade do sistema. O parâmetro de forma também correlaciona o comportamento a falha prematuras, sendo esta característica de baixa qualidade dos reparos realizados (Beta = 0,6026. Para beta < 1 indica característica de falha prematura).

Figura 4. 9 - Tela da base de dados para RDA de Sistemas Reparáveis lançados no Weibull ++

Sistema ID	Evento (F=Falha, R=Evento Final)	Tempo até Evento (dia)
1	F	309
2	F	380
3	F	399
4	F	575
5	F	645
6	F	932
7	F	1462
8	F	1553
9	F	1703
10	F	1908
11	F	1991
12	F	1994
13	F	2018
14	F	2014
15	F	2018
16	F	2028
17	F	2028
18	F	2117
19	F	0
20	F	150
21	F	179
22	F	194
23	F	202
24	F	283
25	F	308
26	F	350

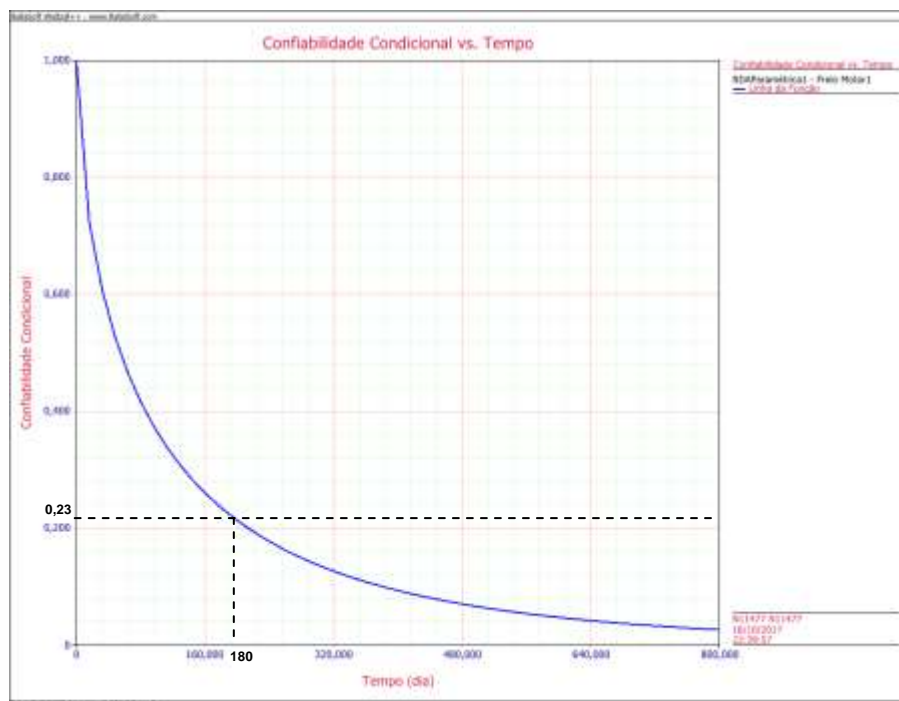
Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Para esta análise, conforme indicado na figura acima foi considerado fator $q=0$, ou seja, fator de restauração $r=1$.

O gráfico abaixo apresenta a curva de confiabilidade condicional para a posição freio motor 1. Observa-se uma redução da confiabilidade $R(t) = 23,7\%$ em 180 dias de operação quando comparado com a somatória dos dados dos freios 1 e 3. Com esta análise é possível comparar a qualidade da manutenção externa do conjunto e manutenções de reparos corretivos para as duas posições de freios, ou até correlacionar modos de falha específicos por posição de montagem dos freios.

O modelo atual de manutenção considera manutenções padronizadas, independente da posição de montagem do freio no sistema. Para a posição 1 a confiabilidade do freio é muito baixa para 01 ano de operação, indicando forte necessidade de atuação neste freio antes de 01 ano de operação. Esta correlação atualmente não é utilizada, mas deve ser considerada para evolução da confiabilidade do sistema de basculamento do conversor.

Figura 4. 10 - Gráfico de Confiabilidade condicional para o freio posição 1

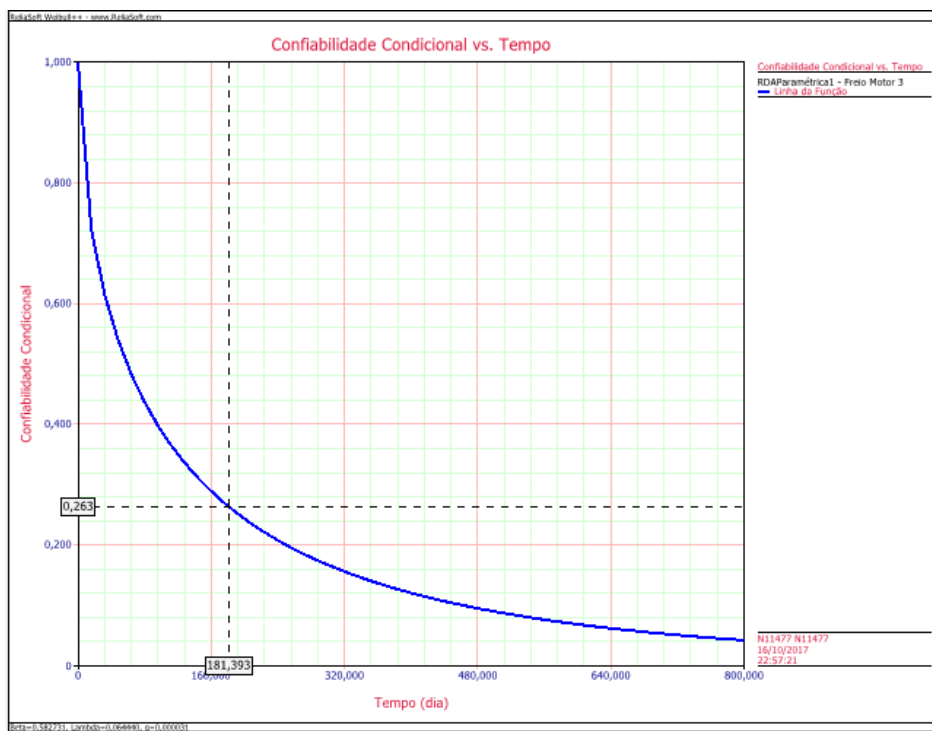


Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Para 06 meses de operação a confiabilidade do sistema é muito baixa, indicando uma avaliação detalhada do sistema para evolução e alcance de patamar aceitável para a criticidade do sistema.

Considerando o histórico de falhas e reparos corretivos no freio posição motor 3, observa-se um pequeno aumento da confiabilidade para 26,3%. Esta elevação pode estar relacionada a condição de posição de montagem do freio, condição de cabeamento de alimentação da bobina, contaminantes na área. Também é importante considerar que esta análise está relacionada com os dados históricos registrados no SISMANA. Caso tenham ocorridos eventos não registrados a análise comparativa fica prejudicada.

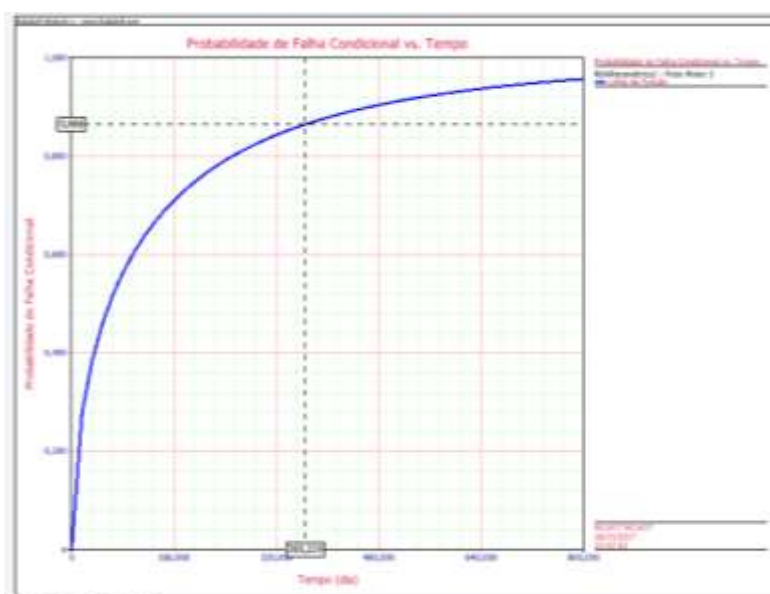
Figura 4. 11 - Gráfico de Confiabilidade condicional para o freio posição 3



Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

O gráfico abaixo indica que a probabilidade condicional de falha do freio na posição 03, após 365 dias de operação é de 86,6%.

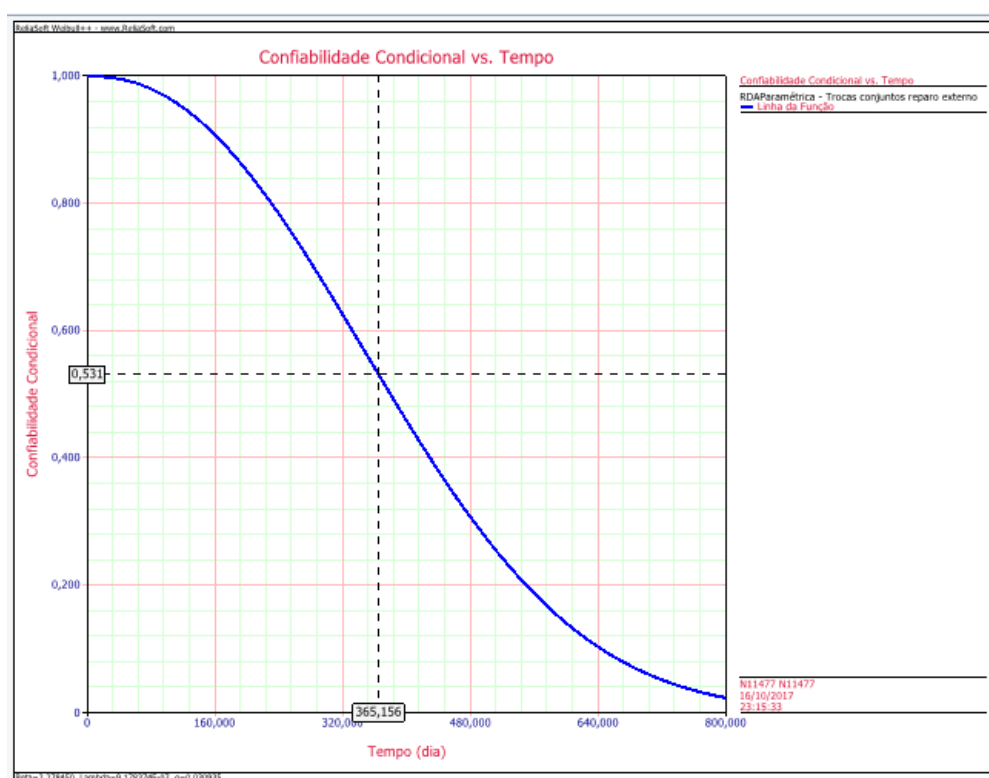
Figura 4. 12 - Gráfico de probabilidade de Falha condicional para o freio posição 3



Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Para análise apenas das trocas de conjuntos, desconsiderando falhas após a troca que podem também ser causadas por reparos ou montagens ineficientes, observa-se uma elevação da confiabilidade condicional, atingindo o valor de 53% para um período de 365 dias de operação.

Figura 4. 13 - Gráfico de Confiabilidade condicional para o freio troca de conjuntos



Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

As falhas ocorridas após a troca do conjunto podem estar relacionadas a qualidade do reparo executado no conjunto ou a qualidade da montagem e regulagem de campo realizada. O parâmetro de forma calculado indica falha por fim de vida útil ($Beta = 2,2784$. $Beta > 1$), podendo descrever a vida característica dos conjuntos de freios. Esta primeira análise desconsidera os fatores acima descritos, onde foram desconsideradas as falhas entre as trocas dos conjuntos.

Para a análise de *Reliability Block Diagram* (RBD) da configuração, pode ser apresentado conforme abaixo para um conjunto de freio.

Figura 4. 14 - Diagrama de Bloco de Confiabilidade do sistema de freios

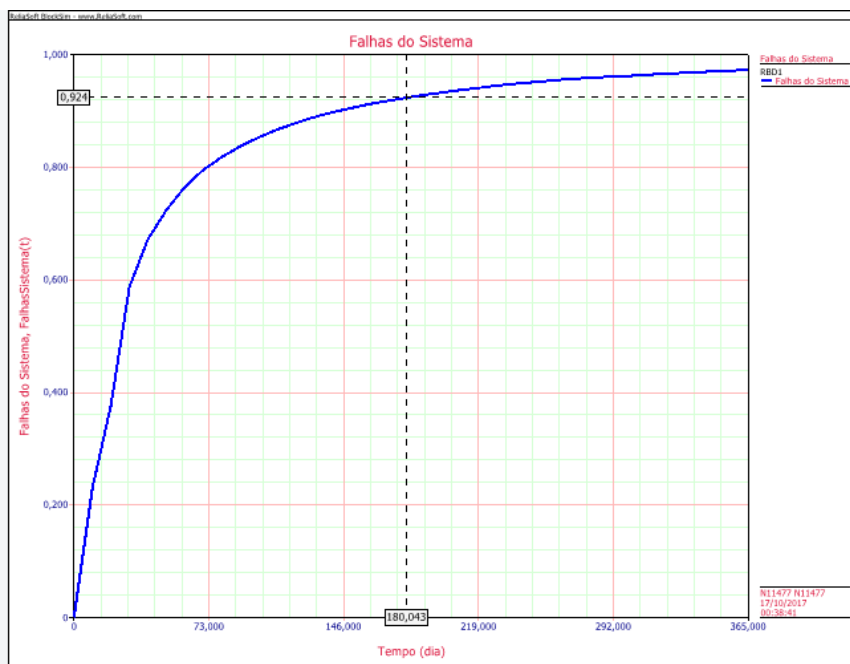


Fonte: o autor (2017) - aplicação do software BlockSim – Reliasoft Corporation 2017

O sistema pode ser inserido considerando todos os freios em aplicação no equipamento (08 conjuntos), porem o histórico de falha não permite desmembrar as falhas que ocorreram por freios. Alguns componentes do sistema acima apresentaram apenas 01 falha no registro histórico de 2011 a 2017.

Considerando a análise LDA, foi inserido no RBD o modelo de confiabilidade para cada componente. A simulação indica uma elevada probabilidade de falha pontual do sistema. Para a vida de 180 dias a probabilidade de falha pontual é de 92,4%, indicando baixa confiabilidade do sistema.

Figura 4. 15 - Gráfico de probabilidade de falha do sistema de freio com LDA



Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

Uma vez que foram considerados os históricos de falhas para os sistemas de freios para as posições 1 e 3 é possível afirmar que a alta probabilidade de falha do sistema esta relacionado com o modelo atual de manutenção e qualidade das intervenções corretivas ou preventivas.

Figura 4. 16 - Calculadora do módulo Weibull++ com resultado da probabilidade de falha pontual do sistema LDA



Fonte: o autor (2017) - aplicação do software Weibull ++, versão 11 – Reliasoft Corporation 2017

A análise LDA para sistema não reparável também resulta em valores de baixa confiabilidade do sistema tendo que ser avaliado as causas básicas conforme análise de FMEA do sistema.

4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os históricos de ocorrências e trocas de sistemas e realizadas as análises considerando o sistema proposto, gerando o resultado do trabalho com as avaliações e simulações realizadas. Observa-se uma baixa confiabilidade do subsistema de freios, indicando necessidade de uma análise aprofundada qualitativa para melhoria das manutenções sob condição ou corretivas neste subsistema. Esta análise detalhada é altamente recomendada devido

criticidade dos componentes no processo produtivo com elevado risco de acidentes e perdas de produção.

No próximo capítulo são apresentadas as conclusões e síntese dos resultados, bem como, os ganhos propostos para a estratégia de manutenção sugerida.

5 CONCLUSÃO

A análise quantitativa considerando o subsistema avaliado indica baixa confiabilidade com resultados na ordem de 24%. Considerando o sistema dos freios como reparável, fica latente a necessidade de melhoria nos procedimentos de manutenções corretivas e manutenções sob condição.

A consideração de comparação das variáveis de histórico de vida para troca de conjuntos não pode ser aplicada diretamente. Para esta consideração torna-se necessário uma avaliação apurada do histórico de falhas, permitindo desmembrar as falhas relativas às manutenções corretivas inadequadas, montagens de campo inadequadas e condições de processo, das falhas ocasionadas por reparo externo inadequado do conjunto.

Após esta abordagem quantitativa apresentada torna-se evidente que é prioritário o desenvolvimento de melhorias de manutenção no sistema abordado, podendo eliminar riscos diretos de ocorrências de acidentes. Para sistemas que podem impactar na segurança das pessoas e do processo recomenda-se desenvolver o sistema para alcançar uma confiabilidade acima de 97%. Esta atuação resultará em ganhos diretos no resultado financeiro da empresa e resultado de segurança para as pessoas.

Torna-se evidente também que as intervenções frequentemente resultam em novas falhas reduzindo a confiabilidade dos reparos. Para correção deste desvio é necessário aplicação de treinamento específico nos tipos de ocorrências registradas, focando o aprendizado de intervenções inadequadas já realizadas pelas equipes de turno e inspeção.

A análise quantitativa realizada neste trabalho permitirá uma correlação com a análise quantitativa já realizada em todo o sistema de basculamento do convertedor através da implantação do RCM realizado.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando as similaridades de aplicações desta metodologia é possível afirmar que a aplicação em outros sistemas conduzirá para melhoria das práticas de manutenção atualmente definidas. Como sugestão para esta abordagem

recomenda-se uma análise de outros componentes da Aciaria, como por exemplo os rolamentos principais do redutor secundário do basculamento dos convertedores.

Também sugere-se uma análise de RBD a partir dos dados de vida dos sistemas para cálculo da confiabilidade de todos os sistemas dos convertedores e refino do aço (desgaseificadores à vácuo), com objetivo de propor tempos ótimos de paradas programadas dos sistemas com apresentação dos riscos de falhas definidos quantitativamente, auxiliando assim na tomada de decisão de paradas programadas ou emergenciais, minimizando os impactos de perda de produção e permitindo postergações com riscos calculados frente as necessidades de produção.

A proposta é muito desafiadora devido complexidade dos sistemas envolvidos, porem poderá resultar em ganhos financeiros elevados para resultado final da empresa.

Para o sistema de basculamento recomenda-se também uma reavaliação do RCM e FMEA já elaborado com foco em aumentar a confiabilidade calculada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**: processos de fabricação e tratamento; Volume III. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; DUARTE, José Luis Ribeiro. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GUIMARÃES, Inácio Andruski. **Estatística**: Notas de aulas. Curitiba, 2016.

LACERDA, Wladimir Junior.; et al. Revisão dos planos de manutenção para aumento da Confiabilidade do basculamento do Convertedor 03. In: 31º CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. Curitiba, 2016.

LEEMIS, L. **Reliability**: probabilistic models and statistical methods. Nova York: Prentice-Hall, 1995.

PLANO DIRETOR DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. ArcelorMittal Tubarão; Departamento de Manutenção Central e Infraestrutura. Serra, 2013.

RELIASOFT. Parametric Recurrent Event Data Analysis Example. Disponível em: <http://www.reliasoft.com/Weibull/examples/rc9/index.htm>. Acesso em 14 out. 2017.

RELIASOFT. **The Weibull Distribution**. Disponível em: http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution. Acesso em: 12 out. 2017.

RELIAWIKI. Recurrent Event Data Analysis. Disponível em: http://reliawiki.org/index.php/Recurrent_Event_Data_Analysis#Parametric_Recurrent_Event_Data_Analysis. Acesso em 12 out. 2017.

WEIBULL ++, Versão 11. Tucson, AZ, USA, Relisoft Corporation, 2017.

ANEXO A – DESCRIÇÃO CÓDIGO DO FREIO VULKAN

Descrição do código com tabela de características

VULKAN
DRIVE TECH

Como Solicitar Seu Freio

How to Order your Brake

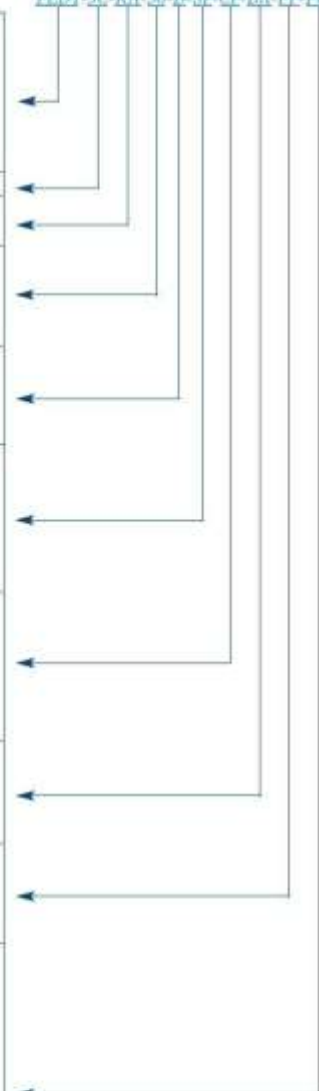
FED1 – 50/10Vcc (Bobinas Shunt) FED1 – 50/10Vdc (shunt coil)
FED2 – 230/40Vcc (Bobinas Shunt) FED2 – 230/40Vdc (shunt coil)
FED3 – 230Vcc (Bobinas série) FED3 – 230Vdc (serie coil)
Modelo do Freio / Brake Model
Recuperação Automática de Desgaste / RA – Automatic pads wear compensation
Recuperação Manual de Desgaste / RM – Manual pads wear compensation
Espessura do Disco (42 mm) / 42 – Disc thickness
Espessura do Disco (30 mm) / 30 – Disc thickness
Espessura do Disco (15 mm) / 15 – Disc thickness
De acordo com o modelo do freio / According brake model
D – Montagem do Atuador, Lado Direito / D – Right hand thruster assembly
E – Montagem do Atuador, Lado Esquerdo / E – Left hand thruster assembly
0 – Montagem do Atuador, Centralizada (Padrão)
0 – Centralized thruster assembly (standard)
SP – Sensor de Abertura e Fechamento Padrão SP – Standard on-off sensor
SE – Sensor de Abertura e Fechamento Especial SE – Special on-off sensor
00 – Sem Sensor 00 – No sensor
CP – Controle e Detecção das Pastilhas Gastas, Padrão (CDPG) CP – Standard worn out pads control and detection (CDPG)
CE – Controle e Detecção das Pastilhas Gastas, Especial (CDPG) CE – Special worn out pads control and detection (CDPG)
00 – Sem CDPG 00 – No CDPG
DA – Alavanca de Desbloqueio Manual / DA – Hand unblock lever
DH – Desbloqueio Hidráulico / DH – Hydraulic unblock
DP – Desbloqueio Pneumático / DP – Pneumatic unblock
00 – Sem Desbloqueio / 00 – No unblock
PP – Pintura Padrão PP – Standard painting
PE – Pintura Especial PE – Special painting
PO – Pastilhas de Freio Orgânicas (sem amianto) PO – Organic, non-asbestos brake pads
PS1 – Pastilhas de Freio Orgânicas (sem amianto) com Desgaste Flexível PS1 – Organic, non-asbestos brake pads with worn out flexible
PS2 – Pastilhas de Freio Sinterizadas PS2 – Sintered brake pads
PS3 – Pastilhas de Freio Sinterizadas com Desgaste Flexível PS3 – Sintered brake pads with worn-out flexible
PS4 – Pastilhas de Freio Especiais PS4 – Special brake pads
PS5 – Pastilhas de Freio Sem Partícula Metálica PS5 – Brake pads without metallic particle

Exemplo:

FED1-3C-RA-30-D-SP-CP-DA-PP-PO

Example:

FED1-3C-RA-30-D-SP-CP-DA-PP-PO



A VULKAN se reserva o direito de alterar formas, valores e dimensões construtivas sem prévio aviso.
VULKAN reserves the right to change shapes, values and construction dimensions without prior notice.

07

Foto: Edições e Design / Ilustrações: L. M. Costa, 2019

ANEXO B – MODOS DE FALHAS DO REGISTRO HISTÓRICO

Modos de falhas dos componentes – REGISTROS DE FALHAS

SENSOR

Falha freio motor 3- sensor de freio desajustado
Falha freios 3A/3B muito lento – limpeza entre ferro e ajuste sensor
Indicação falha no freio 2 motor 2
Falta de alimentação de controle do sensor do freio 1B – motor 1
Ajuste sensor Freio 1 motor 1
Ajuste sensor freio 1 motor 1
Falha sensor freio 1 motor 1

CABO DO SENSOR

Freio B motor 3 com cabo do sensor do freio com mau contato – troca do cabo
Falha atuação freio 1 motor 3 devido mau contato do plug




COMPONENTES MECÂNICOS FREIO

Freio motor 3 devido desgaste pastilha
Falha freio motor 4 – limpeza do entre ferro, centralização do conjunto e ajuste sensor
Travamento freio 3
Freio número 4 travado
Freio número 3 ruído anormal
Falha abertura freio 4- desajustado
Falha freio motor 4 – desalinhado. Ajustado freio e liberado
Freio motor 3 lado direito desajustado. Freio esquerdo 3 pastilhas gastas
Queima pastilha do Freio 1 motor 1

FONTE

Inversão fonte freio
Falha freio 04 – tensão de economia

**ANEXO C – PERITAGEM DE CONJUNTO DE FREIOS REALIZADO EM
FORNECEDOR EXTERNO SIME**

	RELATÓRIO DE RECEBIMENTO PARA REFORMA N.º: 003-2010	
INFORMAÇÕES SOBRE O EQUIPAMENTO		
CLIENTE: ARCELOR MITAL	P.V.: 142217	CÓD. PRODUTO: 9100027
MODELO DE EQUIPAMENTO: FREIOS FED2-3CD	RECEBIDO EM: 12/11/10	
MODELO DO CONVERSOR: ---	RECEBIDO EM: ---	
N.º DE SÉRIE: ---	NF: 555928	
FORNECIDO EM: ---	P.V. ANTERIOR: 038483	
OBS. Relatório realizado levando em consideração as condições que os freios foram recebidos.		
	<p style="text-align: center;">Comentários</p> <p>Verificou-se no teste que o conjunto da roda-livre estava travado. Trocamos o conjunto da roda-livre e não apresentou mais o problema.</p> <p style="text-align: center;">Causa Provável</p> <p>Possivelmente o travamento tenha ocorrido pelo acúmulo de Po.</p>	
	<p style="text-align: center;">Comentários</p> <p>Freio apresentava com a resina da bobina danificada. Reforma realizou-se os testes de isolação e resistência Ômega onde se apresentaram satisfatórios. Bobina trocada, freio testado e liberado.</p> <p style="text-align: center;">Causa Provável</p> <p>Desgaste natural da resina, que deveria ter sido reparado na reforma.</p>	
	<p style="text-align: center;">Comentários</p> <p>Freio testado no recebimento e não apresentou problema.</p> <p style="text-align: center;">Causa Provável</p> <p>O problema descrito e devido ao entre-ferro (Distância entre armadura e carcaça) excessivo em que o campo magnético gerado pela bobina não é suficiente para atracar (unir Carcaça e armadura) liberando o disco. Consequentemente ocasionando o problema descrito. Procedimento de troca de pastilha resolveria o problema.</p>	

ISAIAS G. ALEXANDRE.

ANEXO D – REPARO DE CONJUNTO DE FREIO EM FORNECEDOR EXTERNO

REPARO EXTERNO DE CONJUNTO DE FREIO APÓS PERITAGEM

ANTES.



DEPOIS

