

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

ALEXSANDER ORRICO MARCHESI

**ANÁLISES DE FALHAS EM LANÇAS DE OXIGÊNIO DE UM
DESGASEIFICADOR A VÁCUO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

ALEXSANDER ORRICO MARCHESI

**ANÁLISES DE FALHAS EM LANÇAS DE OXIGÊNIO DE UM
DESGASEIFICADOR A VÁCUO**

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. Wanderson Stael Paris

CURITIBA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISES DE FALHAS EM LANÇAS DE OXIGÊNIO DE UM DESGASEIFICADOR A VÁCUO

por

ALEXSANDER ORRICO MARCHESI

Esta monografia foi apresentada em 31 de agosto 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. Wanderson Steal Paris, MSc.
Professor Orientador – UTFPR

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

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

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

Dedico este trabalho aos meus familiares, à minha esposa e parceira Karen e aos meus filhos Murilo e Maitê, razões da minha vida, pelos momentos de ausência na elaboração desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à empresa ArcelorMittal Tubarão e aos seus gestores Erick Torres Bispo dos Santos, Breno Rosa, Jose Sergio Brandão Leal, Juliano Coelho Santos e Flávio Pugal da Silva por me oportunizarem nesse processo de desenvolvimento na Especialização em Engenharia de Confiabilidade

Agradeço também à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao meu orientador Prof. Dr. Wanderson Stael Paris e a todos os outros professores desse curso, pelos ensinamentos proporcionados ao longo dessa especialização.

Aos meus colegas de sala, meu muito obrigado pelas trocas de experiências, incentivos e possibilidade de crescimento mútuo, além dos momentos de descontração que tivemos.

Agradeço ainda aos meus colegas de empresa, das equipes de manutenção e confiabilidade, pelo empenho na coleta de dados, discussões assertivas e implantação de ações geradas por meio dessa pesquisa, no intuito de aumentarmos a confiabilidade do equipamento estudado.

Obviamente, meus agradecimentos à minha família, pois sem a confiança deles não seria possível viver esse momento.

Meu último agradecimento vai para aqueles que direta ou indiretamente contribuíram de alguma maneira com a realização desta pesquisa.

“A persistência é o caminho do êxito”. (Charles Chaplin)

RESUMO

MARCHESI, Alexander Orrico. **Análise de Falhas em Lanças de oxigênio de um Desgaseificador a Vácuo**. 2019. 72 p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Conhecer o histórico das falhas e estratificar suas origens é fundamental para que se tome ações no sentido de eliminá-las em um processo produtivo. A busca pelo aumento de confiabilidade e disponibilidade é um desafio constante das equipes de manutenção e operação em uma empresa. A análise de dados de vida de componentes ou sistemas é uma metodologia que possibilita uma avaliação para entendimento sobre o comportamento de vida do ativo. Este trabalho utiliza esse método em um componente crítico do refino secundário de uma aciaria, o bico de lança de oxigênio do desgaseificador à vácuo 2 da ArcelorMittal Tubarão. A alta criticidade desse item ocorre pelo fato de sua falha poder impactar na segurança das pessoas, além do impacto na disponibilidade operacional da estação operacional. Após a análise e agrupamento dos dados históricos das falhas são realizadas avaliações utilizando o software Weibull ++, identificando a confiabilidade atual do sistema de forma quantitativa e as suas curvas de falhas características. O resultado permite identificar o nível atual de confiabilidade do componente, indicando a necessidade de ações de manutenção e implementação de melhorias para o seu consequente aumento, conforme alinhamento da estratégia de manutenção da empresa, o que vem sendo adotado. Percebe-se desde então um aumento considerável de confiabilidade do componente e a redução de perdas operacionais.

Palavras-chave: Confiabilidade. Análise de Dados de Vida. Weibull. Bico de lança de oxigênio. Desgaseificador à Vácuo.

ABSTRACT

MARCHESI, Alexsander Orrico. **Análise de Falhas em Lanças de oxigênio de um Desgaseificador a Vácuo**. 2019. 72 p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Knowing the failures' history and stratifying their origins is fundamental to taking action to eliminate them in a production process. The quest for increased reliability and availability is a constant challenge for maintenance and operation teams in an company. Life Data analysis of components or systems is a methodology that allows an evaluation to understand the life behavior of the asset. This work uses this method on a critical component of a Secondary Refining in Steelmaking, the oxygen's lance nozzle at ArcelorMittal Tubarão Vacuum Degasser 2. The high criticality of this item occurs because its failure can impact the safety of people, as well as the impact on operational availability of the operating station. After analysis and joining of historical failure data, evaluations are performed using Weibull ++ software, identifying the current reliability of the system in a quantitative way and its characteristic failure's curves. The result allows to identify the current level of reliability of the component, indicating the need for maintenance actions and implementation of improvements for its consequent increase, in alignment with the company's maintenance strategy, which it has been adopted. Since then, a considerable increase in component reliability and a reduction in operating losses have been noted.

Keywords: Reliability. Life Data Analysis. Weibull. Oxygen's lance nozzle. Vacuum Degasser

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Layout da ArcelorMittal Tubarão - em destaque área da Aciaria	12
Figura 1.2 - Visualização Seccional de um Vaso de RH com lança T-Cob	14
Figura 1.3 - Layout do carro da lança T-Cob.....	15
Figura 2.1 - Conversor tipo LD com lança de injeção de Oxigênio	21
Figura 2.2 - Fluxograma de processo de produção do aço em usina siderúrgica, com estações de refino secundário.....	22
Figura 2.3 - Fluxograma de processo IRUT	23
Figura 2.4 - Fluxograma de processo RH	25
Figura 2.5 - lança T-COB em funcionamento.....	26
Figura 2.6 - Esquema de funcionamento da lança KTB.....	27
Figura 2.7 - Desenho esquemático com características do projeto da lança	28
Figura 2.8 - Fluxo de água nas câmaras do bico da lança.....	29
Figura 2.9 - Materiais de componentes da lança.....	30
Figura 3.1 - Variável de estado $X(t)$ e seus estados.....	34
Figura 3.2 - Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x	36
Figura 3.3 - Relação probabilidade de falha ($F(x)$) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x	37
Figura 3.4 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull.....	39
Figura 3.5 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull.....	39
Figura 3.6 - Representação de pdf com distribuição Weibull	40
Figura 3.7 - Considerações sobre a Taxa de Falhas.....	41
Figura 4.1 - Lançamento de paradas de produção no RH_02	45
Figura 4.2 - Histórico de falhas das lanças 2018 a 2019.....	46
Figura 4.3 - Relatório simplificado dos registros de falhas do período pesquisado...	47
Figura 4.4 - Filtro do sistema para consulta do Relatório Simplificado de anomalias	48
Figura 4.5 - Tela do filtro do SAP ARMP com consulta das Notificações de atendimentos de turno ou solicitações de inspeção	48
Figura 4.6 - Lista de Planos de inspeção e serviços dos sistemas da lança	49
Figura 4.7 - Print da tela do detalhamento do Plano de inspeção mensal da lança ..	50
Figura 4.8 - Lista dos planos de inspeção com foco na estrutura lança e válvulas ...	50
Figura 4.9 - Trinca na face inferior do bico gerando vazamento e necessidade de troca da lança.....	51
Figura 4.10 - Espessura inadequada de fabricação do bico com fragilidade	52
Figura 4.11 - Espessura inadequada de fabricação do bico com obstrução fluxo água de refrigeração	53
Figura 4.12 - Modelo 3D impresso / padrão visual e melhoria confiabilidade humana	54
Figura 4.13 - Medição de condutividade térmica abaixo do padrão no bico.....	55
Figura 4.14 - Implantação de melhoria revestimento do bico inox 309L	55

Figura 4.15 - Cálculo LDA com histórico de falha maio a outubro/ 2018.....	56
Figura 4.16 - Cálculo LDA com histórico de falha maio a outubro/ 2018.....	57
Figura 4.17 - Cálculo LDA com histórico de falha novembro/2018 a janeiro/2019	57
Figura 4.18 - Cálculo LDA histórico de falha janeiro a julho/2019 após melhorias....	58
Figura 4.19 - Cálculo LDA com histórico de falha janeiro a julho/2019	58
Figura 4.20 - Histórico de vida útil com performance de O2	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	ASPECTOS GERAIS	12
1.2	ASPECTOS ESPECÍFICOS	13
1.3	PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA	14
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Objetivo Geral.....	16
1.4.2	Objetivos Específicos	16
1.5	JUSTIFICATIVA	16
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	MODO DE OPERAÇÃO E CRITÉRIOS DE MANUTENÇÃO	20
2.1	INTRODUÇÃO	20
2.2	ASPECTOS GERAIS	20
2.3	REFINO SECUNDÁRIO DO AÇO	21
2.4	ESTAÇÕES DO REFINO SECUNDÁRIO DO AÇO	23
2.4.1	IRUT	23
2.4.2	Desgaseificadores a vácuo tipo RH.....	24
2.4.3	Sistema de lança T-COB	26
2.5	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	30
3	CONCEITO DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	32
3.1	INTRODUÇÃO	32
3.2	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	32
3.3	LDA – LIFE DATA ANALYSIS	32
3.3.1	Tempo até a falha.....	33
3.3.2	Função confiabilidade.....	35
3.3.3	Taxa instantânea da falha e distribuição de tempos até a falha	36
3.3.4	Análise de Confiabilidade de Sistemas	41
3.3.5	Fator de restauração	42
4	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO LDA	44
4.1	COLETA DE DADOS	44
4.2	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	59
5	CONCLUSÃO	60
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
	REFERÊNCIAS	62
	ANEXO A – CURVA GRÁFICA DE CONFIABILIDADE	63
	ANEXO B – CURVA CONFIABILIDADE VS. TEMPO DE VIDA TCOB	65
	ANEXO C – LISTA DE BICOS MAPEADOS	67
	ANEXO D – INSPEÇÃO EM BICO DE LANÇA T-COB E MÉTODO DE IMPRESSÃO 3D.	69
	ANEXO E – LAUDO DE LABORATÓRIO	71

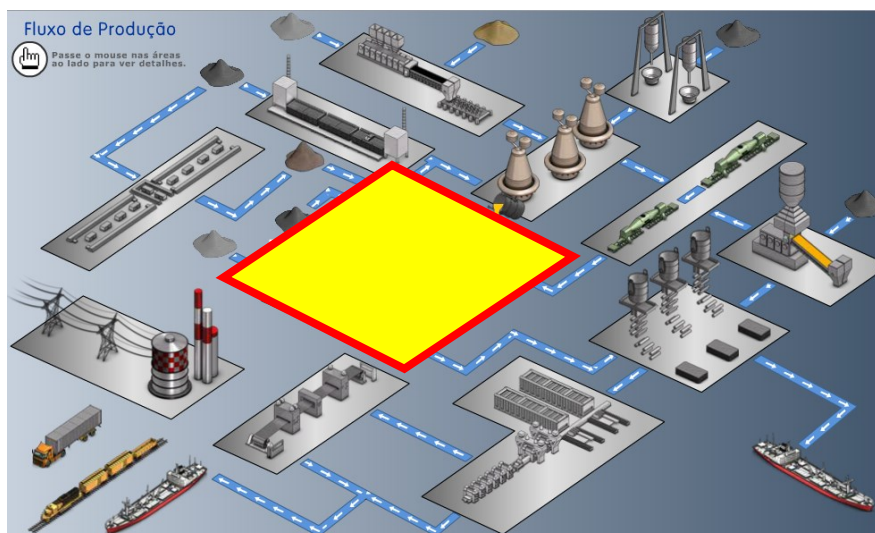
1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

A ArcelorMittal Tubarão, localizada no município de Serra-ES é produtora de semi-acabados de aço, fornecendo material para o mercado interno e externo.

Constituída pelas áreas de sinterização, coqueria, três altos fornos, uma aciaria com três convertedores e três estações de refino do aço, três máquinas de lingotamento contínuo e um laminador de tiras a quente é uma siderúrgica integrada, já que as áreas citadas são responsáveis pelo recebimento, preparação e estocagem das matérias-primas, produção de sinter, coque e gusa, transformação desse gusa em aço líquido, posteriormente em placas e estas ainda, após processo de laminação a quente podem dar origem as bobinas, com posterior embarque desses materiais via sistema portuário.

Figura 1.1 - Layout da ArcelorMittal Tubarão - em destaque área da Aciaria



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019).

Destaque mundial no setor que atua e com uma capacidade produtiva de 7,5Mt/ano de placas e 4,0Mt/ano de bobinas, tem sido cada vez mais desafiada a produzir aços com melhor composição química e com teores cada vez menores de

carbono, para atendimento às exigências de seus clientes, em especial a indústria automobilística.

1.2 ASPECTOS ESPECÍFICOS

Na década de 50, a tecnologia de desgaseificação à vácuo, apelidado de RH, foi desenvolvida na Ruhrstahl AG Hattingen com a finalidade de obter aços com elevado nível de limpidez por meio da exposição do aço líquido em ambiente sob atmosfera de vácuo. O “H” do nome do processo vem de “Heraeus”, que proveu a bomba de vácuo para esta primeira planta. Esse processo é realizado em um vaso cilíndrico com duas pernas de acesso ao seu interior, chamadas snorkel, ambos revestidos com material refratário. No tratamento, a panela com aço líquido, oriunda dos convertedores, é posicionada sob o vaso do RH. Devido a pressão do vácuo no interior desse vaso, o aço sobe até determinado nível nos snorkels, sendo que um deles consta com um sistema de injeção de gás inerte para iniciar a contínua circulação do aço e seu posterior refinamento. Dessa forma é realizada a descarburização (redução de carbono) natural do aço. Entretanto para os aços ultrabaixo carbono é necessária ainda a descarburização forçada. Além da circulação do aço, conforme já explicado, ainda é adicionado sopro de oxigênio pela lança, localizada no topo do vaso, durante alguns minutos, na faixa de pressão de 50-300 mbar.

Na empresa ArcelorMittal Tubarão, existem três estações de refino do aço, na qual duas é do tipo RH. Esses equipamentos permitem que se atinjam as composições químicas adequadas e com as características metalúrgicas exigidas para as mais diversas aplicações. Além disso, também são responsáveis por realizar ajuste de temperatura e aquecimento do refratário do vaso na posição de tratamento.

O desgaseificador à vácuo RH é o principal equipamento utilizado para produção dos aços com teores de carbono ultrabaixo, segundo Tembergen, Teworte e Robey (2007). Isso se caracteriza por seus reduzidos custos operacionais, uma sucessão rápida de corridas, disponibilidades de até 100% e tratamento adequado para qualquer qualidade de aço. Dessa forma, é um equipamento fundamental no processo siderúrgico.

Figura 1.2 - Visualização Seccional de um Vaso de RH com lança T-Cob



Fonte: Steelcast (2019).

1.3 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA

A estação de tratamento por desgaseificação à vácuo, RH número 2, da ArcelorMittlall Tubarão, utiliza a lança de oxigênio do tipo T-Cob, diferente do RH 1 que utiliza a KTB, localizada fora do vaso de tratamento do aço, e pode ser ajustada com precisão dentro do seu curso, para assegurar distância otimizada entre a lança do banho de aço, sem que haja contato direto durante sopro de oxigênio para descarburagem forçada ou aquecimento químico.

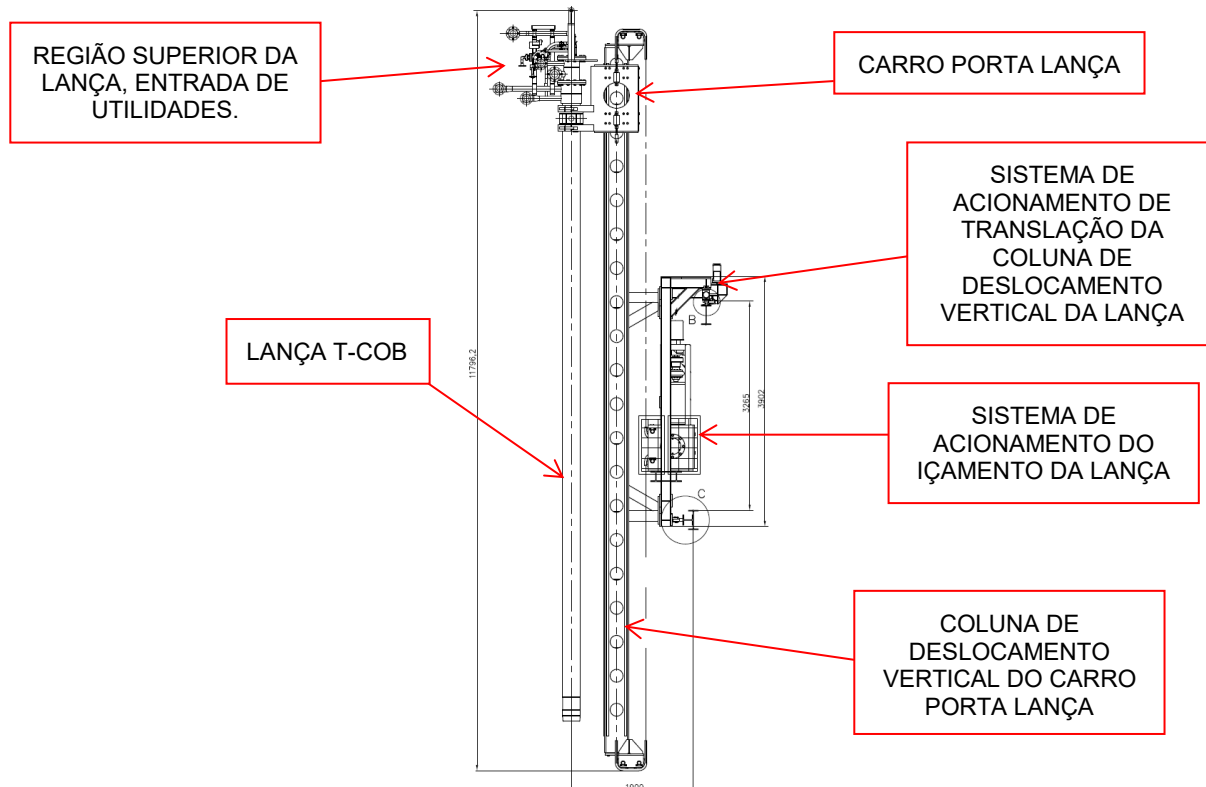
O corpo da lança é constituído por uma estrutura de tubos concêntricos de aço inoxidável, por onde circula água para resfriamento de sua estrutura e um bico de cobre dosador do gás, soldado na parte inferior da lança. Pode ser utilizada para soprar oxigênio, nitrogênio ou gás natural dependendo dos requerimentos de processo. No caso de Tubarão utiliza-se somente oxigênio.

Responsável pelas funções já citadas, também exerce as seguintes funções:

- Remoção rápida de cascão no vaso por sopro de oxigênio;
- Aquecimento do vaso por suprimento de Gás/Oxigênio;

- Manutenção de temperatura entre os tratamentos.

Figura 1.3 - Layout do carro da lança T-Cob



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019).

O tratamento do aço acontece somente com o sistema de refrigeração da lança funcionando. Caso haja vazamentos ou ausência de água, a descarburização é paralisada imediatamente, sob risco de avaria na lança, por falta de refrigeração ou devido os vazamentos poderem resultar na formação de misturas explosivas em contato com o aço líquido. O sistema possui monitoramento online das vazões de entrada e saída da lança, com proteção automática caso ocorra vazão diferencial acima da admissível definida na lógica do sistema ($4 \text{ m}^3/\text{h}$).

Sistema robusto e até então confiável, vem apresentando uma instabilidade operacional decorrente de desvios nas lanças T-Cob. No período de setembro de 2017 a maio de 2018, ocorreram perdas de produção nas máquinas de lingotamento contínuo de 742 min, devido a desvios no sistema de refrigeração das lanças, principalmente por vazamentos no seu corpo e bico. Considerando uma produtividade de 980 toneladas/h em 3 máquinas de lingotamento contínuo, sendo 327t/h em cada uma delas e uma margem de contribuição de R\$52,00/t, isso gerou um impacto de

aproximadamente 677 mil reais. Somados os custos de reparo esse valor ultrapassa 1 milhão de reais.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar dados de vida das lanças de injeção de oxigênio T-Cob da estação de refino de aço RH2, entendendo os motivos dos desvios e estabelecendo planos de ação para o aumento de sua confiabilidade.

A partir da estratificação das falhas e o conhecimento de suas origens, torna-se possível estabelecer métodos e controles que reduzam as perdas produtivas desse componente, aumentando dessa forma sua disponibilidade operacional.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar as características de vida das lanças T-Cob do RH2;
- Estratificar os motivos dos desvios do componente;
- Aplicar a metodologia LDA e Engenharia de Confiabilidade, verificando sua aplicabilidade e ganhos potenciais;
- Promover ações de bloqueio nas causas básicas das falhas, visando aumento de confiabilidade do componente avaliado;
- Aumentar a disponibilidade operacional da estação de refino de aço RH2.

1.5 JUSTIFICATIVA

Desvios recorrentes e em quantidade significativa das lanças T-Cob, conforme histórico no boletim de ocorrências da Aciaria, tem causado perdas operacionais relevantes no processo produtivo da ArcelorMittal Tubarão. As sucessivas trocas desse componente em intervalos curtos de tempo têm gerado transtornos para as equipes de operação e manutenção do Refino do aço. Soma-se a isso o custo não previsto e indesejado de reparo, além da perda de produção por indisponibilidade da estação de tratamento e risco de ocorrências de segurança devido condição de

vazamento de água e contato desta com o aço líquido a alta temperatura, gerando elevada probabilidade de explosão.

Por essas razões, faz-se necessário estabelecer a esse componente a garantia de confiabilidade, premissa essencial para aumento de disponibilidade da estação de tratamento.

Logo, entender os motivadores dessas falhas e traçar ações para mitigá-las se faz necessário, visando o aumento de confiabilidade dessa estação de tratamento, sua disponibilidade para o processo produtivo e a conseqüente redução de perdas financeiras da empresa.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta etapa é apresentada a metodologia utilizada para atender o objetivo geral desse trabalho de conclusão de curso que é entender os motivos dos desvios e estabelecer os planos de ação para o aumento de confiabilidade das lanças T-Cob, do sistema de descarburização da estação de tratamento de aço RH2.

Metodologia científica é entendida como um conjunto de etapas ordenadamente dispostas que você deve vencer na investigação de um fenômeno. Inclui a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e a tabulação de dados, a análise dos resultados, a elaboração das conclusões e a divulgação de resultados. (SILVA; MENEZES, 2001, p. 23).

Para realização dessa pesquisa torna-se necessário um levantamento de dados referente às falhas relacionadas as lanças T-Cob no período pré-estabelecido.

A coleta de informações confiáveis é primordial para o sucesso da análise do problema. Essas informações serão retiradas do sistema corporativo da ArcelorMittal.

Com os dados em mãos, uma tabulação faz-se necessário, de forma que possibilite uma avaliação criteriosa desses resultados. Sua elaboração de forma clara é fundamental para não levar a caminhos errôneos e que conduzam a resultados inesperados.

Após essa etapa deverão ser identificadas todas as causas raízes das falhas avaliadas. Conforme a ABNT, NBR 5462 de 1994, falha é definida como sendo o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Logo a busca

pelas causas raízes dessas falhas e suas correções, é passo fundamental para o aumento de confiabilidade de um sistema e/ou equipamento.

Confiabilidade é definida como sendo algo associado à operação bem sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas e logo deve ser o foco principal. Por Fogliatto e Duarte (2009).

Essa pesquisa identificará os principais conceitos relacionados a análise de dados de vida (LDA – Life Date Analysis), além dos métodos e técnicas possíveis para redução de falhas e a consequente melhoria na gestão desse ativo. Nessas análises será utilizado o *software* específico da Reliasoft com o módulo Weibull ++.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

A elaboração de um projeto de pesquisa e o desenvolvimento da própria pesquisa, seja ela uma dissertação, tese ou trabalho de conclusão de curso devem estar estruturados conforme um roteiro, para que suas etapas sejam cumpridas e os resultados atinjam os resultados esperados. Dessa forma, esse trabalho em questão deverá ser realizado em 5 capítulos, assim distribuídos:

- Introdução;
- Tema;
- Referencial Teórico;
- Desenvolvimento;
- Conclusão.

O capítulo 1, de introdução, inicia estabelecendo um problema a ser analisado e por meio de seus objetivos, geral e específicos, estabelece o que se deseja na realização dessa pesquisa e o que justifica o empenho no entendimento desse fato.

O capítulo 2, seção onde o tema é discutido, é o momento em que se avalia o contexto estudado correlacionando com o processo e a aplicação em que está inserido.

O capítulo 3, de fundamentação teórica, define o caminho a ser seguido conforme referências bibliográficas pesquisadas e discutidas com os orientadores desse trabalho, destacando elementos que corroborem para o andamento satisfatório

dessa análise, em consonância com os conhecimentos adquiridos por meio dos estudos realizados de engenharia de confiabilidade, em especial a disciplina de LDA.

O capítulo 4 é onde veremos a aplicação desses conceitos, na elaboração das análises para identificação das causas básicas do problema avaliados, assim como seus respectivos planos de ação, visando a confiabilidade satisfatória e o aumento da disponibilidade do componente, por meio do aumento de sua vida útil. A aplicação de LDA e de estruturas de análise de causas raiz vai propiciar o atingimento do objetivo.

O Capítulo 5, de conclusão, apresenta os resultados obtidos por meio das análises realizadas, com suas devidas considerações, tratativas, lições aprendidas e possíveis sugestões para trabalhos futuros. Isso permite consolidar e atingir os objetivos dessa pesquisa.

2 MODO DE OPERAÇÃO E CRITÉRIOS DE MANUTENÇÃO

O capítulo é dedicado a detalhar o processo de operação de produção do aço, nos convertedores e estações de refino secundário, e a função da lança T-Cob, componente de uma dessas unidades na descarburização de aço em uma Aciaria. Aborda ainda os critérios de controle de vida útil adotados pelas equipes de operação e manutenção, objetivando a melhor performance desse componente.

2.1 INTRODUÇÃO

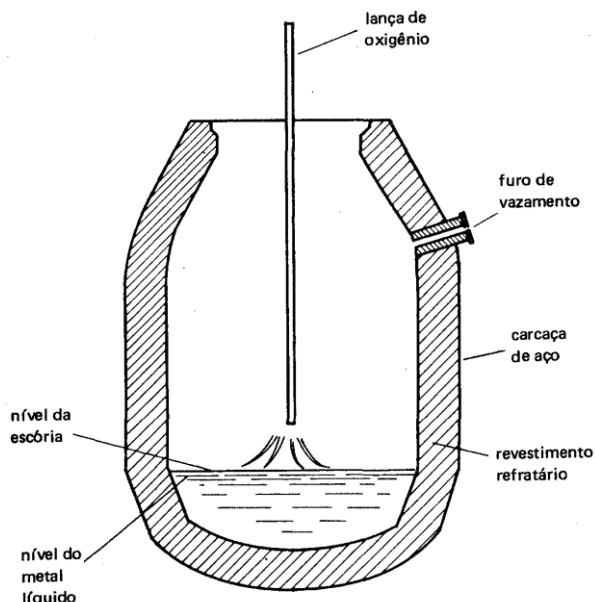
Os pontos discutidos e analisados neste capítulo servem de fundamentação para a pesquisa focada na análise de dados de vida (LDA) da lança T-Cob. Estabelecem ainda parâmetros adotados pela equipe operacional, para manter em uso ou substituir o componente, e pela equipe de manutenção para definição dos reparos a serem realizados, quando definido falta de condições operacionais do item. Acreditamos que conhecer o modo operacional do equipamento, os critérios de avaliação adotados para sua operação e manutenção permitirão identificar as causas básicas das falhas, seus impactos ao longo do tempo e propiciar possíveis ações de eliminação do(s) desvio(s) que tanto têm impactado a disponibilidade da estação de refino do aço RH2.

2.2 ASPECTOS GERAIS

A planta integrada da aciaria da ArcelorMittal Tubarão possui três convertedores com capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço. Esses convertedores são do tipo LD, nome dado em homenagem as duas cidades austríacas que iniciaram esse processo (Lins e Donawitz), e que consiste em um sopro de oxigênio na superfície do metal líquido, por meio de uma lança refrigerada. Criado na década de 40 do século passado, a aplicação desse tipo construtivo de convertedor logo se difundiu, sendo responsável pela maior parte do aço produzido no mundo. Isso se deve ao fato de permitir uma grande variedade metalúrgica, aliada às condições favoráveis de custo de investimento e operacionais.

No convertedor, fabricado de material metálico e revestido com material refratário é que ocorre o processo de transformação. Nele é adicionado, além do ferro gusa, oriundo dos Altos Fornos, carga metálica e fundentes. A injeção de oxigênio por meio da lança, localizada no topo e soprando entre 15 e 24 minutos, garante a redução de carbono, gerando o aço. Outros elementos como silício, manganês e fósforo são oxidados durante o sopro de O_2 , e formam a escória. A vida útil do refratário de um convertedor, denominada campanha, é definida pela quantidade de toneladas de aço que produz. Atualmente em Tubarão adota-se o ciclo de 4200t para que seja realizada a troca do refratário.

Figura 2.1 – Convertedor tipo LD com lança de injeção de Oxigênio



Fonte: CHIAVERINI (1986).

O menor teor de carbono, economicamente viável, nos processos que empregam convertedores a oxigênio é de aproximadamente 0,03%. Teores menores que isso somente podem ser alcançado por meio da utilização do processo de refinamento secundário do aço, como a desgaseificação a vácuo.

2.3 REFINO SECUNDÁRIO DO AÇO

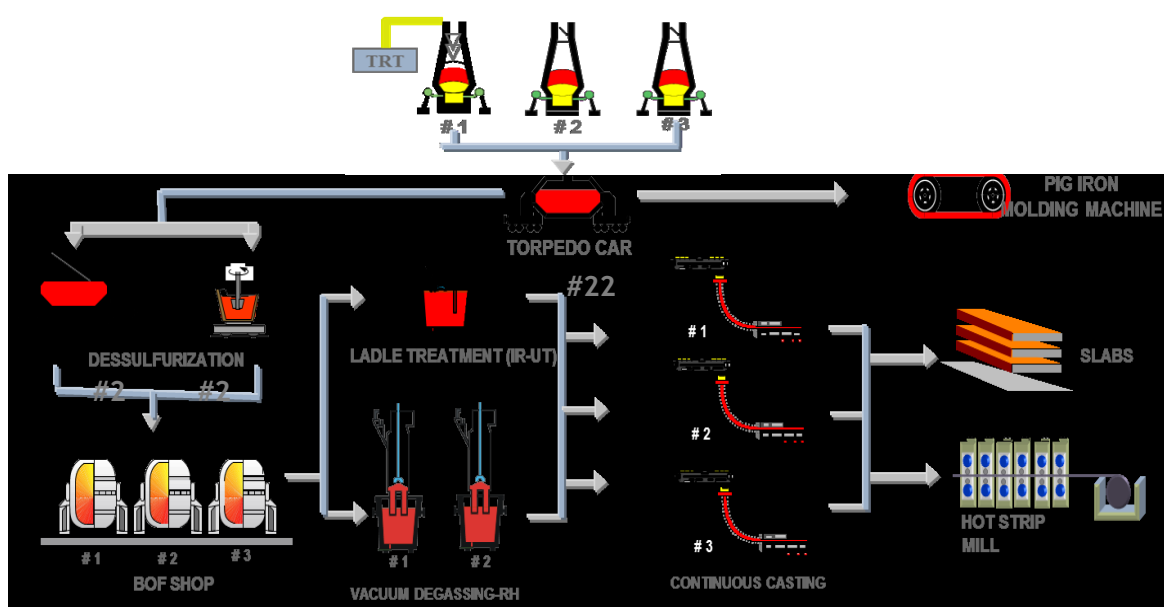
As demandas de mercado exigem que se produza aços cada vez mais elaborados, atendendo a uma série de requisitos e com elevada exigência de

qualidade. Isso só é possível em uma Aciaria por meio das estações de refino secundário do aço. O teor de carbono do aço após transformação em um convertedor, muitas vezes precisa ser ainda mais reduzido, refinado, pois somente dessa forma atinge-se os parâmetros e composição química adequadas para atendimento às diversas demandas existentes de aplicação desse material, em especial à indústria automobilística.

Rizzo (2006) define que os principais objetivos da etapa de refino secundário são:

- A redução do tempo de produção do aço, com aumento de produtividade e redução de custos;
- Maior flexibilidade operacional e/ou de controle da produção.
- Controle de temperatura do aço líquido, por meio de aquecimento.
- Ajuste de composição química do aço.
- Aumento do grau de limpeza do aço.

Figura 2.2 - Fluxograma de processo de produção do aço em usina siderúrgica, com estações de refino secundário



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2008).

A busca constante de atendimento a clientes, seja aprimorando determinados tipos de aço ou desenvolvendo outros, com graus de limpeza cada vez mais elevados,

evidenciam a importância das estações de refino de aço no processo produtivo de uma siderúrgica.

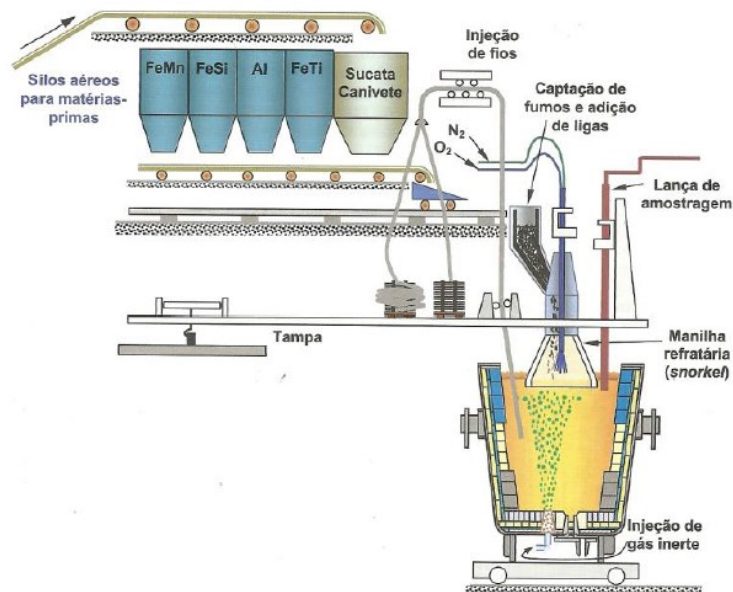
2.4 ESTAÇÕES DO REFINO SECUNDÁRIO DO AÇO

A ArcelorMittal Tubarão tem 3 estações de refino, sendo elas um IRUT (Injection Refining-Up Temperature) e duas estações de desgaseificação à vácuo tipo RH. No IRUT temos a produção de aço de composição mais simples, enquanto que os RH's são responsáveis pela produção de aços mais elaborados, com maior valor agregado.

2.4.1 IRUT

Nessa unidade de refino secundário é possível realizar aquecimento e ajuste fino de composição química do aço para atendimento ao processo de lingotamento contínuo. Rizzo (2006) cita que o “aquecimento no processo IRUT é baseado na reação química exotérmica do alumínio e/ou silício com oxigênio soprado na superfície do aço.”

Figura 2.3 - Fluxograma de processo IRUT



Fonte: Rizzo (2006).

Cada tipo de aço tem um tempo de tratamento, que é definido em função da temperatura e composição química visadas. O aquecimento ocorre adicionando alumínio e/ou silício no aço, com sopro de oxigênio a posterior.

Temos esse tipo de tratamento realizado em 3 estágios: borbulhamento de argônio para homogeneizar a composição química, adição de alumínio e sopro de oxigênio, aumentando a temperatura, por meio de uma lança refratária na superfície do banho. Após essas etapas, o aço líquido é agitado com argônio, objetivando atingir homogeneidade térmica e química, além de auxiliar na limpidez do aço. Após confirmado o atingimento das condições pré-estabelecidas para processamento (estabelecidas pelo cliente e processo interno), a panela é então liberada para o processo posterior da produção, o lingotamento contínuo.

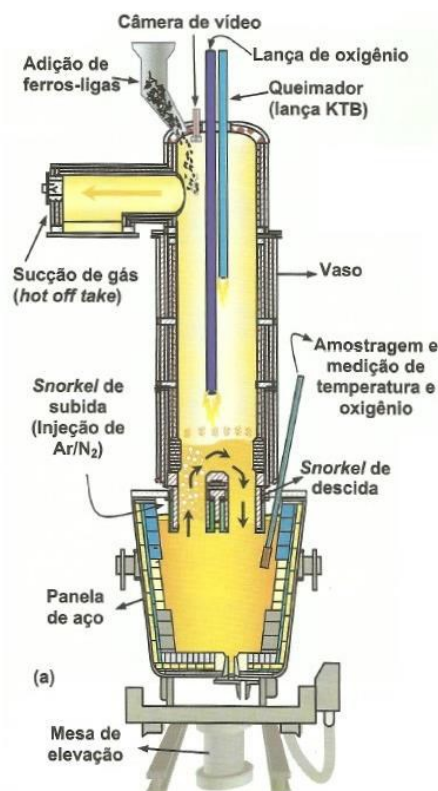
2.4.2 Desgaseificadores à vácuo tipo RH

Outras possibilidades de rota de produção, as duas unidades de desgaseificador à vácuo tipo RH, na área de refino secundário da ArcelorMittal Tubarão, são responsáveis por conferir ao aço um nível de limpidez elevado, por meio do tratamento em uma atmosfera sob vácuo. Isso permite que a descarburização ocorra com maior eficiência, proporcionando a produção de aços com baixíssimos teores de carbono, premissa de atendimento às mais exigentes aplicações, como a indústria automobilística.

O Desgaseificador à Vácuo, no processo produtivo, tem os seguintes objetivos em relação ao aço líquido:

- Redução dos níveis de carbono (descarburização);
- Ajuste da composição química;
- Mínimo possível de gases dissolvidos (desgaseificação);
- Ajuste da temperatura;
- Aquecimento do refratário do vaso na posição de tratamento.

Figura 2.4 - Fluxograma de processo RH



Fonte: Rizzo (2006).

Dentre os componentes que compõem essas unidades, destacam-se:

- Sistema de vácuo: responsável pela obtenção do vácuo nos RHs. Reduz a pressão do vaso até 0,67 mbar;
- Hot-Off-Take: equipamento responsável pela interligação do vaso ao sistema de vácuo, sendo acoplado ao vaso de vácuo;
- Vaso de vácuo: peça metálica, cilíndrica, revestida internamente com tijolos refratários, interligado à panela e onde é realizado o refino do aço;
- Sistema de abastecimento de ligas: composto por moegas e correias para abastecer os silos de ferro ligas que são utilizados na produção dos diversos tipos de aço;
- Sistema de pesagem e adição de ligas: composto por balanças, correias, calhas giratórias, silos e vibradores de descarga, é responsável pela pesagem e adição das ligas, conforme a especificação de cada tipo de aço;

- ETA (Estação de tratamento de água): A ETA, além do resfriamento da água de condensação, faz a filtragem da mesma eliminando o excesso de impurezas que são geradas no processo de produção;
- Lanças de adição de oxigênio (sopro forçado): posicionadas na parte superior do vaso de tratamento conferem às estações a possibilidade de determinadas funcionalidades adicionais, tais como descarburização forçada (produção de aços ultra baixo carbono), aquecimento de corridas (panela com aço) e limpeza do vaso de tratamento (remoção de cascão). No RH1 temos uma lança KTB (Kawasaki Top Oxygen Blowing), da Kawasaki Steel Corporation, enquanto que o RH2 opera com o modelo T-COB (Technometal Combined Oxygen Blowing), da Siemens Vai, equipamento a ser melhor detalhado mais adiante.

Assim como na rota via IRUT, concluída essa etapa e estando de acordo com o requisitado, a panela é encaminhada para o lingotamento contínuo.

2.4.3 Sistema de lança T-COB

O sistema da lança multifuncional T-COB consiste das seguintes funções:

- Sopro de Oxigênio para Descarburização e aquecimento químico;
- Remoção rápida de cascão por sopro de oxigênio;
- Aquecimento do vaso;
- Manutenção de temperatura entre os tratamentos.

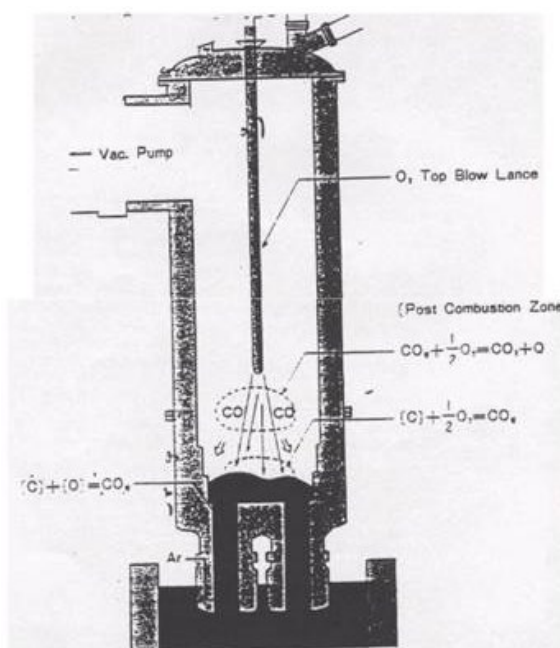
Figura 2.5 - lança T-COB em funcionamento



Fonte: Siemens Vai (2009).

A Lança T-COB, utilizada no RH2, tem função similar a lança KTB, utilizada no RH1. É posicionada em um carro que se desloca sobre a área do Hot-Off-Take e pode ser ajustada com precisão, dentro do seu curso, para assegurar distância otimizada do banho de aço, durante sopro de oxigênio, para descarburização ou aquecimento químico. Não deve ser imersa no banho do aço líquido, pois isso resulta em danos irreparáveis. Um batente mecânico assegura uma distância mínima para evitar esse contato.

Figura 2.6 - Esquema de funcionamento da lança KTB



Fonte: Machado (2006).

Características mecânicas:

- números de sistemas de lança: 1
- Curso: aprox. 8m;
- Comprimento: aprox. 10m;
- Velocidade: aprox. 20 m/min;
- Diâmetro externo da lança: aprox. 300mm.

Características operacionais:

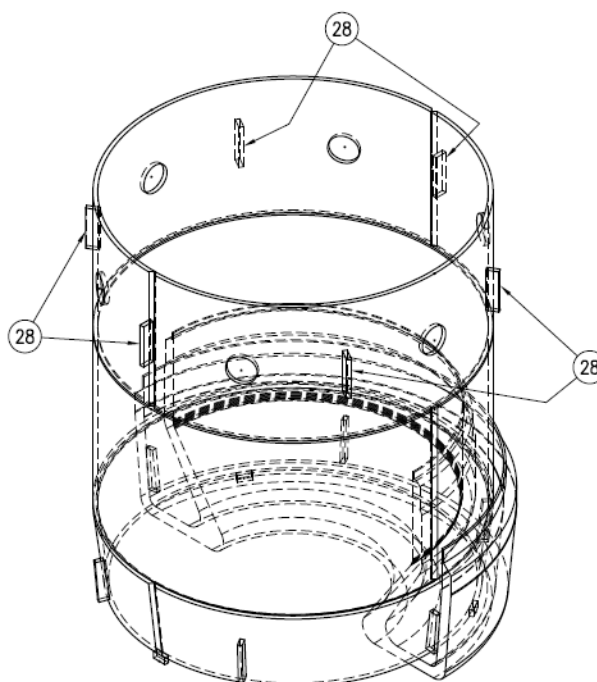
- aquecimento do vaso: gás natural O₂;
- velocidade de aquecimento do vaso: aprox. 50 °C/h;
- temperatura do refratário: max. 1,400 °C;
- capacidade de aquecimento: aprox. 3,500 kW;

- vazão do gás natural: aprox. 400 Nm³/h;
- vazão do oxigênio: aprox. 900 Nm³/h.

O corpo da lança é composto por uma estrutura de tubos concêntricos e uma jaqueta de água de resfriamento. Vazamentos devem ser removidos imediatamente, pois a água em contato com o aço pode resultar na formação de misturas explosivas. Caso ocorram vazamentos deve-se proceder com a parada imediata da estação de tratamento para que seja realizada a troca da lança.

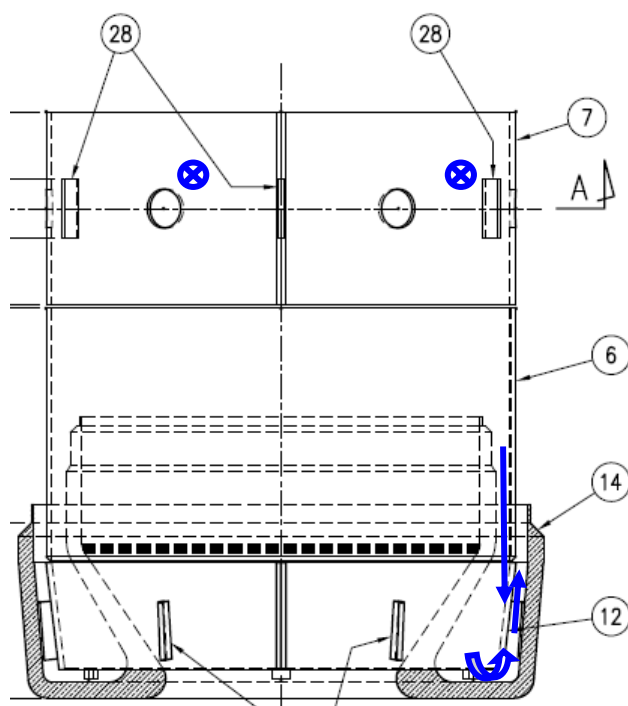
Modo de funcionamento: após início de vácuo no sistema de vazo e hot-of-take inicia-se o processo de descarburização com a abertura da válvula principal de vácuo. Ocorre redução da pressão interna no sistema vaso x panela x snorkel. Quando alcançado o valor de pressão abaixo de 300mBar é realizado a descida da lança T-Cob na parte interna do Hot-of-take/ Vaso através do bocal do selo inflável localizado na parte superior do hot-of-take. A lança é posicionada na altura de início de sopro sendo iniciada a injeção de Oxigênio puro na vazão aproximada de 2800m³/h. Conforme o valor de PPM de O₂ e Carbono existente na corrida são soprados volumes entre 70 a 320Nm³.

Figura 2.7 - Desenho esquemático com características do projeto da lança



A seguir, temos um desenho ilustrativo do fluxo de água nas câmaras do bico da lança T-Cob, esse fluxo de água vem da parte superior da lança e escoa pela câmara interna, passando por toda extensão do corpo da lança, até chegar ao bico e então retornar ao topo, o objetivo da circulação desse fluido é garantir a refrigeração da lança.

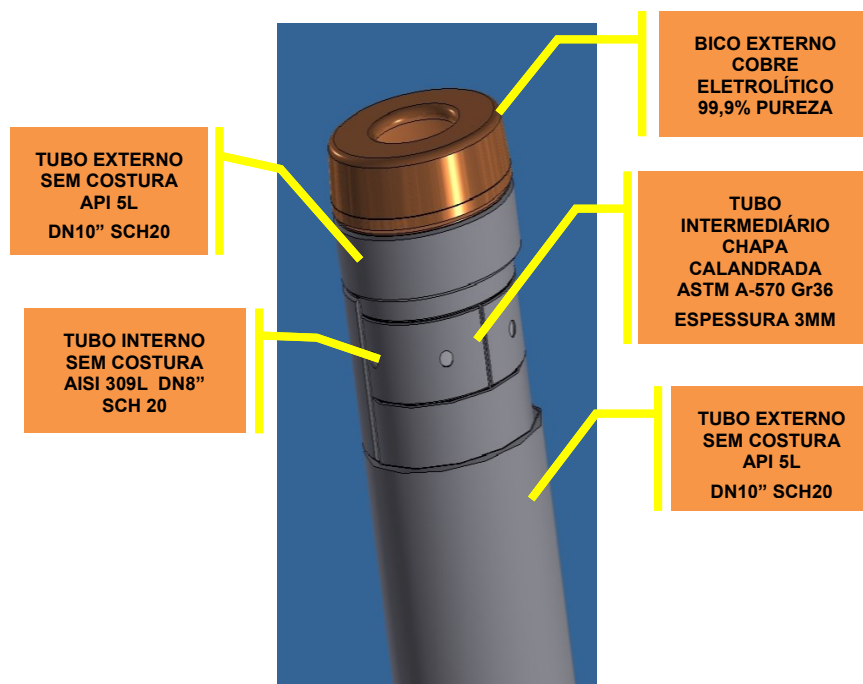
Figura 2.8 - Fluxo de água nas câmaras do bico da lança



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019).

A lança de sopro de oxigênio e nitrogênio T-Cob é constituída por diferentes materiais em cada parte de seu corpo físico. N Figura 2.9, é possível identificar cada um dos tubos da lança e as características individuais que os compõem.

Figura 2.9 - Materiais de componentes da lança



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019).

O tubo interno, não estar a mostra na Figura 2.9, ele se encontra no interior da lança, sendo ele a parede interna da lança, possível de identificar na Figura 2.8, onde que o indicador numero 6 é o tubo intermediário, que fica entre o tubo externo e interno.

2.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os processos de refino primário e secundário na produção de aço, além das características técnicas das lanças de injeção de oxigênio T-COB e seu principal modo de falha, os vazamentos de água.

Entender o processo produtivo, as aplicações do componente em estudo, seu principal modo de falha e seu impacto na disponibilidade da estação no qual se encontra instalado, permite que se realize uma análise baseada na relevância dessas ocorrências e suas consequências, tornando possível a compreensão de seus respectivos riscos para o equipamento, para o processo operacional e, principalmente, para a segurança das pessoas.

Em suma, a confiabilidade é premissa básica para o desempenho satisfatório e de forma segura do componente, sendo a aplicação dos conceitos do próximo capítulo necessários para o tratamento adequado das amostras coletadas, a partir do entendimento do comportamento dessas falhas.

3 CONCEITO DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

3.1 INTRODUÇÃO

O crescimento da economia mundial impulsionou a necessidade de aumento de desempenho de produtos, equipamentos e sistemas a custos mais competitivos, relata Fogliato e Duarte (2009). Logo, entender os motivos e reduzir a probabilidade de falhas, uma vez que aumentam custos e podem caracterizar riscos à segurança das pessoas ou do ambiente nos quais estão inseridos, tornou-se essencial. Nesse contexto surge o conceito de confiabilidade na engenharia de manutenção.

De uma forma mais abrangente a *“confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas”*, (Leemis, 1995). O desenvolvimento de metodologias e práticas com esse objetivo vem sendo aplicados desde o final da Primeira Guerra Mundial e relacionam a confiabilidade de um produto à sua operação bem sucedida, ou seja, com quebras ou falhas minimizadas e/ou eliminadas por um período de tempo determinado.

3.2 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

A engenharia de confiabilidade é uma área dessa ciência direcionada ao estudo da confiabilidade de sistemas de uma maneira geral, durante o ciclo de vida, podendo ser analisada de forma qualitativa e/ou quantitativa.

3.3 LDA – LIFE DATA ANALYSIS

O LDA – *Life Data Analysis*, termo em inglês para análise de dados de vida, nomeia uma das metodologias da engenharia de confiabilidade. Ela se baseia em analisar os dados de vida de produtos e/ou sistemas para determinar o modelo probabilístico mais adequado a fim de estimar sua vida e/ou seu comportamento ao longo do tempo.

Os dados a serem analisados, medidos em unidade de tempo, ciclos, comprimento, etc., são coletados a partir do momento inicial de operação até a ocorrência de uma falha. Após essa etapa é definido um modelo de distribuição

estatística que estima algumas das mais importantes características de vida do produto, como confiabilidade, vida média, probabilidade de falha, taxa de falhas, entre outros.

Entretanto, para que a análise de dados de vida seja confiável, alguns cuidados são necessários, dentre os quais destaca-se:

- Ter dados históricos de eventos e/ou ocorrências de falha confiáveis;
- Selecionar a melhor distribuição que corresponda aos dados coletados e estimar os parâmetros que irão ajustar essa coletânea;
- Gerar resultados que estimem algumas características do produto, como confiabilidade, por exemplo.

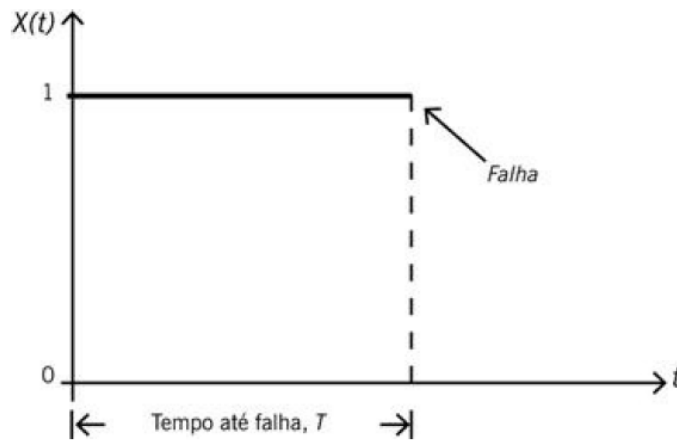
Os modelos estatísticos se baseiam nos dados para fazer previsões e a precisão dessa previsão é diretamente proporcional à qualidade e confiabilidade dos dados coletados. Logo, a seleção adequada dos dados é fator primordial para uma boa análise.

3.3.1 Tempo até a falha

A confiabilidade de um item é uma relação de sua probabilidade de sobrevivência até um determinado tempo e que essa probabilidade é possível por meio de modelagens desses tempos, segundo Fogliato e Duarte (2009). Logo, conhecer essa modelagem, que se estabelece por meio de registros de dados históricos confiáveis, desde o momento de entrada desse componente até sua primeira falha ou computados por meio de experimentos em campo ou ambiente de teste, sob determinadas condições estabelecidas, é fundamental para o alcance de êxito em estudos de confiabilidade.

Por definição e ainda conforme o referido autor, sendo o tempo até a falha estabelecido por uma variável aleatória de estado T , descrito como $X(t)$ e 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 . Dessa forma consegue-se estabelecer uma 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 DUARTE (2009).

As variáveis aleatórias são utilizadas para denotar as medidas da maioria dos problemas que são lidados pela engenharia de confiabilidade, pois estão constantemente interessados em expressar medidas quantitativas, como tempo até falha e medidas qualitativas, indicando se um componente está em falha ou não. Sendo assim podemos classificar as variáveis aleatórias de duas formas:

- Variáveis aleatórias discretas: onde os valores assumem valores determinados, como por exemplo, 0 ou 1;
- Variáveis aleatórias contínuas: onde a variável pode assumir uma infinidade de valores dentro de um intervalo, como por exemplo, o tempo entre falha dentro de um ano de operação, diâmetro de peças, etc.

O tempo até a uma falha, em determinadas situações, não pode ser medido de forma contínua. Nesse caso, assume-se valores discretos, como número de ciclos até essa falha.

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

A função $F(t)$ 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:

$$f(t) = F1(t) = d/ dt * F(t) \quad (2)$$

Conforme Fogliato e Duarte (2009) conclui, conhecendo-se $f(t)$ [ou $F(t)$], é possível determinar a confiabilidade $R(t)$ da unidade para qualquer tempo t .

3.3.2 Função confiabilidade

Segundo definição de Fogliato e Duarte (2009), a confiabilidade de uma unidade ou sistema é definida como sendo sua probabilidade acumulada (3) de sucesso. Isso significa em tempo t , em função de confiabilidade $R(t)$ é representada por:

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

Assim:

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

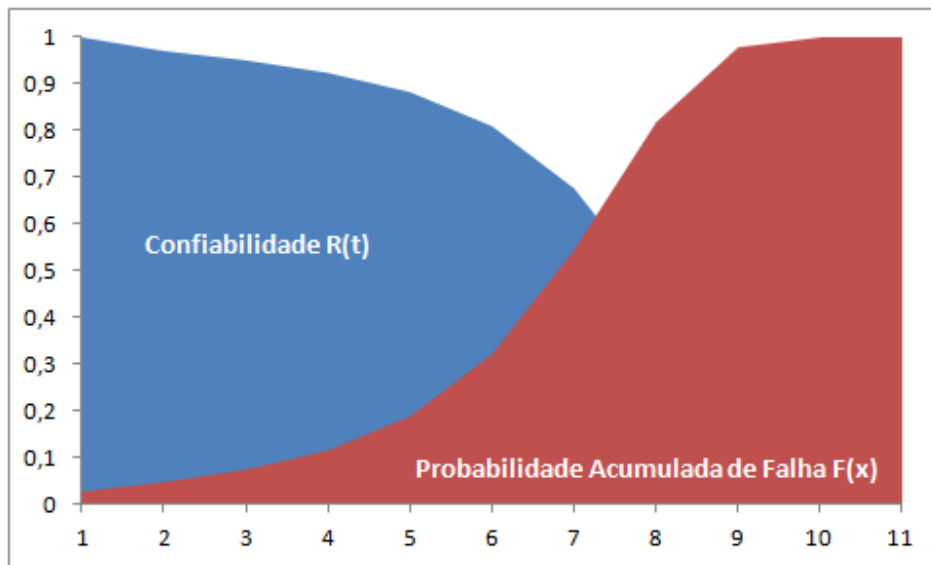
Onde $R(x)$ é a Confiabilidade (4) e $F(x)$ é a Probabilidade Acumulada de Falha ou Não Confiabilidade (5).

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



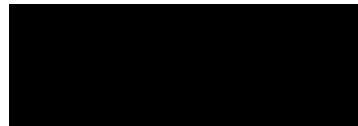
Fonte: Adaptado de Reliasoft (2017).

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

Derivando a 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:

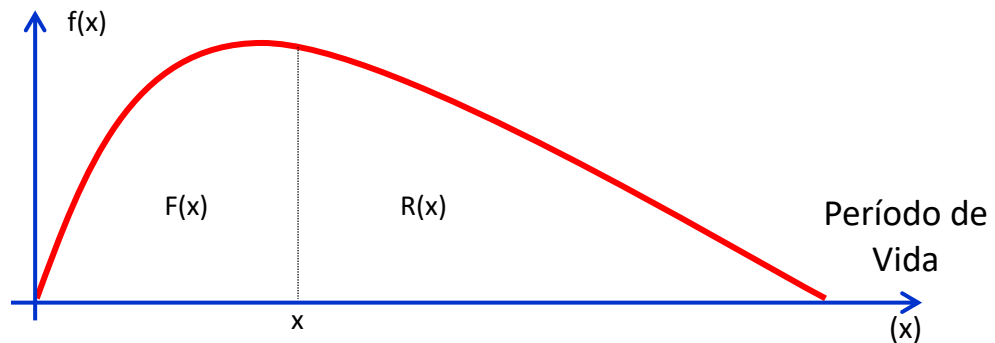
$$f(x) = \frac{dF(x)}{d(x)} = \frac{1}{N_0} \times \frac{dNF(x)}{dx} = - \frac{dR(x)}{dx} = - \frac{1}{N_0} \times \frac{dN_s(x)}{dx} \quad (7)$$

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



(8)

Figura 3.3 - Relação probabilidade de falha (F(x)) e probabilidade de sobrevivência após o ponto x



Fonte: Adaptado de Reliasoft (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,

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

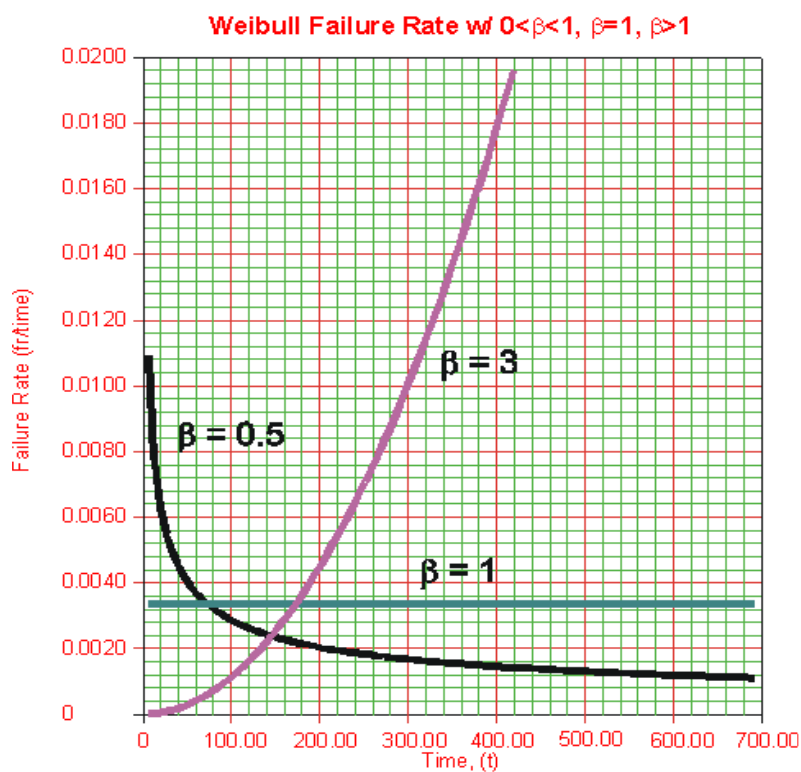
O termo distribuição de vida é utilizado para descrever as probabilidades estatísticas utilizadas na engenharia de confiabilidade e na análise de dados de vida conforme suas respectivas funções densidade de probabilidade (pdf).

Lacerda (2017) afirma que existem inúmeras distribuições estatísticas elaboradas por matemáticos, estatísticos e engenheiros para representar certos comportamentos e algumas tendem a representar melhor o comportamento de dados de vida. Ainda segundo ele, as distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até a falha de componentes e sistemas são: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal.

A distribuição exponencial é normalmente utilizada para descrever sistemas ou componentes com taxa de falha constante (LAFRAIA, 2001). É amplamente utilizada pela sua simplicidade e na maioria dos casos é uma distribuição de dois parâmetros. Ainda segundo Lafraia (2001) se aplica em Sistemas complexos não redundantes; com taxa de falhas independentes; com dados de falhas mostrando causas muito heterogêneas ou de vários componentes; com substituição antes da falha (manutenção preventiva); falhas de equipamentos com grande número de componentes (>200) sujeitos a mais de três manutenções.

A distribuição de Weibull, segundo Lacerda (2017) 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. Segundo Fogliato (2009), 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. Atualmente é 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.

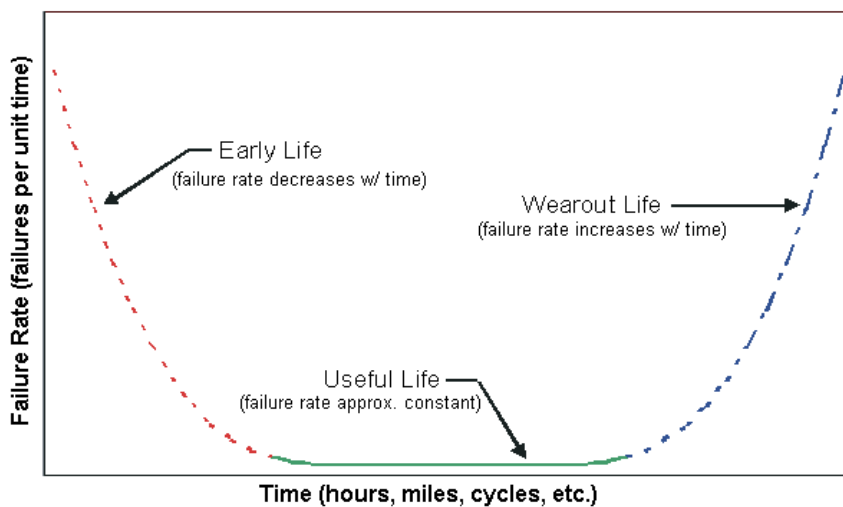
Figura 3.4 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull



Fonte: Reliasoft (2005).

A Figura 3.5 seguir exibe um exemplo da curva da banheira indicando os comportamentos da taxa de falha em etapas da vida do ativo.

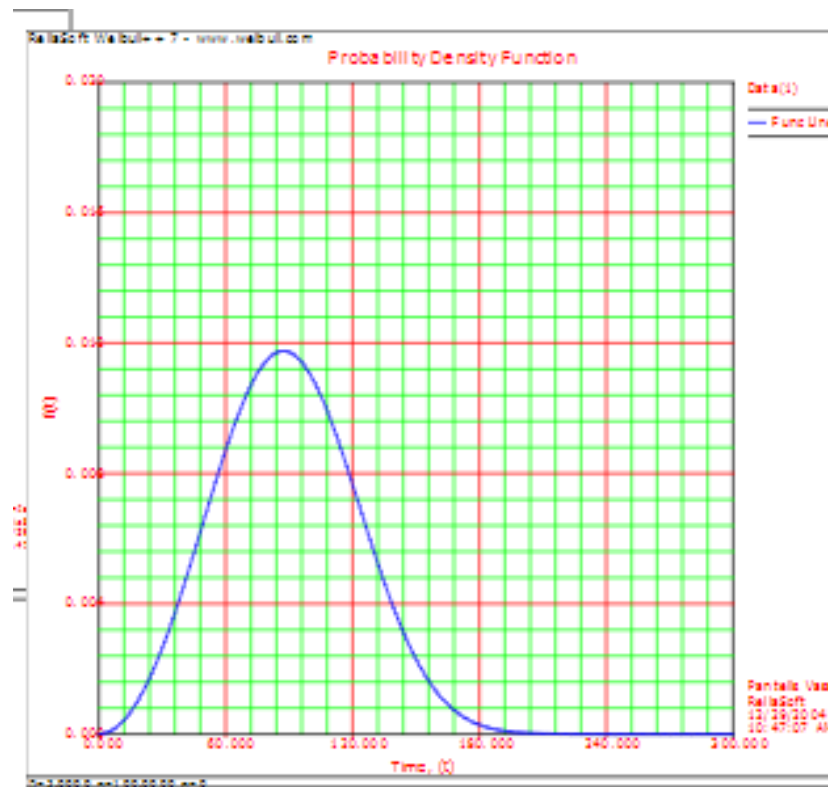
Figura 3.5 - Representação do parâmetro de forma na distribuição Weibull



Fonte: Reliasoft (2005).

O gráfico indica que 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 pdf com distribuição Weibull



Fonte: Reliasoft (2017).

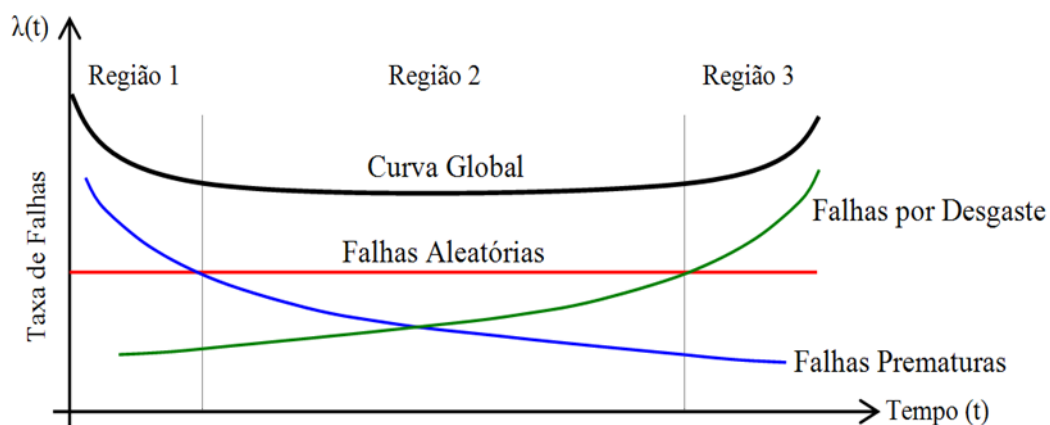
A distribuição Gama é generalizada da distribuição exponencial. Seja uma unidade exposta a uma série de choques que ocorrem conforme um processo homogêneo, com intensidade γ .

A distribuição log-normal é muito versátil e comumente usada para análise de confiabilidade geral, ciclos de falha na fadiga, força de materiais e componentes sujeitos a desgaste. O tempo até a falha T de uma unidade segue uma distribuição lognormal se $Y = \ln T$ for normalmente atribuído (Fogliatto e Duarte, 2009). 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 assíntota 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 3.7 - Considerações sobre a Taxa de Falhas



Fonte: Adaptado de Reliasoft (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

A análise de confiabilidade do sistema, SRA – System Reliability Analysis, tem objetivo principal de construção de um modelo que represente os tempos de falha de todo o sistema com base nas distribuições de vida dos seus componentes e seus subconjuntos. Já com a LDA conseguimos obter uma distribuição de vida que descreva os tempos de falha de um componente, subconjunto, montagem ou sistema. Ou seja, o SRA é uma análise de um conjunto de LDA de componentes e subsistemas.

De acordo com Grecco (2017), assim surge o conceito de Sistema, uma coleção de componentes e subsistemas dispostos de acordo com um projeto específico para alcançar as funções desejadas com desempenho e confiabilidade aceitáveis. Os tipos de componentes, suas quantidades, suas qualidades e a maneira como eles estão dispostos dentro do sistema têm um efeito direto sobre a confiabilidade do sistema (Reliasoft, 2015).

Denomina-se sistema reparável uma coleção de subsistemas, equipamentos e itens ou componentes que podem ser reparados ou substituídos permitindo a esse sistema restabelecer as funções principais após uma falha funcional.

O diagrama de blocos de confiabilidade, RBD – *Reliability Bloco Diagram*, representa graficamente os componentes de um sistema e como estão relacionados à confiabilidade. A configuração de interligação e dependência dos blocos depende dos dados de distribuição e vida dos seus componentes, fatores que interferem diretamente na condução das análises, podendo dessa forma, sua configuração ser em série, paralelo simples, combinado, reserva (*standby*), compartilhado (*load share*) e paralelo alternado (revezamento).

3.3.5 Fator de restauração

A análise de dados de vida pode considerar nas avaliações os reparos realizados em componentes do sistema a fim de entender o(s) efeito(s) deste(s) na sua confiabilidade. Dessa forma, o *Fator de restauração* (RF – *Restoration Factors*) pode ser utilizado nos casos em que um quer modelar reparação imperfeita ou um reparo com um componente usado, descrevendo de forma mais clara o tempo de vida/utilização de um ou mais componentes (Reliasoft, 2016). Em muitas análises esse fator é desprezado e o componente é considerado tão bom quanto o novo. Conceitualmente, o valor do fator de restauração pode assumir 3 comportamentos, com seu valor variando de 0 a 1, conforme abaixo:

- Fator de restauração de 1 (100%): quando o componente é substituído por outro e é considerado tão bom quanto um novo após o reparo, com sua vida retornando a 0. Costuma-se adotar o termo em inglês “as good as new”;

- Fator de restauração de 0,5 (50%): 0,5 implica em 50% de melhoria no conjunto e idade do conjunto com 50% da idade acrescentada com a ação de manutenção;
- Fator de restauração de 0: indica que o conjunto não teve melhoria com a ação de manutenção e será o mesmo de antes do reparo e o efeito resultará em adotar a idade inicial do componente como a mesma que ele possuía na falha.

Portanto, entender o comportamento dos componentes em um sistema, considerando ou não os reparos realizados e seus respectivos impactos faz parte da avaliação a ser realizada. Logo, ter um histórico confiável dessas ocorrências torna-se necessário nesse processo, uma vez que o objetivo da aplicação dessa metodologia é exatamente determinar a efetividade dos reparos realizados.

4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO LDA

Nesta etapa do trabalho é detalhado o desenvolvimento da análise para alcance dos objetivos determinados nos capítulos anteriores. Os dados utilizados são ocorrências de falhas do sistema de lança de oxigênio para descarburização no desgaseificador a vácuo n°2 da ArcelorMittal Tubarão e que resultam em paradas da estação, independente de impactarem ou não no plano de produção diário de placas de aço. A abordagem de falha desta forma é necessária devido a possibilidade de, eventualmente, se realizar a troca da lança avariada sem resultar em perda de produção, dependendo do mix a ser produzido. Logo, considerar apenas falhas que resultaram em perdas de produção pode ocasionar uma interpretação equivocada da confiabilidade do sistema.

4.1 COLETA DE DADOS

Os dados referentes às trocas das lanças de oxigênio foram coletados em três sistemas, um utilizado pela equipe de operação e os outros dois pela equipe de manutenção. No primeiro sistema, denominado de Boletim da Produção, são imputadas ocorrências que interferem no funcionamento pleno das estações (convertedores, refinós e máquinas de contínuo) com seus respectivos tempos, sendo que alguns desses eventos impactam o plano de produção do dia. O segundo sistema é o Sismana, CMMS (Centralized Management Maintenance System), onde são registrados os dados do atendimento da equipe de corretiva, através de um registro simplificado de anomalia, denominado Rean (Registro de Anomalia). Já o terceiro sistema é o SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung – sigla em alemão de Sistemas, aplicativos e produtos no processamento de dados/ tradução livre), que passou a ser utilizado em substituição ao Sismana. Como a coleta compreende o tempo de transição entre os sistemas, há informações em ambos.

O boletim da produção é preenchido pelos operadores, a medida que acontecem ocorrências que prejudicam o fluxo operacional das estações, independente se vão ou não ocasionar em perda de produção. Cada tipo de ocorrência tem um código para registro e essas informações ficam armazenadas no sistema por tempo indeterminado podendo serem consultadas sempre que se fizer

necessário. As paradas da estação do desgaseificador por troca de lança de oxigênio são registradas como *OZ – outras paradas da operação* com posterior comentário sobre o detalhamento.

Figura 4.1 – Lançamento de paradas de produção no RH_02

Boletim da Produção - Parada Diária por Motivo

Filtro: Área RH_02 Dia 28/01/2019

Gráfico Dados

Data e Hora Início	Data e Hora Fim	Motivo	Descrição do Motivo	Natureza	Local	Tempo
28/01/19 10:29	28/01/19 10:36	SF	PP-MUDANÁA DE HORTRIO TORRE - LINGOTAMENTO CONT?NUO		RH_02	00:07
28/01/19 10:50	28/01/19 11:06	JB	PROJEÁO REFRA?RIA NO SNORKEL		RH_02	00:16
28/01/19 11:45	28/01/19 11:53	LB	ESPERA DE SINCRONISMO		RH_02	00:08
28/01/19 12:18	28/01/19 12:19	SF	PP-MUDANÁA DE HORTRIO TORRE - LINGOTAMENTO CONT?NUO		RH_02	00:01
28/01/19 12:33	28/01/19 12:43	LB	ESPERA DE SINCRONISMO		RH_02	00:10
28/01/19 13:22	28/01/19 13:35	JB	PROJEÁO REFRA?RIA NO SNORKEL		RH_02	00:13
28/01/19 14:14	28/01/19 14:20	LB	ESPERA DE SINCRONISMO		RH_02	00:06
28/01/19 14:45	28/01/19 14:52	SF	PP-MUDANÁA DE HORTRIO TORRE - LINGOTAMENTO CONT?NUO		RH_02	00:07
28/01/19 15:06	28/01/19 15:17	JB	PROJEÁO REFRA?RIA NO SNORKEL		RH_02	00:11
28/01/19 15:48	28/01/19 15:53	SF	PP-MUDANÁA DE HORTRIO TORRE - LINGOTAMENTO CONT?NUO		RH_02	00:05
28/01/19 16:07	28/01/19 16:09	LB	ESPERA DE SINCRONISMO		RH_02	00:02
28/01/19 16:40	28/01/19 16:43	SF	PP-MUDANÁA DE HORTRIO TORRE - LINGOTAMENTO CONT?NUO		RH_02	00:03
28/01/19 16:45	28/01/19 18:00	DV	FALHA NA LANÁA T-COB		RH_02	01:15
28/01/19 18:00	28/01/19 19:00	DV	FALHA NA LANÁA T-COB		RH_02	01:00
28/01/19 19:00	28/01/19 19:30	LB	ESPERA DE SINCRONISMO		RH_02	00:30
28/01/19 19:30	28/01/19 20:15	2P	PP-FALHA NA LANÁA T-COB		RH_02	00:45

Fonte: Boletim de Produção (2019)

No Sismana são registrados os REANS e no SAP as notas de atendimento de turno, contendo o detalhamento dos atendimentos de emergências realizados pelas equipes de manutenção, que atuam em regime 24 horas para reparo corretivo imediato. As falhas podem ser de natureza elétrica, mecânica ou de processo (operação).

Os quadros abaixo apresentam os registros de falhas do sistema de Lança T-Cob do RH2 e notas para trocas corretivas das lanças. Os registros de falha e Ordens de Serviço foram retirados do atual Sistema Informatizado de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão (SAP- ARMP) e mostra as falhas ocorridas em emergências.

Figura 4.2 - Histórico de falhas das lanças 2018 a 2019

Lança	Dia entrada	Dia Saída	Quantidade de dias	Vazão PIMS (m3/h)	Volume O2 soprado (Nm3)
3	18/mai	21/mai	3	42,8	6.321
1	24/mai	04/jun	11	50,5	25.927
3	04/jun	12/jun	8	46	25.187
2	12/jun	16/jun	4	50,2	13.737
1	16/jun	25/jun	9	50,6	31.900
3	25/jun	06/jul	11	46	43.312
2	06/jul	18/jul	12	49,8	48.641
1	18/jul	22/jul	4	50,2	Contador do PIMS se
3	22/jul	06/set	46	45,6	140.559
1	06/set	23/set	17	48,7	56.441
2	24/set	27/set	3	48,4	9.596
3	27/set	26/out	29	48,2	89.491
1	26/out			42,8	
Troca não registrada					
	29/nov	04/dez	5	46	13.796
3	04/dez	15/dez	11	46,9	31.882
2	15/dez	20/dez	5	47,4	24.695
1	20/dez	23/dez	3	46,4	**
3	23/dez	28/dez	5		**
2	28/dez	30/dez	2	47,5	**
1	30/dez	02/jan	3		**
3	02/jan	09/jan	7	47,4	27.528
1	09/jan	13/jan	4	48	10.307
2	13/jan	16/jan	3	48	9.655
1	16/jan	25/jan	9	49,53	37.060
2!	25/jan	27/jan	2		
3	27/jan	28/jan	1	48	3.900
	28/jan	08/fev	11		
1	08/fev	18/fev	10	48,2	31782
3	18/fev	20/abr	63	47,4	201.624
1	20/abr	16/mai	28	48,9	69.000
3	16/mai	19/jun	36	47,9	82.767
2	19/jun	02/jul	15	47,8	37.407
3	02/jul	05/ago	36	48,5	79.185

Fonte: Registros de campanhas de lança – registros da área (2018 e 2019).

Em 2016 e 2017 possivelmente ocorreram falhas no registro das ocorrências de manutenção ou falhas devido a condições operacionais (volume de oxigênio soprado). Os atendimentos eram registrados no SISMANA, porém não possui controle de volume de O₂ soprado por campanha de lança. Também não existia o registro de vida útil por número de lança, impossibilitando a análise destes dados históricos.

O quadro abaixo (Figura 4.3) apresenta o dia do lançamento da falha, a data e horário da ocorrência, a matrícula de cadastro do empregado responsável pelo atendimento e a localização do cadastro do equipamento no SAP.

Figura 4.3 - Relatório simplificado dos registros de falhas do período pesquisado

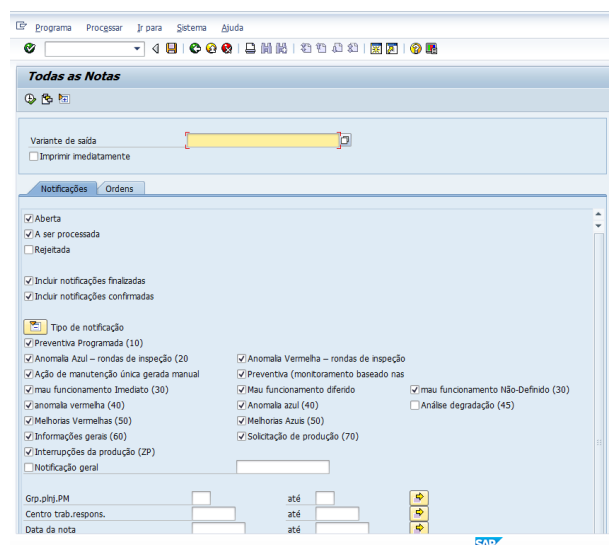
Reg.Date	Hora da nota	Nota	Ordem	Tp.	P-func	Status do usuário	Posiç func	Nível	GPM	Descrição	Local de instalação	Criado por	InícioAvar	Fim ava
06.08.2019	12:43:24	900000299497	900003878623	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	Substituição da lança TCOB	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30009768	05.08.2...	05.08.2...
12.07.2019	15:48:54	900000281811	900003644981	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	AGARRAMENTO DA LANÇA	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30012373	12.07.2...	
02.07.2019	17:21:40	900000274734	900003550527	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	LANÇA T-COB FURADA	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30014335	02.07.2...	02.07.2...
19.06.2019	16:38:22	900000268721	900003448720	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	LANÇA T-COB FURADA	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30012373	19.06.2...	
15.06.2019	03:16:38	900000266135	900003421073	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	SELO INFLÁVEL AVARIADO	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30012216	14.06.2...	15.06.2...
16.05.2019	17:28:37	900000251408	900003223595	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	VAZAMENTO DE AGUA LANÇA T-COB RH...	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30014335	16.05.2...	
21.04.2019	03:07:54	900000240361	900003057687	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	LANÇA T COB - FIM DE VIDA UTIL	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011169	20.04.2...	20.04.2...
18.02.2019	02:50:53	900000216196	900002708806	C010	SISTE...	Ordem Confirma...	ESTRUTURAL		059	Troca da Lança T-Cob	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011165	18.02.2...	18.02.2...
09.02.2019	00:40:21	900000213204	900002669580	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	Troca da Lança T-Cob em Emergência	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011165	08.02.2...	08.02.2...
28.01.2019	17:29:31	900000208728	900002604552	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	RH-2 - LANÇA TCOB	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30007592	28.01.2...	28.01.2...
23.50.04	900000208840	900002604682	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL			059	TROCA DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30012373	28.01.2...	
16.01.2019	03:20:00	900000204023	900002538570	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	Vazamento na Lança T-Cob	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011165	16.01.2...	16.01.2...
10.01.2019	06:36:41	900000201947	900002502836	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	LANÇA T-COB RH 02 FURADA	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30012373	10.01.2...	
28.12.2018	06:00:00	900000198142	900002443633	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	TROCA DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011165	28.12.2...	28.12.2...
23.12.2018	22:00:00	900000196464	900002402755	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	TROCA DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011165	23.12.2...	23.12.2...
15.12.2018	15:55:04	900000194057	900002370708	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	LANÇA T-COB RH 02 FURADA	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30014335	15.12.2...	
06.12.2018	21:00:00	900000191363	900002328457	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	POSICIONAMENTO DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011165	06.12.2...	06.12.2...
29.11.2018	17:19:41	900000188792	900002282218	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	LANÇA T-COB RH 02 FURADA	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30014335	29.11.2...	
16.11.2018	17:08:50	900000183967	900002208648	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	VAZAMENTO DE AGUA PELO BICO	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011169	16.11.2...	16.11.2...
26.10.2018	00:01:09	900000176708	900002099068	C010	SISTE...	Ordem Planejad...	ESTRUTURAL		059	VAZAMENTO DE AGUA PELO BICO DA LA...	BT-ST-SLM1-02-08-BD-02	30011169	25.10.2...	26.10.2...

Fonte: SAP, módulo Cockpit do Gate Keeper (2019).

As falhas registradas na Figura 4.1 são consultadas no relatório acima gerado pelo SAP. Foram consideradas apenas as ocorrências relativas a vazamentos da lança.

O filtro realizado conforme figura abaixo gera o relatório de ocorrências de turno e registradas pelas inspeções mecânicas e elétricas. É possível selecionar o equipamento, data dos registros realizados, especialidade da ocorrência e o tipo de impacto gerado pela falha

Figura 4.4 - Filtro do sistema para consulta do Relatório Simplificado de anomalias



Fonte: SAP, módulo Cockpit do Gate Keeper (2019).

A Figura 4.5 abaixo mostra o relatório com o registro de ocorrências de vazamento da lança em formato PDF gerado pelo sistema.

Figura 4.5 - Tela do filtro do SAP ARMP com consulta das Notificações de atendimentos de turno ou solicitações de inspeção

Reg.Date	Hora	Nota	Ordem	Tp.	P-func n 5	Stat usuár	P-func n 6	SPM	Descrição	Local de instalação	Criado/s	Início/avar	Fim avaria	DencTéc	§
06.08.2019	12:43:24	900000299497	900003878623	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	Substituição da lança TCOB	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30009768	05.08.2019	05.08.2019		§
06.08.2019	12:43:25	900000299498					ESTRUTURAL		A operação acionou a manutenção para sub	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30009768	05.08.2019			§
12.07.2019	15:48:54	900000281811	900003644981	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	AGARRAMENTO DA LANÇA	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30012373	12.07.2019		31.07.2019	§
02.07.2019	17:21:40	900000274734	900003550527	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	LANÇA T-COB PURADA	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30014335	02.07.2019	02.07.2019	10.07.2019	§
02.07.2019	17:21:41	900000274735					ESTRUTURAL		FOMOS ACIONADOS PELA OPERAÇÃO DEVIDO A L	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30014335	02.07.2019			§
19.06.2019	16:38:22	900000268731	900003448720	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	LANÇA T-COB PURADA	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30012373	19.06.2019		19.06.2019	§
15.06.2019	03:16:38	900000266135	900003421073	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	SELO INFLÁVEL AVARIADO	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30012216	14.06.2019	15.06.2019	15.06.2019	§
16.05.2019	17:28:37	900000251408	900003223595	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	VAZAMENTO DE AGUA LANÇA T-COB RH02	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30014335	16.05.2019		16.05.2019	§
21.04.2019	03:07:54	900000240361	900003057687	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	LANÇA T COB - FIM DE VIDA UTIL	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30011169	20.04.2019	20.04.2019	21.04.2019	§
18.02.2019	02:50:53	900000216196	900002708806	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Confi	ESTRUTURAL	059	Troca da Lança T-Cob	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30011165	18.02.2019	18.02.2019	18.02.2019	§
09.02.2019	00:40:21	900000213204	900002669580	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	Troca da Lança T-Cob em Emergência	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30011165	08.02.2019	08.02.2019	09.02.2019	§
28.01.2019	17:29:31	900000208728	900002604552	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	RH-2 - LANÇA TCOB	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30007592	28.01.2019	28.01.2019		§
28.01.2019	23:50:04	900000208840	900002604682	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	TROCA DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30012373	28.01.2019		28.01.2019	§
16.01.2019	03:20:00	900000204023	900002538570	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	Vazamento na Lança T-Cob	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30011165	16.01.2019	16.01.2019	16.01.2019	§
10.01.2019	06:36:41	900000201947	900002502836	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	TROCA DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30012373	10.01.2019		10.01.2019	§
28.12.2018	06:00:00	900000198142	900002443633	C010	SISTEMA LANÇA T-COB	Ordem Plane	ESTRUTURAL	059	TROCA DA LANÇA T-COB	BT-ST-SLMI-02-08-BD-02	30011165	28.12.2018	28.12.2018	28.12.2018	§

Fonte: SAP, módulo COCKPIT Gate keeper- print PDF do resultado da consulta (2019).

Na Figura 4.6, mostra a descrição e informações de frequência, recursos, criticidade e outras principais característica dos planos gerados automaticamente conforme frequência definida nos planos de serviço.

A frequência de inspeção de vazamento e limpeza da lança é a cada 28 dias, ou seja, deve ocorrer na rotina de inspeção durante operação normal. No check list de cada turno de operação é avaliado condição de vazamento pela equipe de operação de campo. Existe uma relação direta da vida útil do bico da lança com o números de horas de operação do RH2 e também com o volume de oxigênio soprado nas corridas.

Para monitoramento da performance da lança foi desenvolvido um contador com somatório do oxigênio soprado durante operação. Alguns aços exigem maior volume de oxigênio a ser soprado pela lança Tcob, para garantir a descarburização forçada do aço com baixos níveis de carbono exigido. Durante os sopros ocorre aquecimento do cobre eletrolítico gerado pela temperatura do gás de desgaseificação do aço e pelas reações metalúrgicas provenientes do processo de descarburização.

Figura 4.6 – Lista de Planos de inspeção e serviços dos sistemas da lança

Plano de man.	Item manutê	Item	Grp.pl.	Texto plano manut.	Ciclo	Unid.	Denom. loc. instalação	Tipo de	Grupo	Numera	Centro de	Operação	Txt. breve operação	Duraçã
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0010	INSP. VISUAL LIMPEZA	0.2
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0020	INSP. VISUAL AGARRAMENTO	0.2
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0030	INSP. AUDITIVO VAZAMENTO	0.2
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0040	INSP. AUDITIVO VAZAMENTO	0.2
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0050	INSP. VISUAL FOLGA	0.2
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0060	INSP. VISUAL CONDIÇÃO	0.2
147179	323146	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA CONTROLE DE VAZAO FCV-161.01	T	54270	2	STACEI04	0070	INSP. AUDITIVO VAZAMENTO	0.2
147169	323136	1	059	SENS. FREQ. 1 MESES (TER)		28 D	VALVULAS MANUAIS DE OXIGENIO RH 2	T	54263	4	STACMI04	0010	INSP. VISUAL LIMPEZA	0.2
147169	323136	1	059	SENS. FREQ. 1 MESES (TER)		28 D	VALVULAS MANUAIS DE OXIGENIO RH 2	T	54263	4	STACMI04	0020	INSP. AUDITIVO VAZAMENTO	0.2
147173	323140	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	LIM ABERT VALVE AG REFR.T-COB SOV-161-4T	T	54265	2	STACEI04	0010	INSP. VISUAL FIXAÇÃO	0.2
147173	323140	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	LIM ABERT VALVE AG REFR.T-COB SOV-161-4T	T	54265	2	STACEI04	0020	INSP. VISUAL FUNCIONAMENTO	0.2
147173	323140	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	LIM ABERT VALVE AG REFR.T-COB SOV-161-4T	T	54265	2	STACEI04	0030	INSP. VISUAL ASPECTO	0.2
171244	312984	1	059	ETRH2-TROCAR FLEXIVEIS AGUA LANÇA OXIG		756 D	LANÇA DE OXIGENIO RH 2	T	51356	5	STACMX04	0010	TROCAR FLEXIVEIS	4
171244	312984	1	059	ETRH2-TROCAR FLEXIVEIS AGUA LANÇA OXIG		756 D	LANÇA DE OXIGENIO RH 2	T	51356	5	STACMX04	0020	Modelo de segurança (500000022240)	0
147168	323135	1	059	SENS. FREQ. 2 MESES (TER)		56 D	VALVULAS MANUAIS DE OXIGENIO RH 2	T	54263	3	STACMI04	0010	INSP. VISUAL FUNCIONAMENTO	0.2
147168	323135	1	059	SENS. FREQ. 2 MESES (TER)		56 D	VALVULAS MANUAIS DE OXIGENIO RH 2	T	54263	3	STACMI04	0020	INSP. MARTELO DE BOLA FIXAÇÃO	0.2
147180	323147	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	POSICIONADOR	T	54271	2	STACEI04	0010	INSP. VISUAL FUNCIONAMENTO	0.2
147180	323147	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	POSICIONADOR	T	54271	2	STACEI04	0020	INSP. MANÔMETRO OBSTRUÇÃO	0.2
147180	323147	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	POSICIONADOR	T	54271	2	STACEI04	0030	INSP. AUDITIVO VAZAMENTO	0.2
147180	323147	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	POSICIONADOR	T	54271	2	STACEI04	0040	INSP. AUDITIVO VAZAMENTO	0.2
147180	323147	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	POSICIONADOR	T	54271	2	STACEI04	0050	INSP. VISUAL FIXAÇÃO	0.2
147181	323148	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA SOV 02-161.01	T	54272	2	STACEI04	0010	INSP. VISUAL VAZAMENTO	0.2
147181	323148	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA SOV 02-161.01	T	54272	2	STACEI04	0020	INSP. VISUAL AGARRAMENTO	0.2
147181	323148	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA SOV 02-161.01	T	54272	2	STACEI04	0030	INSP. VISUAL OXIDAÇÃO	0.2
147181	323148	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA SOV 02-161.01	T	54272	2	STACEI04	0040	INSP. SISTEMA SUPERVISÓRIO FUN	0.2
147181	323148	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA SOV 02-161.01	T	54272	2	STACEI04	0050	INSP. VISUAL VAZAMENTO	0.2
147181	323148	1	058	SENS. FREQ. 1 MESES (QUA)		28 D	VALVULA SOV 02-161.01	T	54272	2	STACEI04	0060	INSP. VISUAL CONDIÇÃO	0.2
171245	312985	1	059	ETRH2-TROCAR FLEXIVEL DE OXIGENIO		113 D	LANÇA DE OXIGENIO RH 2	T	51356	6	STACMX04	0010	TROCAR FLEXIVEIS	4
171245	312985	1	059	ETRH2-TROCAR FLEXIVEL DE OXIGENIO		113 D	LANÇA DE OXIGENIO RH 2	T	51356	6	STACMX04	0020	Modelo de segurança (500000022241)	0

Fonte: SAP, módulo Cockpit Gate keeper – Visualização panorâmica dos planos (2019).

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

Conforme definido no plano de inspeção sensível a cada 28 dias são realizadas inspeções para verificação dos itens destacados na Figura 4.7.

Figura 4.7 - Print da tela do detalhamento do plano de inspeção da lança T-Cob, mensal

Fonte: SAP ARMP, módulo Planos (2019).

Nas inspeções sensíveis com frequência de 28 dias são verificadas condições de vazamento no bico, tubos e cabeçote, e condições de limpeza, principalmente na verificação de acúmulos de cascão provenientes de projeções que podem ocorrer durante o sopro de O₂.

Figura 4.8 – Lista dos planos de inspeção com foco na estrutura lança e válvulas

Plano de man	Item manute	Item	Grp.plj.	Texto plano manut.	Ciclo	Unid							
147124	323079	1	059	SENS: FREQ. 6 MESES (TER)	168D		ESTRUTURA LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	54232	4	STACMI04	0010	INSP. VISUAL TRINCA
147124	323079	1	059	SENS: FREQ. 6 MESES (TER)	168D		ESTRUTURA LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	54232	4	STACMI04	0020	INSP. VISUAL CORROSAO
147124	323079	1	059	SENS: FREQ. 6 MESES (TER)	168D		ESTRUTURA LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	54232	4	STACMI04	0030	INSP. VISUAL DEFORMAÇÃO
171401	313231	1	059	ETRH2-LIMP FILTR LINHA AGUA REFRIG.LANÇ	63D		FILTRO DE AGUA LANÇA OXIG. RH 2	T	51529	3	STACMX04	0010	LIMPAR FILTROS LINHA AGUA REFR
171401	313231	1	059	ETRH2-LIMP FILTR LINHA AGUA REFRIG.LANÇ	63D		FILTRO DE AGUA LANÇA OXIG. RH 2	T	51529	3	STACMX04	0020	Modelo de segurança (500000022243)
147187	323154	1	058	SENS: FREQ. 1 MESES (QUA)	28D		LIMITE SOV-161.02 FECHADA	T	54278	2	STACEI04	0010	INSP. VISUAL FIXAÇÃO
147187	323154	1	058	SENS: FREQ. 1 MESES (QUA)	28D		LIMITE SOV-161.02 FECHADA	T	54278	2	STACEI04	0020	INSP. VISUAL FUNCIONAMENTO
147187	323154	1	058	SENS: FREQ. 1 MESES (QUA)	28D		LIMITE SOV-161.02 FECHADA	T	54278	2	STACEI04	0030	INSP. VISUAL ASPECTO
147186	323153	1	058	SENS: FREQ. 1 MESES (QUA)	28D		LIMITE SOV-161.02 ABERTA	T	54277	2	STACEI04	0010	INSP. VISUAL FIXAÇÃO
147186	323153	1	058	SENS: FREQ. 1 MESES (QUA)	28D		LIMITE SOV-161.02 ABERTA	T	54277	2	STACEI04	0020	INSP. VISUAL FUNCIONAMENTO
147186	323153	1	058	SENS: FREQ. 1 MESES (QUA)	28D		LIMITE SOV-161.02 ABERTA	T	54277	2	STACEI04	0030	INSP. VISUAL ASPECTO
147125	323080	1	059	SENS: FREQ. 2 MESES (TER)	56D		ESTRUTURA LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	54232	5	STACMI04	0010	INSP. MARTELO DE BOLA FIXAÇÃO
147128	323083	1	059	SENS: FREQ. 1 MESES (TER)	28D		LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	51356	8	STACMI04	0010	INSP. VISUAL VAZAMENTO
147128	323083	1	059	SENS: FREQ. 1 MESES (TER)	28D		LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	51356	8	STACMI04	0020	INSP. VISUAL LIMPEZA
147126	323081	1	059	ISENS: FREQ. 1 MESES (TER)	28D		ESTRUTURA LANÇA DE OXIGÊNIO RH 2	T	54232	6	STACMI04	0010	INSP. VISUAL LIMPEZA

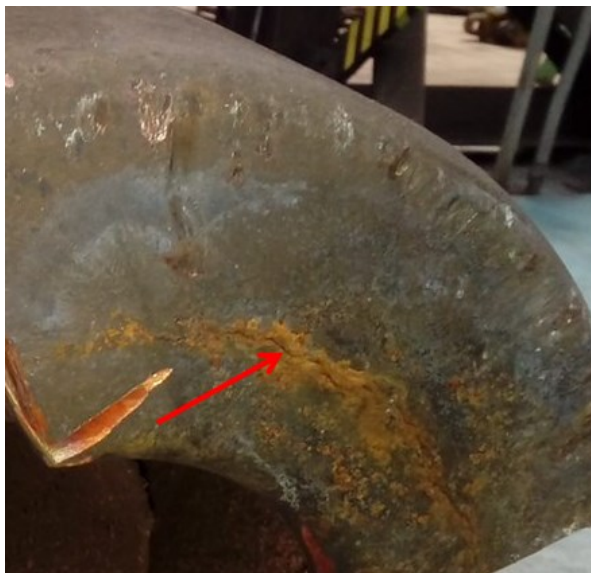
Fonte: SAP, módulo Cockpit Gate keeper – Visualização panorâmica dos planos (2019).

Sendo identificado vazamento, geralmente pela condição normal identificado pelo operador, é acionada a equipe de turno para substituição da lança por uma lança reserva disponível no cabide localizado ao lado da posição do carro lança.

Durante as análises de falhas realizadas em 2018 foi possível identificar várias causas que impactavam na vida reduzida do bico de lança. Foram realizados

acompanhamentos da desmontagem do bico na oficina central para análise após a falha, sendo identificadas constantes falhas de montagem.

Figura 4.9 – Trinca na face inferior do bico gerando vazamento e necessidade de troca da lança



Fonte: Inspeção do bico após falha na oficina central (2018).

A condição do projeto com exigência de montagem com folgas adequadas exigia minuciosa condição de montagem e fabricação para garantia de posicionamento dos calços espaçadores, espessuras adequadas de tubos/ bico e montagem de peças conforme projeto.

A seguir estão citados alguns exemplos de desvios identificados durante inspeções após falha.

Figura 4.10 – Espessura inadequada de fabricação do bico com fragilidade



Fonte: Lança 1 - inspeção na oficina (11/12) - identificada espessura reduzida ponta do bico (2019).

A Figura 4.10 apresenta a espessura inadequada do bico da lança, em comparação com bico com espessura adequada. A utilização dessa lança compromete a vida útil do sistema e o número de corrida da lança, devido a condição de perda de resistência, podendo assim surgir trincas na face inferior, e, conseqüentemente, vazamento de água através da lança.

Na Figura 4.11 é possível identificar uma obstrução na câmara de fluxo de água na região interna do bico. Identifica-se também uma espessura inadequada quanto a fabricação do bico de cobre da lança. Esse tipo de desvio impede que o fluxo de água ocorra de forma adequada, ocasionando perda na eficiência do equipamento. Nesse sentido, a fabricação do bico das lanças deve estar de acordo com o pré-estabelecido, quanto a espessura da ponta e da parede do bico.

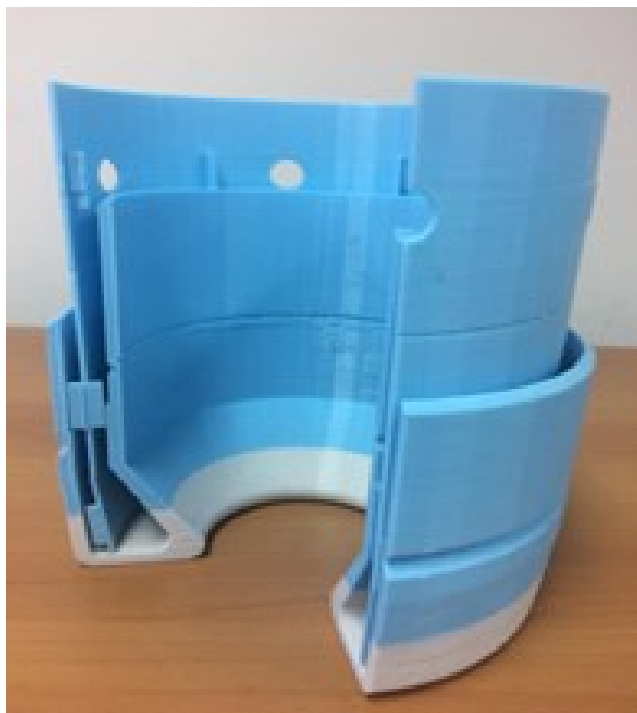
Figura 4.11 – Espessura inadequada de fabricação do bico com obstrução fluxo água de refrigeração



Fonte: Lança 1 - inspeção na oficina (11/12) - identificada espessura reduzida ponta do bico (2019).

Após os desvios de montagem serem corrigidos e ajustados com atuações de alinhamentos técnicos com a oficina central, criação de padrões internos de oficina e criação/ impressão do modelo 3D foram mapeadas as qualidades dos bicos, sendo verificados os parâmetros de projeto exigidos na fabricação com cobre eletrolítico. A figura 4.12 a seguir mostra o modelo 3D utilizado para auxílio na padronização de montagem dos bicos na oficina central.

Figura 4.12 – Modelo 3D impresso / padrão visual e melhoria confiabilidade humana



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, (2018).

Avaliando condições de fabricação do bico para garantia da qualidade:

- Pureza do cobre > 99,9%
- Condutividade térmica > 80 IACS (mapeamento em 100% da superfície do bico)
- Teor de Oxigênio no cobre < 80 PPM

Durante avaliação de condutividade foram identificados desvios de fabricação com condutividades muito baixas em pontos da superfície do bico que em funcionamento geram diferenças de dilatação e pontos com risco de surgimento de trincas e vazamentos. A figura abaixo mostra a medição de condutividade mostrando o desvio no bico.

Figura 4.13 – Medição de condutividade térmica do padrão no bico novo



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2018).

Foram eliminados bicos com desvios e iniciada a fabricação de bicos atendendo todos os critérios exigidos no projeto em 100% do item.

A última condição de modificação foi proposta pela equipe da área e resultou em melhoria no conceito do projeto implementando uma camada de proteção na superfície inferior do bico. Essa superfície é a que mais fica exposta às condições de extremas temperaturas e abrasão com os gases do processo. O foco foi criar uma camada de material que resistisse às condições agressivas durante operação, sem criar uma rigidez, permitindo as deformações naturais do bico sem concentradores de tensão que pudessem propiciar trincas e futuros vazamentos. Foi implementado no bico o revestimento de camada de Inox 309L com 2mm de espessura e fabricado em um bico para início de testes e avaliação de performance.

Figura 4.14 – Implantação de melhoria revestimento do bico inox 309L

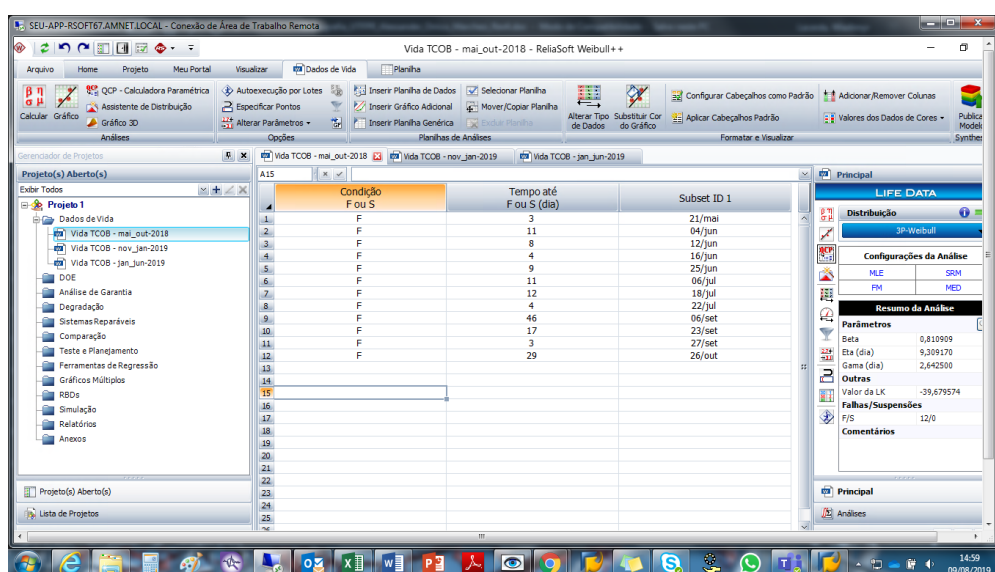


Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019).

Os cálculos abaixo foram realizados considerando as etapas das atuações das equipes e materiais acima descritos, mostrando quantitativamente a evolução da confiabilidade do componente bico da lança TCob através dos cálculos de LDA conforme parametrização avaliada no software Weibull ++.

A condição abaixo do LDA foi calculada considerando a primeira análise realizada com a vida do bico da lança entre maio e outubro/ 2018.

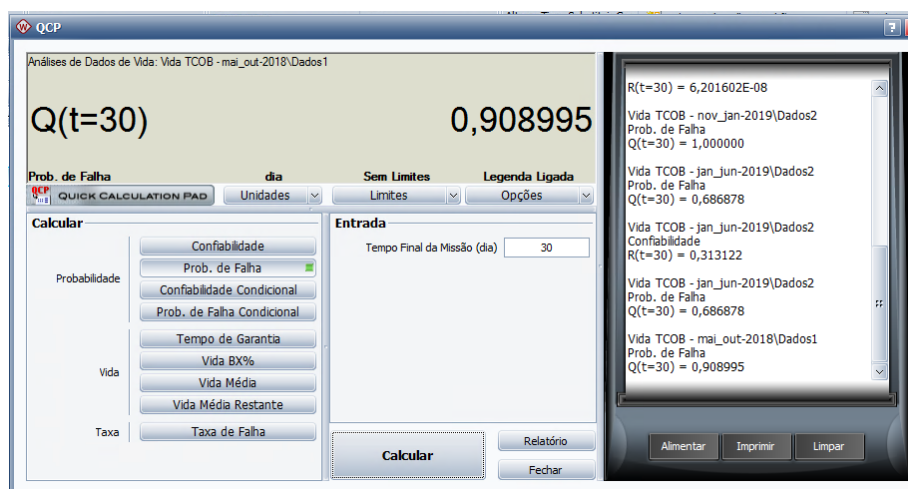
Figura 4.15 – Cálculo LDA com histórico de falha maio a outubro/ 2018
90,8% de probabilidade de falha em 30 dias



Fonte: Weibull ++ (2019).

As análises foram realizadas considerando a distribuição Weibull 3 parâmetros com um Beta de 0,81, indicando falha prematura por condição de projeto e falhas de montagem/ fabricação. Comparando com a análise apresentada anteriormente neste capítulo é possível afirmar a correlação da característica de campo do comportamento do equipamento com o parâmetro de forma calculado.

Figura 4.16 – Cálculo LDA com histórico de falha maio a outubro/ 2018

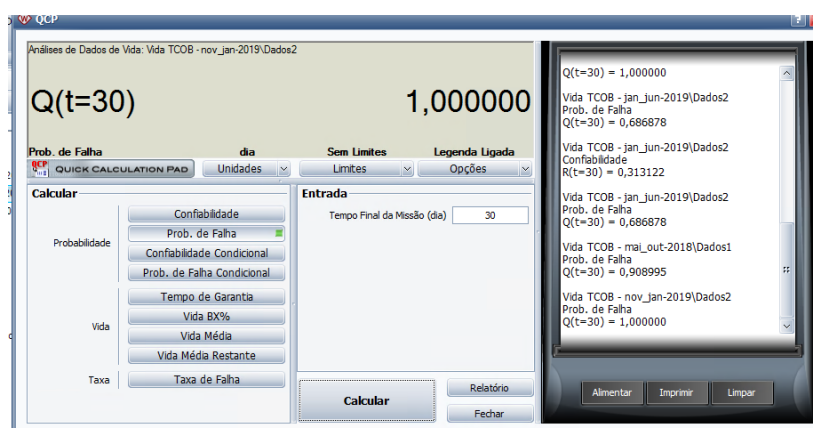


Fonte: Weibull ++ (2019).

Na sequência da análise devido perda de qualidade dos procedimentos da oficina central e também piora na qualidade da fabricação dos bicos (evidências apresentadas nas análises dos parágrafos anteriores) o cálculo indica a redução de confiabilidade, que é inversamente proporcional a elevação da probabilidade de falha em um período de tempo.

Considerando período de Outubro/2018 a Janeiro/2019 o resultado era de 100% de probabilidade de falha em 30 dias.

Figura 4.17 – Cálculo LDA com histórico de falha novembro/2018 a janeiro/2019



Fonte: Weibull ++ (2019).

Após modificações de projeto, padrão da oficina central, impressão do modelo 3D, e modificação do bico com revestimento Inox obteve-se 68,7% de probabilidade de falha em 30 dias. Este valor ainda está impactado pela ocorrência de 02

vazamentos na parte superior da lança, não sendo ocorrência de vazamento no bico da lança.

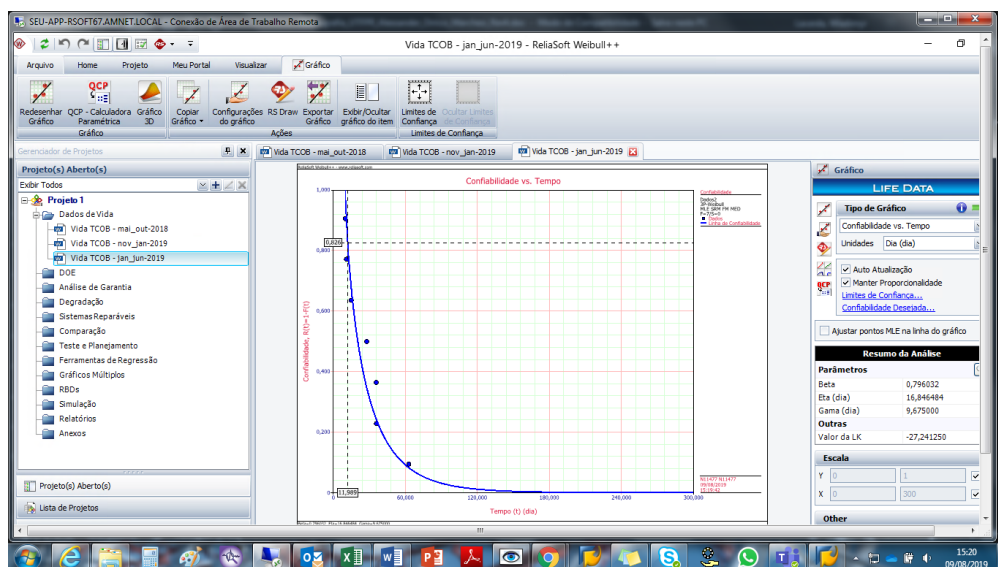
Figura 4.18 – Cálculo LDA histórico de falha janeiro a julho/2019 após melhorias



Fonte: Weibull ++ (2019).

Destaca-se ainda o aumento de confiabilidade, do início do projeto até o momento, de 9% para 31,3% em 30 dias de operação. Considerando as demais análises e melhorias em evolução, pode-se considerar o crescimento da confiabilidade esperada. Para a condição atual do estudo, o gráfico abaixo indica uma confiabilidade de 82,6% em 11 dias de operação.

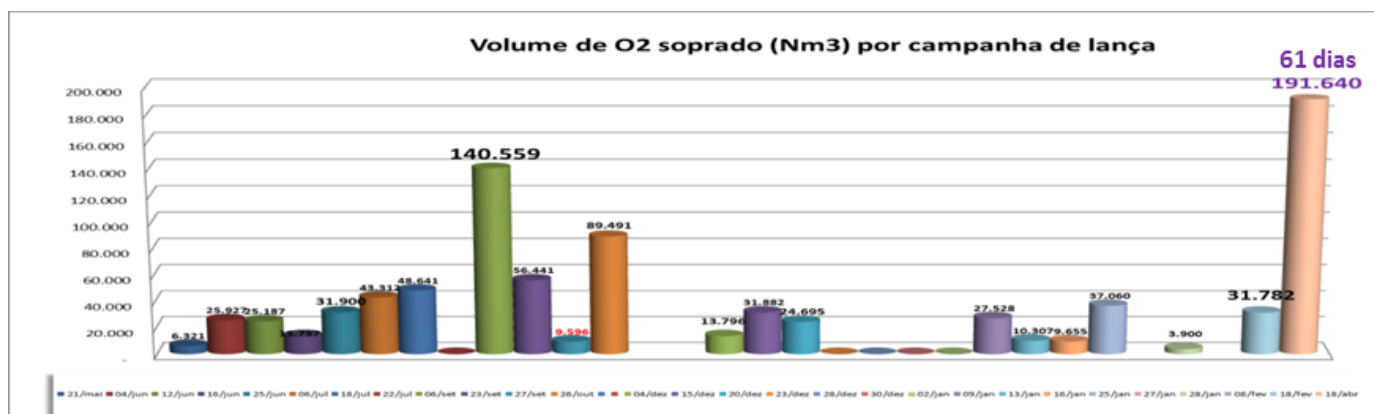
Figura 4.19 – Cálculo LDA com histórico de falha janeiro a julho/2019



Fonte: Weibull ++ (2019).

O gráfico abaixo mostra o resultado da evolução da vida útil considerando dias de operação e volume de O₂ soprado, com o resultado da melhor performance histórica do período analisado (191.640 Nm³).

Figura 4.20 – Histórico de vida útil com performance de O₂



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019).

4.2 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 evolução da confiabilidade do sistema da lança TCob do RH02. A continuidade da análise detalhada é altamente recomendada devido criticidade dos componentes no processo produtivo, com elevado risco de acidentes e perdas de produção.

No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões e síntese dos resultados, bem como os ganhos propostos para a estratégia de manutenção sugerida.

5 CONCLUSÃO

Conforme detalhado no estudo realizado no capítulo 4, o resultado da melhoria de confiabilidade do sistema da lança TCob é evidenciado na análise quantitativa resultante. Considerando o cálculo de confiabilidade em 11 dias de operação pode-se confirmar uma melhoria na confiabilidade de 39% para 82,6%. Este resultado está desconsiderando o período de crise de performance de novembro/2018 a janeiro/2019. Neste período o resultado em 11 dias resultou em quantitativo de 0% de Confiabilidade. A evolução de comportamento do sistema após as atuações foi confirmada quantitativamente pela análise de LDA deste componente.

É importante ressaltar que a análise do último período ainda está considerando falhas na parte superior da lança, onde existe uma condição técnica que está sendo modificada e entrará em operação no próximo ciclo da lança 3.

A atuação sistêmica das equipes de manutenção da área, confiabilidade, operação, oficina central, engenharia e fundição permitiram a implantação das melhorias desenvolvidas, com resultado confirmado pela análise da distribuição Weibull do comportamento de falha do sistema.

O foco do trabalho já tem resultado direto na estabilização da produção e resultado financeiro para a empresa, com eliminação de paradas por falha deste equipamento e perda de produção da usina e, principalmente, garantia de segurança operacional com eliminação de vazamentos de água. Para a garantia de resultado contínuo de estabilidade, entretanto, é necessário manter a capacitação das equipes que atuam na substituição do bico da lança na oficina central e conhecimento das demais equipes envolvidas nas condições de operação e de manutenção do sistema da lança TCob.

O desenvolvimento de práticas da engenharia de manutenção e análises por métodos quantitativos da engenharia de confiabilidade possibilitou evidenciar que essa aplicação potencializa, de forma proativa, os desenvolvimentos da área, além de permitir medir a evolução no resultado da estabilidade do processo operacional.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta análise do comportamento do sistema ao longo do tempo é eficaz e quantifica a evolução do sistema. Como sugestão para complemento da análise recomenda-se o estudo de Crescimento de Confiabilidade (RGA), comparando a evolução da confiabilidade após cada etapa de modificação de projeto, treinamento e capacitação das equipes e melhorias de métodos.

Também sugere-se a análise de RGA e análise de confiabilidade para definição do tempo ótimo de troca da lança, buscando antecipar a probabilidade de falha e permitindo o planejamento da troca do componente no prazo otimizado com probabilidade elevada de possibilidade de acerto na tomada de decisão. Desta forma a contribuição resultará em melhor planejamento das equipes de operação/manutenção e atuações antecipadas ao estado da falha, eliminando ainda mais a probabilidade de paradas de processo com perda de produção.

Com foco em definição do ciclo de vida da lança, o estudo de definição do melhor período de vida irá contribuir para o planejamento programado da troca da lança com valores de confiabilidade ainda aceitáveis para a necessidade da estratégia da empresa. Em trabalhos futuros, esta análise pode se conectar com sistemas automáticos de cálculo de vida útil e programação automática de troca já definida nos sistemas de supervisório da unidade operacional do RH02.

REFERÊNCIAS

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

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

GRECCO, Bruno B., **Análise do Custo do Ciclo de Vida de um sistema de transporte de bobinas**. 2017. 102 páginas f. Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Vitória, 2017.

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.

LAFRAIA, J. R. B.. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

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

MACHADO, Marcelo Lucas Pereira, **Elaboração, Refino e Lingotamento do aço** – 2006. 202 páginas. Apostila - Centro Educacional Tecnológico do Espírito Santo. Vitória 2006.

RELIASOFT. **The Weibull Distribution**. Disponível em: http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution. Acesso em: 19 ago. 2019.

RELIASOFT. **Imperfect Repairs**. Disponível em: http://reliawiki.org/index.php/Imperfect_Repairs. Acesso em: 22 ago. 2019.

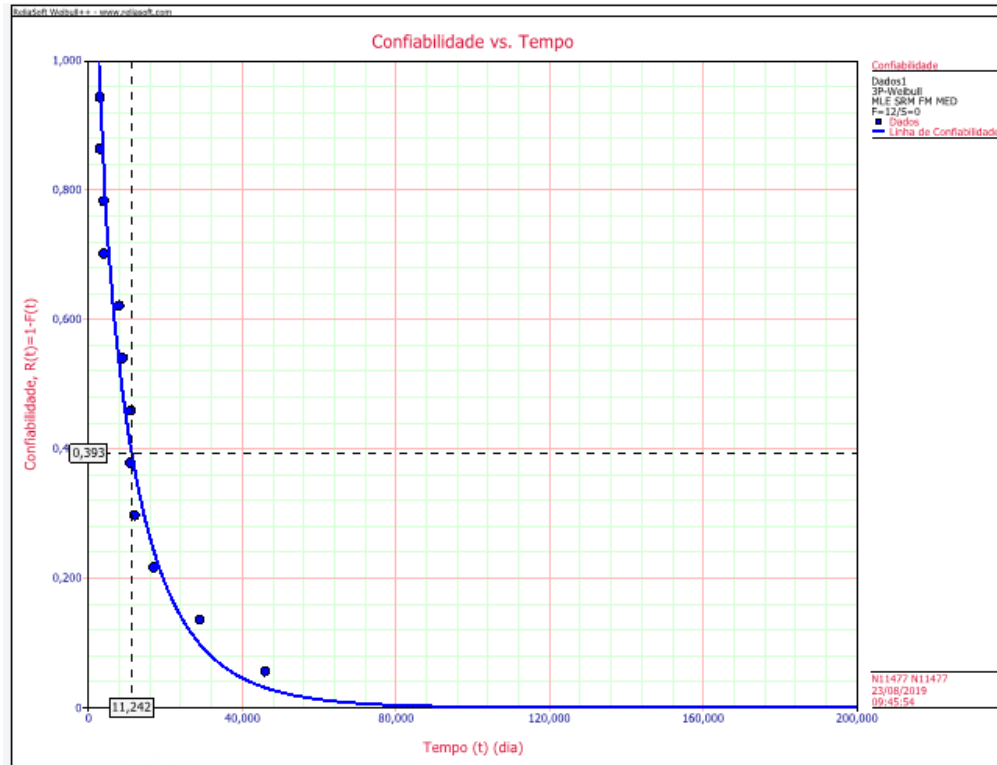
RIZZO. E.M.S.; **Introdução aos Processos de Refino Secundário dos Aços**. SãoPaulo: ABM, 2006.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

TEMBERGEM, D.; TEWORTE, R.; ROBEY, R. **Vacuum ladle treatment using RH metallurgy**. In: MTP INTERNATIONAL, mar. 2007.

ANEXO A – CURVA GRÁFICA DE CONFIABILIDADE

Curva gráfica de confiabilidade e relatório de resultados calculados na utilização de parâmetro em distribuição Weibull 3P em 2018

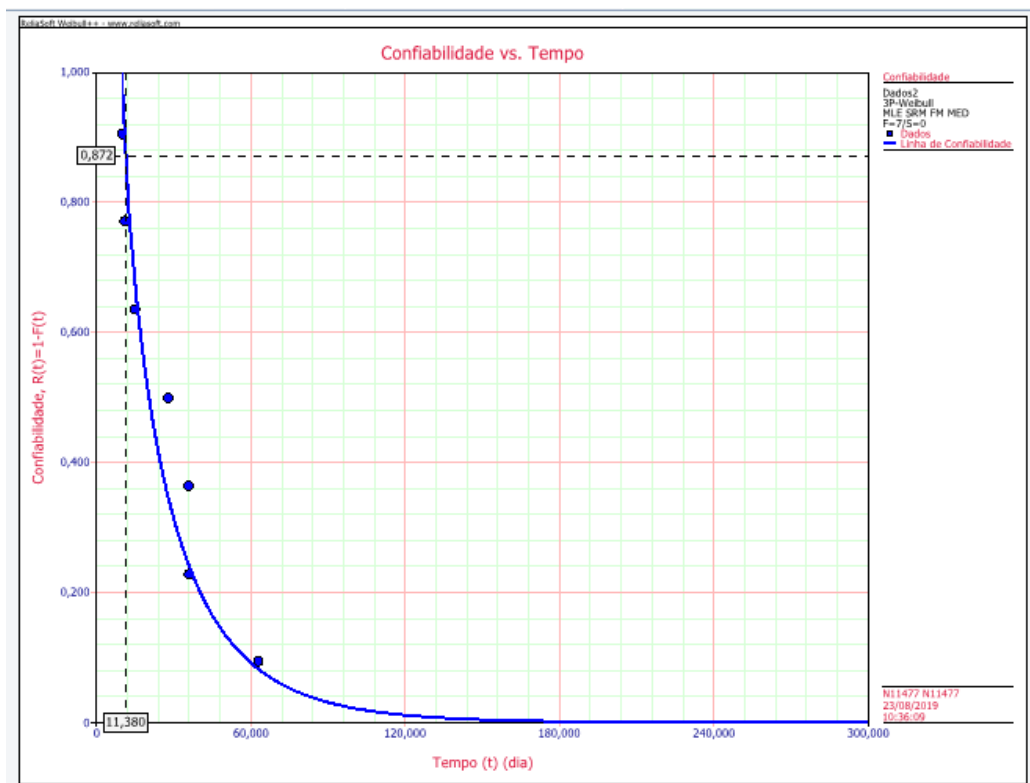


Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	N11477 N11477
Empresa	
Data	23/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 3P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	0,810909
Eta (dia)	9,30917
Gama (dia)	2,6425
Valor da LK	-39,679574
F \ S	12 \ 0
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,034056	CV Eta Beta=0,205109
CV Eta Beta=0,205109	Var-Eta=12,217692

Dados Brutos		
Número do Item	Condição F ou S	Tempo até F ou S (dia)
1	F	3
2	F	11
3	F	8
4	F	4
5	F	9
6	F	11
7	F	12
8	F	4
9	F	46
10	F	17
11	F	3
12	F	29

ANEXO B – CURVA CONFIABILIDADE vs. TEMPO de VIDA TCOB

Curva gráfica de confiabilidade e relatório de resultados calculados na utilização de parâmetro em distribuição Weibull 3P em 2019



Relatório de Resultados			
Tipo de Relatório	Resultados do Gráfico		
Informações do Usuário			
Nome	N11477 N11477		
Empresa			
Data	23/08/2019		
Parâmetros			
Distribuição	Weibull 3P		
Análises	MLE		
Método do IC	FM		
Ranqueando	MED		
Beta	0,796032		
Eta (dia)	16,846484		
Gama (dia)	9,675		
Valor da LK	-27,24125		
F \ S	7 \ 0		
LOCAL VAR/COV MATRIX			
Var-Beta=0,064660	CV Eta Beta=0,641235		
CV Eta Beta=0,641235	Var-Eta=70,341381		
Dados Brutos			
Número do Item	Condição F ou S	Tempo até F ou S (dia)	Subset ID 1
1	F	11	28/01/2019
2	F	10	08/02/2019
3	F	63	18/02/2019
4	F	28	20/04/2019
5	F	36	16/05/2019
6	F	15	19/06/2019
7	F	36	02/07/2019

ANEXO C – LISTA DE BICOS MAPEADOS

Levantamento dos Bicos de Lança T-Cob do desgaseificador a Vácuo 2 (RH_02) da ArcelorMittal Tubarão fornecido pela CECAL

Levantamento Bicos de Lança - AMT			
Número	Corrida	Situação	Reparo
01	68597D		NÃO
02	68597E		NÃO
03	68597A		SIM (Dois pontos na face)
04	68597B		NÃO
05	68597C		SIM (Um ponto na face)
06	68611C	ALM. 03	NÃO
07	68611A	Vida útil 3 dias	NÃO
08	68611B	ALM. 03	NÃO
09	68777G	ALM.03	NÃO
10	68777D		NÃO
11	68785C	Vida útil 3 dias	SIM (Um ponto na face)
12	68785B		SIM (Dois pontos na face)
13	68777B	Vida útil 3 dias	NÃO
14	68777C	ALM.03	NÃO
15	68777H	ALM.03	SIM (Um ponto na face)
16	68777F	ALM.03	NÃO
17	68777E		NÃO
18	68785D	ALM.03	NÃO
19	68847F		SIM (Um ponto na face)
20	68847G		SIM (Um ponto na face)
21	69093I	ALM.03	NÃO
22	69083G	ALM.03	NÃO
23	69093F	ALM.03	NÃO
24	69083C	ALM.03	NÃO
25	69083H	ALM.03	NÃO
26	69093H	ALM.03	NÃO
27	69105B	ALM.03	NÃO
28	69083F	ALM.03	SIM (Um ponto na face)
29	69083I	ALM.03	NÃO
30	69093G	ALM.03	SIM (Um ponto na face)
31	69083A	ALM.03	NÃO
32	69083B	ALM.03	SIM (Um ponto na face)
33	69083E	ALM.03	NÃO
34	69083J	ALM.03	SIM (Um ponto na face)
35	69083D	ALM.03	SIM (Um ponto na face)

**ANEXO D – INSPEÇÃO EM BICO DE LANÇA T-COB E MÉTODO DE
IMPRESSÃO 3D**

Inspeção do bico de lança T-Cob após trinca, realizado em oficina.



Imagem de impressora 3D, utilizado na fabricação do modelo do bico de lança mostrado no capítulo 4 (Figura 4.12).



ANEXO E – LAUDO DE LABORATÓRIO

Laudo de análise laboratorial do bico de cobre da lança T-Cob.

**Laudo de Análise
EXR 0130119**

<u>Informações da EXR</u>		
Código da EXR: 0130119	Descrição:	
Observações:		
Área Solicitante: FUNDICAO	Criada em: 07/01/2019 11:01	Liberada em: 07/01/2019 11:54
Solicitante: Wladimir Junior Lacerda	Criada por: Ulisses dos Santos	Liberada por: Ulisses dos Santos
Ramal: 1759	Validada em: 07/01/2019 11:54	
Situação: RESULTADOS DA EXR LIBERADOS	Validada por: Ulisses dos Santos	

Material	Identificação	Elementos
		0%
BICO DE COBRE RH2-CECAL-1-01	2432547	0.0051
BICO DE COBRE RH2-CECAL-3-01	2432548	0.0054