



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
DE SERGIPE - FANESE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

DENIS DOS ANJOS CARVALHO

**CONFIABILIDADE OPERACIONAL DAS BOMBAS DE
CIRCULAÇÃO DE SOLUÇÃO POBRE DO SISTEMA DE
CATACARB EM UMA FÁBRICA DE FERTILIZANTES: um
estudo de caso**

**Aracaju - SE
2017.1**

DENIS DOS ANJOS CARVALHO

**CONFIABILIDADE OPERACIONAL DAS BOMBAS DE
CIRCULAÇÃO DE SOLUÇÃO POBRE DO SISTEMA DE
CATACARB EM UMA FÁBRICA DE FERTILIZANTES: um
estudo de caso**

**Monografia apresentada à
Coordenação do curso de Engenharia
de Produção da FANESE, como
requisito parcial e elemento obrigatório
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção, no período
2017.1.**

**Orientadora: Dra. Maria Andrea da
Silva.**

**Coordenador do Curso: MSc. Alcides
Anastácio de Araújo Filho.**

**Aracaju - SE
2017.1**

DENIS DOS ANJOS CARVALHO

**CONFIABILIDADE OPERACIONAL DAS BOMBAS DE
CIRCULAÇÃO DE SOLUÇÃO POBRE DO SISTEMA DE
CATACARB EM UMA FÁBRICA DE FERTILIZANTES: um
estudo de caso**

Monografia apresentada à Coordenação do curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe - FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2017.1.

Prof. Dra. Maria Andrea da Silva
Orientadora

Dr. Marcos Antonio Passos Chagas
Examinador

MSc. Bento Francisco dos Santos Júnior
Examinador

Aprovado(a) com média: _____

Aracaju (SE), ____ de _____ de 2017

RESUMO

O presente trabalho consiste em um estudo de caso desenvolvido na empresa Fafen-SE, do qual aborda sobre a confiabilidade operacional dos conjuntos das bombas de circulação da solução pobre do sistema de Catacarb. Têm como objetivo geral da pesquisa, identificar os fatores que afetam a confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb e, através disso, atuar nas causas básicas (causa raiz) das falhas, propondo melhorias efetivas no sistema e eliminando as medidas paliativas para os problemas operacionais detectados no conjunto dessas bombas. Foram abordados conceitos referentes ao tema de estudo, assim como, a utilização de ferramentas da qualidade, das quais possibilitaram analisar o sistema e sugerir melhorias para todos os desvios identificados, contribuindo para o processo de melhoria na confiabilidade do sistema. Com relação à metodologia, o tipo de abordagem científica empregada foi a quali-quantitativa e, quanto ao objeto, foi utilizada a pesquisa de campo direta (registro de fotos, observação). A pesquisa documental também foi realizada neste trabalho, utilizando-se de documentos internos, fotos, relatórios, dentre outros. Com o estudo, foram constatados os fatores que estão afetando a confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb. A partir daí, foram propostas soluções para minimizar as falhas nesse sistema e, assim, evitar paradas não programadas dos conjuntos das bombas de circulação da solução pobre do sistema de Catacarb, reduzindo custos e melhorando a confiabilidade operacional do sistema.

Palavras-chave: Confiabilidade operacional; Causa raiz; Falhas.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Falhas do conjunto das bombas 110-J entre 2010 a 2016.....	53
Tabela 2 – Tempo médio de reparo por falha no equipamento.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Notação do esquema de monitoramento de vibração.....	23
Quadro 2 – Método dos 5W2H.....	38
Quadro 3 – Variáveis e indicadores da pesquisa.	48
Quadro 4 – Ponto de operação das bombas 110-JA/JB/JC.....	51
Quadro 5 – Plano de ação.....	84

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva das bombas 110-J	51
Gráfico 2 - Gráfico de Pareto das falhas do conjunto das 110-J.....	53
Gráfico 3 -Gráfico de Pareto do custo de manutenção do conjunto das 110-J. 	54
Gráfico 4 - Análise do tempo médio de reparo pelo tipo de falha.....	56
Gráfico 5 - Tempo médio de reparo por conjunto das bombas 110-J	57
Gráfico 6 - Temperatura dos mancais – lado do acoplamento da 110-JCT.....	63
Gráfico 7 - Temperatura dos mancais – lado do acoplamento da 110-JAT.....	63
Gráfico 8 - Quantidade de operadores de Catacarb e tempo de fábrica	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes e fatores do sistema homem-máquina	19
Figura 2 – Falhas humanas na vida dos equipamentos.....	21
Figura 3 – Esquema de monitoramento de um multiplicador	23
Figura 4 – Esquema de funcionamento de uma bomba com carcaça em volu - ta.....	27
Figura 5 – Desenho esquemático de carcaça em difusor.....	28
Figura 6 – Erosão na carcaça de uma bomba rotativa após sofrer cavitação ...	30
Figura 7 – Exemplo de gráficos de Pareto	36
Figura 8 – Exemplo de diagrama de Ishikawa	37
Figura 9 – Exemplo de árvore de falha	39
Figura 10 – Eventos utilizados na árvore de falha.....	40
Figura 11 – Operadores lógicos utilizados na árvore de falha.....	40
Figura 12 – Aplicação do diagrama de Ishikawa.....	52
Figura 13 – FTA – Causas primárias da falha do mancal da turbina	58
Figura 14 – Mancais tipo casquilha e eixo da turbina.....	59
Figura 15 – Lubrificação por anéis de óleo.....	59
Figura 16 – Esquema de óleo das 110-JAT/JCT.....	60
Figura 17 – Limpeza das linhas de lubrificação dos mancais.....	60
Figura 18 – Limpeza do bico injetor do óleo de lubrificação	61
Figura 19 – Danos aos mancais da turbina por falta do sistema de lubrifica - ção.....	62
Figura 20 – Termômetro infravermelho.....	62
Figura 21 – Mangueira de ar para os mancais da turbina 110-JAT.....	64
Figura 22 – FTA – Causas primárias da falha por cavitação da bomba	65
Figura 23 – Temperatura da solução de Catacarb na sucção das 110-J's.....	66
Figura 24 – Vazão de descarga das bombas 110-J e nível de fundo da 102-E ..	68
Figura 25 – Plano de selagem das bombas 110-J	69
Figura 26 – Pressão de fluido na caixa de selagem da bomba 110-JB	69
Figura 27 – FTA – Causas primárias da falha nos selos das bombas 110-J.....	70
Figura 28 – Monitoramento de vibração da bomba 110-JB	72
Figura 29 – Monitoramento de vibração da bomba 110-JA	73
Figura 30 – Monitoramento de vibração da bomba 110-JC	73
Figura 31 – Ausência de sensor do mancal da bomba 110-JA	74
Figura 32 – Sensor desconectado do mancal L.A da bomba 110-JA	74
Figura 33 – Sensor desconectado do mancal L.O.A da bomba 110-JA	74
Figura 34 – Sensor desconectado do mancal do motor da bomba 110-JB.....	75
Figura 35 – Governador TG-10.....	75
Figura 36 – FTA – Causas primárias da falha nos governadores das turbinas ..	76
Figura 37 – Análise visual do óleo do governador das turbinas 110-JAT/JCT ..	77
Figura 38 – Temperatura da caixa externa do governador da 110-JAT.....	78
Figura 39 – Temperatura da caixa externa do governador da 110-JCT.....	79
Figura 40 – Mancal proposto para a nova turbina.....	81

Figura 41 – Sensor do mancal da bomba 110-JA	85
Figura 42 – Sensor do mancal L.O.A da bomba 110-JA.....	86
Figura 43 – Sensor de motor da bomba 110-JB	86
Figura 44 – Sensor desconectado do mancal L.A da bomba 110-JA	87
Figura 45 – Sensores de vibração do conjunto da bomba 110-JA	87
Figura 46 – Sensores de vibração do conjunto da bomba 110-JB	88

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE TABELA

LISTA DE QUADROS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Situação Problema.....	13
1.2 Objetivo Geral.....	13
1.2.1 Objetivos específicos.....	13
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Caracterização da Empresa.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Confiabilidade.....	17
2.1.1 Principais conceitos associados a confiabilidade	18
2.2 Confiabilidade Humana.....	18
2.2.1 Relações homem-máquina	19
2.2.2 Confiabilidade homem-máquina	19
2.2.3 Falhas humanas na vida dos equipamentos	20
2.3 Falhas dos Equipamentos.....	21
2.4 Confiabilidade na Produção.....	24
2.4.1 Manutenção autônoma	24
2.4.2 Procedimentos operacionais	25
2.5 Bombas Industriais.....	26
2.5.1 Bombas centrífugas	26
2.5.2 Principais modos de falha e problemas operacionais das bombas centrífugas.....	29
2.6 Descrição do Processo de Catacarb	32
2.7 Ferramentas da Qualidade	35
2.7.1 Gráfico de Pareto	35
2.7.2 Brainstorming.....	36
2.7.3 Diagrama de causa e efeito	36
2.7.4 5W2H	38
2.7.5 Árvore de falha (FTA).....	39

3 METODOLOGIA	42
3.1 Abordagem Metodológica	42
3.2 Caracterização da Pesquisa	43
3.2.1 Quanto aos objetivos ou fins	43
3.2.2 Quanto ao objeto ou meios	44
3.2.3 Quanto ao tratamento dos dados	45
3.3 Instrumentos de Pesquisa	46
3.4 Unidade, Universo e Amostra da Pesquisa.....	47
3.5 Definição das Variáveis e Indicadores da Pesquisa	48
3.6 Plano de Registro e Análise dos Dados.....	49
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	50
4.1 Falhas do Conjunto das Bombas de Circulação de Solução Pobre do Sistema de Catacarb	50
4.2 Causas das Falhas Relacionadas ao Conjunto das Bombas de Circulação de Solução Pobre do Sistema de Catacarb.....	57
4.2.1 Causa raiz da falha do mancal da turbina	58
4.2.2 Causa raiz da falha por cavitação da bomba	64
4.2.3 Causa raiz da falha do selo da bomba.....	68
4.2.4 Causa raiz da falha do governador da turbina.....	75
4.3 Sugestão de Melhorias para Obtenção da Confiabilidade Operacional das Bombas de Circulação de Solução Pobre do Sistema de Catacarb	80
4.3.1 Melhorias para a causa de falha do mancal da turbina.....	80
4.3.2 Melhorias para a causa da falha por cavitação da bomba.....	82
4.3.3 Melhorias para a causa da falha do selo da bomba	82
4.3.4 Melhorias para a causa da falha do governador da turbina	83
4.4 Sugestões.....	84
4.4.1 Sugestões acatadas.....	85
4.4.2 Sugestões não acatadas.....	89
5 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	91
ANEXOS	94
Anexo A – Histórico de manutenção do conjunto das bombas 110-J.....	95
Anexo B – Folha de leitura da área de catacarb	96
Anexo C – Tela do SDCD do sistema de catacarb.....	97
Anexo D – Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ).....	98
Anexo E – Rotinas de operação.....	99
Anexo F – Procedimento de partida das bombas 110-J	102
Anexo G – Rotinas operacionais (7h às 15h).....	105

1 INTRODUÇÃO

Com a globalização da economia, gerou-se um rápido crescimento produtivo nas indústrias. Por meio do desenvolvimento tecnológico, mecanização e automatismo dos processos, as empresas aumentaram a sua capacidade produtiva, ampliando cada vez mais os lucros. No entanto, diante do cenário competitivo em que as empresas estão inseridas, para que estas se mantenham vivas e, em plena capacidade produtiva, a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos devem ser tratadas de forma estratégica, sendo necessárias também, mudanças na forma de gerenciamento dos ativos.

A busca contínua dos fatores competitivos como especialização, rapidez, inovação e qualidade, traduzem as exigências do atual cenário globalizado. Dessa forma, as inserções de novas tecnologias acarretam em meios de produção cada vez mais sofisticados. Porém, a admissão de equipamentos e tecnologias modernas, trazem custos elevados de manutenção, quando há paradas não programadas desses ativos, gerando grandes perdas financeiras para a empresa.

Nesse contexto, os resultados de pesquisa sobre a situação da manutenção no Brasil, realizada pela Associação Brasileira de Manutenção (Abraman), publicado pelo site Valor Econômico, mostraram que os gastos com manutenção de empresas da indústria de base e infraestrutura chegaram a R\$145 bilhões em 2011. Esse valor correspondeu, em média, a 3,95% do faturamento bruto das empresas no mesmo ano.

Nos últimos anos, em decorrência, principalmente, do contexto político-econômico que o Brasil se encontra, as indústrias brasileiras vêm sofrendo retração, impactando seriamente na economia e desenvolvimento do país. De acordo com a Carta Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) n. 745, referente ao balanço do primeiro semestre, publicada em 12 de agosto de 2016, informa que o nível de queda no setor industrial retrocedeu de -11,5% para -6,7% entre o primeiro e o segundo trimestres de 2016, considerando a relação com o mesmo período do ano anterior. Com isso, o semestre apresentou uma queda de 9,1%, abaixo dos -10,4% do segundo semestre de 2015.

Todo este cenário faz com que haja no mercado, uma ascensão por novos conceitos e técnicas de manutenção, visando a confiabilidade e segurança operacional.

Outro ponto relevante e, um dos principais fatores determinante para a excelência das condições e funções de um ativo, é o colaborador. A equipe de operação e manutenção devem utilizar os ativos dentro dos padrões estabelecidos, atuando de maneira eficaz, identificando e prevenindo falhas nos equipamentos.

Desta forma, é imprescindível a confiabilidade humana e das operações de produção e manutenção dos ativos da empresa, otimizando a operação e manutenção dos equipamentos e sistemas, reduzindo a probabilidade de falhas dos produtos, minimizando os custos por paradas não programadas de equipamentos e, conseqüentemente, aumentando a receita das empresas.

1.1 Situação Problema

Tendo em vista, um considerável número de intervenções realizadas no conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb, nota-se uma redução da confiabilidade operacional desse sistema. As paradas dos ativos podem acarretar na indisponibilidade de uma bomba reserva ou na limitação da capacidade, gerando perda de produção.

Diante do que foi explanado, gera a seguinte questão: **quais são os fatores que estão afetando a confiabilidade na operação das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb?**

1.2 Objetivo Geral

- Identificar os fatores que afetam a confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb.

1.2.1 Objetivos específicos

- Apontar as principais falhas do conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb.

- Apresentar os motivos causadores das falhas relacionadas ao conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb.
- Sugerir melhorias para obtenção da confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb.

1.3 Justificativa

O que motiva a escolha do tema é auxiliar a empresa na busca pela melhoria da confiabilidade operacional do sistema de Catacarb, identificando e apresentando soluções aos principais desvios do sistema.

Como colaborador da Fafen-SE, gera uma motivação adicional, desenvolver um trabalho com foco nas melhorias operacionais. Dessa forma, há possibilidade de desenvolver novos conhecimentos, aprimorando e agregando mais valor à minha formação profissional.

Na parte acadêmica, a realização do estágio supervisionado na Empresa, traz oportunidades de aplicar os conceitos e ensinamentos adquiridos ao longo da graduação. Além de ser requisito obrigatório para a conclusão do curso bacharelado em Engenharia de Produção.

1.4 Caracterização da Empresa

A Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe (Fafen-SE) é uma das unidades de operações da Petrobras e está localizada na Rodovia SE 210, Km 1, Pedra Branca, no município de Laranjeiras. O número de colaboradores lotados na Fafen-SE no mês de Agosto/2016 são de 311 colaboradores próprios.

Abordando o contexto histórico da fábrica, que foi inaugurada em 6 de outubro de 1982, da qual chamava-se Nitrofertil, era uma das empresas que constituíam o grupo Petrofertil. Em 1993, a Nitrofertil foi incorporada à Petrobras e as fábricas de Camaçari e de Laranjeiras e passaram a se chamar Fábricas de Fertilizantes Nitrogenados (Fafen). Nessa época, as fábricas passaram a integrar a área de Refino do Abastecimento da companhia, como uma unidade de negócio independente. Em 1998, a fábrica de Laranjeiras foi modernizada e teve sua produção diária ampliada para 1800 toneladas de ureia e 1250 de amônia.

No ano de 2005, houve uma expansão da estrutura de gestão do Abastecimento da Petrobras, o que levou à criação de uma área específica para Petroquímica e Fertilizantes e o desmembramento das fábricas com duas unidades de negócio distintas, a Fafen-SE e a Fafen-BA.

Outra mudança significativa ocorreu no ano de 2009, com a passagem das duas fábricas de fertilizantes para a área de Gás e Energia.

Com o desejo de ampliar o portfólio de produção de fertilizantes, em junho de 2013, a unidade do Paraná (Fafen-PR) passou a integrar à companhia.

Em 2014, a fábrica foi ampliada com a construção da planta de Sulfato de Amônio, com capacidade para produção de 875 toneladas por dia, o que equivale a 303 mil toneladas por ano. A Fafen-SE é a primeira unidade da Petrobras a fabricar esse produto.

A mudança mais recente ocorreu em 2016, com a extinção da área de Gás e Energia, as fábricas passaram a reintegrar a área de Abastecimento da Petrobras.

Referente aos produtos fabricados na empresa, apresentam-se: a uréia fertilizante perolada e granulada; uréia industrial; Uréia Premium; Reforce N, amônia; gás carbônico; e sulfato de amônio.

A comercialização de amônia produzida na Fafen-Se é de fundamental para o abastecimento de indústrias de produção de fertilizantes fosfatados, mineração e alimentício, entre outros. Em todos esses produtos, o Brasil não tem capacidade ociosa de produção, importando grandes volumes do que consome. Praticamente toda a produção da Fafen é destinada ao mercado interno.

Existem aproximadamente 100 clientes ativos (Heringer, Fertinor, Aduos Sudoeste, White Martins, dentre outros), sendo eles, misturadores e distribuidores de fertilizantes e produtos pecuários, indústrias e distribuidores de produtos automotivos. Em relação aos seus concorrentes, a Fafen-SE disputa o mercado com empresas nacionais e multinacionais (grupo Yara, Vale fertilizantes, Unigel, grupo Akron).

A unidade Fafen-Se também atende mercados agropecuários do Nordeste e do centro-sul do país. A maior parte da produção de amônia é utilizada como consumo interno para produção de seus derivados (ureia e sulfato de amônio), destinados basicamente para este mercado. A produção excedente do insumo é destinada aos segmentos agropecuário e industrial.

Além da produção industrial, a unidade atua na realização de projetos sociais nos municípios sergipanos, seguindo as linhas de ação do Programa Petrobras Desenvolvimento e Cidadania. A Fafen-SE marcou um novo ciclo do desenvolvimento no estado, com a construção da adutora do rio São Francisco, a ampliação da rede de energia elétrica, a revitalização da ferrovia que liga Sergipe à Bahia e ainda com a instalação do Terminal Portuário Ignácio Barbosa, em Barra dos Coqueiros, a 36 quilômetros de Aracaju.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão apresentados os conceitos que servirão como base para fundamentação teórica do trabalho realizado. As fontes de pesquisas para o desenvolvimento da fundamentação teórica ocorreram em livros, artigos e sites especializados no tema abordado.

2.1 Confiabilidade

Uma das formas de minimizar os riscos de falhas e obtenção de melhorias no sistema produtivo está no estudo da confiabilidade dos processos e/ou produtos. “Em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas.” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 1). Dessa forma, para que a organização tenha sucesso em seu sistema produtivo é necessário garantir a total confiabilidade operacional, evitando-se ao máximo a falha precoce dos equipamentos.

Segundo a definição proposta por Leemis (1995 apud FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 2), “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.”

Sendo assim, a confiabilidade trata de como um sistema e/ou produto irá desempenhar a sua função, comportando-se de uma forma esperada, da qual foi projetada e especificada para atuar sobre determinadas condições.

De acordo com Andrade (2011 apud MACHADO; ANDRADE, 2013, p. 2), a confiabilidade vem se mostrando um recurso fundamental para o auxílio na tomada de decisão em diversos setores industriais, tais como o desenvolvimento de produtos, a produção e a manutenção. Dessa forma, permite que seja estabelecida uma estratégia formal voltada para as melhores práticas de desempenho do sistema produtivo.

2.1.1 Principais conceitos associados a confiabilidade

Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 7) cita alguns conceitos associados à confiabilidade, tais como: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança.

Para Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 7), a qualidade é definida como o cumprimento a especificações de projeto e manufatura com o mínimo de variabilidade possível.

Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 7) cita que a “disponibilidade é definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado.”

Para Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 7),

Mantenabilidade é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, mediante condições preestabelecidas de uso, quando submetido à manutenção sob condições predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão.

De acordo com Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 7), a segurança é a ausência de condições que causam danos físicos ou ocupacionais as pessoas, bem como danos ou perdas materiais.

2.2 Confiabilidade Humana

Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 25) definem confiabilidade humana como sendo a probabilidade de uma pessoa não falhar na execução de uma tarefa solicitada, em um determinado período de tempo, em condições ambientais adequadas e com recursos disponíveis para executá-la. Sendo assim, nota-se que a confiabilidade humana é muito importante para o fluxo contínuo do sistema produtivo, visto que, um erro na execução da atividade pode gerar danos materiais e pessoais significativos.

Mesmo o ser humano com todos os seus atributos e peculiaridades, ele necessita garantir a confiabilidade do sistema. Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 26) citam que os humanos cometem falhas e, diferente de uma máquina, há uma deterioração natural do homem ao longo do tempo.

Diante disso, Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 27) citam que as falhas podem ser previstas, quantificadas e, conseqüentemente, minimizadas, desde que

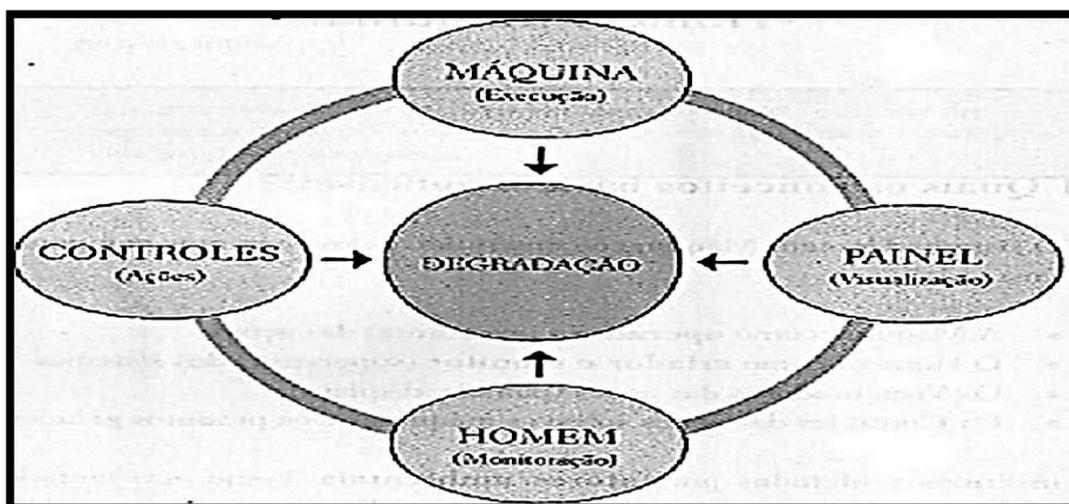
haja uma qualificação humana para desempenhar suas funções. Deve-se considerar também os fatores que limitam o desempenho (pessoais, ambientais, sociais).

2.2.1 Relações homem-máquina

De acordo com Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 79), o sistema Homem-Máquina é composto pela máquina (executora das ações), o homem (supervisor dos sistemas), os visualizadores de ações (painéis, displays) e os controles das ações sobre as máquinas e produtos gerados.

Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 79) afirmam que todos os componentes do sistema estão sujeitos à degradação ao longo do tempo, sendo afetados por fatores ambientais, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Componentes e fatores do sistema homem-máquina



Fonte: Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 80)

Segundo Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 80), há características que necessitam ser vistas no projeto e uso do sistema homem-máquina, dentre elas estão: o operador do sistema (sua aptidão para tarefa, experiências anteriores, características físicas adequadas, personalidade); a máquina (projeto adequado dos controles e painéis, manutenibilidade do sistema, ferramental de apoio); ambiente (supervisão, procedimentos administrativos, fatores ambientais, supervisão).

2.2.2 Confiabilidade homem-máquina

Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 85) afirmam que “O processo de produção é uma função do sistema Homem-Máquina, criado para atingir dados dos

requisitos de saída (*output*) em resposta e certos estímulos de entrada (*input*), admitindo uma perfeita interação homem com máquina.”

Sendo assim, o sistema homem-máquina é um sistema integrado do qual, a partir de estímulos de entrada e dentro das condições predeterminadas, processa e transforma os inputs em estímulos de saída (*outputs*).

De acordo com Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 85), cerca de 25 % a 50 % das falhas que ocorrem com o uso dos equipamentos são resultados de erros humanos e, entre 50 % a 80 % de todas as falhas são decorrentes de execuções mal realizadas.

Segundo Lafraia (2001, apud SANTOS; BATISTA, 2014, p. 6), o erro humano ocorre por negligência, falta de compromisso e da não observação de regras ou procedimentos.

Percebe-se o quanto a falha humana pode impactar na confiabilidade dos sistemas, podendo acarretar falhas em equipamentos, trazer riscos à segurança e perdas financeiras elevadas.

Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 86) citam que os principais fatores que afetam a produção são os erros de execução e os de processamento.

Para Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 86), os erros de execução são aqueles em que a pessoa comete e resulta em falha do sistema e/ou produto em cumprir o desempenho especificado (falhas de fabricação, uso incorreto de materiais, armazenagem em ambiente inadequado, falhas na inspeção do equipamento).

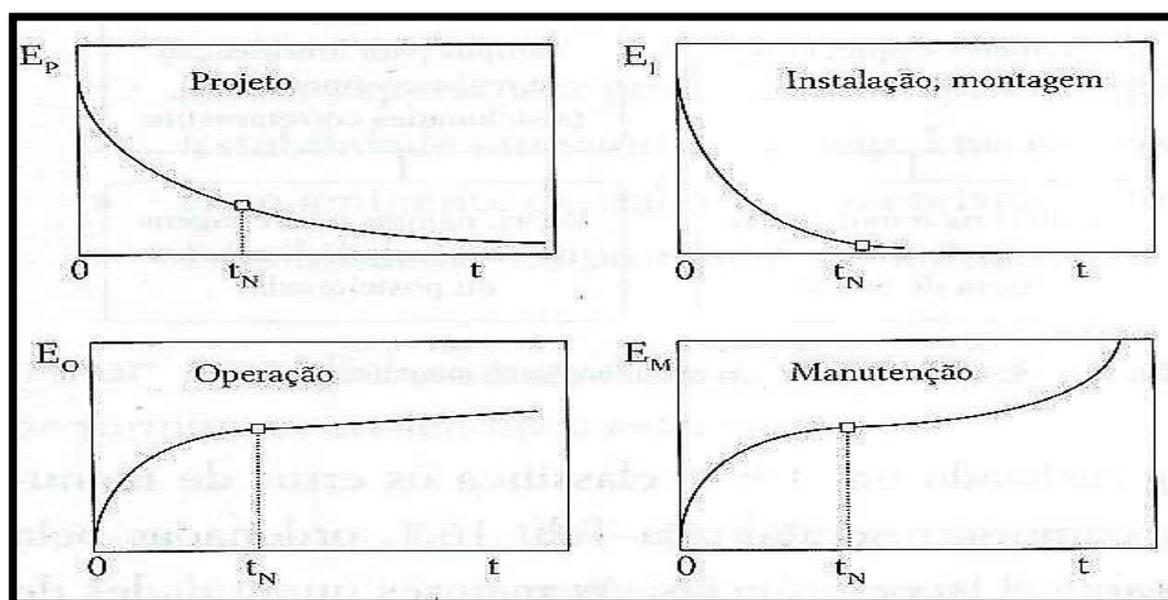
De acordo com Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 88), os erros de processo são intrínsecos das máquinas, não sendo gerados diretamente pelo operador e são conduzidos ao sistema de produção por deficiências de seu projeto inicial ou manutenção (planejamentos incorretos, layout deficiente, instrução de montagem e operação inadequadas ou inexistentes).

2.2.3 Falhas humanas na vida dos equipamentos

Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 312) citam que as falhas mais comuns em decorrência de ações do homem, durante a vida de um equipamento são:

- Erros de projeto: nesse tipo de erro, há um declínio significativo a partir da operação inicial, porém mantém um valor residual por questões econômicas (deficiência do projeto).
- Erros de instalação e montagem: há uma queda significativa a partir da operação inicial e são praticamente extintas até a fase de uso normal, com correções que serão realizadas, como alinhamento, balanceamento, etc.
- Erros de operação: há um crescimento significativo a partir da operação inicial, alcançando um valor máximo, a partir do qual mantém constante ou diminuem. Dependem principalmente que as instruções sejam realizadas de modo apropriado, assim como, o gerenciamento e capacidade do operador.
- Erros de manutenção: crescem significativamente a partir do momento da partida, tendo um aumento de erros totais acumulados, com o envelhecimento do equipamento e o aumento da frequência de intervenções.

Figura 2 - Falhas humanas na vida dos equipamentos



Fonte: Pallerosi; Mazzolini; Mazzolini (2011, p. 313)

2.3 Falhas dos Equipamentos

De acordo com Xenos (2014, p. 69),

[...] a falha é o término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo, quando o item deverá ser reparado ou substituído. A falha leva o item a um estado de indisponibilidade.

Para Xenos (2014, p. 70), todos os equipamentos estão submetidos a esforços, que ao longo de sua operação, levarão a sua deterioração. Diante disso, para que os equipamentos tenham um perfeito funcionamento ao longo da sua vida útil, deve-se garantir que ele tenha sido projetado e montado adequadamente e, que haja uma operação e manutenção apropriada, para evitar uma deterioração precoce do mesmo.

De acordo com Xenos (2014, p. 75), na maioria dos casos, as falhas nos equipamentos não possuem uma única causa básica, sendo necessária uma investigação apurada dos fatos. Muitas vezes, as falhas se devem ao comportamento ou a falta de habilidade das pessoas, devido à inexperiência ou, por exemplo, o não cumprimento de procedimentos operacionais e de manutenção, quando há existência dos mesmos.

Xenos (2014, p. 76) cita algumas causas básicas de falhas dentro de grandes empresas, dentre elas estão: lubrificação inadequada; operação incorreta dos equipamentos; sujeiras, resíduos ou condições ambientais adversas e folgas.

Com relação a lubrificação, Xenos (2014, p. 76) cita a importância que tal prática tem para os equipamentos, evitando desgastes devido ao atrito entre os componentes, superaquecimento, vibrações e ruídos. A operação no dia a dia tem papel fundamental no acompanhamento dos sistemas de lubrificação dos equipamentos.

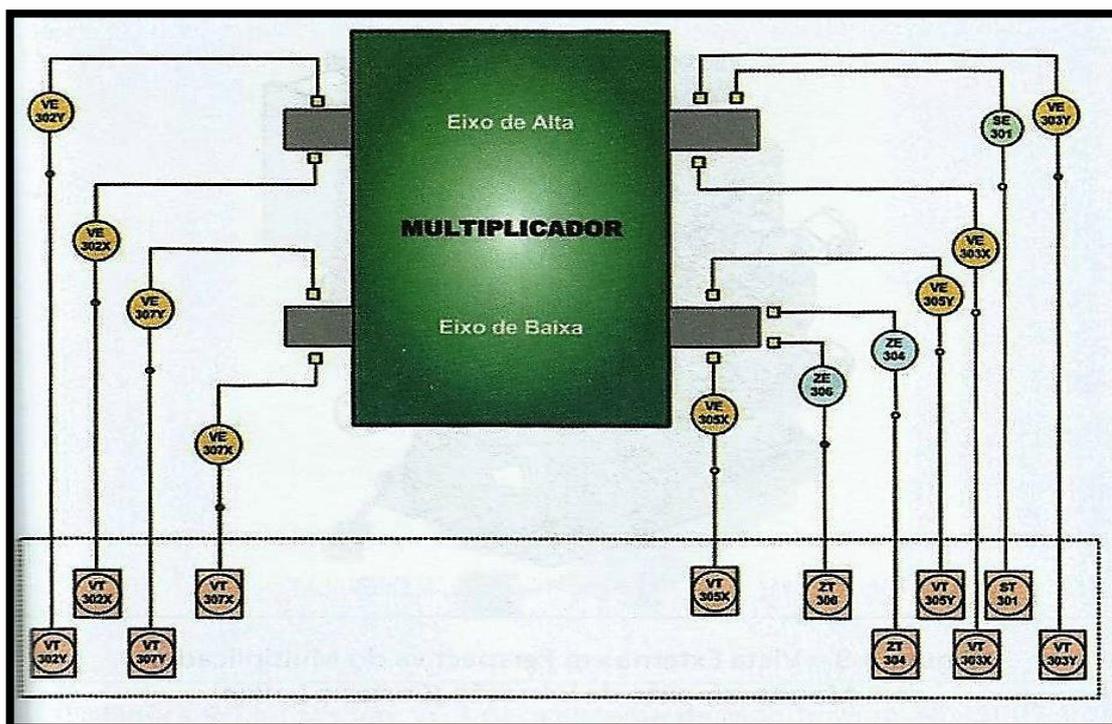
Xenos (2014, p. 77) cita que, geralmente, há procedimentos específicos para a operação dos equipamentos, tanto para situações normais quanto de emergências. Os operadores têm que ser treinados com base nos procedimentos, de forma a garantir a operação correta dos equipamentos, entendendo os seus mecanismos e funcionamento. Cabe ao supervisor acompanhar o desempenho do operador, o seu cumprimento com relação aos procedimentos e, encorajá-lo a relatar quaisquer erros de operação, para que sejam tomadas as medidas necessárias a fim de evitar falha do equipamento.

Para Xenos (2014, p. 77), outro ponto de possível causa de falha é a presença de resíduos, materiais estranhos nas partes dos equipamentos, que possam a vir obstruir seus mecanismos. Isso pode ocasionar baixo rendimento ao equipamento e/ou má qualidade do produto.

Com relação as folgas, Xenos (2014, p. 78) define como sendo movimentos relativos entre as partes dos equipamentos. Essas folgas devem ser controladas,

dentro de valores aceitáveis, pois o aumento delas geram vibração, superaquecimento e danifica os internos dos equipamentos. As prevenções dessas folgas são feitas a partir do controle de vibração em equipamentos rotativos, uso de arruelas de pressão, contraporcas e contrapinos. A Figura 3 mostra um típico sistema de medição de vibração.

Figura 3 - Esquema de monitoramento de um multiplicador



Fonte: Kardec; Nascif (2015, p. 285)

Para Kardec; Nascif (2015, p. 284), o significado da notação utilizada na Figura 3, está detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 - Notação do esquema de monitoramento de vibração

VE	Sensor de vibração (X e Y indicam a posição de montagem horizontal e vertical, respectivamente)
VT	Proximitor correspondente ao sensor de vibração
ZE	Sensor de descolamento axial
ZT	Proximitor correspondente ao sensor de descolamento axial
SE	Probe de medição da fase (<i>key-phasor</i>)
ST	Proximitor correspondente ao sensor de medição de fase

Fonte: Adaptado de Kardec; Nascif (2015, p. 284)

De acordo com Kardec; Nascif (2015, p. 284), os fabricantes dos sistemas de monitoramento de vibração, fornecem o monitoramento completo, consistindo de:

Medição de vibração por intermédio de probes instalados radialmente; Medição de deslocamento axial por meio de probes instalados axialmente, no disco de escora e/ou na ponta do eixo; Medição de fase e rotação por meio de um probe radial que “vê” um rasgo praticado no eixo; Monitoramento de temperatura dos mancais – radiais e de escora- através de RTDs; Proximitors – osciladores-demoduladores, para cada probe instalado; Cabos específicos para ligação probe-proximitor; Painel composto de fonte, indicador de vibração radial para cada mancal, indicador de deslocamento axial do eixo, rotação e temperatura dos mancais.

2.4 Confiabilidade na Produção

Para Kardec; Nascif (2015, p. 24), a produção é basicamente constituída pelas atividades de manutenção, operação e engenharia. Sendo que, há diversas áreas que prestam suporte à produção, como a inspeção de equipamentos, segurança industrial, dentre outras.

A operação em conjunto com a manutenção e engenharia buscam a maior disponibilidade do sistema. De acordo com Kardec; Nascif (2015, p. 25), tendo uma maior disponibilidade, necessitará de uma menor demanda de serviços.

Segundo Kardec; Nascif (2015, p. 27), para se ter uma redução da demanda de serviços e, dessa forma, ter uma maior disponibilidade, confiabilidade, qualidade e segurança do sistema; deve-se observar dentre outros aspectos, a qualidade da manutenção e da operação. A falha na manutenção e operação provocam retrabalho, podendo gerar falha prematura do equipamento/sistema, perdas de produção e insatisfação do cliente.

Toda esta questão deve ser resolvida com o enfoque na implementação de melhorias, padronização, gerenciamento de rotinas, dentre outros recursos, com intuito de melhorar o sistema produtivo e otimizar a organização como um todo.

2.4.1 Manutenção autônoma

Segundo Xenos (2014, p. 95), “A eficiência da produção diminui quando o operador assume que toda anomalia ou falha é responsabilidade do Departamento de Manutenção ou do grupo de reparo.” O trabalho da operação não está limitado a apenas operar o equipamento, apertar botão, mas também de conhecer detalhadamente o equipamento, identificando anomalias e tratando-as, para evitar possíveis falhas.

Xenos (2014, p. 243) afirma que,

Quanto mais habilidades e conhecimento técnico esses “operadores” tiverem - além das instalações, ferramentas e os procedimentos operacionais padrão necessários –, maior será sua capacidade de executar serviços de manutenção cada vez mais complexos.

Sendo assim, o treinamento e qualificação da operação, ao longo do tempo, são de fundamental importância para garantir o bom funcionamento do equipamento, atuando diretamente nas ações corretivas para anomalias e falhas simples.

Para Xenos (2014, p. 244), a prática da manutenção autônoma é uma forma de evitar na produção, a deterioração dos equipamentos, detectando e tratando de anomalias no estágio inicial, que possam a vir resultar em falhas. Sendo uma estratégia que envolve os operadores dos equipamentos nas atividades de manutenção diária, como inspeção (detecção de ruídos, vibrações, superaquecimento), limpeza e lubrificação.

Segundo Xenos (2014, p. 253), uma das frases mais comuns encontradas nas empresas, quando se trata de manutenção autônoma, é *limpeza é inspeção*. Sendo assim, a limpeza seria uma forma de treinar a operação na prática da inspeção com o uso dos sentidos. Além de manter os equipamentos limpos, é um meio de garantir a detecção de anomalias, inspecionando cada uma das partes dos equipamentos.

Xenos (2014, p. 253) afirma que a manutenção autônoma começa e termina com a lubrificação dos equipamentos, reduzindo os atritos entre partes móveis dos equipamentos, desgaste e superaquecimento.

2.4.2 Procedimentos operacionais

Faria; Muglia; Magalhães (2009, p. 6) afirmam que, para cada tarefa crítica, é estabelecido um padrão de trabalho, por meio da análise e de acordo com as melhores práticas disponíveis. Desse modo, é elaborado um procedimento operacional padrão (POP), do qual detalha as etapas de execução das tarefas que serão realizadas pelo responsável.

De acordo com Pulat (1992 apud OLIVEIRA; SELLITTO, 2010, p. 4),

Um procedimento consiste em uma descrição detalhada de como uma atividade deve ser realizada. Pode incluir fotografias e desenhos que auxiliem o operador a entender a tarefa e facilitem o treinamento.

Também podem incorporar melhorias e correções que surgem durante a atividade, tornando-se um documento dinâmico.

Segundo Begosso (2005 apud OLIVEIRA; SELLITTO, 2010, p. 5), os procedimentos incluem condições de trabalho e ações. Os operadores conferem-lhes valor baseado na frequência de sucesso. Quando todas as condições previstas existem, ações bem-sucedidas aumentam a confiança no procedimento. Sem as condições ideais, a operação utiliza o procedimento mais propenso ao sucesso na condição mais parecida.

Carvalho; Vidal; Carvalho (2005 apud OLIVEIRA; SELLITTO, 2010, p. 5) afirmam que nem sempre os procedimentos escritos são seguidos com rigor, pois trabalhadores podem modificar certas ações, para que se tornem mais eficientes ao lidar com pressões temporais e demais restrições impostas por contextos de trabalho competitivos.

Sendo assim, o procedimento operacional padrão é fundamental para a garantia da qualidade dos produtos da empresa, obtendo melhores condições de operação dos equipamentos, segurança pessoal e de processo.

2.5 Bombas Industriais

De acordo com Macintyre (2014, p. 7),

Bombas são máquinas geratrizes, isto é, que recebem trabalho mecânico, geralmente fornecido por uma máquina motriz, e o transformam em energia hidráulica, comunicando ao líquido um acréscimo de energia sob as formas de energia potencial de pressão e cinética.

Segundo Macintyre (2014, p. 7), a forma como é realizada a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso de cedê-la ao líquido aumentando sua pressão e/ou velocidade, admite classificar as bombas da seguinte forma: turbobombas (dinâmicas ou centrífugas); deslocamento positivo; bombas especiais (bomba com ejetor, bomba de emulsão de ar).

De acordo com Bonniard (2011, p. 13), as bombas centrífugas são as mais utilizadas nos processos industriais, por apresentarem a capacidade de alterar o seu ponto de operação. Esta característica lhe confere uma grande flexibilidade operacional.

2.5.1 Bombas centrífugas

As bombas centrífugas ou turbobombas, conforme cita Macintyre (2014, p. 8), “[...] são caracterizadas por possuírem um órgão rotatório dotado de pás, chamado rotor, que exerce sobre o líquido forças que resultam da aceleração que o rotor imprime ao líquido.”

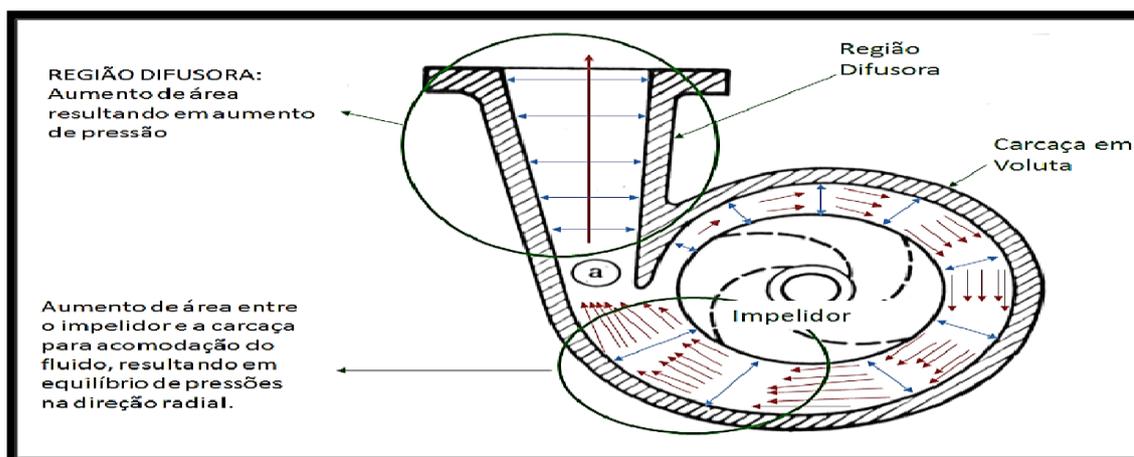
Bonniard (2011, p. 13) cita que há dois grupos construtivos de bombas centrífugas: carcaça em voluta e carcaça em difusor.

No tipo construtivo, carcaça em voluta, Bonniard (2011, p. 13) cita que

[...] o líquido é encaminhado para a parte central do impelidor, onde entra em movimento rotativo e é expelido para a periferia do rotor com alta velocidade e baixa pressão (embora superior a de entrada no impelidor). A seguir, o fluido percorre o contorno da carcaça, e ao entrar na região difusora, perde velocidade e ganha pressão.

A figura abaixo (Figura 4) demonstra o funcionamento de uma bomba com carcaça em voluta.

Figura 4 - Esquema de funcionamento de uma bomba com carcaça em voluta



Fonte: Bonniard (2011, p. 13)

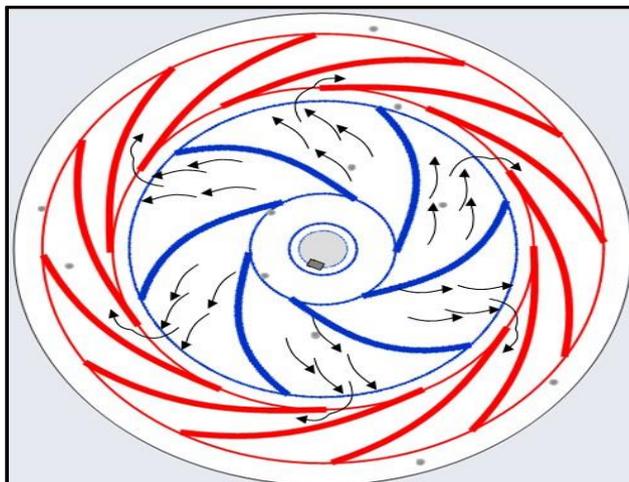
Bonniard (2011, p. 13) cita que há um aumento gradual na área entre o impelidor e a carcaça, ao longo do escoamento do fluido, com o objetivo de acomodar as porções de fluido que vão sendo expelidas pelo impelidor, de forma a evitar desequilíbrios hidráulicos e esforços radiais na bomba. O aumento de pressão do fluido ocorre na região difusora da carcaça, local onde não há mais inserção de massa fluida pelo impelidor.

No tipo construtivo carcaça em difusor, Bonniard (2011, p. 14) informa que

[...] é dotada de pás diretrizes estacionárias que formam canais com seções gradativamente crescentes. Essas pás recebem e guiam o líquido que é expelido pelo impelidor. A função do difusor é transformar parte da energia cinética do líquido em energia de pressão.

Bonniard (2011, p. 14) menciona que não é comum o emprego de carcaças difusoras em bombas de simples estágio, mas é recomendável em bombas de múltiplos estágios, por apresentar forma construtiva mais compacta. A Figura 5 exemplifica a carcaça em difusor.

Figura 5 - Desenho esquemático de carcaça em difusor



Fonte: Bonniard (2011, p. 14)

Em relação aos principais componentes de uma bomba centrífuga de simples estágio, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 53) cita alguns deles: rotor, eixo, sistemas de vedação, mancais e acoplamento.

Sobre o rotor, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 53) fala que

O rotor, também conhecido como impelidor, como já foi descrito anteriormente, é um componente giratório da bomba que é construído de uma forma tal que, ao girar em alta velocidade, desloca o líquido bombeado até uma altura de recalque determinada. O rotor é dotado de pás (palhetas, hélice) que recebem o líquido pelo seu centro e o expulsam pela sua periferia, devido à ação da força centrífuga.

Com relação ao eixo, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 56) cita que a sua função básica é transmitir a força recebida do motor elétrico ou turbina, com intuito de manter a bomba em funcionamento. Além de suportar o rotor e outras partes rotativas da bomba.

O sistema de vedação da bomba centrífuga, de acordo com o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 57), tem por finalidade impedir que o fluido bombeado vaze pelo espaço existente entre o eixo e a carcaça da bomba. Sendo utilizados os sistemas de vedação por gaxeta e por selo mecânico.

O guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 60) cita como principal função do selo mecânico, evitar totalmente o vazamento de líquido na bomba.

Sendo que, com esse método de vedação não ocorre o gotejamento, como é necessário ao usar a gaxeta.

Em relação aos mancais, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 60) cita que

[...] tem por função manter o correto alinhamento do conjunto rotativo em relação às partes estacionárias, sob cargas radiais e axiais. Os mancais são destinados a adequar o posicionamento axial. A bomba centrífuga, dependendo do seu tipo e da sua aplicação, pode utilizar dois tipos de mancais: de rolamento; de deslizamento

Com relação à lubrificação desses mancais, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 63) comenta da importância do sistema de lubrificação, tendo como objetivos: reduzir o atrito entre o eixo e o mancal; auxiliar na dissipação do calor gerado pelo atrito produzido; proteger o mancal contra corrosão.

Em se tratando de acoplamento, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 68) cita que

Os eixos das bombas são conectados aos eixos dos seus acionadores por meio de acoplamentos, exceto para bombas muito pequenas, de projeto compacto, onde o impelidor é montado na extensão do eixo do acionador. Nas bombas maiores, é por intermédio do acoplamento que o motor elétrico transmite o movimento de rotação, também denominado de torque ao conjunto rotativo da bomba.

2.5.2 Principais modos de falha e problemas operacionais das bombas centrífugas

Bonniard (2011, p. 20) cita alguns modos de falhas e problemas operacionais comuns nas indústrias, tais como: perdas hidráulicas, cavitação, desalinhamento, desbalanceamento, instabilidade hidráulica.

Sobre as perdas hidráulicas, Bonniard (2011, p. 20) define como perdas de energia que ocorrem devido à interação entre o fluido e os internos da bomba, ocasionando uma ineficiência da bomba e um aumento do consumo de potência da máquina. Essas perdas são observadas em todas as bombas ao longo do tempo, sendo ocasionadas por turbulências em regiões da carcaça e do impelidor, rugosidades e irregularidades nas superfícies de passagem do fluido, incluindo o impelidor.

Com relação à cavitação, Bonniard (2011, p. 21) cita que é um fenômeno que ocorre quando a pressão na sucção das bombas se torna muita baixa (igual ou

inferior à pressão de vapor do fluido na temperatura de operação), a ponto de permitir que o fluido bombeado se vaporize na entrada do impelidor, formando bolhas que podem seguir com fluido bombeado. Quando essas bolhas atingem uma região de pressão maior do que a sua pressão de vapor, elas entram em colapso voltando à fase líquida, o que gera uma onda de choques que percorrem o fluido e ocasionam vibrações, ruído, danos ao material.

A figura a seguir (Figura 6) ilustra a erosão ocasionada por cavitação numa bomba rotativa.

Figura 6 - Erosão na carcaça de uma bomba rotativa após sofrer cavitação



Fonte: Bonniard (2011, p. 21)

Segundo o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 142),

[...] é impossível para a bomba succionar a água sem que sua pressão não seja menor que a do tanque de sucção, que, na maioria dos casos, é a própria pressão na superfície do líquido no reservatório de sucção. Dessa forma, na maioria das instalações de bombeamento, sempre ocorrerá uma vaporização da água na entrada da bomba.

Sendo assim, Macintyre (2014, p. 62) cita que, com a finalidade de caracterizar as melhores condições para que aconteça uma boa aspiração do líquido, foi introduzido o conceito *Net Positive Suction Head* (NPSH).

Macintyre (2014, p. 62) diz que esse conceito representa a disponibilidade de energia com que o líquido penetra na sucção da bomba, da qual permitirá atingir o bordo da pá do impelidor.

Segundo o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 143), há dois fatores que possibilitam o surgimento da cavitação: bomba trabalhando com baixa pressão e alta vazão e a existência de altura negativa de sucção.

Sendo assim, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 144) cita: “Para que o NPSH proporcione uma sucção satisfatória à bomba, é necessário que

a pressão em qualquer ponto da tubulação nunca venha reduzir-se à pressão de vapor do líquido.”

Outro ponto importante, segundo Macintyre (2014, p. 63) é que o NPSH disponível deve ser maior que o NPSH requerido.

Para Macintyre (2014, p. 63), o NPSH requerido é a energia de pressão requerida pela bomba, ou simplesmente o NPSH da bomba.

De acordo o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 144), define o NPSH requerido da seguinte forma:

O NPSH requerido ou real é uma característica da bomba, determinada em seu projeto de fábrica, por meio de cálculos e ensaios de laboratório. Tecnicamente, NPSHR é a energia necessária para vencer as perdas de carga entre a conexão de sucção da bomba e as pás do rotor, assim como criar a velocidade desejada no líquido, nas pás do rotor.

Em relação ao NPSH disponível, o guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p. 145) cita como uma característica da instalação hidráulica, definida como a energia que o líquido possui num ponto imediatamente anterior a sucção da bomba, acima da sua pressão de vapor.

O guia básico de bombas da Eletrobras (2009, p.146) cita algumas variáveis que alteram o NPSH disponível da bomba, tais como: altura estática de sucção; altitude do local da instalação; temperatura de bombeamento do líquido; tipo do líquido bombeado; tipo de entrada, diâmetro, comprimento e acessórios da linha de sucção; vazão; pressão do reservatório de sucção.

Com relação aos problemas gerados por desalinhamento, Bonniard (2011, p. 21) cita que esse modo de falha, ocasiona vibrações elevadas nas direções axial e radial, podendo também apresentar aquecimento de mancais, sobretudo quando o desalinhamento é do tipo paralelo.

Sobre o desbalanceamento, Bonniard (2011, p. 22) cita que todas as máquinas apresentam este problema, porém deve-se respeitar o limite de projeto. Tal problema ocorre quando o eixo principal de inércia do rotor não coincide com a sua direção de rotação, o que gera aumento significativo da vibração global do equipamento, apresentando espectro característico fortemente influenciado pela frequência correspondente à rotação da máquina.

A instabilidade hidráulica, de acordo com Bonniard (2011, p. 22), é normalmente ocasionado pela operação da bomba em baixas vazões, provocando recirculações internas (vórtices), nas regiões internas ao impelidor até a sua saída e

em pontos de quase estagnação, como as costas do impelidor e a carcaça. Este fenômeno gera variação da pressão de descarga, vazão e potência, além de vibrações acentuadas na máquina.

2.6 Descrição do Processo de Catacarb

De acordo com o manual do fabricante Eickmeyer (1997, p. 1), “The CATAcarb process employs hot potassium carbonate solution to remove CO₂ via the following reversible reaction: $K_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2 KHCO_3$.”

Segundo o texto acima, Eickmeyer (1997, p. 1, tradução nossa) afirma que o processo Catacarb emprega solução quente de carbonato de potássio para remover CO₂ através da seguinte reação reversível: $K_2CO_3 + O_2 + H_2O \rightarrow 2 KHCO_3$.

Segundo Eickmeyer (1997, p. 1),

This reaction is promoted by the CATAcarb catalyst, which is present in a minor proportion in the solution. The catalyst greatly accelerates both the rate of absorption and stripping of CO₂ in and out of the solution. Also, the CATAcarb solution employs a minor proportion of corrosion inhibitor, which permits the use of carbon steel in most of the CATAcarb equipment.

Eickmeyer (1997, p. 1, tradução nossa) afirma no texto acima que a reação é promovida por catalisador na Catacarb, que está presente numa proporção menor na solução. O catalisador acelera grandemente tanto a velocidade de absorção como a separação de CO₂ dentro e fora da solução. Além disso, a solução Catacarb emprega uma pequena proporção de inibidor de corrosão, o que permite o uso de aço carbono na maioria dos equipamentos Catacarb.

Eickmeyer (1997, p. 1) afirma que

After expansion, the CATAcarb Plant remains a two-stage unit, which has two absorption zones and two stripping zones. Most of the CO₂ is removed in the first stage of absorption and stripping by means of a large circulation of partially regenerated semi-lean solution. The final cleanup is done in the second stage which employs a small stream of fully regenerated lean solution.

Eickmeyer (1997, p. 1, tradução nossa) descreve na citação acima que após a expansão, a planta Catacarb apresenta uma unidade de dois estágios, que tem duas zonas de absorção e duas zonas de *stripping*. A maior parte do CO₂ é removida na primeira fase de absorção e remoção por meio de uma grande circulação de solução semi-pobre parcialmente regenerada. A limpeza final é feita na segunda fase que emprega uma pequena corrente de solução pobre totalmente regenerada.

Segundo Eickmeyer (1997, p. 2), “[...] the low temperature shift effluent first enters the reboilers 105-C and 113-C to boil the solution and generate stripping steam for the Stripper 102-E. Then, the gas is partially cooled in IF—C and enters the Absorber 101-E.”

Ou seja, Eickmeyer (1997, p. 2, tradução nossa) afirma que o efluente do conversor de baixa temperatura entra primeiro nos reaquecedores 105-C e 113-C para ferver a solução e gerar vapor de separação para o *stripper* na 102-E. Em seguida, o gás é parcialmente resfriado em trocadores e entra na absorvedora 101-E.

A absorção na torre 101-E é favorecida por altas pressões e uma temperatura mais baixa. Vale ressaltar que, por política interna da empresa, os valores dos parâmetros de operação não serão informados na descrição do processo.

Com relação a torre 101-E, Eickmeyer (1997, p. 2) descreve que a “101 -E is a two-stage vessel. The gas flows upwards through the two beds countercurrent to the CATAcarb solution. Most of the CO₂ is removed in these beds.”

Eickmeyer (1997, p. 2, tradução nossa) diz no texto acima que a 101-E é uma torre de dois estágios, onde o gás flui para cima através dos dois leitos em contracorrente da solução Catacarb. A maior parte do CO₂ é removida nestes leitos.

Ainda sobre a torre absorvedora de CO₂, “The top lean section of 101-E has two beds. Final cleaning of CO₂ is achieved in this section by countercurrent contact of the gas with the lean solution. The treated gas exits 101-E and proceeds to the downstream Mathanator.” (EICKMEYER, 1997, p. 2).

Eickmeyer (1997, p. 2, tradução nossa) informa no texto acima, que na parte superior magra da torre 101-E possui dois leitos. A limpeza final de CO₂ é conseguida nesta seção pelo contato em contracorrente do gás com a solução pobre. O gás tratado sai da 101-E e prossegue para o metanador a jusante.

“The rich solution leaving the bottom of 101 - E passes through a Hydraulic Turbine--107-JHT--for power recovery and, then, enters the top of the Stripper 102-E. Due to pressure letdown, steam and CO₂ are flashed from the rich solution as it enters 102 - E.” (EICKMEYER, 1997, p. 2).

Segundo informado no texto acima, Eickmeyer (1997, p. 2, tradução nossa) diz que solução rica que sai do fundo da 101-E passa através de uma turbina hidráulica - 107-JHT - para recuperação de potência e, então, entra no topo da torre

102-E. Devido à diminuição da pressão, o vapor e o CO₂ são libertados da solução rica à medida que entra 102-E.

Ainda sobre a torre desabsorvedora de CO₂ (102-E), Eickmeyer (1997, p. 2) cita,

102-E is also a two-stage vessel. The rich distributor in the top of 102-E separates the flashed vapor from the liquid and distributes liquid over the beds where CO₂ is stripped out by the rising steam. Most of the CO₂ is removed in this section and the stripped solution is drawn off from a chimney tray as the semi-lean solution, which is pumped by the Semi-Lean Pump 107 -J to the middle of 101 -E.

Eickmeyer (1997, p. 2, tradução nossa) informa que a 102-E é também um recipiente de duas fases, onde o distribuidor rico no topo da torre separa o vapor instantâneo do líquido e distribui o líquido sobre os leitos onde o CO₂ é eliminado pelo vapor ascendente. A maior parte do CO₂ é removido nesta seção e a solução *estripada* é retirada de uma bandeja de chaminé como a solução semi-pobre, que é bombeada pela bomba 107-J para o meio de 101-E.

De acordo com Eickmeyer (1997, p. 3),

A small portion of the semi-lean solution is sent to the bottom lean section of 102-E. The solution is thoroughly stripped in the lean section to removal additional CO₂. Vapor exits the lean section, mainly steam with a small amount of CO₂, passes through the chimney tray and also serves as the stripping medium for the bulk section. Solution collected at the bottom chimney tray passes through the Reboiler 105-C and returns to the bottom of 102-E. Then, the lean solution flows by gravity through the Lean cooler 108-C, where it is cooled to 99 C, and is pumped by the Lean Pump 110-J to the top of 101-E.

Na descrição acima, Eickmeyer (1997, p. 3, tradução nossa) informa que uma pequena porção da solução semi-pobre é enviada para a parte inferior da 102-E. A solução é completamente *estripada* na seção de remoção do CO₂ adicional. Vapor sai da seção, principalmente vapor com uma pequena quantidade de CO₂, passa através do tabuleiro de chaminé e também serve como o meio de remoção para a seção de volume. A solução coletada na bandeja de chaminé do fundo passa através do revedor 105-C e retorna para o fundo do 102-E. Em seguida, a solução pobre flui por gravidade através do refrigerador 108-C, onde é resfriada e é bombeada pela bomba 110-J para o topo da torre 101-E.

Vale ressaltar que, atualmente, há outro resfriador (107-C), que se encontra em série com o resfriador 108-C, a fim de reduzir ainda mais a temperatura de sucção das bombas 110-J.

Eickmeyer (1997, p. 3) informa que

Stripped steam and CO₂ leaves the bulk of 102-E and enters a water wash section, where it is cooled by contacting with the condensate. Heated condensate exits the wash section at the bottom chimney tray and heads for the Reboilers 105-C, 113-C and 111-C. The gas leaving the top of 102-E is further cooled in the CO₂ Cooler (110-C) to satisfy the system water balance and the necessary CO₂ recovery.

Eickmeyer (1997, p. 3, tradução nossa) cita no texto acima, que o vapor de *estripagem* e CO₂ sai no topo da 102-E e entra numa secção de lavagem com água, onde é resfriado por contato com o condensado. O condensado aquecido sai da secção de lavagem na bandeja de chaminé inferior e dirige-se para os revedores 105-C, 113-C e 111-C. O gás que sai do topo da 102-E é adicionalmente resfriado nos condensadores de CO₂ (110-C) para satisfazer o equilíbrio de água do sistema e a necessária recuperação de CO₂.

Para uma melhor visualização do fluxo do processo, o mesmo pode ser observado através da tela do SDCC do sistema de Catacarb (**Anexo C**).

2.7 Ferramentas da Qualidade

Com intuito de auxiliar no desenvolvimento do trabalho realizado, utilizou-se das ferramentas de qualidade, com o objetivo de analisar o sistema estudado e propor melhorias para todos os desvios identificados, contribuindo dessa forma, para o processo de melhoria contínua.

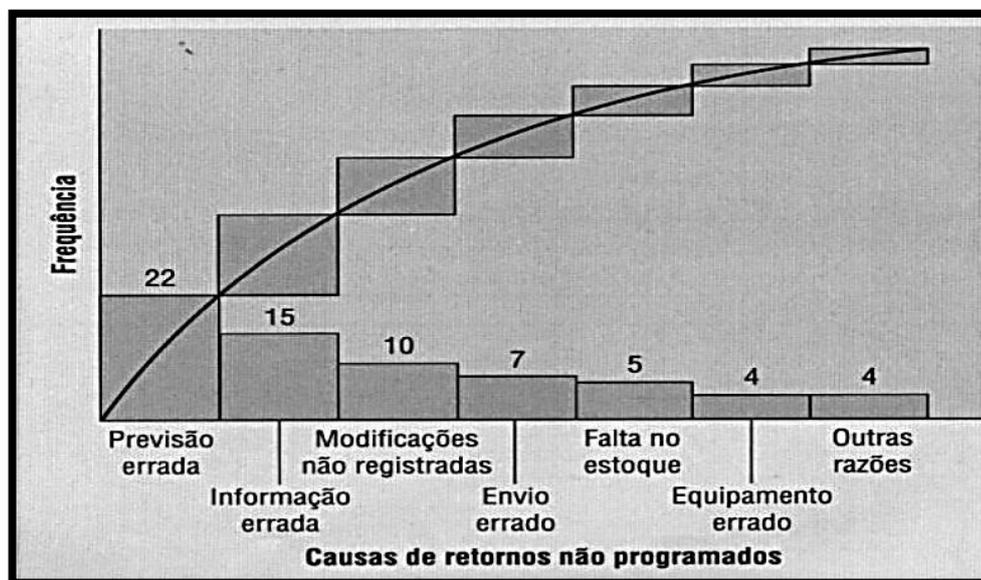
De acordo com Vergueiro (2002 apud DUPPRE et al., 2015, p. 5), as ferramentas da qualidade permitem auxiliar na resolução e compreensão dos problemas, fornecendo um amplo e completo número de causas e efeitos. As ferramentas da qualidade podem apresentar os dados em gráficos, ou em meios/técnicas que evidenciam a análise/solução do problema.

2.7.1 Gráfico de Pareto

É o gráfico que utiliza barras verticais, onde o eixo horizontal apresenta os diversos problemas ou seus respectivos motivos. Para quantificar as ocorrências, utiliza-se o eixo vertical à esquerda, dispondo os valores de maneira decrescente. O percentual acumulado é demonstrado no eixo vertical a direita para tornar a análise das ocorrências mais compreensível (FILHO, 2007 apud DUPPRE et al., 2015, p. 5)

Para Mariani (2005 apud DUPPRE et al., 2015, p. 6), o gráfico de Pareto é utilizado para evidenciar a frequência de cada causa ou falha, priorizando então a tomada de decisão. Na Figura 7, observa-se um exemplo de gráfico de Pareto.

Figura 7 – Exemplo do gráfico de Pareto



Fonte: Slack (2009 apud BEZERRA et al., 2012, p. 6)

2.7.2 Brainstorming

Segundo Meireles (2001 apud DUPPRE et al., 2015, p. 7), o brainstorming é uma ferramenta utilizada com o intuito de que várias pessoas possam criar ideias acerca de um tema escolhido.

Seleme; Stadler (2010 apud DUPPRE et al., 2015, p. 7) dizem ser possível que todos envolvidos em uma determinada reunião, possam expressar suas opiniões, mesmo sendo incoerentes, pois as mesmas serão avaliadas pela organização, para assim, verificar se estão conforme a sua necessidade. O brainstorming é realizado em três fases: na primeira, são formadas as ideias; a segunda é a realização dos esclarecimentos pertinentes ao processo; a terceira analisa as ideias sugeridas.

2.7.3 Diagrama de causa e efeito

Também conhecido como espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa. Para Fornari Junior (2010 apud SOUZA et al., 2015, p. 4), esse diagrama tem como

finalidade representar fatores influentes, isto é, as causas para determinado problema (efeito). Nesse sentido, esse método é amplo e capaz de oferecer “[...] suporte para as decisões relativas a situações que devem ser mantidas ou eliminadas.” (PALADINI, 2012 apud SOUZA et al., 2015, p. 4)

“O diagrama contempla as seguintes categorias: máquinas, meio ambiente, mão de obra, matérias primas e medição; estas famílias vão resultar as sub causas que, conseqüentemente, determinarão o resultado final” (RATH; STRONG, 2004 apud DUPPRE et al., 2015, p. 6).

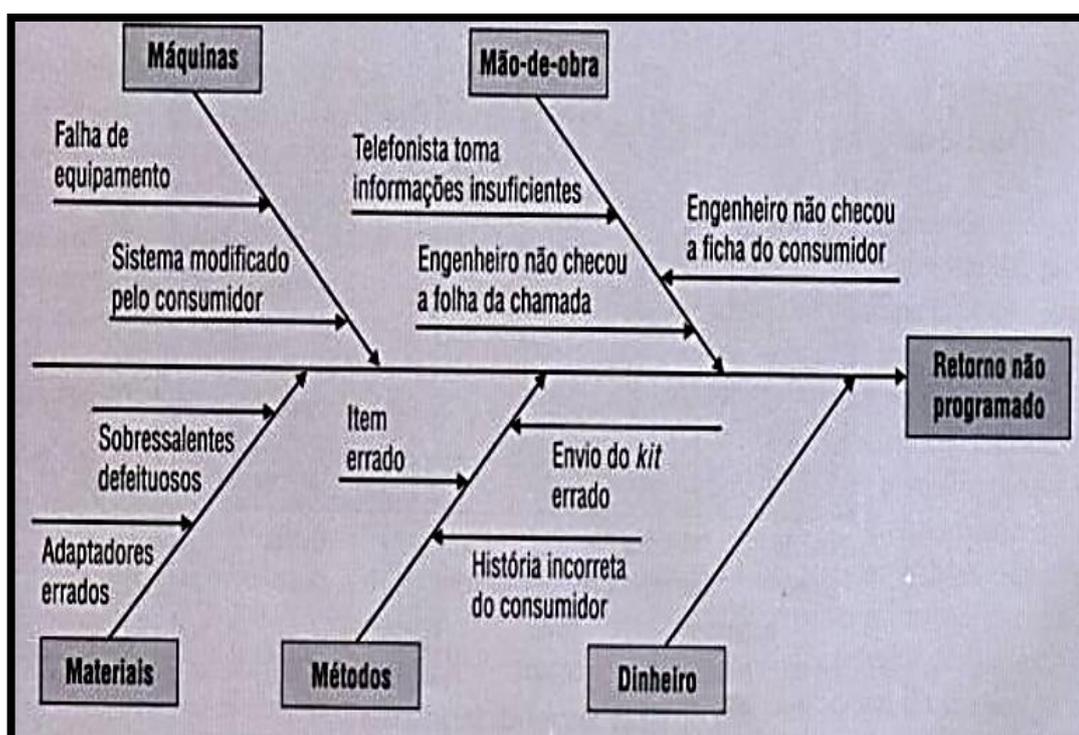
Lins (1993 apud SOUZA et al., 2015, p. 5) recomenda a utilização da ferramenta Brainstorming juntamente com a montagem deste diagrama, a fim de auxiliar na formulação das possíveis causas para determinados problemas.

De acordo com Bezerra et al. (2012, p. 4),

O diagrama de causa e efeito foi desenvolvido para representar as relações existentes entre um problema ou o efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas.

Na Figura 8 abaixo, pode-se observar um exemplo do diagrama de Ishikawa, com suas respectivas categorias.

Figura 8 – Exemplo de diagrama de Ishikawa



Fonte: Slack (2009 apud BEZERRA et al., 2012, p. 5)

2.7.4 5W2H

De acordo com Oliveira (1996 apud REIS et al., 2016, p. 5), o plano de ação é um planejamento cujo objetivo é orientar as várias ações que deverão ser implementadas. Serve como referência para a tomada de decisões, sendo feito o acompanhamento da evolução do projeto.

Segundo Werkema (1995 apud REIS et al., 2016, p. 5), para o planejamento de um plano de ação, elabora-se uma estratégia, realizando reuniões com uma equipe de pessoas envolvidas, com intuito de definir um plano com base na estrutura 5W2H.

Para Meira (2003 apud REIS et al., 2016, p. 5), o objetivo da ferramenta 5W2H é poder responder as sete questões básicas e assim planejá-las de forma eficiente.

No Quadro 2 é exemplificado o método de 5W2H, com suas respectivas perguntas básicas.

Quadro 2 – Método dos 5W2H

Método dos 5W2H			
5W	What	O que?	Que ação será executada?
	Who	Quem?	Quem irá executar/participar da ação?
	Where	Onde?	Onde será executada a ação?
	When	Quando?	Quando a ação será executada?
	Why	Por quê?	Por que a ação será executada?
2H	How	Como?	Como será executada a ação?
	How much	Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?

Fonte: Adaptado de Meira (2003 apud REIS et al., 2016, p. 6)

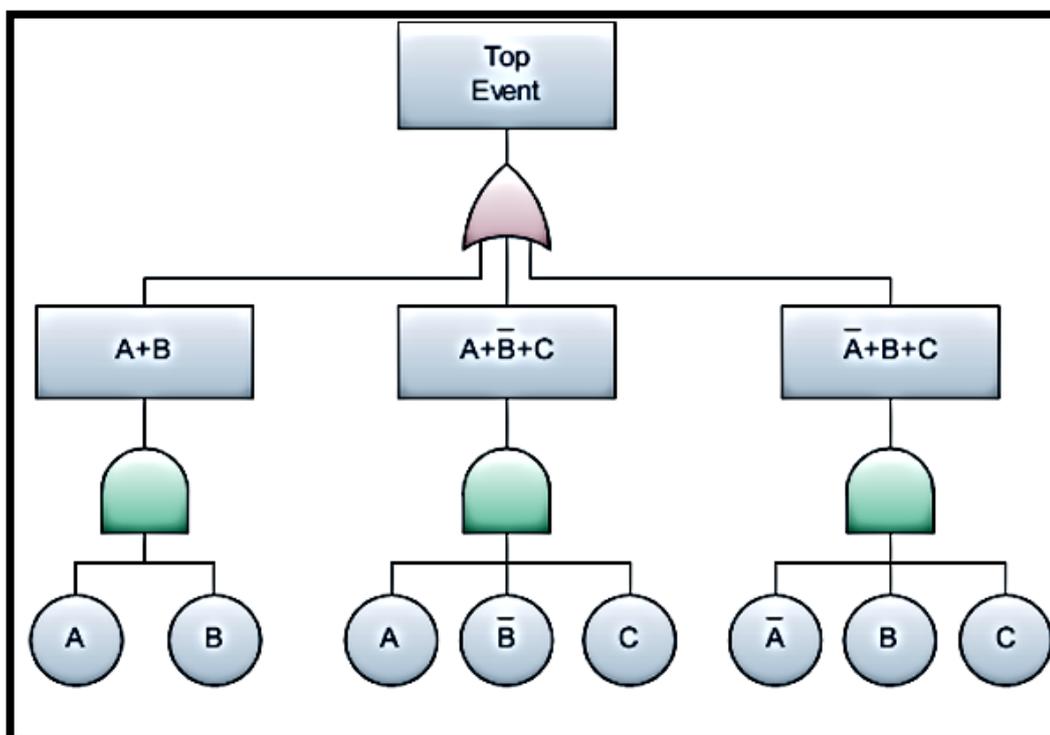
2.7.5 Árvore de falha (FTA)

De acordo com Schmitt (2013, p. 43), a árvore de falha (FTA) é uma ferramenta que permite analisar sistemas, sejam eles, simples ou complexos. Pode ser utilizada tanto para a análise da confiabilidade, melhorias e modificações, como também para determinação das causas potenciais de um acidente ou de um sistema complexo falhar.

Segundo Schmitt (2013, p. 43), a montagem da árvore de falha é iniciada com a identificação do componente que falhou ou aquele que apresenta uma maior probabilidade de falha. Esse componente é então colocado no topo da árvore, e abaixo serão listados os demais componentes que fazem parte do sistema e estão interligados com componente do topo da árvore.

Schmitt (2013, p. 43) informa que, para os componentes abaixo, são listados os modos de falhas aos quais estão suscetíveis, sendo que, sua ligação ocorre por meio de operadores lógicos e/ou montando a árvore de falha, como ilustrado na Figura 9.

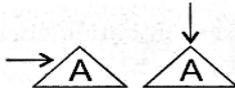
Figura 9 – Exemplo de árvore de falha



Fonte: Prá (2010 apud SCHMITT et al., 2013, p. 44)

A figura a seguir (Figura 10) mostra alguns dos principais eventos utilizados na montagem da árvore de falha.

Figura 10 – Eventos utilizados na árvore de falha

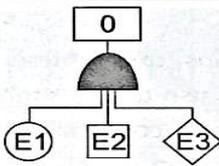
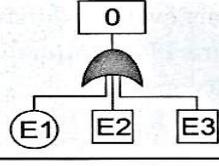
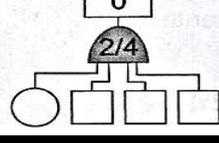
	Retângulo	Evento que resulta da combinação de vários eventos básicos. Pode ser mais desenvolvido
	Círculo	Evento/Falta básica, que não requer maiores desenvolvimentos
	Casa	Um evento básico esperado de ocorrer em condições normais de operação
	Diamante	Como o retângulo, mas não há interesse ou não é possível desenvolvê-lo mais
	Triângulo	Símbolo de transferência

Fonte: Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 202)

Para Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 202), os eventos mais usados são o círculo e o retângulo. O círculo corresponde a uma causa básica e o retângulo a um evento decorrente da combinação de causas básicas.

Na Figura 11, podem-se observar alguns operadores lógicos utilizados na representação da árvore de falha (FTA).

Figura 11 – Operadores lógicos utilizados na árvore de falha

	E	<i>Output (o) só ocorre se todos os inputs ocorrerem</i>
	OU	<i>Output (o) ocorre quando ao menos um dos inputs ocorreram</i>
	E r/n	<i>Output (o) só ocorre se r dos n eventos ocorrerem</i>

Fonte: Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 202)

Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 203) informam que os operadores lógicos mais utilizados são o *E* e o *OU*. O *E* é um operador lógico que representa uma condição mais segura, onde corresponde a um sistema em paralelo, do qual só ocorrerá a falha caso todos os componentes venham a falhar. Já o operador lógico *OU*, torna-

se menos seguro, pois é um sistema em série (a falha ocorrerá se qualquer um dos componentes falharem).

Para Schmitt (2013, p. 46), as vantagens de se utilizar a árvore de falha é que sua estruturação permite identificar todos os componentes que estão envolvidos no evento, sendo possível uma análise quantitativa ou a avaliação da probabilidade de falha dos componentes.

Sendo assim, nota-se que a árvore de falha é um método simples e prático para a identificação dos componentes que falharam, direcionando a análise para a causa raiz do problema. Dessa forma, podem-se propor melhorias com base nos resultados obtidos por meio da árvore de falha, atuando diretamente nas causas primárias e, com isso, aumentar a confiabilidade do sistema.

3 METODOLOGIA

Nesta seção, será apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, identificando e descrevendo o método de pesquisa empregado, a forma como foi aplicado e o motivo de sua escolha.

De acordo com Fonseca (2002 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 12),

[...] métodos significa organização, e logo, estudo sistemático, pesquisa, investigação; ou seja, metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para se realizar uma pesquisa ou um estudo, ou para se fazer ciência.

Segundo Chiswick (2004 apud MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2013, p. 61), explicar o que foi feito é uma parte ativa do trabalho, onde o leitor obtém um senso comum de envolvimento, possibilitando-o ter um entendimento lógico do estudo realizado.

3.1 Abordagem Metodológica

Segundo Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 24), o método de pesquisa representa umas das escolhas mais importantes no projeto, pois ele definirá o caminho a ser seguido na busca do objetivo geral, guiando todo o desenvolvimento da pesquisa para verificação ou não das hipóteses da pesquisa.

Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 25) citam que um dos métodos quantitativos de pesquisa mais importante são o experimento, a pesquisa levantamento (survey) e a modelagem e simulação. Já os principais métodos qualitativos são o estudo de caso e a pesquisa-ação.

Ubirajara (2014, p. 46) cita que “[...] ao caracterizar-se como um estudo particular, uma análise de um fato ou fenômeno, ou problema unitário, um caso específico de uma empresa ou de um setor dela, o trabalho final, misto de relatório e de monografia, recebe a denominação de estudo de caso.”

Gil (2010 apud UBIRAJARA 2014, p. 47) lembra que “O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita a investigação de seu amplo e detalhado conhecimento.”

Para o estudo de caso, Eisenhardt (1989 apud MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2013, p. 142) afirma que esta técnica costuma combinar diversos métodos de coleta de dados, tais como: documentos de arquivo, entrevistas, questionários e observações. As evidências podem ser qualitativas (palavras), quantitativas (números) ou ambas.

O método científico utilizado no trabalho foi o estudo de caso, por se tratar de um estudo realizado em um local e sobre um problema particular, buscando identificar as principais causas de falhas no conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de catacarb da unidade de amônia, na Fafen-Se.

3.2 Caracterização da Pesquisa

Para Ubirajara (2013, p. 46) “A metodologia tanto pode referir-se ao tipo de investigação, de argumentação, como pode apresentar a caracterização da pesquisa.”

Sobre a caracterização da pesquisa, Ubirajara (2013, p. 46) classifica quanto: aos objetivos ou fins; ao modelo conceitual (objeto ou meios); a abordagem dos dados.

3.2.1 Quanto aos objetivos ou fins

Quanto aos objetivos ou fins, Ubirajara (2013, p. 46) classifica em: descritiva, exploratória e explicativa ou explanatória.

Segundo Ubirajara (2013, p. 46), a descritiva irá delinear as características de uma população ou de um fenômeno, ou ainda estabelecer relações entre fenômenos.

“A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade.” (TRIVIÑOS, 1987 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 35).

Ubirajara (2013, p. 46) cita como objetivo da pesquisa exploratória, tornar mais explícito o problema, aprofundar as ideias sobre o objeto de estudo.

Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A grande maioria dessas pesquisas envolve:

(a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão (GIL, 2007 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 35).

De acordo com Ubirajara (2013, p. 46), a pesquisa explicativa/explanatória busca identificar os fatores que causam ou que favorecem a ocorrência dos fenômenos. Segundo Gil (2007, apud Gerhardt; Silveira, 2009, p. 35) a pesquisa explicativa pode ser a continuação de outra descritiva, visto que a identificação de fatores que determinam um fenômeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado.

Neste trabalho o tipo de pesquisa abordada será a explicativa, visto que, tem como foco identificar os fatores que causam ou que favorecem as falhas no conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de catacarb, acarretando numa baixa confiabilidade operacional das bombas.

3.2.2 Quanto ao objeto ou meios

De acordo com Ubirajara (2013, p. 46), uma pesquisa, quanto aos meios, pode ser: documental, bibliográfica, de campo, de observação-participante, pesquisa-ação, dialética, experimental ou laboratorial, entre outras categorias.

Ubirajara (2013, p. 46) cita que a pesquisa documental, assemelha-se à pesquisa bibliográfica, porém utiliza-se das fontes que não receberam tratamento analítico (certidões, atas, laudas, cartas pessoais, fotografias).

A pesquisa documental trilha os mesmos caminhos da pesquisa bibliográfica, não sendo fácil por vezes distingui-las. A pesquisa bibliográfica utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos localizados em bibliotecas. A pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc. (FONSECA, 2002 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 37).

De acordo com Ubirajara (2013, p. 46), a pesquisa bibliográfica é aquela desenvolvida exclusivamente a partir das fontes já elaboradas (livros, artigos científicos, publicações periódicas).

Para Gil (2007 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 37), os exemplos mais comuns desse tipo de pesquisa são acerca de investigações ideológicas ou aquelas

que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema.

Ubirajara (2013, p. 46) afirma que na pesquisa de campo, os conceitos são concebidos a partir de observações diretas, registrando-se o que se vê (entra também, a observação-participante) ou, de observações indiretas, por meio de questionários, opinários ou opinionários, formulários, etc.

Para Gil (2007 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 36), a pesquisa experimental objetiva determinar um elemento de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

“O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado.” (TRIVIÑOS, 1987 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 36).

Para Gerhardt; Silveira (2009, p. 36), a pesquisa experimental pode ser realizada em laboratório ou no campo, onde são criadas as condições de manipulação dos sujeitos nas próprias organizações, comunidades ou grupos.

Em relação aos meios empregados para o desenvolvimento do estudo, foi utilizada a pesquisa de campo direta (registro de fotos, observação). A pesquisa documental também foi realizada neste trabalho, utilizando-se de documentos internos, fotos, relatórios, dentre outros.

3.2.3 Quanto ao tratamento dos dados

De acordo com Ubirajara (2013, p. 47), a pesquisa será quantitativa, se houver apenas dados mensuráveis, perfis estatísticos, com ou sem cruzamentos de variáveis. Será considerada uma abordagem qualitativa, se o estudo objetivar uma análise de compreensão, de interpretação, do problema ou fenômeno, onde o sentimento, a paixão, o envolvimento afetivo é colocado nas entrevistas com os pesquisados – o questionamento em entrevistas, ou a observação direta, é exaustiva, de profundidade.

E há, também, a abordagem quantiquantitativa ou qualiquantitativa, como prefere a maioria dos autores, desde que, além do levantamento quantitativo, estatístico, parta-se para a interpretação desses resultados quantificados, procurando-se compreender esses resultados, as consequências, seja pela fundamentação teórica existente, ou complementar, seja pelos novos questionamentos feitos

junto aos pesquisados, após a primeira fase de quantificação dos dados (UBIRAJARA, 2013, p. 47).

Para Creswell; Clark (2006 apud MIGUEL et. al, 2012, p. 57), há diversas vantagens em combinar as abordagens quantitativas e qualitativas, tais como: proporcionar vantagens que compensam os pontos fracos de ambas as abordagens; fornecer evidências mais abrangentes para o estudo de um problema de pesquisa; auxiliar a solucionar questões que não podem ser respondidas por abordagem separadamente.

Para este trabalho, o tipo de abordagem científica utilizada foi a quali quantitativa. Além de terem sido realizados um tratamento, análise e compreensão dos problemas, foram feitas uma interpretação e quantificação das informações.

3.3 Instrumentos de Pesquisa

De acordo com Ubirajara (2013, p. 124), há diversos meios ou instrumentos de coleta de dados, tais como: entrevistas, questionários, observação pessoal, formulários, entre outros.

Segundo Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 189), a entrevista é uma das técnicas de coleta de dados que pode ser aplicado tanto pelo método quantitativo quanto pelo qualitativo, especialmente pelo fato de existirem vários tipos de entrevistas aplicadas no contexto de pesquisa científica. Para Bryman; Bell (2007 apud MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2013, p. 189), na entrevista, o entrevistador tem como objetivo elucidar situações, impressões, intenções a partir da perspectiva do entrevistado.

De acordo com Lakatos; Marconi (2006 apud MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2013, p. 194), o questionário é um instrumento de coleta de dados, constituído por uma série ordenada de perguntas que podem ser respondidas por escrito ou eletronicamente, na ausência do entrevistador.

Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 194) citam que as perguntas do questionário podem ser abertas, ficando o respondente livre para responder ou, fechadas (o respondente escolhe uma das opções estabelecidas).

Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 195) mencionam algumas vantagens do uso do questionário estruturado autoadministrado, tais como: menor custo para

administrar do que as entrevistas pessoais; fáceis de administrar e analisar; são menos intrusivos do que telefone ou face a face.

Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 200) destacam “[...] a observação como uma forma direta de coleta de dados muito utilizada e comumente associada a pesquisas sobre o comportamento das pessoas.” Ainda segundo Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 201) afirma que: “Porém, a observação torna-se científica, à medida que convém a um plano de pesquisa formulado.”

Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 201) citam as varias modalidades de observação, dentre elas, estão: observação estruturada ou sistemática; observação não estruturada ou assistemática; observação participante; observação não participante; observação simples.

Segundo Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 202), os pontos fortes da observação são que: os fatos são percebidos diretamente, sem intermediação; dados coletados simultaneamente ao acontecimento do fenômeno; a coleta de dados independe do desejo dos agentes de pesquisa responder ou cooperar.

Com relação à consulta de dados de arquivo, Bryman (2008 apud MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2013, p. 203) diz que os documentos organizacionais constituem um grande grupo heterogêneo de fontes com vasta quantidade de informações na forma de documentos que estão disponíveis em muitas organizações.

Para Martins; Mello; Turrioni (2013, p. 203), boa parte dos documentos estão disponíveis em público (relatórios anuais, declarações de missões, notas de imprensa ou disponíveis na World Wide Web), porém outros não (informativos internos, gráficos de indicadores, manuais para novos funcionários, regulamentos internos).

Para esse estudo foram utilizadas as técnicas de coleta documental de dados e observação. Por meio da observação, puderam-se obter registros (anotações, fotografias) para a identificação e análise das principais falhas das bombas de circulação pobre do sistema de catacarb. Além da coleta documental que auxiliou na complementação das informações para o estudo de caso.

3.4 Unidade, Universo e Amostra da Pesquisa

“Uma unidade de pesquisa corresponde ao local preciso onde a investigação foi realizada.” (UBIRAJARA, 2014, p. 130). Portanto, para este estudo, a unidade é a Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe (Fafen-SE), localizada na Rodovia SE 210, Km 1, Pedra Branca, no município de Laranjeiras.

De acordo com Vergara (2009, p. 50), “[...] universo ou população é um conjunto de elementos (empresas, produtos, pessoas, por exemplo) que possuem as características que serão objeto de estudo.”

Para Vergara (2011, p. 46), a “[...] População amostral ou amostra é uma parte do universo (população) escolhida segundo algum critério de representatividade.”

Diante disto, o universo de estudo do trabalho foi o sistema de catacarb, sendo o mesmo composto por 13 bombas. A amostra é composta por três bombas de circulação de solução pobre do sistema de catacarb.

3.5 Definição das Variáveis e Indicadores da Pesquisa

Para Gil (2005 apud UBIRAJARA, 2014, p. 131), “Entende-se por variável um valor ou uma propriedade (característica, por exemplo), que pode ser medida através de diferentes mecanismos operacionais que permitem verificar a relação/conexão entre estas características ou fatores.”

Sustentando-se nos objetivos específicos, as variáveis e os indicadores deste trabalho estão enumeradas no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa

Variável	Indicadores
Falhas do conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb	Gráfico de Colunas; Diagrama de Pareto; Diagrama de Ishikawa; Brainstorming
Motivos causadores das falhas relacionadas ao conjunto das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb	Árvore de Falhas (FTA); Gráfico de Colunas
Melhorias para obtenção da confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb	Plano de ação - 5W2H

Fonte: Próprio autor

3.6 Plano de Registro e Análise dos Dados

No trabalho realizado, foram coletados e analisados dados referentes aos motivos que afetam a confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de catacarb. Os dados quantitativos foram registrados em uma planilha do Excel para elaboração dos gráficos. Em seguida, procedeu-se à análise interpretativa dos resultados ilustrados, apoiando-se na fundamentação teórica.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção, serão especificadas as etapas dos métodos empregados para a análise dos resultados obtidos neste trabalho. Buscou-se identificar as principais falhas do conjunto das bombas de circulação da solução pobre do sistema de catacarb, bem como, os motivos que levaram a essas falhas. Por fim, definiu planos de ações para eliminar as falhas e/ou minimizar os seus efeitos sobre os ativos, a fim de garantir uma melhor confiabilidade operacional e segurança ao sistema.

4.1 Falhas do Conjunto das Bombas de Circulação de Solução Pobre do Sistema de Catacarb

As bombas de circulação de solução pobre de Catacarb (110-JA/JB/JC), originalmente, possuíam uma frequência muito grande de falha, com quebra de rolamentos, eixo, anéis de desgaste e rotor. A engenharia buscou aplicar soluções, a fim de reduzir a gravidade dos danos de falhas (corte do rotor do 110-JB e redução da velocidade de rotação das 110-JA/JC). Outra causa de falha identificada foi a carga axial excessiva nos rolamentos de escora. Então, foi implementada a substituição dos rolamentos originais por rolamentos de rolos cônicos (com maior capacidade para cargas axiais).

Em 2008, a engenharia de otimização realizou um estudo para determinação do ponto de operação, limites inferiores e superiores de vazão, pressão e temperatura, conforme mostra o Quadro 4. Foi feito também o levantamento da curva de desempenho (vazão versus pressão, rendimento e potência) das bombas 110-J (Gráfico 1). Tudo isso, com intuito de melhorar o processo de confiabilidade das bombas 110-J e, conseqüentemente, da Catacarb e da unidade de Amônia.

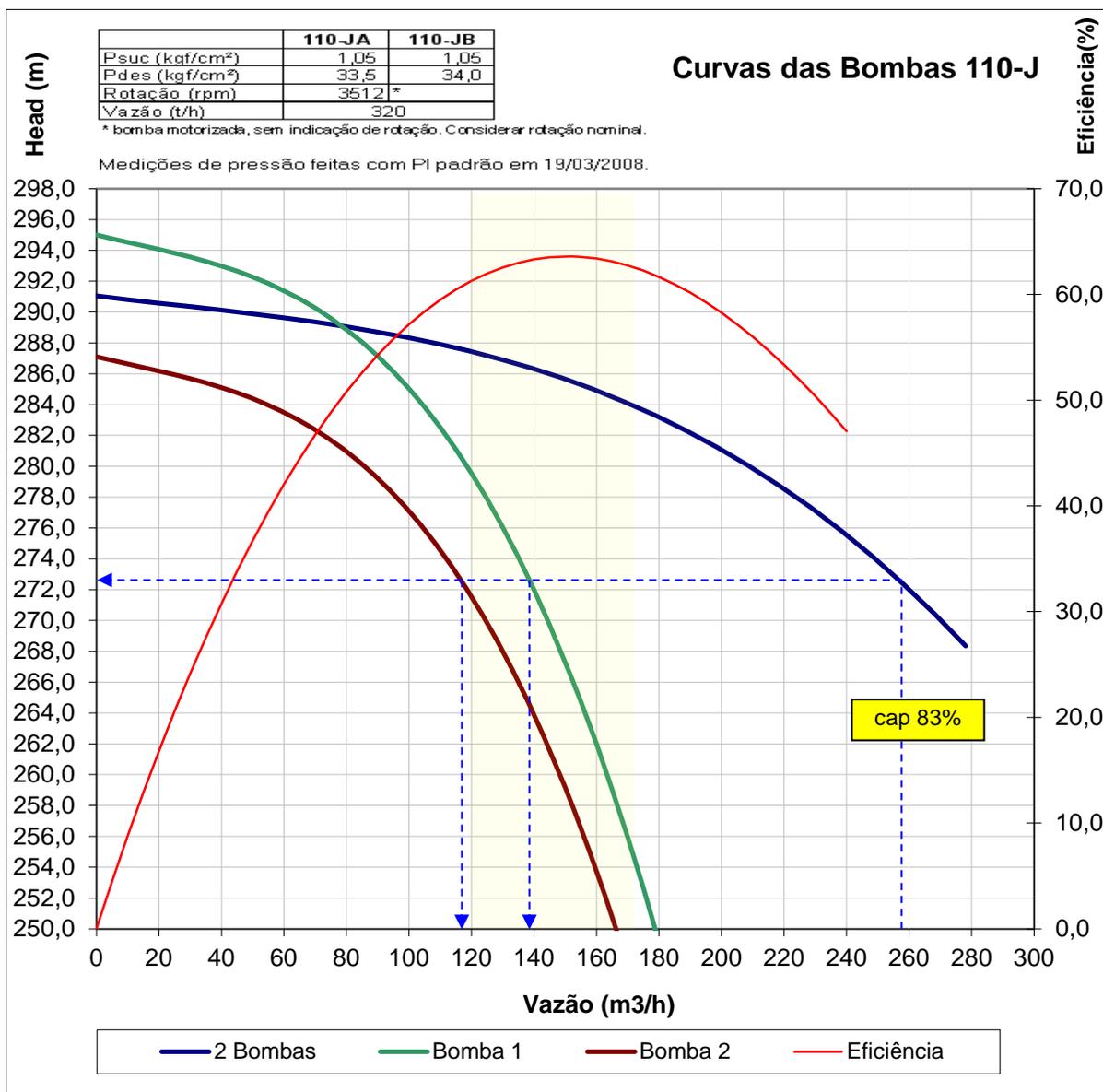
Apesar dos esforços da engenharia e manutenção para melhoria do sistema de Catacarb, ainda há um número considerável de falhas no conjunto das bombas de circulação da solução pobre de Catacarb (110-J), sendo necessária a realização de novos estudos para definir a causa raiz das falhas recorrentes deste sistema.

Quadro 4 - Ponto de operação das bombas 110-JA/JB/JC

Parâmetros Operacionais	110-J A/B/C	Condições normais de operação para 100% de capacidade (1250 t/d de amônia)
Vazão Máxima (m³/h)	141,3	133,3
Vazão Mínima (m³/h)	77	
Pressão Sucção (kgf/cm² man)	0,95	1,15
Temperatura Sucção (°C)	78	99,3
Pressão Descarga (kgf/cm² man)	33,66	36
Temperatura Descarga (°C)	78	99,3

Fonte: Fafen-SE (2008)

Gráfico 1 – Curvas das bombas 110 - J

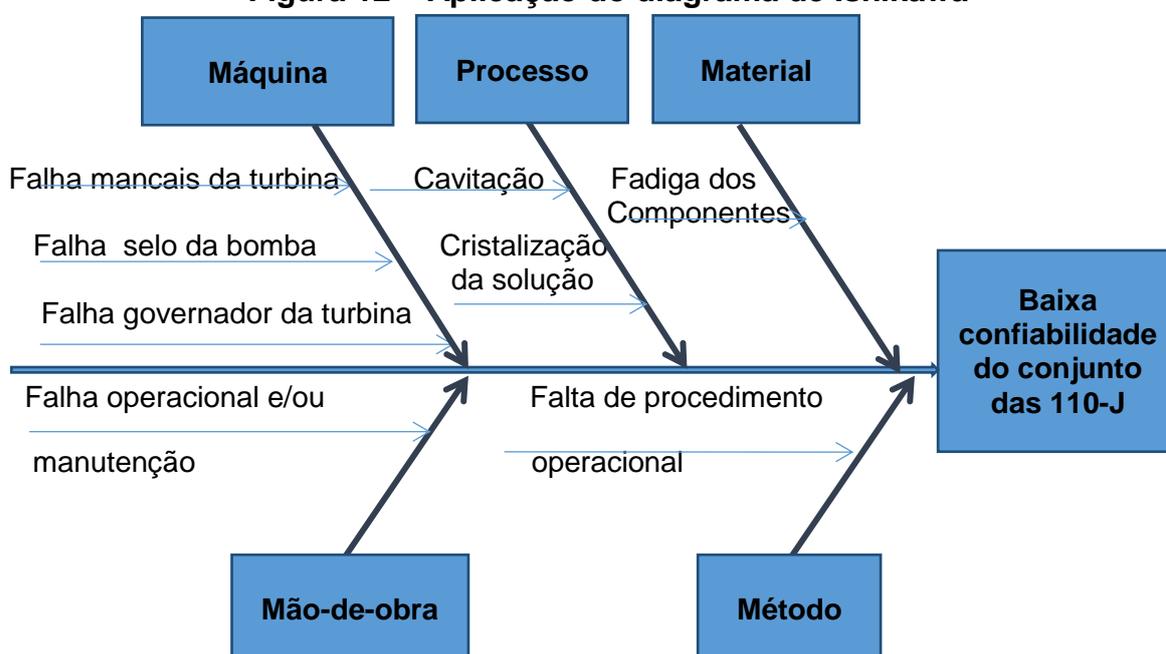


Fonte: Fafen-SE (2008)

Com intuito de determinar as principais falhas que acometem o conjunto das bombas 110-J e que acabam afetando a confiabilidade operacional, foi realizado um brainstorming, envolvendo as equipes de engenharia, manutenção e operação. A partir daí, cada equipe pôde contribuir dentro do seu campo de conhecimento, para a busca das causas raízes das falhas.

As principais causas de falhas que resulta numa baixa confiabilidade do conjunto das bombas 110-J, apontadas através da técnica de *brainstorming*, foram classificadas por meio do diagrama de Ishikawa, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 – Aplicação do diagrama de Ishikawa



Fonte: Próprio autor

Com o levantamento feito através do diagrama de Ishikawa, pôde-se obter uma visão macro das principais variáveis que interferem no bom desempenho da operação das bombas 110-J, ajudando a identificar as não conformidades do sistema.

Tendo em vista a análise feita pelo diagrama de Ishikawa e apontadas as possíveis causas que estão afetando a confiabilidade das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb, realizou-se um levantamento de dados, verificando o histórico de ordem de manutenção do período entre 2010 e 2016 (**Anexo A**).

Desta forma, puderam-se constatar as falhas apresentadas no diagrama de Ishikawa e identificar quantitativamente o número de vezes que essas falhas

ocorreram no período analisado. A Tabela 1, a seguir, mostra o resultado desse levantamento.

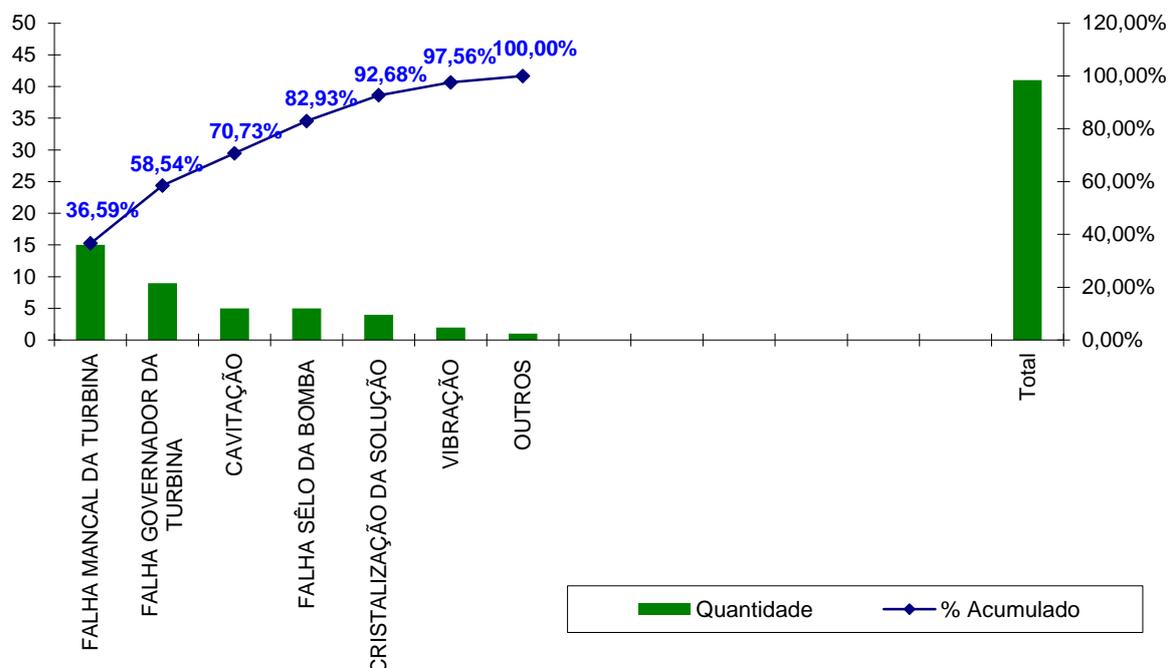
Tabela 1 - Falhas do conjunto das bombas 110-J entre 2010 a 2016

Falhas do conjunto das 110-J	TAG	Quantidade
CAVITAÇÃO	110-JÁ	1
CAVITAÇÃO	110-JC	4
FALHA DO GOVERNADOR DA TURBINA	110-JAT	4
FALHA DO GOVERNADOR DA TURBINA	110-JCT	5
CRISTALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CATACARB	110-JÁ	1
CRISTALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CATACARB	110-JB	3
FALHA DO MANCAL DA TURBINA	110-JCT	6
FALHA DO MANCAL DA TURBINA	110-JAT	9
FALHA DO SÊLO DA BOMBA	110-JÁ	2
FALHA DO SÊLO DA BOMBA	110-JB	1
FALHA DO SÊLO DA BOMBA	110-JC	2
VIBRAÇÃO	110-JBM	2
OUTROS	110-JCT	1
Total		41

Fonte: Próprio Autor

Com o intuito de revelar quais falhas são as mais dominantes para a baixa confiabilidade operacional do conjunto das bombas de circulação da solução pobre de Catacarb, traçou-se um gráfico de Pareto (Gráfico 2), conforme pode-se observar abaixo.

Gráfico 2 – Gráfico de Pareto das falhas do conjunto das 110 - J



Fonte: Próprio Autor

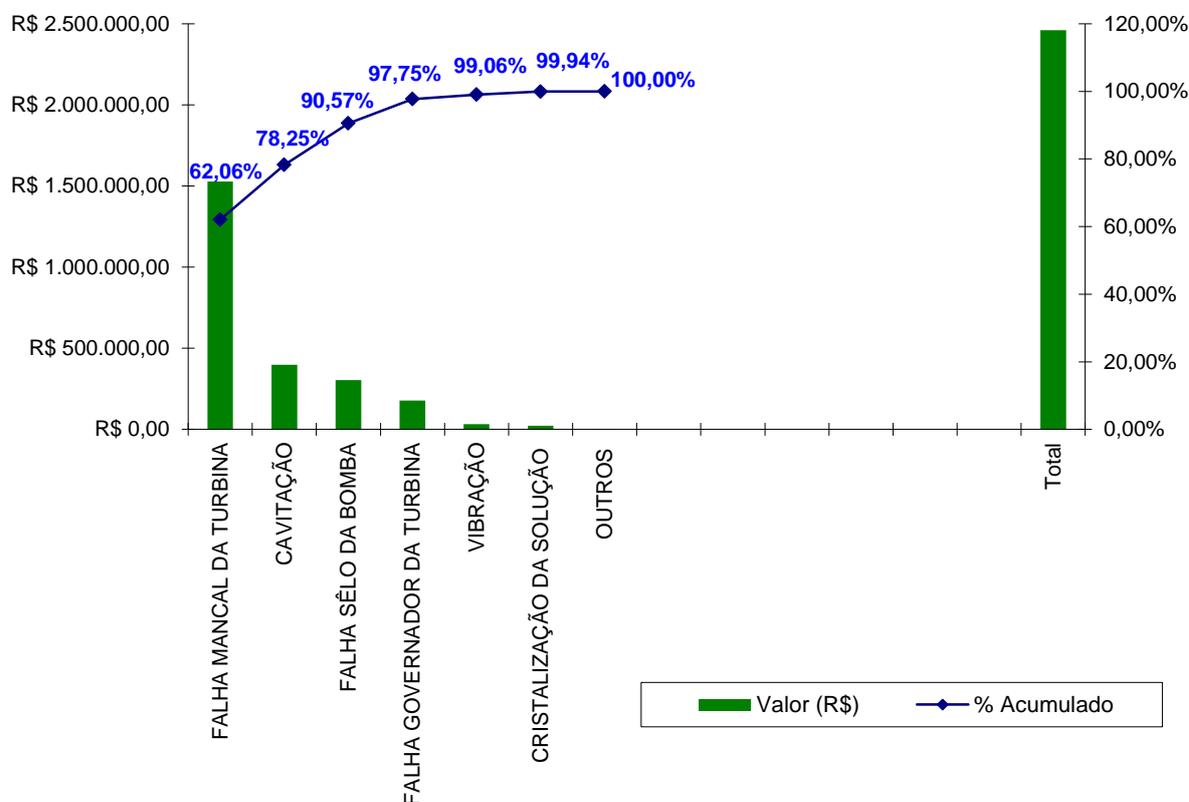
Segundo o Gráfico 2, para o período correspondente (2010 a 2016), a falha do mancal da turbina, corresponde a maior percentagem entre as falhas apontadas,

seguidas das falhas do governador da turbina, cavitação e falha no selo da bomba. Analisando quantitativamente, as quatro primeiras falhas, correspondem a 82,93% do total de falhas. Porém, isso não significa dizer que os demais problemas não são importantes, mas sim, que alguns precisam ser solucionados com maior urgência.

Pelo Gráfico 2, percebe-se que há a necessidade de uma maior atenção com relação a essas quatro falhas, citadas anteriormente, priorizando-as, atuando diretamente nas causas básicas dessas falhas, eliminando e/ou minimizando os impactos sobre o sistema, para que se possa obter uma maior confiabilidade das bombas e do sistema de Catacarb.

Para determinar o impacto financeiro gerado, devido à quebra ou danos ao equipamento, ocasionado pelas falhas citadas anteriormente, dentro do período avaliado no trabalho, foi aplicado novamente o gráfico de Pareto (Gráfico 3). O custo apresentado é referente ao valor gasto com manutenção corretiva do conjunto das bombas 110-J, sendo que, não foi analisado o custo de perda de produção provocado pelas falhas apontadas.

Gráfico 3 – Gráfico de Pareto do custo de manutenção do conjunto das 110-J



Fonte: Próprio Autor

De acordo com o Gráfico 3, apenas a falha do mancal da turbina, corresponde a mais da metade do custo total gasto com manutenção corretiva, dentre as falhas

analisadas. A cavitação que, no Gráfico 2, em termos quantitativos é a terceira causa de falha mais frequente, em relação ao custo de manutenção, está como a segunda falha mais onerosa.

Já a falha no governador da turbina que, no Gráfico 2, estava como a segunda falha mais recorrente, em termos de custo de manutenção, se encontra na quarta posição. Ou seja, o custo de manutenção está mais diretamente relacionado ao dano que cada falha causa ao equipamento, do que propriamente o número de falhas que ocorreram.

Nota-se no Gráfico 3, que as quatro primeiras falhas, correspondem a aproximadamente 98% do custo total das manutenções realizadas no período analisado.

Outra análise realizada foi através do tempo de reparo dos equipamentos, onde se obteve, a partir daí, o tempo médio de reparo do equipamento (MTTR). Segundo Fogliatto; Ribeiro (2009, p. 7), o tempo médio de reparo ou recuperação (MTTR), nada mais é do que o tempo médio previsto para a conclusão de reparos feitos na unidade ou sistema, após uma falha. Ele pode incluir, além do tempo para recuperar o sistema fisicamente, o tempo de diagnóstico do problema, o tempo até a chegada do assistente técnico nas instalações.

De acordo com Kardec; Nascif (2015, p. 132), o MTTR é um indicador importante para a manutenção e, depende da facilidade com que o equipamento ou sistema é mantido, da capacidade profissional do executante na intervenção e da organização e planejamento da manutenção.

Para o cálculo do tempo médio de reparo (MTTR), considerou apenas o tempo em que o executante recebe a ordem de manutenção, a operação libera o início da atividade através da permissão de trabalho, logo após, a manutenção realiza o trabalho de recuperação dos ativos e dá como finalizado o serviço, juntamente com a operação.

Calculou-se o MTTR, em cada equipamento, de acordo com o número de falhas que eles apresentaram e o tempo de reparo, durante o período entre 2010 e 2016. O MTTR é medido em unidades de horas, sendo obtido da seguinte forma: MTTR é igual ao total de horas de parada causadas por falhas dividido pela quantidade de falhas.

Os resultados obtidos dos cálculos dos tempos médio de reparo se encontram na Tabela 2.

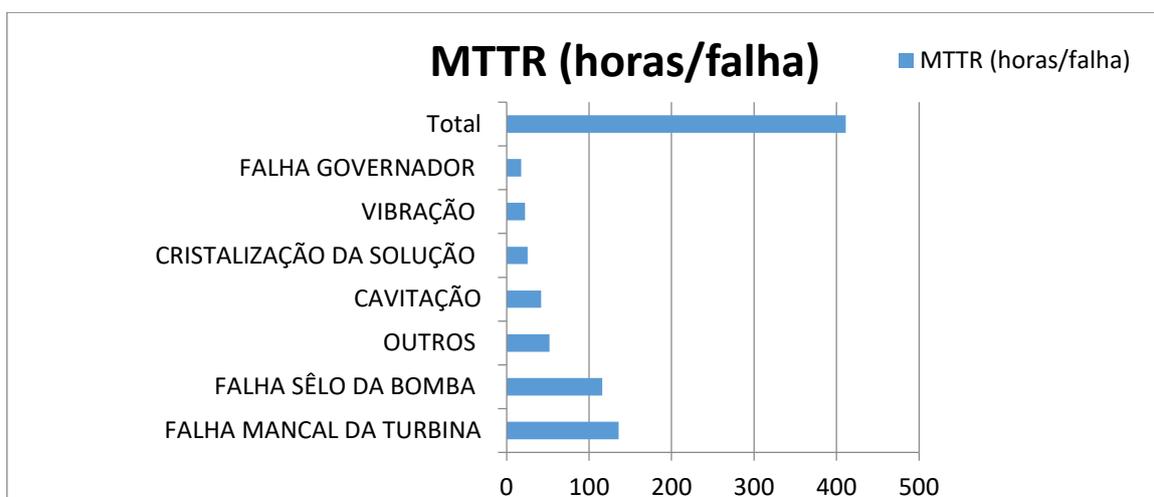
Analisando o tempo de reparo médio no equipamento, pelo tipo de falha, verificou a partir do gráfico de coluna (Gráfico 4), que a falha do mancal da turbina foi a que mais impactou na disponibilidade dos equipamentos, seguido das falhas do sêlo e por outros (falha não especificada). Ou seja, essas falhas foram as causas que levaram mais tempo para reparar o sistema, tornando os equipamentos indisponíveis para a sua operação.

Tabela 2 - Tempo médio de reparo por falha no equipamento

Falhas do conjunto das 110-J	TAG	Nº de Falhas	Tempo de Reparo (h)	MTTR
CAVITAÇÃO	110-JÁ	1	24	24
CAVITAÇÃO	110-JC	4	72	18,00
FALHA DO GOVERNADOR DA TURBINA	110-JAT	4	31	7,75
FALHA DO GOVERNADOR DA TURBINA	110-JCT	5	50	10
CRISTALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CATAcarb	110-JÁ	1	8	8,00
CRISTALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CATAcarb	110-JB	3	52	17,33
FALHA DO MANCAL DA TURBINA	110-JCT	6	370	61,67
FALHA DO MANCAL DA TURBINA	110-JAT	9	666	74,00
FALHA DO SÊLO DA BOMBA	110-JÁ	2	17	8,50
FALHA DO SÊLO DA BOMBA	110-JB	1	42	42,00
FALHA DO SÊLO DA BOMBA	110-JC	2	131	65,50
VIBRAÇÃO	110-JBM	2	45	22,50
OUTROS	110-JCT	1	52	52,00
Total		41	1560	411,25

Fonte: Próprio Autor

Gráfico 4 – Análise do tempo médio de reparo pelo tipo de falha

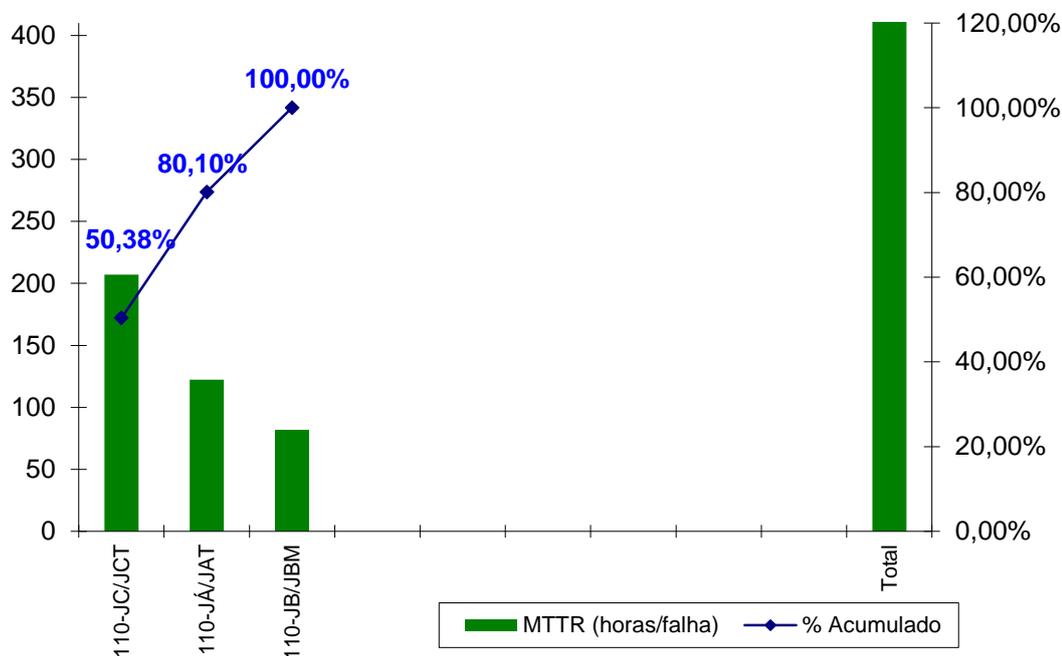


Fonte: Próprio Autor

Considerando o tempo de reparo médio, de todas as falhas ocorridas no conjunto das bombas (motor/bomba e turbina/bomba), traçou o gráfico de Pareto

(Gráfico 5), com intuito de verificar qual conjunto das 110-J, tiveram um maior tempo de indisponibilidade operacional.

Gráfico 5 – Tempo médio de reparo por conjunto das bombas 110-J



Fonte: Próprio Autor

Nota-se no Gráfico 5, que o conjunto das bombas 110-JC/JCT foram os que mais permaneceram indisponível durante o tempo para reparo, devido as falhas sofridas no conjunto. O conjunto 110-JC/JCT e 110-JÁ/JAT correspondem juntos, a 80% do tempo total médio gasto para reparo.

A alta disponibilidade do sistema é de fundamental importância para que o equipamento possa desempenhar sua função satisfatoriamente, em qualquer instante e sobre certas condições. E, para que isso aconteça, é preciso que se tenha um menor tempo médio de reparo possível.

4.2 Causas das Falhas Relacionadas ao Conjunto das Bombas de Circulação de Solução Pobre do Sistema de Catacarb

Apesar de a manutenção ter evoluído significativamente nos últimos anos, observam-se nas empresas, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, a busca pela correção dos sintomas do problema, tomando medidas paliativas, que não extinguem de fato a causa raiz da falha, tendo como preocupação principal, manter o fluxo operacional. Definir a causa raiz de falha do sistema é de suma

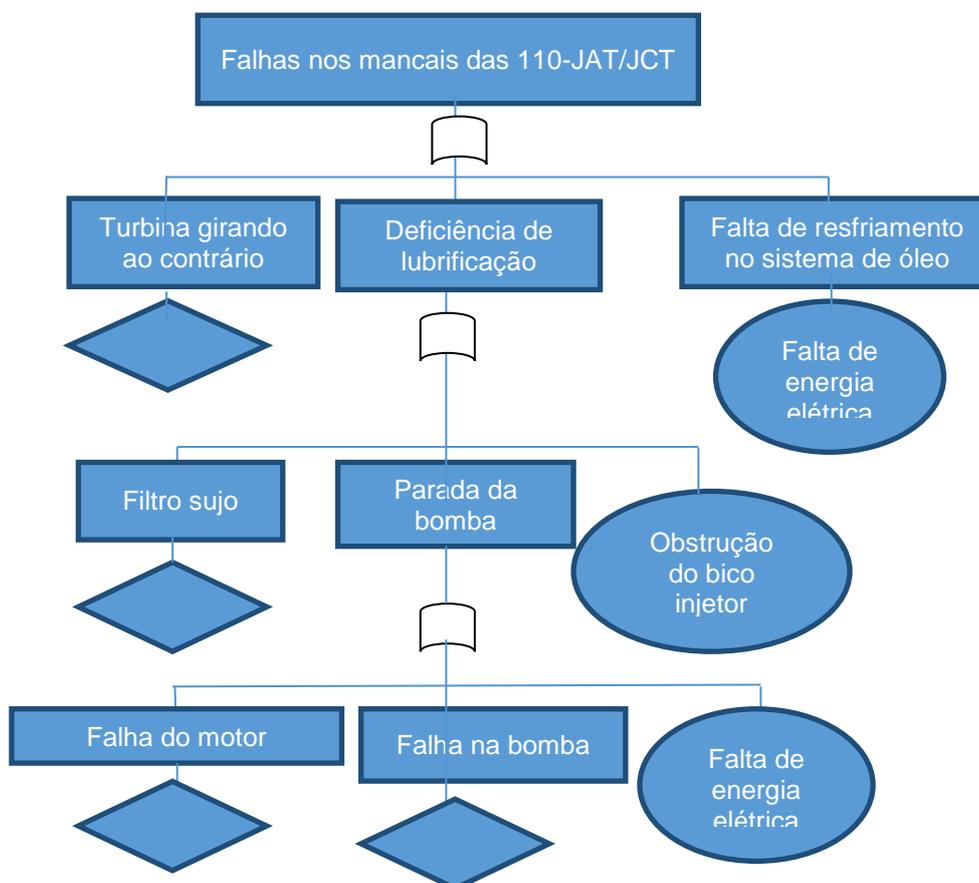
importância para evitar que a falha volte a se repetir e, com isso, evita danos severos aos equipamentos, através de ações mitigadoras.

Após determinar as falhas que acometeram o conjunto das bombas 110-J, durante o período analisado (2010 a 2016), buscou-se definir a causa raiz das falhas que geraram maiores perdas financeiras e indisponibilidade do equipamento.

4.2.1 Causa raiz da falha do mancal da turbina

As bombas 110-JA e 110-JC são acionadas por turbinas (110-JAT e 110-JCT, respectivamente) e, através do estudo realizado neste trabalho, verificou-se que a falha do mancal da turbina é a que mais gera impacto ao sistema, tanto financeiramente quanto na disponibilidade operacional dos equipamentos. Buscou-se então determinar a causa raiz dessa falha, através da técnica da árvore de falha (FTA), por ser um método simples e lógico na identificação das causas primárias da falha.

Figura 13 – FTA – Causas primárias da falha do mancal da turbina

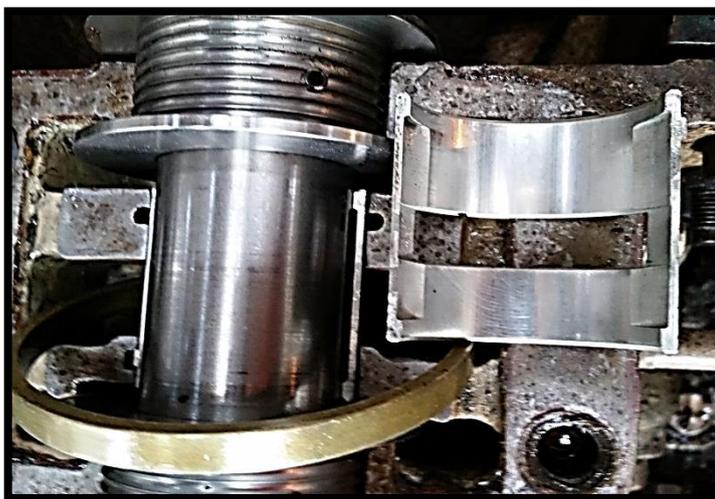


Fonte: Próprio Autor

Por meio da árvore de falha (Figura 13), determinaram-se as causas primárias que desencadearam o evento topo (falhas dos mancais da turbina), sendo elas: obstrução do bico injetor e falta de energia elétrica. No período de estudo realizado no trabalho, não foram evidenciados falhas dos mancais das turbinas ocasionados por passagem da retenção da descarga da bomba ou por deficiência do sistema de lubrificação gerado por falha do motor acionador da bomba ou da própria bomba.

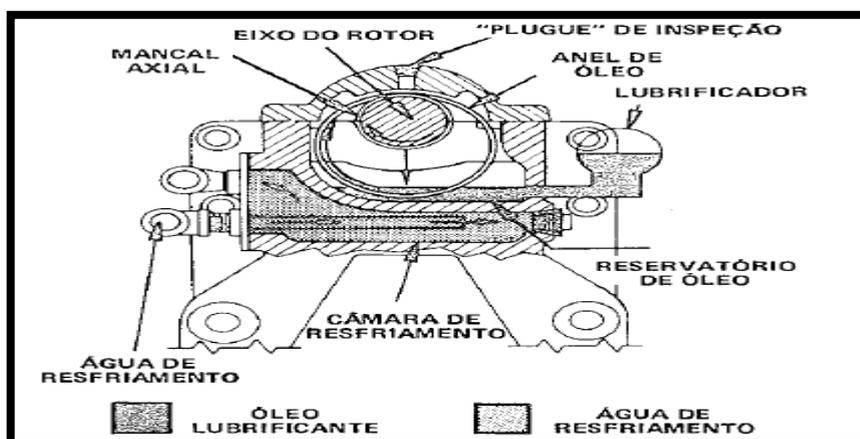
Analisando as turbinas 110-JAT e 110-JCT, nota-se que, as mesmas possuem projetos antigos, com mancais do tipo casquilho (Figura 14), desatualizados e de baixa confiabilidade operacional. No projeto original, a lubrificação do mancal era feita apenas por um anel lubrificador, de diâmetro superior ao eixo, cuja parte inferior está banhada em óleo. O movimento de rotação do eixo faz o anel se movimentar e arrastar o óleo para os mancais (Figura 15).

Figura 14 – Mancais tipo casquilho e eixo da turbina



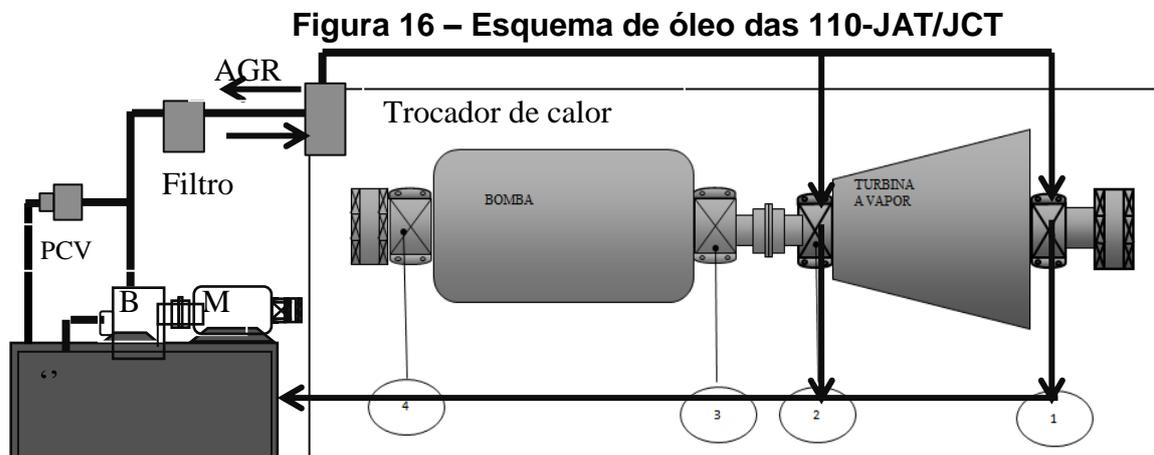
Fonte: Fafen-Se (2016)

Figura 15 – Lubrificação por anéis de óleo



Fonte: Fafen-SE (2016)

Por erro do projeto original, a lubrificação por anel de óleo não atendia o sistema, ocasionando sérios danos aos mancais. Sendo assim, foi instalado um sistema independente (Figura 16), de circulação forçada, que possibilita um fluxo constante de óleo para os mancais.



Fonte: Fafen-Se (2016)

Mas, apesar do avanço com o sistema de circulação de óleo forçado, permanece apresentando deficiência no sistema de lubrificação, causando constantes danos nos mancais e eixo, baixando a confiabilidade e disponibilidade do posto de trabalho e com elevados custos de manutenção (materiais, recuperação e mão de obra).

A obstrução do bico injetor é uma das causas frequentes para deficiência do sistema de lubrificação. Com intuito de evitar a obstrução do sistema, foi incluída no plano de manutenção preventiva, a limpeza das linhas de lubrificação, como mostra as figuras 17 e 18.

Figura 17 - Limpeza das linhas de lubrificação dos mancais



Fonte: Fafen-SE (2016)

Figura 18 – Limpeza do bico injetor do óleo de lubrificação



Fonte: Fafen-SE (2016)

Mas, a limpeza das linhas de lubrificação é uma medida paliativa, visto que, reduz a ocorrência de obstrução do sistema, mas não elimina a causa. A bomba do sistema de óleo forçado trabalha com pressão baixa e controlada, em sua descarga, através de uma válvula de controle de pressão (PCV), mantendo a mesma em torno de 0,2 a 0,3 kgf/cm², que é a pressão requerida para lubrificação do mancal.

Pelo fato de trabalhar numa pressão e vazão baixa, por ser um fluido viscoso, facilita a obstrução do sistema, visto que, é estreito o orifício de injeção do óleo de lubrificação (Figura 18). Sendo assim, qualquer sujeira, por mínima que seja, irá obstruir o bico injetor.

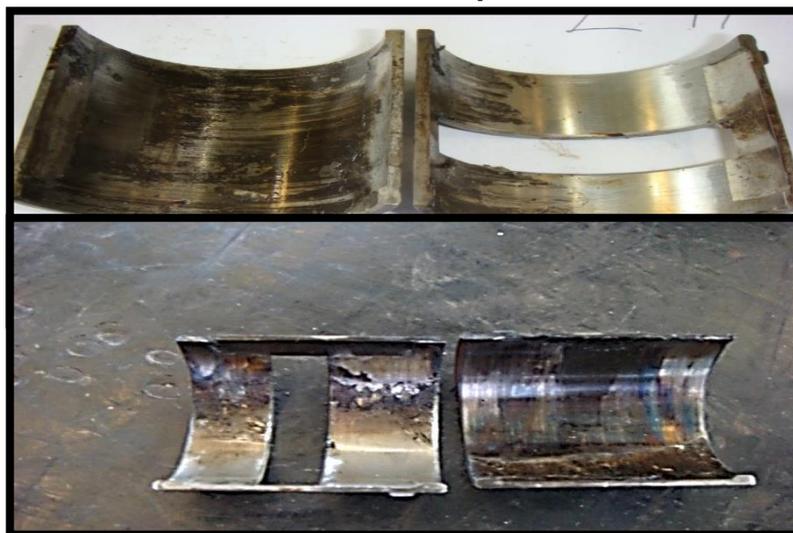
Em se tratando de falta de energia elétrica, observou-se que o sistema de lubrificação está vulnerável. Com a queda do sistema elétrico, a bomba de circulação de óleo sai de operação e, o sistema de resfriamento do óleo, devido à parada das bombas motorizadas de água de resfriamento (AGR), reduz a vazão de circulação, visto que, ficará mantida apenas pelas bombas turbinadas de AGR. Esta parada do fornecimento de lubrificação para a turbina, juntamente com a redução da vazão de AGR, trazem danos severos aos mancais e eixo da turbina, sendo necessária a parada imediata das bombas.

A bomba do sistema de óleo (110-JLOM) se encontra no painel de emergência, sendo que, na falta de energia elétrica e caso haja a entrada do gerador de emergência, a bomba ficará disponível para operação. Porém, há a necessidade do operador de Catacarb ir ao campo e acionar a botoeira da bomba.

Dessa forma, fica dependente do operador de campo a reposição do sistema de lubrificação.

Numa situação de emergência por falta de energia elétrica e redução da vazão de AGR, ou parada total da circulação da água de resfriamento, o operador de Catacarb atua em diversas frentes, com o objetivo de parada total do sistema de Catacarb. Em situações anteriores, já ocorreu o atraso ou a falha da reposição do sistema de lubrificação, causando danos aos mancais da turbina (Figura 19).

Figura 19 – Danos aos mancais da turbina por falha do sistema lubrificação



Fonte: Fafen-Se (2016)

O acompanhamento de temperaturas dos mancais das turbinas é realizado tanto pela operação quanto pela manutenção preditiva, através de um termômetro de infravermelho (Figura 20).

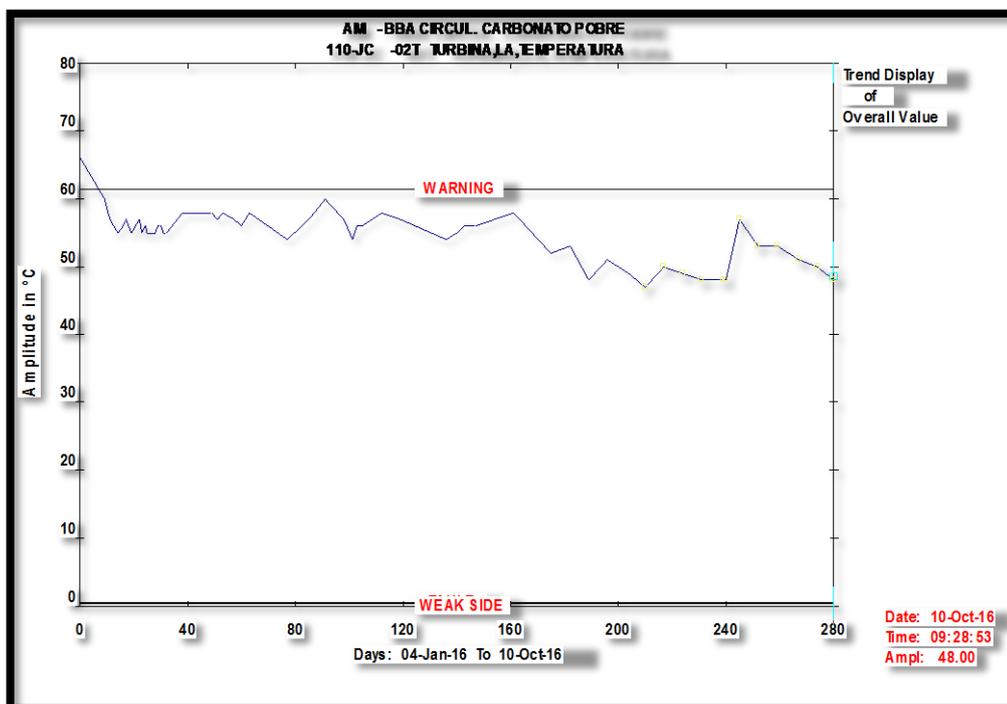
Figura 20 – Termômetro infravermelho



Fonte: Próprio Autor

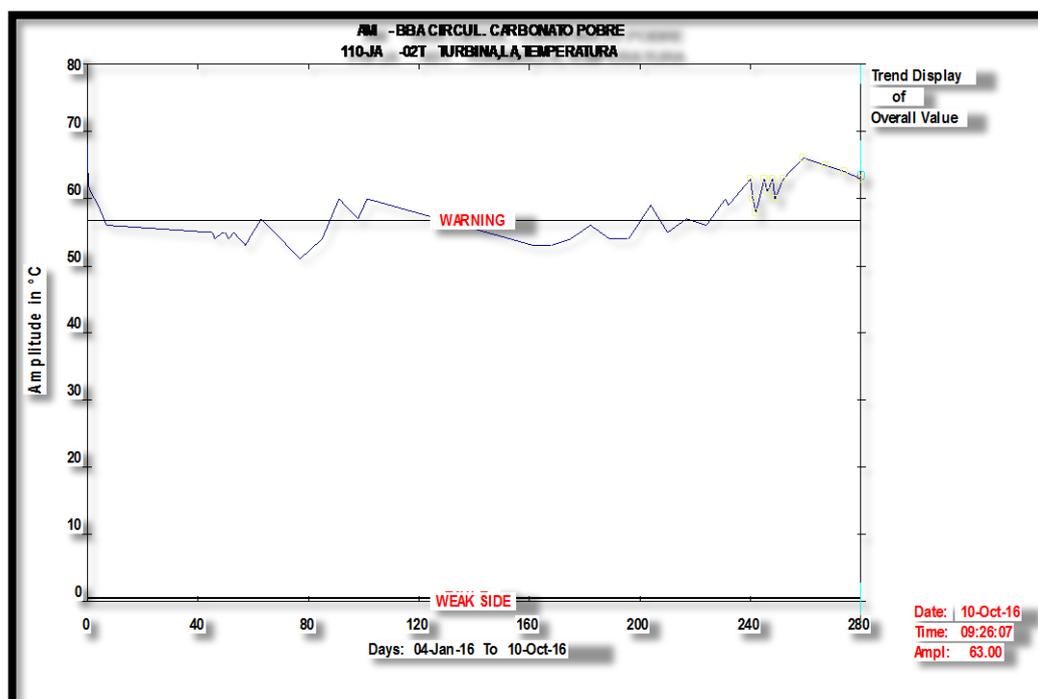
Constantemente as turbinas 110-JAT/JCT vêm apresentando temperaturas elevadas nos mancais (Gráficos 6 e 7), sendo geradas principalmente por problemas no sistema de lubrificação.

Gráfico 6 – Temperatura dos mancais - lado do acoplamento da 110-JCT



Fonte: Fafen-SE (2016)

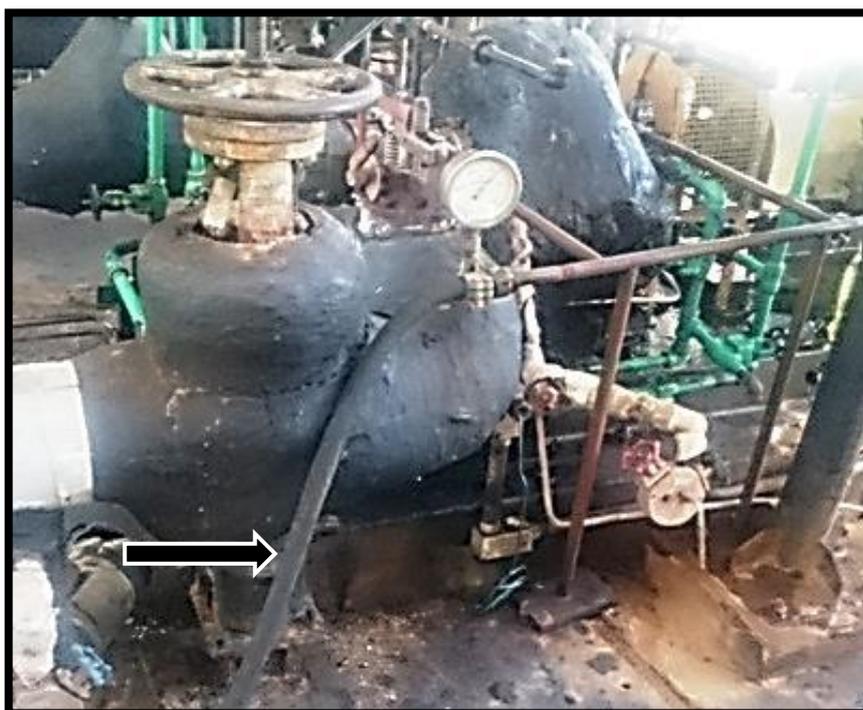
Gráfico 7 – Temperatura dos mancais - lado do acoplamento da 110-JAT



Fonte: Fafen-SE (2016)

Através dos Gráficos 6 e 7, percebe-se que a temperatura do mancal do lado do acoplamento (LA) da turbina 110-JAT é superior aos valores do mancal da turbina 110-JCT. Os valores de temperatura do mancal (LA) da 110-JAT encontram-se na zona de atenção. Como uma medida paliativa, para resfriamento do mancal (LA) da 110-JAT, instalou-se uma mangueira de ar direcionada ao mesmo (Figura 21).

Figura 21 – Mangueira de ar para os mancais da turbina 110-JAT



Fonte: Próprio Autor

Diante dos problemas apontados em relação ao sistema de lubrificação, é imprescindível a revisão desse sistema, visto que afeta seriamente a confiabilidade dos conjuntos das bombas 110-JÁ/JC. Deve-se fazer uma avaliação das turbinas de uma forma geral, e do sistema de monitoramento de temperatura dos mancais das mesmas, sendo necessário ter um controle contínuo dessa variável.

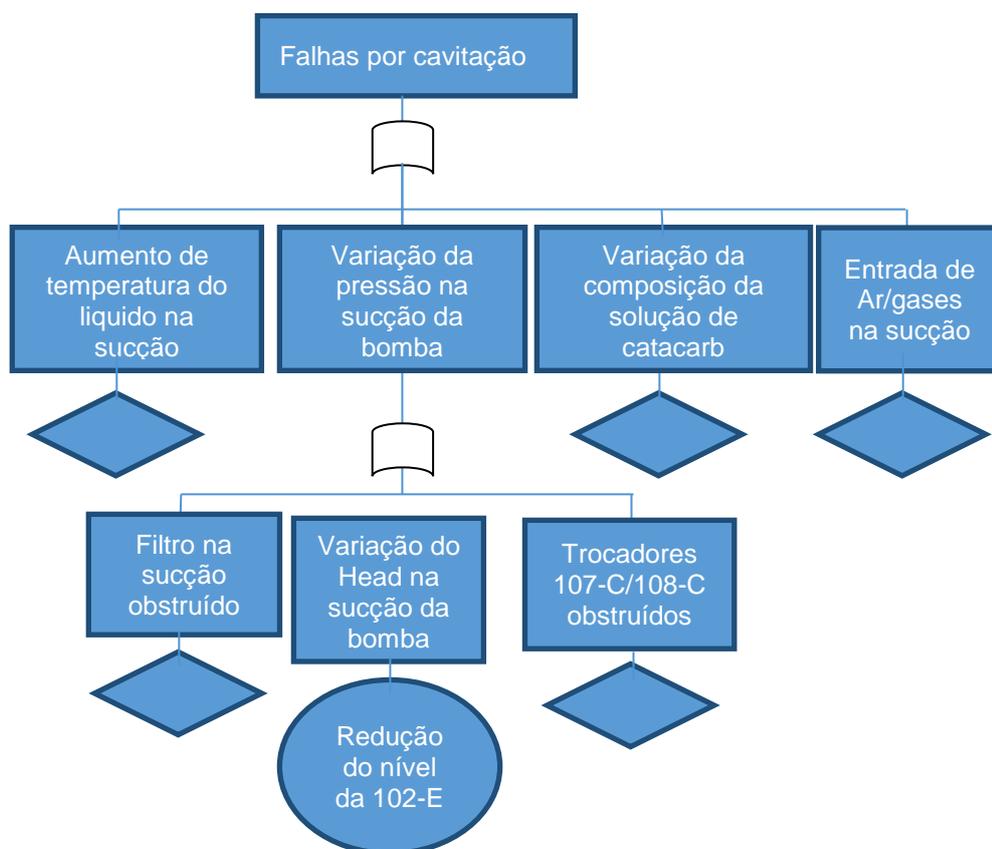
4.2.2 Causa raiz da falha por cavitação da bomba

A cavitação é um fenômeno crítico que leva a perdas de produção devido à parada para manutenções dos equipamentos. Conforme é citado por Bonniard (2011, p. 21), a cavitação é um fenômeno que ocasiona problemas sérios ao equipamento, tais como vibrações, ruído, danos ao material. Ou seja, a cavitação reduz a eficiência do equipamento e a sua vida útil.

Tratar do fenômeno da cavitação é uma forma de garantir uma maior confiabilidade e disponibilidade operacional do equipamento, visto que, como foi abordado neste trabalho, esse fenômeno é a terceira maior causa de falha das bombas 110-J, quarto maior tempo médio de reparo e o segundo em termos de custo de manutenção.

A fim de determinar as causas que levaram a falha do sistema por cavitação, utilizou-se da técnica da árvore de falha (FTA), conforme mostra a Figura 22.

Figura 22 – FTA – Causas primárias da falha por cavitação da bomba



Fonte: Próprio Autor

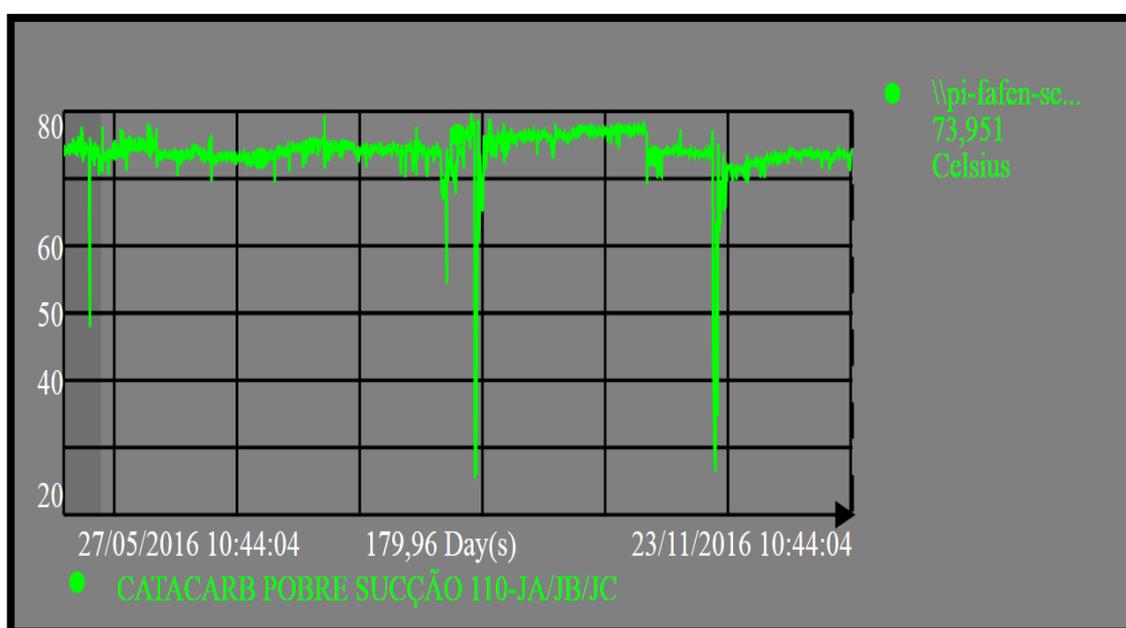
Na análise do diagrama de falha (Figura 22), dentre o período de estudo do trabalho, não foi evidenciado variação brusca da temperatura que justificasse a presença do fenômeno da cavitação. Conforme cita Macintyre (2014, p. 63), o aumento da temperatura acarretaria no aumento da pressão de vapor e, conseqüentemente, reduziria o NPSH disponível da bomba.

Foi coletado um gráfico (Figura 23) de tendência para verificar o comportamento da temperatura ao longo de um período, do qual há registro e, constatou que a variável se comporta dentro dos parâmetros estabelecidos, conforme se pode observar na folha de leitura (**Anexo B**). No TI-25 da folha de

leitura (**Anexo B**), informa que a faixa de temperatura da solução de catacarb na sucção das bombas 110-J, da qual se pode trabalhar, está entre 70 a 88 °C. A temperatura no gráfico da Figura 23 mostra que há uma estabilidade da variável, mantendo-se numa faixa de operação aceitável para a sucção da bomba.

Vale ressaltar também que os pontos no gráfico da Figura 23, abaixo da faixa de operação do TI-25, devem ser desconsiderados, visto que, o sistema estava parado nesses pontos e, iniciariam a fase de partida da bomba e aumento da carga térmica do sistema.

Figura 23 – Temperatura da solução de catacarb na sucção das 110-J's



Fonte: Fafen-SE (2016)

Da mesma forma, não foram identificadas variações significativas na composição da solução da Catacarb. Esses parâmetros da solução são avaliados diariamente pela otimização, através de análises laboratoriais.

Com relação à entrada de gases e/ou ar, a operação antes de qualquer partida da bomba, tem a rotina de escorvar a mesma para a eliminação do ar existente no seu interior e da tubulação de sucção, preenchendo com líquido o interior da bomba.

Em função da variação de pressão na sucção da bomba, não foi verificado obstrução do filtro de sucção e nem dos trocadores de calor 107-C e 108-C. Isso geraria uma perda de carga na sucção da bomba e reduziria o NPSH disponível da bomba. Mas, foram evidenciadas variações no nível de fundo da torre 102-E, o que provoca redução da energia de pressão disponível na sucção da bomba. Sendo

assim, a redução do nível do fundo da 102-E é a causa primária da falha por cavitação, identificada pela árvore de falha (Figura 22).

A variação brusca no nível da torre desabsorvedora de gás carbônico (102-E), comumente ocorre em situações de emergências do processo, das quais ocasionam distúrbios no sistema de Catacarb. Diante dessas circunstâncias de emergência, seja por fechamento ou abertura indevida de uma válvula, corte de gás de processo, parada indevida de uma bomba, carga térmica brusca no fundo da 102-E, o operador de Catacarb deve atuar de maneira rápida e eficaz, juntamente com o operador do console, na busca de normalizar o sistema e evitar sérios danos às bombas.

O controle do nível de fundo da torre 102-E é feito de modo indireto, através da válvula LIC-06 (**Anexo C**). Caso o nível fique abaixo do valor de referência (*setpoint*), a LIC-06 irá abrir para normalizar o nível. Esse nível é repostado com água desmineralizada (AGD). Em condições de pequena variação no nível, a LIC-06 possui uma resposta eficaz no controle do nível. Porém, em situações de emergência, com queda acentuada do nível, o operador da Catacarb irá atuar transferindo solução de Catacarb do tanque de armazenamento para o sistema, a fim de recompor o nível do fundo da 102-E.

Com a queda acentuada no nível de fundo da 102-E, caso o operador não atue rapidamente, a redução de pressão na linha de sucção irá acarretar na cavitação por vaporização, devido à temperatura de bombeio do líquido. Sendo assim, deve-se elevar a energia de pressão disponível na sucção da bomba, por meio da elevação do nível de fundo da 102-E.

Caso a bomba já esteja cavitando, o operador de Catacarb terá que parar as bombas turbinadas pelo campo, visto que, as turbinas das bombas 110-JA/JC não possuem comando remoto pelo SDCD. O operador do console, só possui comando de parada da bomba 110-JB (motorizada). Isso se torna um agravante, quando se tem a necessidade de parar o equipamento de modo emergencial. O tempo de resposta é crucial nessas circunstâncias, sendo o fator determinante para a integridade do equipamento.

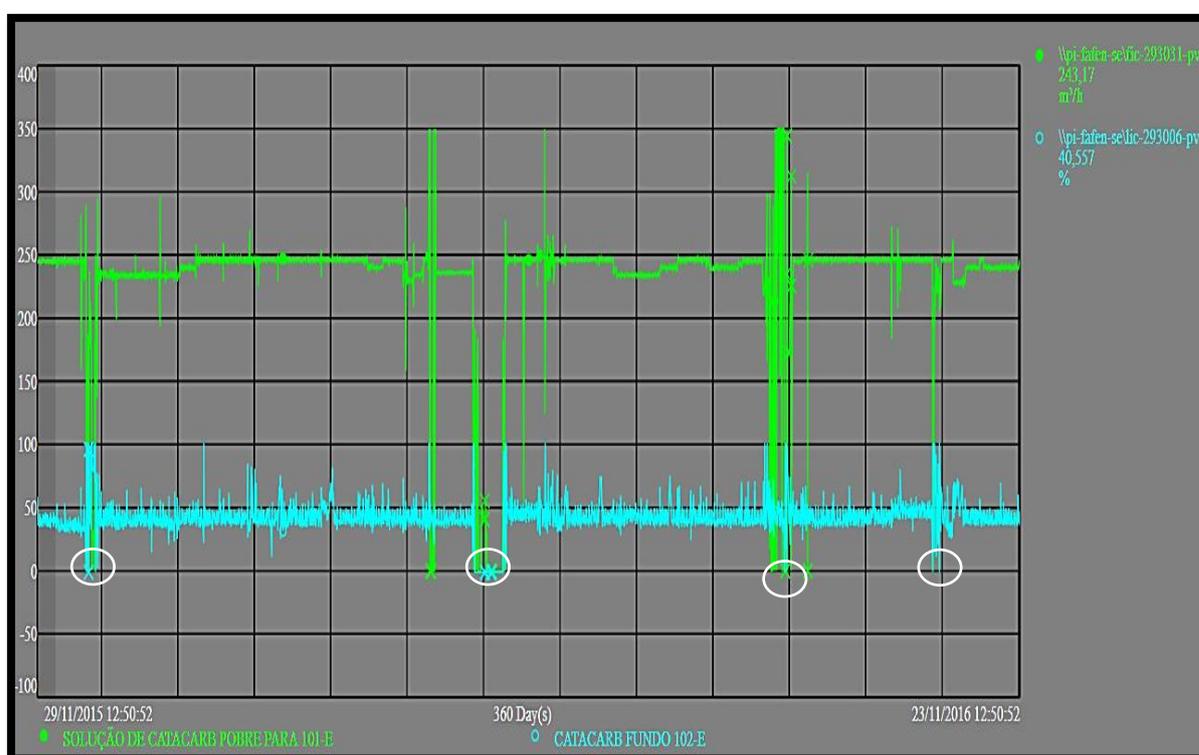
Outro fator que dificulta o operador do console é a ausência na tela do SDCD das pressões de sucção e descarga das bombas 110-J (**Anexo C**), dependendo do operador de campo para indicação desse parâmetro operacional. Na presença do

fenômeno da cavitação, há alterações no desempenho da bomba, sendo visíveis as variações nas pressões e vazão.

Na Figura 24, fica clara a condição de cavitação da bomba, com a queda do nível do fundo da torre, o NPSH disponível da bomba cai, gerando baixo rendimento, com variação na pressão e vazão da bomba.

Durante o período analisado no gráfico de tendência (Figura 24), nota-se que houve quatro pontos dos quais o nível de fundo da 102-E (em azul no gráfico) tende a zero e, a vazão (em verde no gráfico) reduz drasticamente, chegando a zerar.

Figura 24 – Vazão de descarga das bombas 110-J e nível do fundo da 102-E



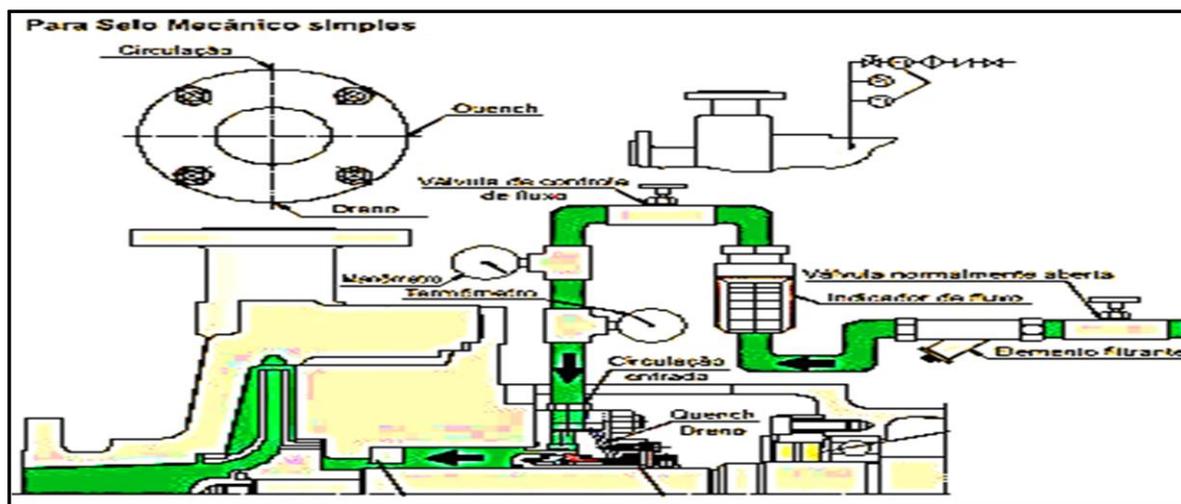
Fonte: Fafen-Se (2016)

Evidenciado a redução brusca do nível da torre 102-E como sendo a causa raiz da falha por cavitação, se faz necessário evitar que a bomba opere nessas condições, sendo indispensável à tomada de medidas que não levem a bomba a trabalhar em baixíssimos níveis no fundo da torre 102-E, a fim de impedir maiores danos à bomba devido ao fenômeno da cavitação.

4.2.3 Causa raiz da falha do selo da bomba

As bombas 110-J utilizam planos de selagem API número 32 com fluido externo (água), como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Plano de selagem das bombas 110-J



Fonte: Fafen-Se (2016)

O *flush* do selo da bomba é fornecido por uma fonte externa de fluido limpo, que no caso das 110-J é condensado proveniente do vaso 103-F, bombeado através da 108-J (**Anexo C**). Essa bomba é de extrema importância para o sistema de Catacarb, sendo que, sem a sua disponibilidade, fica inviável a continuidade operacional da Catacarb. Possuem duas bombas 108-J, uma turbinada que opera como principal e a motorizada que fica mantida na condição de reserva.

O tipo de selo utilizado para as bombas 110-J é ideal para líquidos que apresentam características de cristalização, como ocorre na solução de catacarb, do qual em temperatura ambiente cristaliza.

A pressão de circulação de líquido na caixa de selagem é controlada por uma válvula (PDIC-169), da qual mantém a pressão na caixa de selagem em 1,5 kgf/cm², conforme mostra a Figura 26.

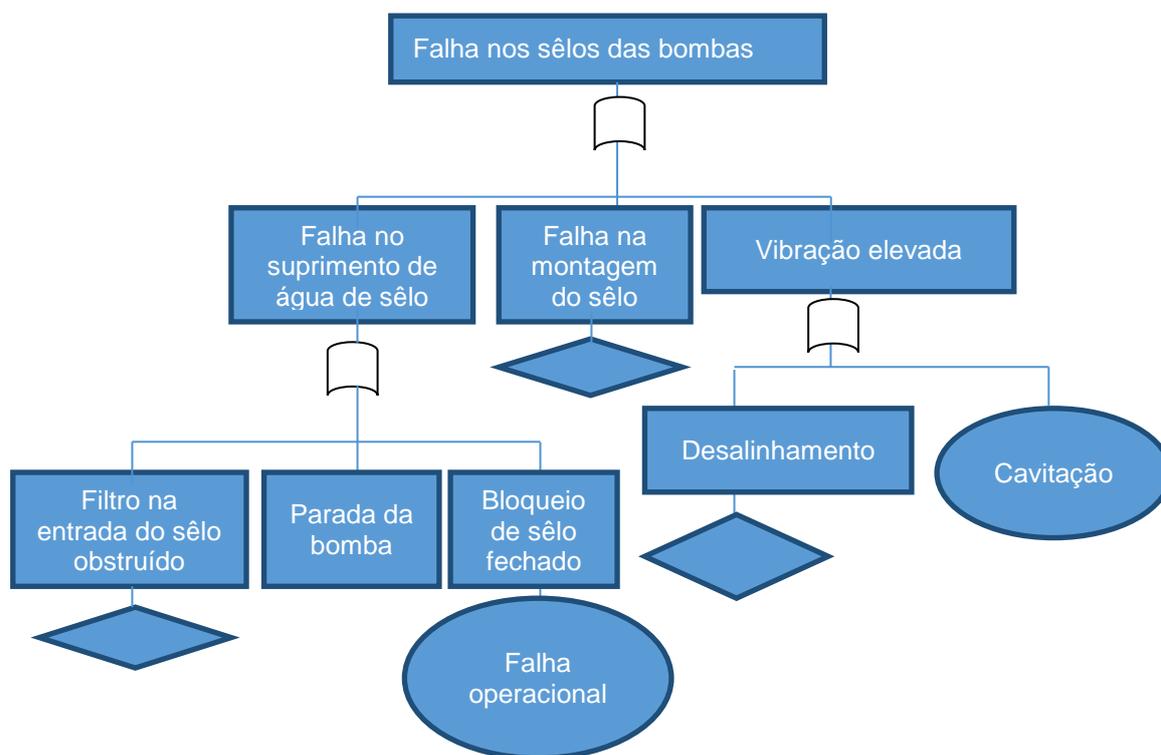
Figura 26 – Pressão do fluido na caixa de selagem da bomba 110-JB



Fonte: Próprio Autor

Diante do histórico de manutenção analisado no trabalho, as falhas nos selos das bombas estão entre as que geram maiores impactos financeiros e operacionais. Para determinar a causa das falhas dos selos das bombas, elaborou-se uma árvore de falha (Figura 27).

Figura 27 – FTA – Causas primárias da falha nos selos das bombas 110-J



Fonte: Próprio Autor

De acordo com a árvore de falha (Figura 27), as causas primárias detectadas para falha do selo da bomba, foram à falha operacional e a cavitação.

Segundo Kardec; Nascif (2015, p. 27), a não qualidade da operação traz uma falha prematura ao equipamento, devido a ações operacionais incorretas, gerando perdas imediatas de produção, caso o equipamento não possua redundância.

Nesta falha operacional, trouxe como consequências a indisponibilidade do equipamento, bem como perdas financeiras. Pela falta de *flush* do selo da bomba, ocasionado pela não abertura da válvula de alimentação de selagem, geram-se desgastes dos componentes do selo, devido superaquecimento dos mesmos.

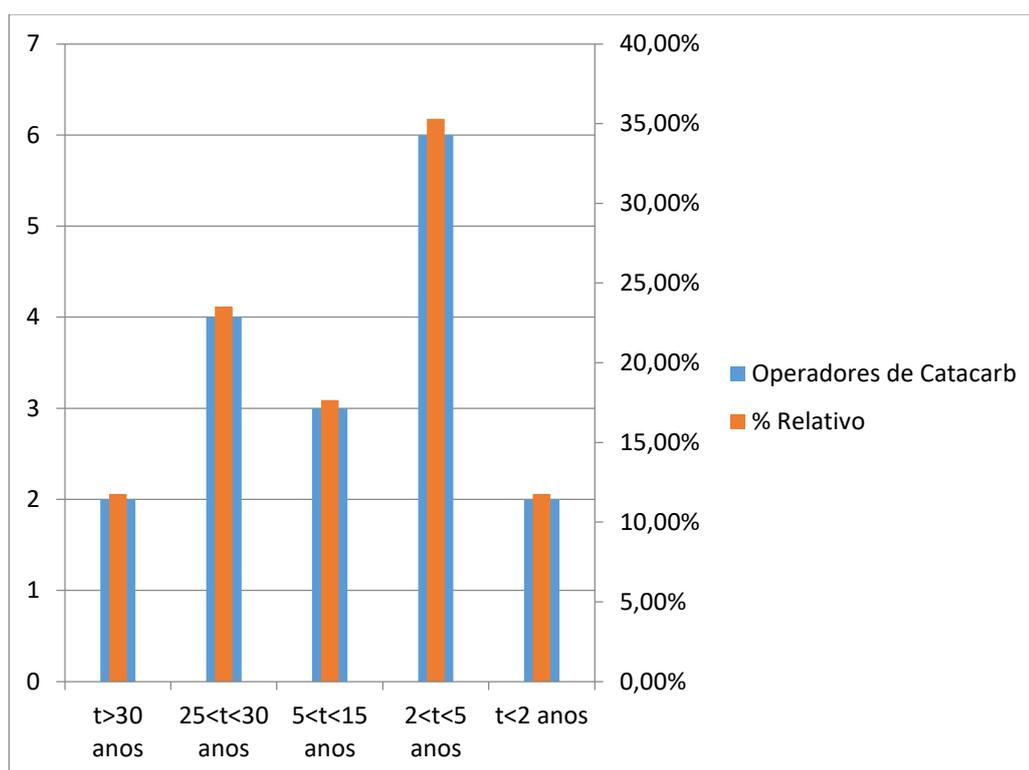
O motivo que ocasionou essa falha operacional, não foi à falta de conhecimento do sistema, visto que, os operadores recebem treinamento específico e acompanhamento durante o período de estágio na empresa, antes de assumir o seu posto de trabalho. A razão pela qual não alinhava o bloqueio de flush do selo foi o esquecimento durante a partida da bomba.

Nota-se que nas partidas das bombas, há certa negligência com relação à aplicação da lista de verificação de partida por parte da operação, principalmente pelos operadores mais experientes.

Outro ponto que vale ressaltar é a falta de procedimento operacional para partida das bombas 110-J. Isso se torna um agravante, visto que, o quadro operacional está se renovando, conforme mostra o Gráfico 8.

Percebe-se que quase 50% dos operadores, dos quais operam a unidade de catacarb, possuem menos de cinco anos de fábrica. Como há uma quantidade significativa de operadores aposentados ou aposentáveis, a experiência que eles adquiriram ao longo dos anos, deve ser preservada. O procedimento operacional padrão irá garantir a preservação das melhores práticas, adquiridas ao longo dos anos pelos operadores mais experientes, aperfeiçoando as condições de operação dos equipamentos, segurança pessoal e de processo.

Gráfico 8 – Quantidade de operadores de Catacarb e tempo de fábrica



Fonte: Próprio Autor

Em se tratando da cavitação, já foi abordado anteriormente, o impacto que esse fenômeno pode gerar para os equipamentos. De acordo com Macintyre (2014, p. 61), além de ocasionar corrosão, desgaste dos rotores, perda de rendimento da bomba, a cavitação gera ruído, trepidação e vibração da máquina devido ao desbalanceamento que acarreta.

É diante desta vibração que o selo da bomba acaba sofrendo esforços que levam a sua falha, sendo necessário evitar a operação da bomba nas condições descritas anteriormente.

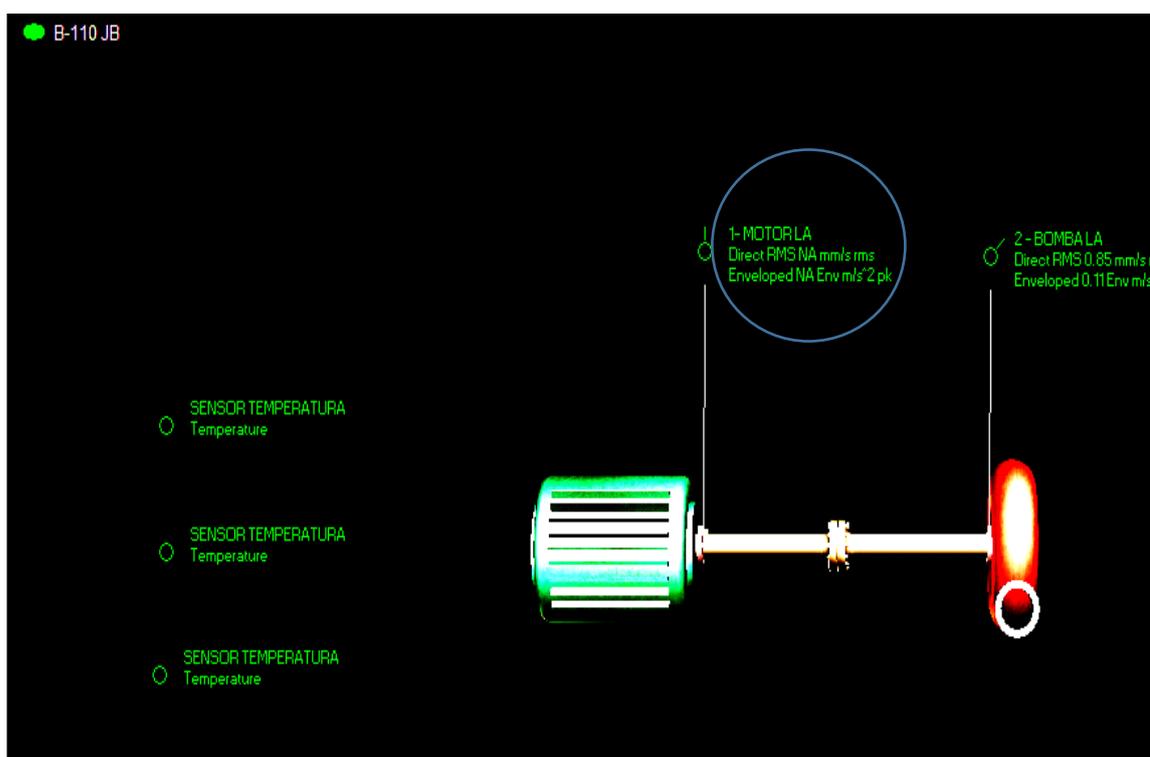
Um ponto de falha notório nestas bombas é justamente em relação ao monitoramento de vibração contínuo. Atualmente, o acompanhamento da vibração é realizado pela manutenção preditiva, efetuando o monitoramento objetivo, através de equipamentos portáteis. Esses instrumentos necessitam estar devidamente calibrados e o pessoal que os utilizam devem estar devidamente treinados, para que sejam capazes de interpretar os dados coletados.

Em relação ao acompanhamento de vibração contínua das bombas 110-J, é feito através de um sistema de monitoramento de máquinas denominado *System 1*.

De acordo com Kardec; Nascif (2015, p. 273), o monitoramento contínuo traz vantagens por não depender diretamente de pessoal para coleta de dados, faz acompanhamento permanente das variáveis, o que não seria possível com pessoas operando instrumentos, além de possuir alta confiabilidade, trazendo informações que seriam inviáveis de serem obtidas com levantamento manual.

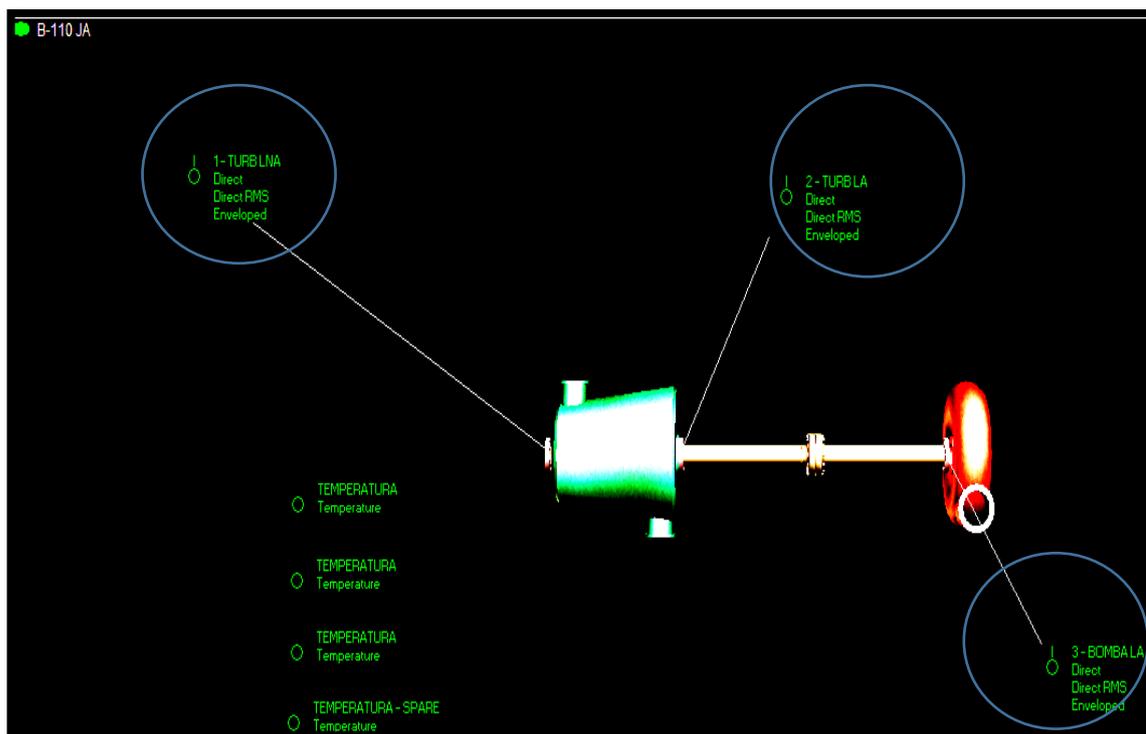
Verificou-se através das telas do *System 1*, que alguns sensores estão sem indicação de vibração dos mancais, conforme as Figuras 28, 29 e 30.

Figura 28 – Monitoramento de vibração da bomba 110-JB



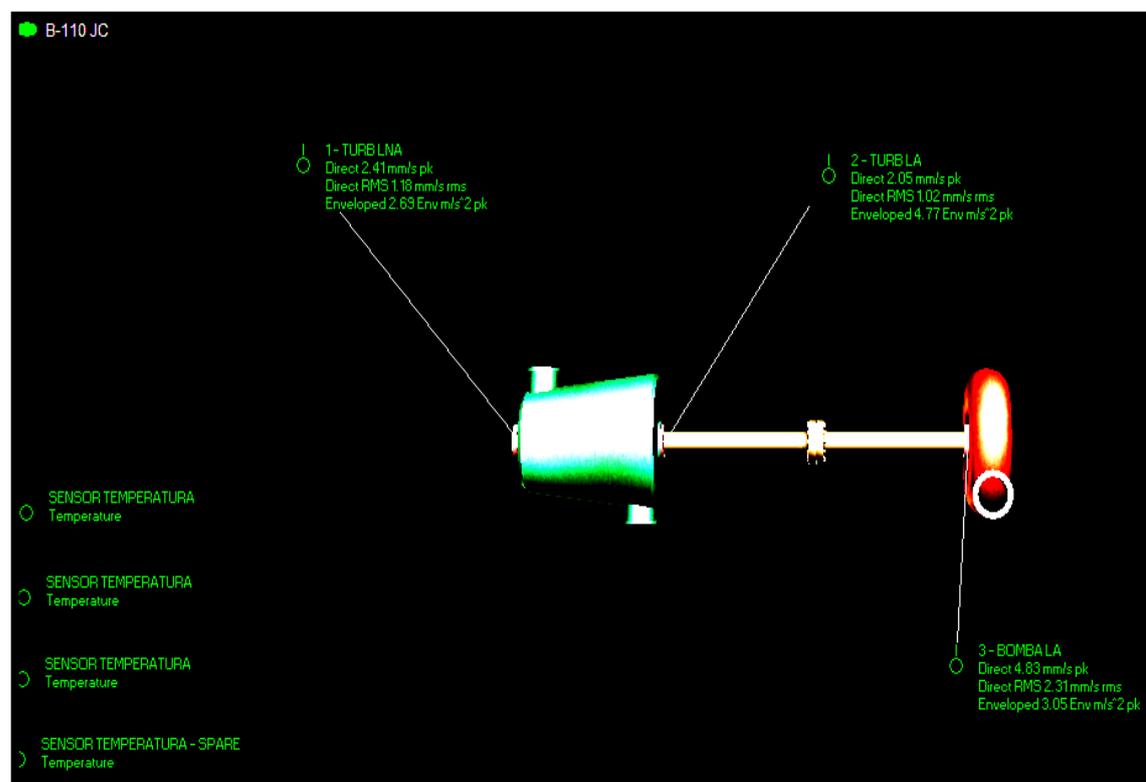
Fonte: Fafen-SE (2016)

Figura 29 - Monitoramento de vibração da bomba 110-JA



Fonte: Fafen-SE (2016)

Figura 30 - Monitoramento de vibração da bomba 110-JC



Fonte: Fafen-SE (2016)

Após verificar a ausência de indicação de vibração pelas telas do system 1, em alguns pontos dos conjuntos das bombas 110-JA/JP, realizou-se um

levantamento de campo e constatou alguns sensores desconectados, além de outros danificados, conforme pode observar nas Figuras 31, 32, 33 e 34.

Figura 31 – Ausência de sensor do mancal da bomba 110-JA



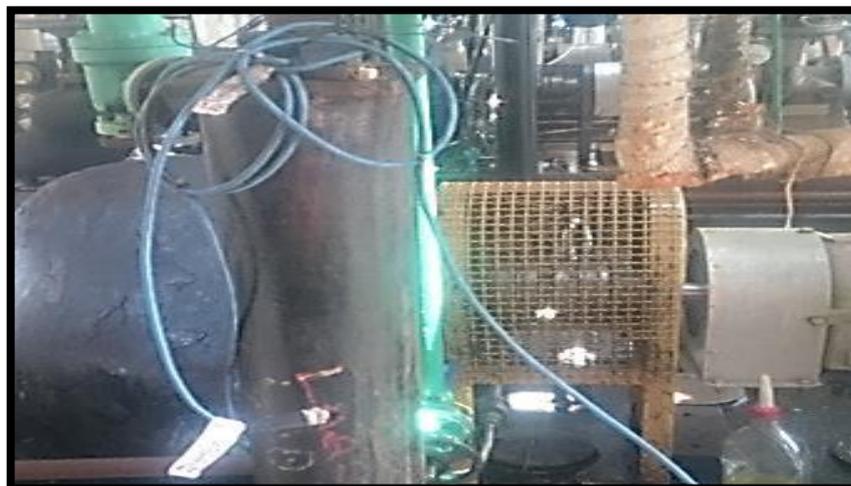
Fonte: Próprio Autor

Figura 32 – Sensor desconectado do mancal L.A da bomba 110-JA



Fonte: Próprio Autor

Figura 33 – Sensor desconectado do mancal L.O.A da bomba 110-JA



Fonte: Próprio Autor

Figura 34 – Sensor desconectado do motor da bomba 110-JB



Fonte: Próprio Autor

Percebe-se o quanto os conjuntos das bombas 110-J estão desprotegidos. O sistema de monitoramento (*System 1*), fornece uma excelente proteção aos equipamentos, tendo um acompanhamento contínuo e gerando alarme e, até mesmo levando a parada do equipamento, caso ultrapasse limites de vibração permitidos. Há a necessidade de normalizar o sistema de monitoramento de vibração para que se possa garantir uma melhor confiabilidade operacional.

4.2.4 Causa raiz da falha do governador da turbina

Os governadores das turbinas 110-JAT/JCT são da fabricante Woodward (versão TG-10), como mostra a Figura 35.

Figura 35 – Governador TG-10



Fonte: Próprio Autor

De acordo com Xavier (198?, p. 1), o governador TG-10 é um regulador de velocidade mecânico-hidráulico utilizado para controlar turbinas a vapor, das quais não é necessária a operação em velocidades constantes.

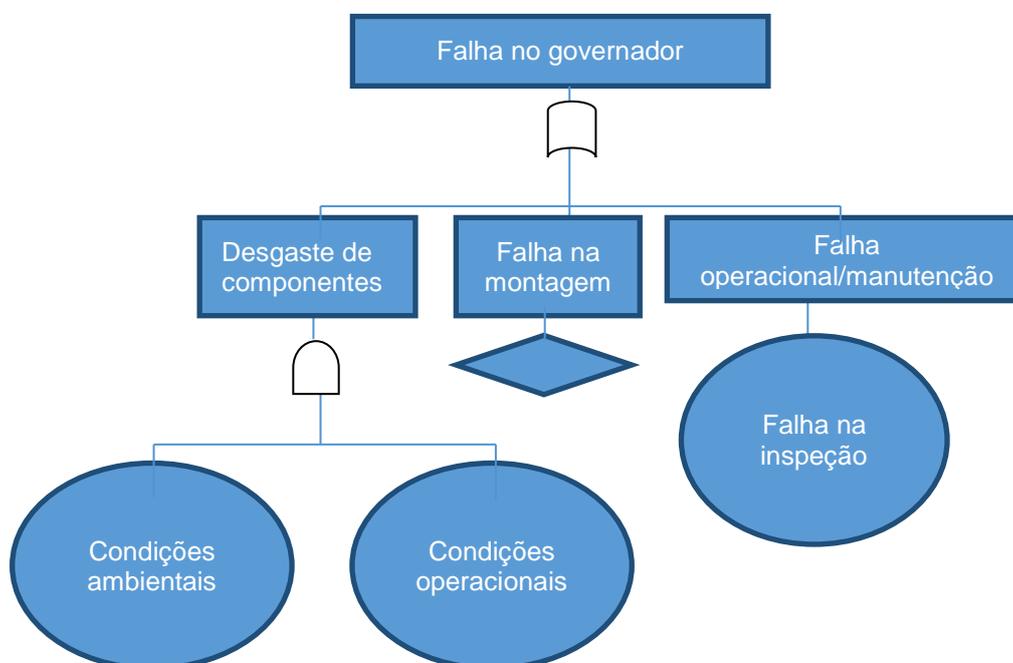
Woodward (2009, p. 26), cita que

Faults in governor operation are usually revealed as speed variations of the turbine. But, it cannot be assumed that all such variations indicate a fault in the governor. Therefore, when improper operation is evident, check all components, adjustment settings, and the turbine for correct operation.

De acordo com a citação acima, Woodward (2009, p. 26, tradução nossa) afirma que as falhas na operação do governador são comumente notadas a partir das oscilações de velocidade que a turbina apresenta. Mas, isso não significa que a variação de velocidade seja apenas ocasionada por falha do governador. É necessário investigar quando há o funcionamento inadequado do governador, observando todos os componentes e variáveis para o funcionamento correto da turbina.

Com intuito de identificar as causas primárias que levaram a falha do governador, utilizou-se do método de árvore de falha (FTA), conforme Figura 36.

Figura 36 – FTA – Causas primárias da falha nos governadores das turbinas



Fonte: Próprio Autor

A partir da árvore de falha (Figura 36), determinaram-se as causas primárias da falha do governador como sendo, as condições ambientais juntamente com as condições operacionais e a falha na inspeção do governador.

Fazendo uma avaliação da região próxima aos governadores das turbinas 110-JAT/JCT, nota-se a presença de vazamentos de vapor superaquecido nas proximidades do governador, direcionando o calor para o mesmo. A exposição do governador ao calor juntamente com as mudanças na temperatura ambiente, gera a condensação de água no óleo.

A Figura 37 a seguir, mostra as condições encontradas do óleo no governador das turbinas 110-JAT/JCT e, compara com o aspecto do óleo que ainda não foi utilizado. Foram coletadas as amostras de óleo, ao longo das três jornadas de trabalho de grupos diferentes, durante três semanas.

Figura 37 – Análise visual do óleo do governador das turbinas 110-JAT/JCT



Fonte: Próprio Autor

Analisando a Figura 37, o primeiro copo (à esquerda) se refere ao óleo coletado no governador da turbina 110-JCT. Nota que, em relação ao copo do meio (óleo do governador da 110-JAT), apresenta uma quantidade maior de água, visível pela presença de fases da mistura óleo e água formada. Por ser menos denso que a água, o óleo se localiza na região superior do copo (tonalidade mais escura) e a água na região inferior do copo.

Observou também na amostra de óleo coletada da 110-JCT, uma pequena quantidade de depósito de sujeira no fundo do copo. De fato, se comparar com o óleo novo (copo à direita), percebe-se uma contaminação do óleo nos governadores das turbinas 110-JAT/JCT, apresentando uma tonalidade diferente do óleo novo.

Woodward (2009, p. 26) afirma que: “[...] Oil contaminated by water, or excessive heat, breaks down rapidly, causing foaming and corroding of internal parts.”

Segundo a citação acima, Woodward (2009, p. 26, tradução nossa) informa que o óleo contaminado pela água, ou calor excessivo, causa espuma e corrosão de partes internas, diminuindo a vida útil do governador.

Além disso, Woodward (2009, p. 17) diz que “Operating a governor continuously beyond the high limit temperature of the oil will result in oil oxidation.” Ou seja, Woodward (2009, p. 17, tradução nossa) afirma que, caso o governador opere com a temperatura de óleo acima da permitida, resultará em oxidação do óleo.

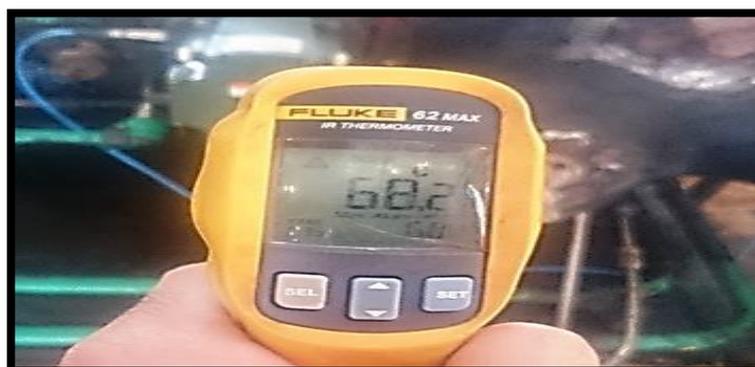
Woodward (2009, p. 18) informa que: “[...] The recommended continuous operating temperature of the oil is 140 to 200 °F (60 to 93 °C).” De acordo com Woodward (2009, p. 18, tradução nossa), a temperatura de operação contínua recomendada do óleo está entre 60 a 93°C.

Porém, verificando a ficha de informação de segurança de produto químico (**Anexo D**) do óleo utilizado no governador (Compsor AC 68), aquecimento acima de 65 °C em presença de água poderá provocar liberação de pequenas quantidades de ácido sulfídrico, degradando o produto.

Woodward (2009, p. 18) diz que: “[...] Measure the temperature of the governor on the outside lower part of the case. The actual oil temperature will be slightly warmer, by approximately 10 °F (6 °C).” Segundo Woodward (2009, p. 18, tradução nossa), sugere medir a temperatura do governador, na parte inferior e externa da caixa. Sendo que, a temperatura do óleo será em torno de 6°C mais alta que a caixa externa do regulador.

Para verificar a temperatura que o óleo está operando, mediu-se a temperatura externa do governador, conforme mostra as Figuras 38 e 39. Vale ressaltar que, devido à dificuldade de se medir pela parte inferior da caixa externa do governador, realizou-se a medição pela região frontal do regulador.

Figura 38 – Temperatura da caixa externa do governador da 110-JAT



Fonte: Próprio Autor

Figura 39 – Temperatura da caixa externa do governador da 110-JCT



Fonte: Próprio Autor

A partir das medições realizadas das temperaturas externas dos governadores (68,2 °C e 64,8 °C, respectivamente, 110-JAT e 110-JCT) e levando em consideração o aumento de aproximadamente 6°C em relação à caixa externa do regulador, obteve um valor de 74,2 °C para o óleo do governador da 110-JAT e 70,8 °C para o da 110-JCT. Portanto, esses valores são superiores ao recomendado pela ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ).

A falha da manutenção e operação é, justamente, a ausência da observação ou o não tratamento das anormalidades identificadas. A operação tem como umas de suas atribuições, a inspeção de área, sendo necessário o cumprimento das rotinas operacionais (**Anexo E**).

Conforme o **Anexo E**, dentre alguns itens que o operador deve se atentar é com relação à inspeção de equipamentos dinâmicos (vibração, temperatura, ruídos, vazamentos), drenagem de condensado em mancais e console, dentre outros. Porém, em nenhuma das rotinas de operação, especifica o monitoramento do óleo dos governadores (nível de óleo, contaminação do óleo), ficando esta tarefa apenas para a manutenção, em suas inspeções de troca de óleo.

Alguns operadores mais experientes, pela vivência de área, se atentam a estes detalhes (checagem nível de óleo do governador, contaminação, sujeiras), mas os operadores mais novos acabam que por falta de conhecimento e experiência, não tendo a mesma sensibilidade para enxergar o problema.

Vale ressaltar que o registro de qualquer anormalidade que o governador venha a apresentar é fundamental para que seja realizado o devido tratamento. A manutenção é responsável pelo tratamento das anomalias apontadas pela operação

e realiza também a inspeção de área (troca periódica do óleo, verificação de sujeira no governador).

Woodward (2009, p. 27, tradução nossa), informa que, a presença de sujeiras no governador, o baixo nível de óleo, dentre outros fatores, ocasiona problemas como: hunt, surge, jiggle, dentre outros.

De acordo com Xavier (198?, p. 88), o defeito hunt “é uma variação rítmica de velocidade, que pode ser eliminada pelo bloqueio manual do governador, mas que recomeça quando o governador reassume o controle.”.

Sobre o surge, Xavier (198?, p. 88) diz que “[...] é uma variação rítmica de velocidade, sempre de grande magnitude, que pode ser eliminada pelo bloqueio manual do governador, e que não volta a ocorrer quando o governador retoma o controle, a menos que haja uma variação na velocidade ajustada ou na carga.”

Já o jiggle, Xavier (198?, p. 88) cita que “[...] é uma vibração de alta frequência do eixo de saída do governador ou barra de combustível (ou vapor) [...]”

De fato, todos os três defeitos já foram observados nos governadores das turbinas 110-JAT/JCT. Para evitar ou minimizar a reincidência deles, a operação juntamente com a manutenção, deve realizar a inspeção diariamente, monitorando as condições de operação dos governadores das turbinas e tratando as anormalidades que possam vir a surgir.

4.3 Sugestão de Melhorias para Obtenção da Confiabilidade Operacional das Bombas de Circulação de Solução Pobre do Sistema de Catacarb

A partir do estudo realizado para identificação das causas que resultaram em falhas no conjunto das bombas 110-J, levando a perdas financeiras, material e, trazendo indisponibilidade aos equipamentos, foi possível obter sugestões de melhorias para este sistema, como forma de garantir uma melhor confiabilidade operacional das bombas.

4.3.1 Melhorias para a causa de falha do mancal da turbina

Como foi apresentado anteriormente (seção 4.2.1), o sistema de lubrificação das turbinas 110-JAT/JCT possuem baixa confiabilidade, com incidências de obstrução do bico injetor. Na falta de energia elétrica, apesar do motor acionador da

bomba está no painel de emergência, necessita do operador de campo acionar a botoeira da bomba (caso, o gerador de emergência entre em operação).

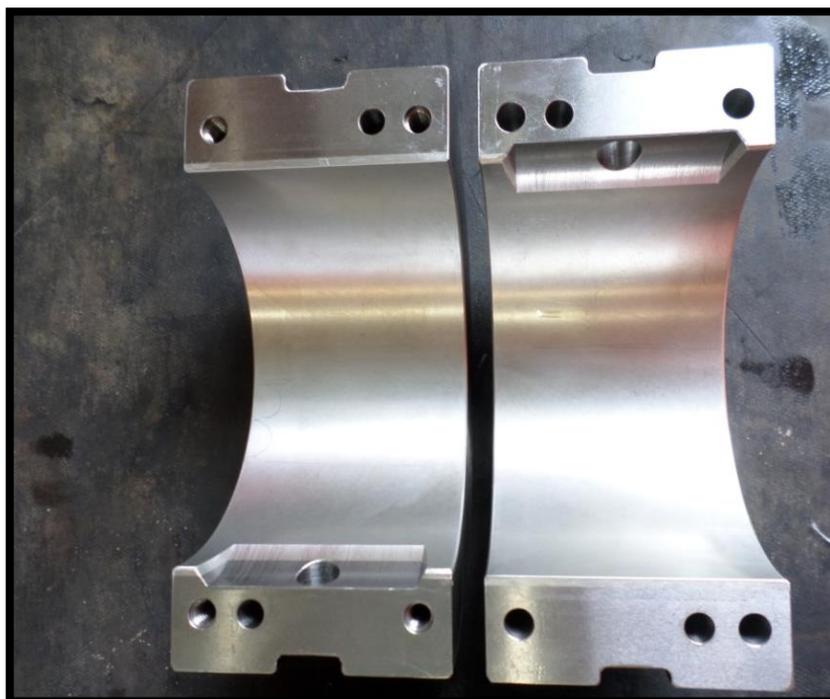
Além disso, o projeto da turbina (mancais casquilho) é obsoleto e pouco confiável. Outro ponto de melhoria que deve ser implementado, está no monitoramento contínuo dos mancais da turbina, dos quais atualmente não apresentam sensores, para que seja realizado esse tipo de acompanhamento.

A sugestão de melhoria apresentada seria a troca das turbinas 110-JAT/JCT, por outras que apresentem um melhor sistema de lubrificação, independente de sistema elétrico, com projeto de mancais mais resistente, e de alta confiabilidade, além do monitoramento de temperatura dos mancais.

Contatando a empresa Turbimaq, a fabricante lançou uma proposta técnica de turbina que atende aos requisitos de melhorias. A lubrificação dos mancais será feita através de pressão de óleo e anel pescador. Na ponta do eixo da turbina, será instalada uma bomba de óleo que fará a lubrificação dos mancais enquanto a turbina estiver em operação. Já com a turbina parada ou durante sua partida, a lubrificação nas caixas de mancais será fornecida por anel pescador.

Com relação aos mancais da turbina, será de construção robusta, tipo hidrodinâmico, fabricado em aço laminado e revestido internamente com metal patente (Figura 40). Já o mancal axial será tipo rolamento.

Figura 40 - Mancal proposto para a nova turbina



Fonte: Fafen-Se (2016)

A Turbimaq fornecerá também termômetros para o monitoramento de temperatura dos mancais, além de todos os outros componentes mecânicos e de instrumentação e suporte na instalação das turbinas.

4.3.2 Melhorias para a causa da falha por cavitação da bomba

Como foi discutido neste trabalho, a cavitação é um fenômeno que pode gerar danos severos as bombas. Anteriormente (seção 4.2.2), evidenciou-se que a causa da falha por cavitação, tem como fator determinante, a redução do nível do fundo da torre 102-E.

É evidente que há a necessidade de se evitar que a bomba trabalhe em baixíssimo nível no fundo da torre 102-E, a fim de impedir maiores danos à bomba devido ao fenômeno da cavitação. Sendo assim, tem como sugestão de melhoria para se evitar a causa dessa falha, a possibilidade de intertravamento do sistema de Catacarb, por nível baixíssimo do fundo da torre desabsorvedora de gás carbônico (102-E).

O intertravamento proposto para malha de segurança da Catacarb, por nível muito baixo fundo torre 102-E (LT-293006), se processaria da seguinte forma: fechar solução catacarb no fundo da torre 101-E (XV-293104, LV293004A/B/C); fechar o gás de processo para torre 101-E (XV-293020); fechar o ar para a passivação da torre 102-E (XV-293015); desligar motor das bombas 107-JA/JB; desligar o motor da bomba 110-JB; parar a turbina da bomba 107-JC pelo trip mecânico (XX-293107) e pelo fechamento da válvula de admissão de vapor (XV-293018); parar as turbinas das bombas 110-JA/JC; passar FIC-293005 e FIC-293031 para manual fechado.

Vale ressaltar que as turbinas das bombas 110-JA/JC não possuem comando remoto, sendo necessário implementar *trip* mecânico comandado pelo sistema supervisor (SDCD).

Outro ponto de melhoria sugerida é a indicação na tela do SDCD, da pressão na sucção das bombas 110-J, sendo uma variável importante para visualização do fenômeno de cavitação. Para isso, se faz necessário a instalação de transmissor de pressão no campo.

4.3.3 Melhorias para a causa da falha do selo da bomba

A partir das causas que geraram a falha do selo da bomba (seção **4.2.3**), apresentaram-se sugestões de melhorias, a fim de proteger os equipamentos de danos oriundos dessas causas primárias.

Em se tratando da cavitação como causa primária da falha no selo da bomba, nota-se que ela é um dos fatores que impactam diretamente a confiabilidade operacional do conjunto das bombas 110-J. A vibração elevada gerada pelo fenômeno causa danos severos aos selos das bombas, dentre outros componentes.

Como foi visto (seção **4.2.3**), o monitoramento contínuo do conjunto das bombas está comprometido, visto que, apresentam sensores desconectados e defeituosos. A sugestão de melhoria, neste ponto, é a reposição desses sensores que estão comprometidos e instalação dos sensores desconectados.

Com relação às falhas operacionais apresentadas, o não preenchimento da lista de verificação, acarretou o esquecimento do alinhamento da válvula de bloqueio de água de selagem. E, a falta de procedimento operacional para partida dos conjuntos das bombas 110-J, compromete a confiabilidade na partida das bombas. Dessa forma, apresentou-se como sugestões: treinamento no local de trabalho (TLT) sobre a importância do preenchimento da lista de verificação; criação do procedimento de partida das bombas 110-J.

4.3.4 Melhorias para a causa da falha do governador da turbina

Após apontar as causas da falha dos governadores das turbinas 110-JAT/JCT (seção **4.2.4**), buscou-se apresentar sugestões de melhorias. Com relação às condições ambientais (vazamento de vapor nas proximidades dos governadores), tem como ação a identificação dos pontos de vazamento e tratamento dos mesmos.

Em se tratando das condições operacionais do governador, tem como base a melhora na inspeção da operação e manutenção, a fim de garantir as melhores condições de trabalho do governador.

Como sugestões, apresentou como pontos de melhorias: a inserção nas folhas de rotinas operacionais, da inspeção dos governadores; treinamento no local de trabalho (TLT) sobre as condições adequadas de operação do governador.

4.4 Sugestões

Diante das propostas de melhorias apresentadas (seção 4.3), elaborou-se um plano de ação, utilizando da ferramenta 5W2H. A escolha da ferramenta 5W2H (Quadro 5) foi realizada com o intuito de trazer praticidade para a empresa, em seu processo de tomada de decisão, norteando as ações com o objetivo de ampliar a disponibilidade operacional dos conjuntos das bombas 110-J, eliminando ou minimizando as ocorrências de parada do sistema e, com isso, trazendo maiores lucros a empresa.

Quadro 5 – Plano de ação

O que	Quem	Onde	Quando	Por que	Como	Quanto
Substituição das turbinas das bombas 110-JA/JC	Turbimaq	Turbinas 110-JAT/JTC	PPG 2017	Melhorar a confiabilidade das turbinas (mancais, sistema lubrificação, monitoramento de temperatura dos mancais)	Um técnico da Turbimaq será disponibilizado para apoio a equipe técnica da empresa	R\$ 786.000,00
Intertravamento do sistema de Catacarb	Instrumentação/Automação	Catacarb	PPG 2017	Evitar danos as bombas 110-J por cavitação	Através da criação de uma Gestão de Mudanças (GM); Realizando configuração do sistema de segurança (PES); criação de lógica de intertravamento; instalação de redundância nos instrumentos de segurança;	Pendente
Indicação de Pressão da sucção das bombas 110-J na tela do SDCD	Instrumentação	Tela SDCD	PPG 2017	Melhorar a confiabilidade operacional das bombas 110-J	Instalação de transmissor de pressão no campo;	Pendente
Reposição dos sensores de campo do sistema de vibração contínuo (System 1)	Instrumentação	Conjunto das bombas 110-J	Até 30/12/2016	Melhorar a confiabilidade operacional das bombas 110-J	Repor sensores danificados e instalar os sensores desconectados	Pendente
Treinamento da Operação e Manutenção	Supervisores	Empresa	Até 30/12/2016	Qualificação do corpo técnico	Através de TLT	Sem custos
Criação de Procedimento de partida das bombas 110-J	Supervisores	Empresa	Até 30/12/2016	Melhorar a confiabilidade operacional das bombas 110-J	Através do Sinpep	Sem custos
Inserir a inspeção do governador nas folhas de rotinas operacionais	Supervisores	Empresa	Até 30/12/2016	Melhorar a confiabilidade operacional das bombas 110-J	Através do Sinpep	Sem custos
Sanar vazamentos de Vapor	Caldeiraria	Turbinas 110-JAT/JTC	PPG 2017	Evitar contaminação e degradação do óleo do governador	Verificar e corrigir os planos de juntas; Reparo em furos linhas; aperto de flanges	Pendente

Fonte: Próprio Autor

4.4.1 Sugestões acatadas

A partir da análise e divulgação do plano de ação, buscou-se atender as propostas de melhoria, com a finalidade de tratar os principais problemas do conjunto das bombas 110-J e, assim, melhorar a confiabilidade operacional das mesmas.

A primeira sugestão de melhoria acatada foi à criação do procedimento operacional de partida das bombas 110-J (**Anexo F**). O procedimento operacional padrão possibilitará aos operadores (principalmente os menos experientes), executar suas atividades de forma padronizada, tornando-se uma fonte de consulta, garantindo a preservação das melhores práticas e aprimorando as condições de operação dos equipamentos, segurança pessoal e de processo.

Com relação às folhas de rotinas operacionais, foi inserida a inspeção dos governadores das turbinas 110-JAT/JCT (**Anexo G**) na rotina do horário de 07 h às 15 h. Com isso, permitirá manter uma inspeção padronizada nos governadores das turbinas, verificando o nível de óleo do governador, a presença de condensado e impurezas no óleo, garantindo as melhores condições de operação do governador.

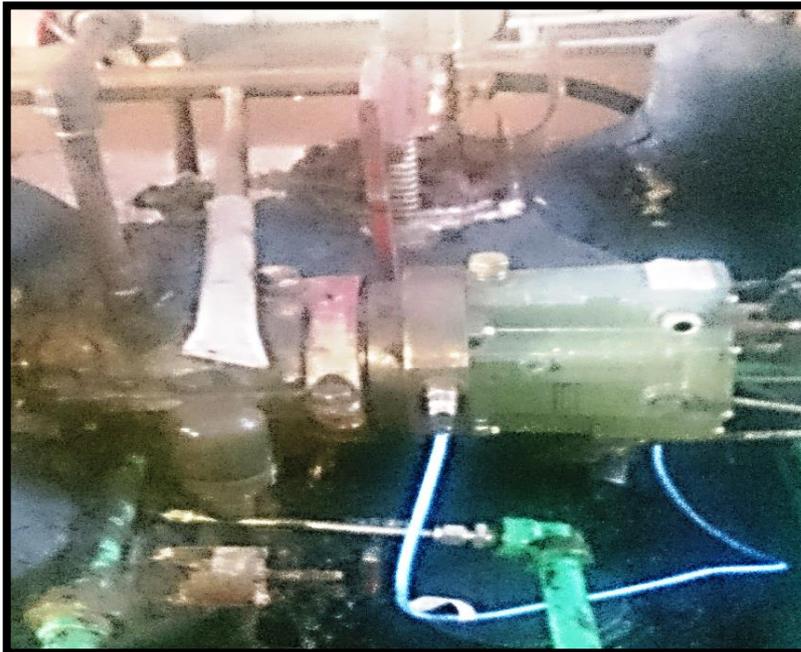
Outra proposta de melhoria implementada foi à reposição dos sensores de campo do sistema vibração contínua (*System 1*), conforme mostra nas Figuras 41,42 e 43.

Figura 41 – Sensor do mancal da bomba 110-JA



Fonte: Próprio Autor

Figura 42 – Sensor do mancal L.O.A da bomba 110-JA



Fonte: Próprio Autor

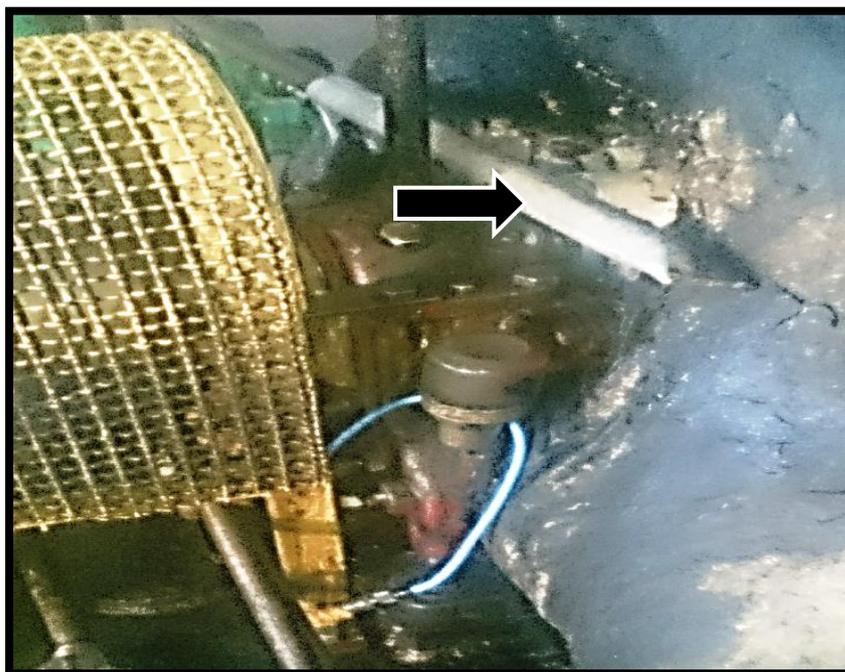
Figura 43 – Sensor do motor da bomba 110-JB



Fonte: Próprio Autor

Apenas o sensor do mancal L.A da bomba 110-JA permaneceu desconectado (Figura 44), devido à instrumentação ter apresentado dificuldade na sua instalação, visto que, o dispositivo provisório (indicado com a seta na Figura 44) instalado para o resfriamento do mancal, impossibilitou a reposição do sensor de vibração. O mesmo só será repostado após remoção do dispositivo de resfriamento do mancal, previsto para ocorrer após a parada programada geral de 2017, quando será realizada a manutenção nas turbinas e no sistema de lubrificação dos mancais das turbinas das bombas 110-J.

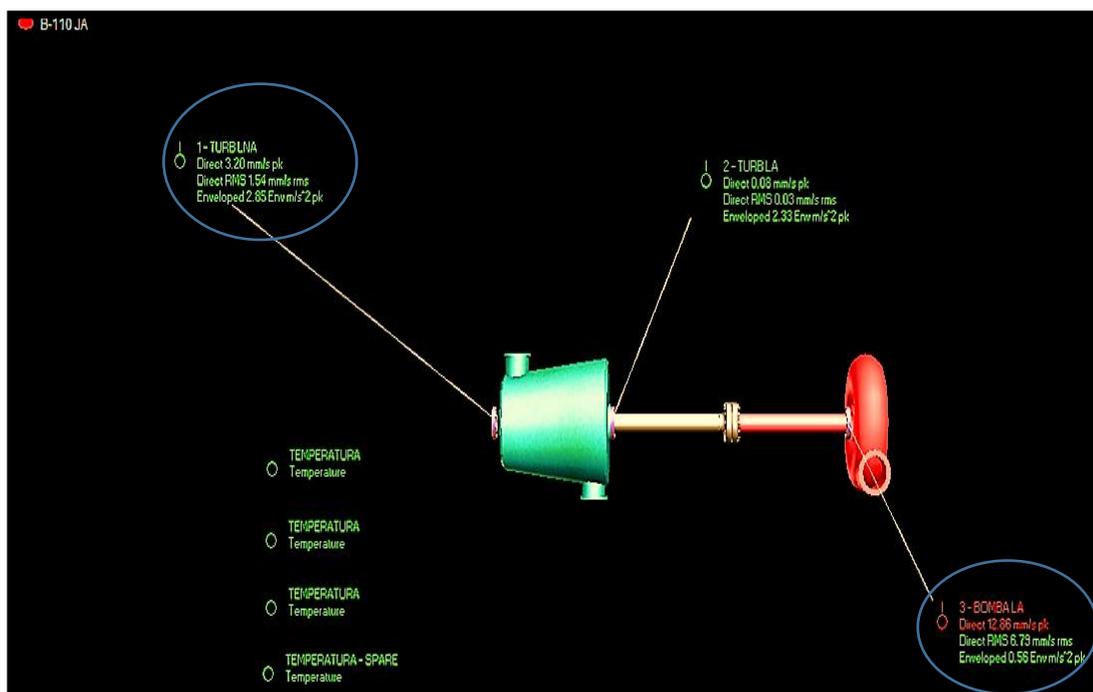
Figura 44 – Sensor desconectado do mancal L.A da bomba 110-JA



Fonte: Próprio Autor

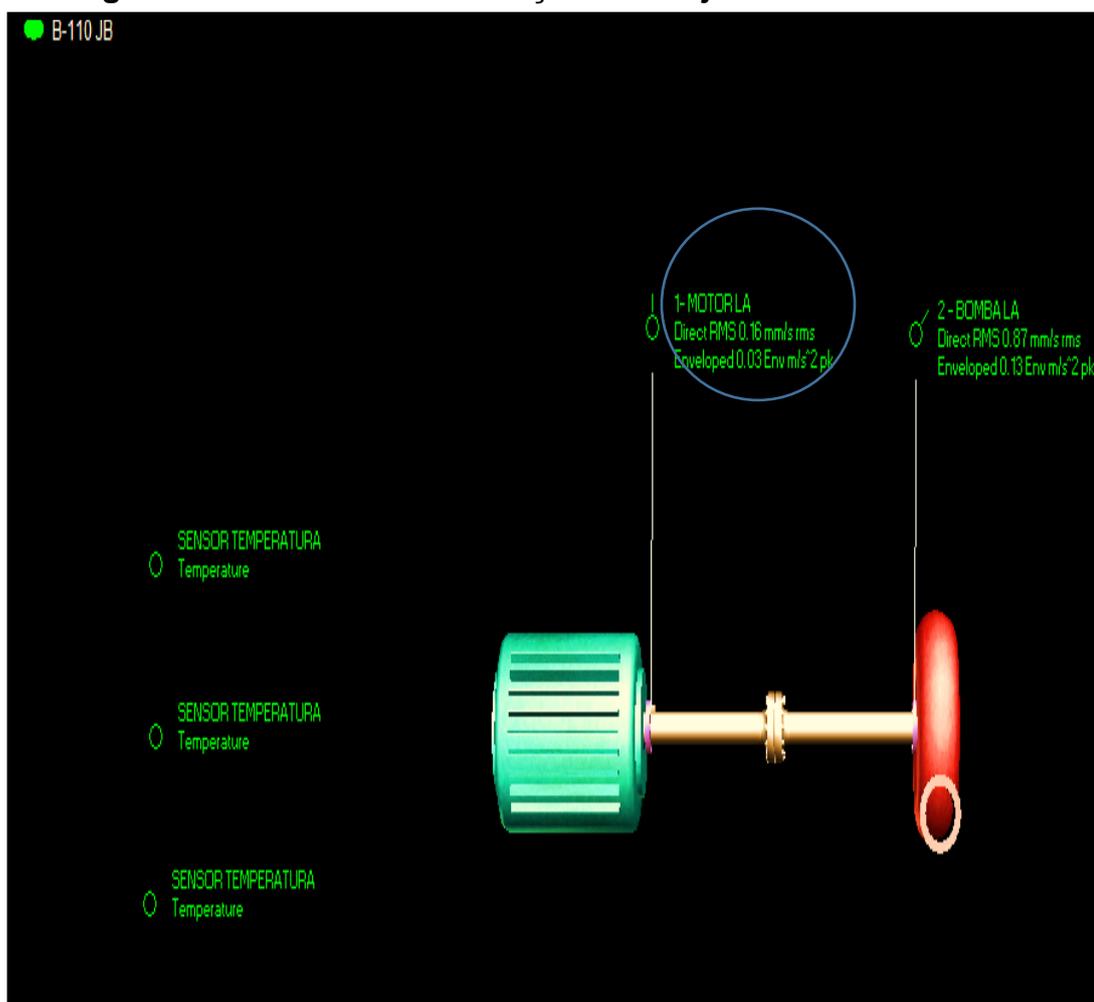
Com a instalação dos sensores de campo do sistema de vibração, tornou-se possível ter um acompanhamento contínuo da vibração do conjunto das bombas 110-JA/JB, nos pontos onde esses sensores estavam desconectados. As Figuras 45 e 46 (telas do *System 1*), mostram as indicações de vibrações dos pontos onde foram conectados os sensores.

Figura 45 - Sensores de vibração do conjunto da bomba 110-JA



Fonte: Próprio Autor

Figura 46 - Sensores de vibração do conjunto da bomba 110-JB



Fonte: Próprio Autor

Em relação à substituição das turbinas (110-JAT/JCT) das bombas, foi aprovada uma gestão de mudanças (GM) na qual autoriza a troca das turbinas. Mas, devido à limitação no orçamento da parada programada geral de 2017 (PPG 2017), as turbinas não entraram no seu escopo.

Mesmo diante do atual cenário que a empresa se encontra, com redução de custos, será solicitada a compra de uma turbina para substituição, mas ainda não há prazo definido para a troca da mesma. Vale ressaltar que a troca das turbinas 110-JAT/JCT é fundamental para a melhoria na confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb, garantindo a disponibilidade do posto de trabalho e reduzindo os custos de manutenção (materiais e mão de obra).

Com relação aos vazamentos de vapor nas turbinas 110-JAT/JCT, será efetuado o tratamento deles durante a parada programada geral de manutenção (PPG 2017), que está previsto de ocorrer em julho.

4.4.2 Sugestões não acatadas

A implementação do intertravamento do sistema de Catacarb e a instalação de indicadores de pressão da sucção das bombas 110-J na tela do SDCCD, não foram acatadas no momento devido aos custos extrapolarem o orçamento da parada programada geral de manutenção e, não há previsão de implementação, pois a prioridade é a substituição das turbinas 110 - JAT/JCT.

Referente aos treinamentos da operação e manutenção, não houve até o momento mobilização para a realização dos mesmos. Porém, vale ressaltar a importância e o impacto positivo que os treinamentos trazem tanto para o colaborador quanto para empresa. A qualificação do corpo técnico é essencial para o alcance dos objetivos organizacionais, pois minimizam a probabilidade de ocorrência de falhas humanas no processo.

5 CONCLUSÃO

O estudo realizado permitiu a identificação dos fatores que afetam a confiabilidade operacional das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb, bem como, a verificação das principais falhas do conjunto das bombas 110-J e as suas respectivas causas primárias.

Com base nas propostas que foram implementadas, pode-se concluir que trouxe melhorias na operação das bombas de circulação de solução pobre do sistema de Catacarb, além de uma maior segurança pessoal e de processo, através da padronização das atividades operacionais e do monitoramento do conjunto das bombas 110-J.

Para que haja uma maior otimização da operação e manutenção dos equipamentos, reduzindo a probabilidade de falhas e minimizando os custos por paradas não programadas, necessita-se o quanto antes da substituição das turbinas, além da implementação do sistema de intertravamento da Catacarb e dos treinamentos tanto da operação quanto da manutenção. Apesar dos custos serem elevados para a implantação de algumas melhorias, o ganho a médio e longo prazo serão muitos maiores tanto em termos de confiabilidade do processo quanto financeiramente.

Diante do que foi explanado, concluiu-se que os objetivos do trabalho foram alcançados, sendo um estudo enriquecedor tanto para empresa quanto para o pesquisador. Para empresa é importante porque gera uma maior confiabilidade do sistema, reduzindo custos (manutenção, perdas de produção, mão-de-obra). Para o pesquisador, como colaborador da empresa, trouxe um maior contato com outros setores (engenharia, manutenção, instrumentação), gerando uma visão macro da unidade. Como estudante de engenharia, o desenvolvimento das atividades trouxe uma vivência prática, aprimorando e ampliando os conhecimentos.

REFERÊNCIAS

Bezerra, T. et al. **Aplicação das Ferramentas da Qualidade para Diagnóstico de Melhorias numa Empresa de Comercio de Materiais Eletricos**. In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STP_158_921_21171.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016

Bonniard, M. **Identificação de Defeitos em Bombas de Grande Porte através do Método de Decomposição Ortogonal de Karhunen-Loève**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://w2.files.scire.net.br/atric/ufrijpem_upl//THESIS/62/pemufrij2011mscmarcelodec arvalhobonniard.pdf>. Acesso em: 28 set. 2016.

Carta IEDI n. 745, 12 ago. 2016. Disponível em: <http://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_745.html>. Acesso em: 15 ago. 2016.

DUPPRE, T. et al. **Aplicação de Ferramentas da Qualidade Visando a Redução dos Índices de Refugo de Peças: pesquisa-ação em uma empresa do setor de autopeças**. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_206_226_27871.pdf>. Acesso em: 28 set. 2016.

Eickmeyer & Associates, INC. **Catacarb CO₂ Removal System Operating Manual**. Santa Fé, 1997.

Eletrobrás et al. **Bombas**: Guia Básico. Brasília, 2009. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Bombas.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016

Faria, A.; Muglia, T.; Magalhães, B. **Implantação do Sistema de Gestão de Qualidade em uma Incubadora de Empresas de Base Tecnológica**. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_092_624_13428.pdf>. Acesso em: 27 set. 2016.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GERHARD, T; SILVEIRA, D. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2016.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção – Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2015.

Machado, F.; Andrade, J. **Emprego Da Confiabilidade Para o Estabelecimento de Estratégias de Manutenção na Indústria Metal-mecânica**. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_178_018_22616.pdf>. Acesso em: 18 set. 2016

MACINTYRE, A. J. **Equipamentos industriais e de processo**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

MARTINS,R.; MELLO,C.; TURRIONI, J. **Guia para Elaboração de Monografia e TCC em Engenharia de Produção**. São Paulo: Atlas, 2014.

MIGUEL,P. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

Oliveira, A.; Sellitto, M. **Análise qualitativa de aspectos influentes em situações de risco observadas no gerador de vapor de uma planta petroquímica**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010365132010000400015&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 27 set. 2016.

PALLEROSI, C. A.; MAZZOLINI, B. P. M.; MAZZOLINI, L. R. **Confiabilidade Humana: Conceitos, Análises, Avaliação e Desafios**. São Paulo: All Print Editora, 2011.

Reis, L. et al. **O Uso das Ferramentas Brainstorming e 5W2H no Planejamento de Combate a Incêndio em Indústrias de Tabaco**. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_229_339_28579.pdf>. Acesso em: 25 nov.2016

Santos, J.; Batitsa, C. **Motivação e Confiabilidade Humana: uma análise da percepção do indivíduo**. In: XXXVIII Encontro da Anpad. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2014_EnANPAD_GPR1327.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

Schmitt, J. **MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHA UTILIZANDO A INTEGRAÇÃO DAS FERRAMENTAS DMAIC, RCA, FTA E FMEA**. Piracicaba: UNIMEP, 2013. 94 p. Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 19 de fevereiro de 2013. Disponível em: <https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/17092013_144838_joseschmitt.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.

Sousa, T. et al. **Proposta de Melhoria do processo de uma fábrica de polpas por meio da Metodologia de Análise e Solução de Problemas**. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_207_228_27341.pdf>. Acesso em: 28 set. 2016.

UBIRAJARA, E. R. B. **Guia de orientação para trabalhos de conclusão de curso: relatórios, artigos e monografias**, 2013. (caderno)

UBIRAJARA, E. R. B. **Guia de orientação para trabalhos de conclusão de curso: relatórios, artigos e monografias**, 2014. (caderno)

Valor Econômico – Empresas, 05 set. 2012. Disponível em:
<<http://www.valor.com.br/empresas/2818198/gasto-com-manutencao-muda-foco>>.
Acesso em: 15 ago. 2016.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

Xavier, J. **Governadores (Reguladores)**. Belo Horizonte: Petrobras, [198?].

Xenos, H. G. D. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 2. ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2014.

Woodward. **Installation and Operation Manual**. Colorado, 2009. Disponível em:<
http://rtd-universal.com/files/1139976983-04041_J.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016

ANEXOS

Anexo A – Histórico de manutenção do conjunto das bombas 110-J

Equipamento	Data de referência	Campo de seleção	Ordem	Texto breve
250004	28/08/2012	110-JAT	2009561059	Normalizar governador
247333	28/12/2015	110-JC	2013950819	Inspecionar bomba
247331	02/09/2016	110-JB	2014934765	Normalizar conjunto motor/ bomba
250004	10/07/2014	110-JAT	2011947871	Destruar governador
250006	18/03/2010	110-JCT	2006434320	Efetuar corretiva no conjunto
247329	01/09/2016	110-JA	2014923284	Avaliar /normalizar desempenho
247327	16/11/2015	110-J	2011732826	Recuperar selo mecânico
250006	12/02/2011	110-JCT	2007568486	Inspecionar mancais.
250004	17/02/2011	110-JAT	2007568536	Inspecionar mancais.
250006	22/11/2011	110-JCT	2008604323	Recuperar Governador da turbina
247331	21/02/2015	110-JB	2012772534	Inspecionar travamento bomba
250004	19/08/2010	110-JAT	2006962210	Abrir mancal para inspecionar.
250006	25/03/2013	110-JCT	2010298228	Sanar vaz. óleo pleo mancal LOA
250004	09/06/2016	110-JAT	2014606162	Normalizar governador
247331	16/09/2010	110-JB	2006957824	Checar alinhamento da bomba.
250006	25/07/2014	110-JCT	2012002133	Desacoplar e testar.
250004	20/06/2012	110-JAT	2009298116	Manutenção governador
250004	20/03/2015	110-JAT	2012864890	Inspecionar mancais
247331	11/04/2016	110-JB	2014363572	Destruar motor/ bomba
250004	10/03/2011	110-JAT	2007650707	Corretiva(mancais/óleo)
248653	25/02/2016	110-JBM	2013976388	Inspecionar vibração motor elétrico
250006	25/09/2012	110-JCT	2009561106	Normalizar governador
250006	27/12/2013	110-JCT	2011249645	Manutenção acoplam. governador x turbina
250006	13/02/2014	110-JCT	2011412947	Substituir governador
250006	14/05/2010	110-JCT	2006625446	Substituir o eixo.
250004	04/08/2015	110-JAT	2013432468	Revisão geral turbina
250006	02/12/2011	110-JCT	2008577106	Substituir governador
247331	20/05/2016	110-JB	2013143763	Substituir sêlo da bomba
247333	07/02/2011	110-JC	2007550219	Substituir selo da bomba danificado
250004	13/03/2010	110-JAT	2006413274	Recuperar selos
247329	04/02/2010	110-JA	2006231734	Revisão
250006	22/02/2014	110-JCT	2011440589	Substituir mancais
250006	10/03/2011	110-JCT	2007650700	Corretiva(mancais/óleo)
250004	05/02/2016	110-JAT	2014109046	Revisão geral
247333	12/03/2012	110-JC	2008957474	Substituir sêlo
250006	07/06/2016	110-JCT	2013934411	Inspecionar mancais
250004	17/12/2015	110-JAT	2013934404	Inspecionar mancais
247329	29/01/2010	110-JA	2006370132	Revisão
247333	12/03/2012	110-JC	2008982783	Recuperar bomba reserva
250004	07/07/2015	110-JAT	2012879379	Revisão geral turbina

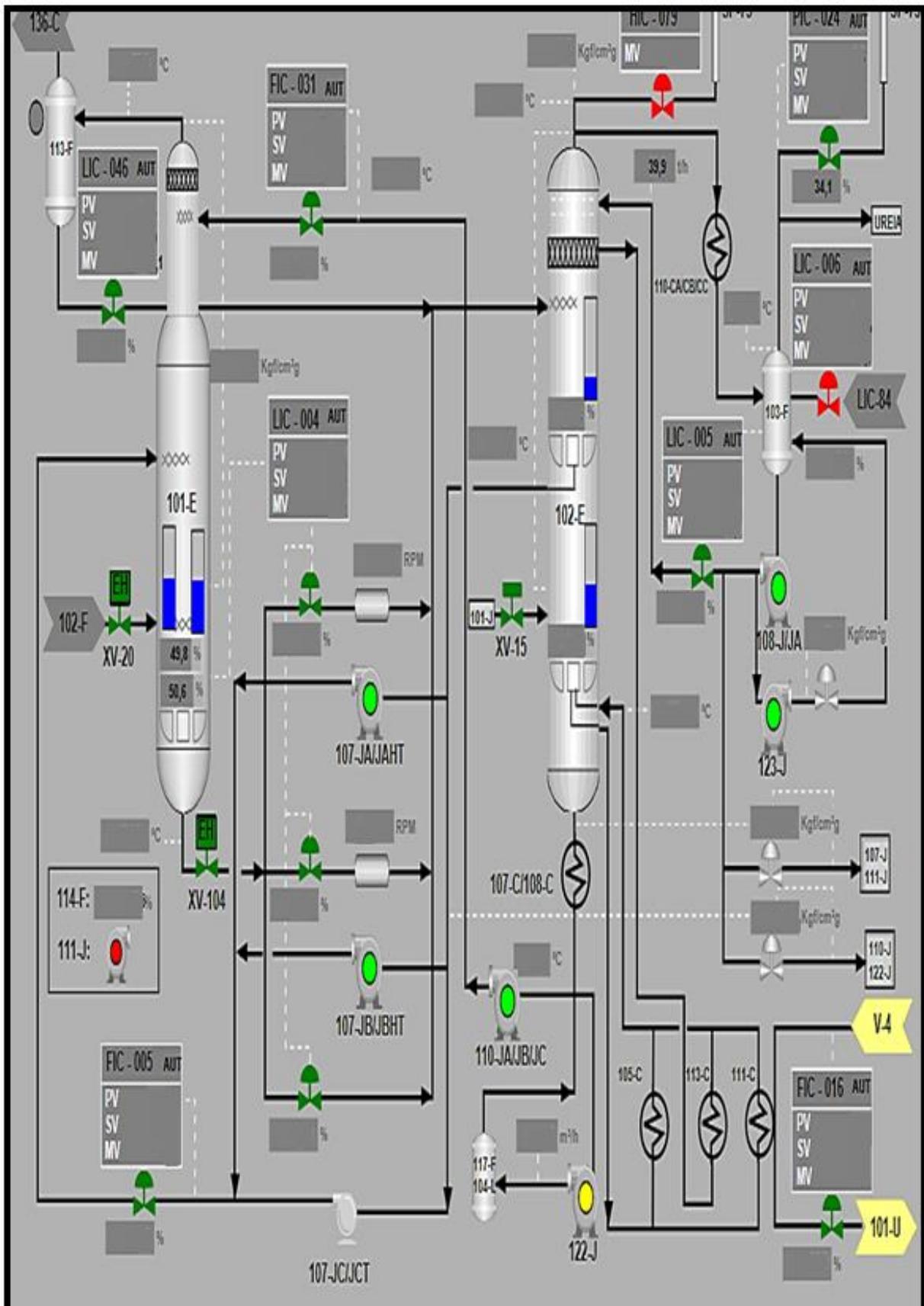
Fonte: Fafen-SE (2016)

Anexo B - Folha de leitura da área de catacarb

 PETROBRAS FAFEN PR/AM		UNIDADE DE AMÔNIA ÁREA DE CATAcarb										DATA: / / FL - 1/3											
HORA	TI - 19 ENTRADA GÁS TORRE III - C	TI - 20 ENTRADA GÁS TORRE III - E	TI - 21 CO SALDA III - E	TI - 22 SOLUÇÃO SALDA REFERVIDORES	TI - 23 SALDA GÁS III - E	TI - 24 SOLUÇÃO RECA FUNDO DA III - E	TI - 25 SOLUÇÃO PORRE SUCÇÃO III - F	TI - 33 SOLUÇÃO SEM- PORRE SUCÇÃO III - F	TI - 56 CO PRODUTO SALDA III - F	FI - 05 SOLUÇÃO SEM- PORRE III - F	FI - 31 SOLUÇÃO PORRE III - F	FIC - 16 V4 PARA III - C	LR - 06 NÍVEL SOLUÇÃO PORRE FUNDO III - E	LR - 26 SOLUÇÃO SEM- PORRE FUNDO III - E									
FAIXA DE TRABALHO							70 a 88 °C																
23:30																							
05:00																							
07:30																							
13:00																							
15:30																							
21:00																							
HORA	LI - 04 SOLUÇÃO RECA FUNDO III - E	PdI - 16 "DELTA" TORRE III - E	PdI - 59 "DELTA" TORRE III - E	FIC - 26 ENTRADA GÁS PARA III - E	FIC - 24 CO, SALDA III - F Kg/m ³	LG - 47 NÍVEL CONDENSADO III - F	LG - 32 NÍVEL DE SOLUÇÃO FUNDO DA III - E	LI - 89 NÍVEL DE SOLUÇÃO III - F	LIC - 03 NÍVEL CONDENSAD O III - F	PI-18 SUÇÃO BOMBAS III - A	AI CORRENTE MOTOR III - 2A/3A	PI-18 DESCARGA BOMBA III - A	AI CORRENTE MOTOR III - 2B/3B	PI-98 SUÇÃO BOMBA III - B	PI-99 DESCARGA BOMBA III - B	PI-199/200 DESCARGA BOMBAS III - 2/3A							
FAIXA DE TRABALHO																							
23:30																							
05:00																							
07:30																							
13:00																							
15:30																							
21:00																							
TURNO - 23 / 7				GRUPO -				TURNO - 7 / 15				GRUPO -				TURNO - 15 / 23				GRUPO -			
TO.				TO.				TO.				TO.				TO.							
SUPERVISOR:				SUPERVISOR:				SUPERVISOR:				SUPERVISOR:				SUPERVISOR:							
2400min. CO, White Martins				FQI-101:				6000min. CO, White Martins				FQI-101:				1600min. P / CO, White Martins				FQI-101:			
TI-101:				FI-101:				TI-101:				FI-101:				TI-101:				FI-101:			
D - INSTRUMENTO COM DEFEITO				E - EMERGÊNCIA				M - EQUIPAMENTO E/OU INSTRUMENTO EM MANUTENÇÃO				P - UNIDADE PARADA				R - EQUIPAMENTO NA RESERVA							

Fonte: Fafen-SE (2016)

Anexo C – Tela do SDCD do sistema de catacarb



Fonte: Fafen-Se (2016)

Anexo D – Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ)

		Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ	
PRODUTO: LUBRAX COMPOR AC (32, 46, 68, 100, 150 e 220).		Página 6 de 7	
Data: 31/01/2011		Nº FISPQ: BR0148_P	
Versão: 0.3P		Anula e substitui versão: todas anteriores	

9 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS						
Aspecto						
- Estado físico:	Líquido límpido e brilhante.					
- Cor:	Amarelado (graus 32 e 46), castanho claro (graus 68, 100 e 150) e castanho (grau 220).					
- Odor:	Característico de óleo lubrificante.					
pH:	Não se aplica (produto não dissociável).					
Temperaturas específicas						
- Ponto de ebulição:	Não se aplica.					
- Ponto de fusão:	Não se aplica.					
Ponto de fulgor (vaso aberto):	32	46	68	100	150	220
	228 °C	232 °C	246 °C	266 °C	274 °C	284 °C
Ponto de combustão:	> 250 °C.					
Limites de explosividade no ar:	Não se aplica (produto não inflamável).					
Pressão de vapor:	< 5 mmHg @ 20 °C.					
Densidade @ 20/4°C:	32	46	68	100	150	220
	0,8769	0,8817	0,8877	0,8896	0,8926	0,8979
Solubilidade						
- Na água:	Insolúvel.					
- Em solventes orgânicos:	Miscível em solventes de hidrocarbonetos.					
Ponto de fluidez:	32	46	68	100	150	220
	-33 °C	-33 °C	-27 °C	-21 °C	-18 °C	-18 °C
Viscosidade (cSt):	32	46	68	100	150	220
@ 40 °C:	34,2	44,1	64,0	97,1	143,3	210
@ 100 °C:	5,78	6,78	8,46	11,03	14,38	18,57

10 - ESTABILIDADE E REATIVIDADE	
Condições específicas	
Instabilidade:	Estável à temperatura ambiente e sob condições normais de uso.
Reações perigosas:	Reage exotermicamente quando em contato com oxidantes fortes. Aquecimento acima de 65 °C particularmente em presença de água poderá provocar liberação de pequenas quantidades de ácido sulfídrico (H ₂ S).
Materiais / substâncias incompatíveis:	Materiais fortemente oxidantes.
Produtos perigosos de decomposição:	Combustão normal gera essencialmente dióxido de carbono (CO ₂), vapor d'água e pequenas quantidades de óxidos de zinco (Zn), fósforo (P), nitrogênio (N) e enxofre (S). Combustão incompleta pode produzir monóxido de carbono (CO).

Fonte: Fafen-Se (2016)

Anexo E – Rotinas de operação

PE-5AS-00125									
Anexo A – Rotinas do Técnico de Operação Corporativo									
ROTINAS DE OPERAÇÃO PARA O TURNO DE 07h às 15h									
ITEM	TAREFAS	RESPONSÁVEL	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
01	TESTE DO APITO DE EMERGÊNCIA AS 1200min.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL			X				
02	INSPEÇÃO DO PANALARM DO PAINEL CENTRAL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL	X	X	X	X	X	X	X
03	TESTE DE ALARME DE BAIXA TIRAGEM NO 101-B E ABERTURA DAS PORTAS DE EMERGÊNCIA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL/REFORMA			X				
04	INSPEÇÃO NOS VISORES DE NÍVEL DE ÓLEO DO 101-BL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
05	COLOCAR O 2004-J EM OPERAÇÃO DURANTE 30 MINUTOS	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA			X				
06	BLOWDOWN NOS COLETORES DESTA DO 101-A	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
07	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS NOS FLANGES DA HARPA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA						X HARPA-7	
08	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS QUEIMADORES DA FILEIRA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA							X FILEIRA-8
09	TESTE DA ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA DA SALA DE CONTROLE.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA			X				
10	TESTE DE ABERTURA DA HCV-32.	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DO PAINEL/COMPRESSÃO				X 11:30min			
11	CHECAR E SE NECESSÁRIO ORGANIZAR AS MANGUEIRAS DA ÁREA	SUPERVISOR E DENAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO							X
12	INSPEÇÃO DE LIMPEZA DA ÁREA E SE NECESSÁRIO SOLICITAR PROVIDÊNCIAS.	SUPERVISOR E DENAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO	X				X		
13	INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DINÂMICOS - RUÍDO, VAZAMENTOS, TEMPERATURAS, VIBRAÇÃO, FUNCIONAMENTO DOS DESGASEIFICADORES 103-J, ESTANQUEIDADE DOS CHARUTOS DAS CÂMARCAS DAS TURBINAS	SUPERVISOR E DENAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO	X	X	X	X	X	X	X
14	VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE ANDAIMES ARMADOS DESNECESSARIAMENTE NA ÁREA	SUPERVISOR E DENAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO	X						
15	TESTAR CHUVEIROS DE EMERGÊNCIA E LAVA-OLHOS	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA	X	X	X	X	X	X	X
16	DRENAGEM DE CONDENSADO EM MANGAS E CONSÓLES	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA	X	X	X	X	X	X	X
17	REPOSIÇÃO DOS ESTOQUES DE MATERIAIS DE CONSUMO (CARTAS, FOLHAS DE LEITURA, BATERIAS, ETC...)	SUPERVISOR				X			
18	ORGANIZAR DOCUMENTAÇÃO INTERNA, DEVOLVENDO PARA O SETOR E OU PARA ARQUIVO	SUPERVISOR					X		
19	VERIFICAR NÍVEL DO 115-F E CASO ESTEJA CHEIO TRANSFERIR PARA O 114-F. MANTER TEMPERATURA DA SOLUÇÃO ACIMA DE 70°C NO 115-F	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA CATACARB	X	X	X	X	X	X	X

Anexo E – Rotinas de operação (Continuação)

PE-5AS-00125									
Anexo B – Rotinas do Técnico de Operação Corporativo									
ROTINAS DE OPERAÇÃO PARA O TURNO DE 15h às 23h									
ID#	TAREFAS	RESPONSÁVEL	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
01	INSPEÇÃO DO PANALARM PAINEL CENTRAL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL	X	X	X	X	X	X	X
02	INSPEÇÃO NOS VISORES DE NÍVEL DE ÓLEO DO 101-BL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
03	BLOW DOWN NO 102-C E 103-C.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
04	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS NOS FLANGES DA HARPA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X HARPA 1		X HARPA 2		X HARPA 3		
05	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS QUEIMADORES DA FILEIRA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA		X FILEIRA 1		X FILEIRA 2		X FILEIRA 3	X FILEIRA 7
06	INSPEÇÃO DE CHAMA 101-B / A NA ZONA DE RADIAÇÃO	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
07	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS DE BFW / VAPOR NO 101-F E LINHAS DE V-105	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA							X
08	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS DE BFW / VAPOR NO 101-CA/CB E 102-C.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X		X		X		
09	DRENAGEM DE CONDENSADO EM MANCAIS E CONSÓLES.	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA	X	X	X	X	X	X	X
10	INSPEÇÃO DE PASSAGEM EM VENTES E RV'S	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA							X
11	INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DINÂMICOS - RUÍDO, VAZAMENTOS, TEMPERATURAS, VIBRAÇÃO, FUNCIONAMENTO DOS DESGASEIFICADORES 103-J, ESTANQUEIDADE DOS CHARUTOS DAS CARÇAGAS DAS TURBINAS.	SUPERVISOR E DEMAIS TÉCNICOS OPERAÇÃO	X	X	X	X	X	X	X
12	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS DE GÁS NA SÍNTESE	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES		X				X	
13	VERIFICAÇÃO DE POSIÇÃO / PASSAGEM DAS VÁLVULAS DE RECÍCLO E VENTES DOS COMPRESSORES	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES							X
14	DRENAGENS DE CONDENSADO DO DESGASEIFICADOR DA SELAGEM DE ALTA DO 103-J.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES		X		X		X	
15	DRENAGEM DAS CARÇAGAS DAS GRANDES MÁQUINAS, VASOS DA REFRIGERAÇÃO, 118-F E CARÇAÇA DA 118-JUÁ QUE ESTIVER PARADA.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES		X		X		X	
16	INSPECIONAR REDE DE VENT'S SP-73/74/75 QUANTO A ENTRADA DE AR NOS REFERIDOS SISTEMAS (DRENOS/VENTS ABERTOS, DRENOS DE CORPOSEDE DE RV'S.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA/CATACARB/COMPRESSORES			X		X		
17	TESTAR INDICADORES DO 101-B/101-A	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA						X	

Fonte: Fafen-Se (2016)

Anexo E – Rotinas de operação (Continuação)

PE-5AS-00125 Anexo C – Rotinas do Técnico de Operação Corporativo ROTINAS DE OPERAÇÃO PARA O TURNO DE 23h às 07h									
ITEM	TAREFAS	RESPONSÁVEL	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
01	INSPEÇÃO DO MANEJO DO PAINEL CENTRAL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL	X	X	X	X	X	X	X
02	INSPEÇÃO NOS VISORES DE NÍVEL DE ÓLEO DO 101-BL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
03	BLOW DOWN 101-CACB E COLETOR SUL E NORTE DO 101-A.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
04	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS NOS FLANGES DA HARPA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X HARPA 4		X HARPA 5		X HARPA 6		
05	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS QUEIMADORES DA FILEIRA.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA		X FILEIRA 3		X FILEIRA 5		X FILEIRA 6	
06	INSPEÇÃO DE CHAMA 101-B / A NA ZONA DE RADIAÇÃO	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
07	INSPEÇÃO VAZAMENTOS DE BFW/VAPOR NO 101-F E LINHAS DE V-106.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA			X				
08	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS DE BFW/VAPOR NO 101-CACB E 102-C	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA		X		X		X	
09	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS DE GÁS NA REFORMA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X						
10	INSPEÇÃO DE PASSAGEM EM VÁLVULAS E RV'S	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA					X		
11	INSPECIONAR LED'S DAS VÁLVULAS MOTORIZADAS	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA CATACAB E COMPRESSÃO	X						
12	VERIFICAÇÃO DE POSIÇÃO / PASSAGEM DAS VÁLVULAS DE RECICLO E VENTES DOS COMPRESSORES	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DOS COMPRESSORES							X
13	DRENAGEM DE ÓLEO NOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO E SÍNTESE.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA COMPRESSÃO		X		X			X
14	COLETAR AMOSTRA DE AMÔNIA PRODUTO ENTRADA DO TQ-145001, TQ-38002 E 118-F.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA COMPRESSÃO	X		X		X		
15	INSPEÇÃO DOS PAINÉIS DE CAMPO	TODOS OS TÉCNICOS DA COMPRESSÃO		X		X		X	
16	INSPEÇÃO DE ILUMINAÇÃO DA UNIDADE	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA		X					
17	DRENAGEM DE CONDENSADO EM MANCAIS E CONSÓLES	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA	X	X	X	X	X	X	X
18	INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DINÂMICOS - RUÍDO, VAZAMENTOS, TEMPERATURAS, VIBRAÇÃO, ESTANQUEIDADE DOS CHARUTOS DAS CARCAÇAS DAS TURBINAS. FUNCIONAMENTO DOS DESGASEIFICADORES DO 103-L.	SUPERVISOR E DEMAIS OPERADORES	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Fafen-Se (2016)

Anexo F – Procedimento de partida das bombas 110-J



PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.
PETROBRAS



PE-5A S-00422-J

ANEXO J – PROCEDIMENTO DE PARTIDA DA 110-JC/ JCT

ITEM	DESCRIÇÃO	OK
1.	Normalizar o nível de óleo do console da 110-JLOM, governador da 110-JCT e dos copinhos dos mancais da 110-JC / 110-JCT.	
	PARTIDA DO SISTEMA AUXILIAR	
2.	Alinhar AGR para o resfriador na descarga da 110-JLOM;	
3.	Verificar no CCM se a gaveta está inserida no PN-129301 e colocar a 110-JLOM em operação;	
4.	Alinhar o bloqueio das linhas de óleo para os mancais da turbina e verificar as vazões de óleo nos visores de saída e nos copinhos;	
5.	Alinhar AGR de entrada e saída para os mancais da turbina;	
	BOMBA	
6.	Fechar o dreno e escorva da bomba;	
7.	Fechar o bloqueio de by-pass da retenção de descarga;	
8.	Certificar que o bloqueio da linha de transferência de solução para o 114-F está fechado	
9.	Certificar que o dreno da sucção está fechado;	
10.	Abriu o bloqueio de sucção da bomba;	
11.	Escovar e aquecer a bomba;	
12.	Abriu o bloqueio de descarga da bomba;	
13.	Alinhar a água para o selo da bomba e ajustar pressão em 1,5 Kgf/cm ² ;	
14.	Abriu linha de flushing para os P/s das sucções e descargas.	
15.	Alinhar PDCV-293169 e a respectiva tomada de referência (saída do 107-C)	
	TURBINA	
16.	Alinhar bloqueio de vapor de 38 Kgf/cm ² no pipe rack	
17.	Abriu os by-pass dos purgadores da turbina e das linhas de admissão e exausto;	
18.	Aquecer a linha de exausto da turbina;	
19.	Aquecer a linha de admissão da turbina;	
20.	Fechar os by-pass dos purgadores da turbina e das linhas de admissão e exausto e alinhá-los;	
21.	Aquecer a turbina abrindo lentamente o bloqueio de exausto até a saída do vapor seco pelo dreno;	
22.	Armar a alavanca de trip da corte rápido;	
23.	Abriu lentamente bloqueio de admissão da turbina e colocar o conjunto na rotação nominal;	
24.	Manter o conjunto em giro lento por cerca de 5 minutos;	
25.	Verificar o aumento de vazão no FI-293031 no campo;	
26.	Acompanhar temperaturas e vibrações dos mancais do conjunto.	

Anexo F – Procedimento de partida das bombas 110-J (Continuação)



PE-5AS-00422-J



ANEXO I – PROCEDIMENTO DE PARTIDA DA 110-JA/ JAT

ITEM	DESCRIÇÃO	OK
1.	Normalizar o nível de óleo do console da 110-JLOM, governador da 110-JA1 e dos copinhos dos mancais da 110-JA/ 110-JAT.	
	PARTIDA DO SISTEMA AUXILIAR	
2.	Alinhar AGR para o restritor na descarga da 110-JLOM;	
3.	Verificar no CCM se a gaveta esta inserida no PN-129301 e colocar a 110-JLOM em operação;	
4.	Alinhar o bloqueio das linhas de óleo para os mancais da turbina e verificar as vazoes de óleo nos visores de saída e nos copinhos;	
5.	Alinhar AGR de entrada e saída para os mancais da turbina;	
	BOMBA	
6.	Fechar o dreno e escorva da bomba;	
7.	Fechar o bloqueio de by-pass da retenção de descarga;	
8.	Certificar que o dreno da sucção esta fechado;	
9.	Abnr o bloqueio de sucção da bomba;	
10.	Escovar e aquecer a bomba;	
11.	Abnr o bloqueio de descarga da bomba;	
12.	Alinhar a agua para o selo da bomba e ajustar pressao em 1,5 Kgf/cm ² ;	
13.	Abnr linha de flushing para os PLS das sucções e descargas.	
14.	Alinhar PDCV-293169 e a respectiva tomada de referencia (saida do 107-C)	
	TURBINA	
15.	Abnr bloqueio de vapor de 38 kgf/cm ² no pipe rack	
16.	Abnr os by-pass dos purgadores da turbina e das linhas de admissao e exausto;	
17.	Aquecer a linha de exausto da turbina;	
18.	Aquecer a linha de admissao da turbina;	
19.	Fechar os by-pass dos purgadores da turbina e das linhas de admissao e exausto e alinha-los;	
20.	Aquecer a turbina abrindo lentamente o bloqueio de exausto ate a saida do vapor seco pelo dreno;	
21.	Armar a alavanca de trip da corte rapido;	
22.	Abnr lentamente bloqueio de admissao da turbina e colocar o conjunto na rotaçao nominal;	
23.	Manter o conjunto em giro lento por cerca de 5 minutos;	
24.	Verificar o aumento de vazao no FI-293031 no campo;	
25.	Acompanhar temperaturas e vibraçoes dos mancais do conjunto.	

Anexo F – Procedimento de partida das bombas 110-J (Continuação)



PE-5AS-00422-J

ANEXO H – PROCEDIMENTO DE PARTIDA DA 110-JB/ JBM

ITEM	DESCRIÇÃO	OK
1.	Verificar os níveis de óleo no copinho e nos visores do motor;	
	BOMBA	
2.	Certificar que o dreno, ponto de amostra e escorva da bomba e estão fechados;	
3.	Certificar que o bloqueio de by-pass da retenção de descarga está fechado;	
4.	Certificar que o bloqueio da descarga para o 114-F está fechado;	
5.	Certificar que o dreno da linha de sucção está fechado;	
6.	Abrir o bloqueio de sucção da bomba;	
7.	Escovar e aquecer a bomba;	
8.	Alinhar a água para o selo da bomba e ajustar pressão em 1,5 Kgf/cm ² ;	
9.	Abrir o bloqueio de descarga da bomba;	
10.	Abrir a linha de flushing dos P1s da sucção e descarga;	
	MOTOR	
11.	Solicitar liberação de motor pela TEU.	
12.	Acionar o motor pela PB de campo e acompanhar a vazão pelo FI-293031.	

Anexo G – Rotinas operacionais (7 h às 15 h)

PE-5AS-00125 Anexo A – Rotinas do Técnico de Operação Corporativo

ROTINAS DE OPERAÇÃO PARA O TURNO DE 07h às 15h

ITEM	TAREFAS	RESPONSÁVEL	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
01	TESTE DO APTO DE EMERGÊNCIA AS 1200min.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL			X				
02	INSPEÇÃO DO PANALARM DO PAINEL CENTRAL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL	X	X	X	X	X	X	X
03	TESTE DE ALARME DE BADA TIRAGEM NO 101-B,,E ABERTURA DAS PORTAS DE EMERGÊNCIA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DO PAINEL/REFORMA			X				
04	INSPEÇÃO NOS VISORES DE NÍVEL DE ÓLEO DO,,101-BL	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
05	COLOCAR O 2004-J EM OPERAÇÃO DURANTE 30 MINUTOS	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA			X				
06	BLOWDOWN NOS COLETORES OESTE DO 101-A	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA	X	X	X	X	X	X	X
07	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS NOS FLANGES DA HARPA	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA						X HARPA-7	
08	INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS QUEIMADORES DA FILEIRA,,,	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA							X FILEIRA-8
09	TESTE DA ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA DA SALA DE CONTROLE.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA REFORMA			X				
10	TESTE DE ABERTURA DA HICV-22.	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DO PAINEL/COMPRESSÃO				X Dilmes			
11	CHECAR E SE NECESSÁRIO ORGANIZAR AS MANGUEIRAS DA ÁREA	SUPERVISOR E DEMAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO							X
12	INSPEÇÃO DE LIMPEZA DA ÁREA E SE NECESSÁRIO SOLICITAR PROVIDÊNCIAS.	SUPERVISOR E DEMAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO	X				X		
13	INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DINÂMICOS - RUÍDO, VAZAMENTOS, TEMPERATURAS, VIBRAÇÃO, FUNCIONAMENTO DOS DESGASEIFICADORES 103-J, ESTANQUEIDADE DOS CHARUTOS DAS CARÇAS DAS TURBINAS.	SUPERVISOR E DEMAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO	X	X	X	X	X	X	X
14	VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE ANDAIMES ARMADOS DESNECESSARIAMENTE NA ÁREA	SUPERVISOR E DEMAIS TÉCNICOS DE OPERAÇÃO	X						
15	TESTAR CHUIVEIROS DE EMERGÊNCIA E LAVA-OLHOS	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA	X	X	X	X	X	X	X
16	DRENAGEM DE CONDENSADO EM MANCAIS E CONSOLES	TÉCNICOS DE OPERAÇÃO DE ÁREA	X	X	X	X	X	X	X
17	REPOSIÇÃO DOS ESTOQUES DE MATERIAIS DE CONSUMO (CARTAS, FOLHAS DE LEITURA, BATERIAS,,ETC,,)	SUPERVISOR				X			
18	ORGANIZAR DOCUMENTAÇÃO INTERNA, DEVOLVENDO PARA O SETOR E OU PARA ARQUIVO	SUPERVISOR					X		
19	VERIFICAR NÍVEL DO 115-F E CASO ESTEJA CHEIO TRANSFERIR PARA O 114-F. MANTER TEMPERATURA DA SOLUÇÃO ACIMA DE 70°C NO 115-E.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA CATACARB	X	X	X	X	X	X	X
20	INSPEÇÃO DOS GOVERNADORES DAS TURBINAS DOS EQUIPAMENTOS DINÂMICOS: NÍVEL DO ÓLEO, PRESENÇA DE CONDESANDO E IMPUREZAS.	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA CATACARB	X	X	X	X	X	X	X