

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA À MANUTENÇÃO

WILSON ANTUNES JUNIOR

**Análise da Troca do Selo Mecânico pelo Selo Cartucho das Bombas
Centrífugas B-3222 ABCD do Sistema de Venda e Recirculação de
Escuros**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Curitiba
2012

WILSON ANTUNES JUNIOR

Análise da Troca do Selo Mecânico pelo Selo Cartucho das Bombas Centrí fugas B-3222 ABCD do Sistema de Venda e Recirculação de Escuros

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

Co-orientador: Consultor em Confiabilidade Sr. Cid Augusto de Castro Costa

Curitiba
2012

Análise da Troca do Selo Mecânico pelo Selo Cartucho das Bombas Centrí fugas B-3222 ABCD do Sistema de Venda e Recirculação de Escuros

WILSON ANTUNES JUNIOR

Esta monografia foi julgada adequada para obtenção do título de Especialista em Confiabilidade Aplicada a Manutenção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 09 de novembro de 2012.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.Eng.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

Consultor Cid Augusto de Castro Costa
Co-orientador

Prof. xxxxxxxxxxxxxxxx

Prof. xxxxxxxxxxxxxxxx

Toda etapa vencida é feita para ser compartilhada, e desta forma divido o prazer da conclusão deste trabalho com minha esposa e filhos que por muitos momentos permitiram minha ausência momentânea da vida familiar para que eu pudesse me dedicar aos estudos e levantamentos de dados.

Aos meus pais que sempre propiciaram as condições para que eu pudesse estudar e me dedicar a minha vocação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Emerson Rigoni pelo apoio na orientação deste trabalho e paciência em sanar as dúvidas ao longo dos estudos.

Agradeço também ao consultor Cid da ReliaSoft pelo apoio direto no saneamento de dúvidas referente as análises de confiabilidade e utilização dos aplicativos de confiabilidade.

Aos profissionais da REPAR (manutenção, engenharia, transferência e estocagem e Otimização) que dedicaram parte de suas escassas horas de disponibilidade para discutir e avaliar conjuntamente os sistemas instalados, pois sem este apoio seria extremamente difícil iniciar a pesquisa.

Agradeço aos professores da Especialização em Confiabilidade da UTFPR e aos consultores da ReliaSoft que proporcionaram a troca de experiências e dentro da possibilidade de cada um contribuíram para o sucesso desta primeira turma do curso.

Ou você se compromete com o objetivo da vitória, ou não. (SENNÁ, 1991).

RESUMO

ANTUNES JUNIOR, Wilson. **Análise da Troca do Selo Mecânico pelo Selo Cartucho das Bombas Centrífugas B-3222 ABCD do Sistema de Venda e Recirculação de Escuros**. 2012. 72 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Esta é uma pesquisa aplicada de campo que avaliou a modificação do sistema de selagem em bomba centrífuga. A modificação efetuada foi a troca de selo mecânico para selo cartucho e teste com gaxeta. É apresentado os dados de falhas, as curvas características de confiabilidade e alguns conceitos referente a selagem de bombas. A pesquisa mostrou que a troca do sistema de selagem trouxe ganhos, mas que deve ser muito criterioso nas alterações dos equipamentos, pois as mudanças podem não proporcionar grandes ganhos tanto de disponibilidade quanto de custos. Os principais métodos de análise adotados foram o levantamento do histórico de falhas, análise do gráfico de probabilidade de falha e simulação por diagrama de blocos.

Palavras-chave: Selagem. Gaxeta. Selo Mecânico. Selo Cartucho. Bomba Centrífuga.

ABSTRACT

ANTUNES JUNIOR, Wilson. **Analysis of Changing the type of Sealing Centrifugal Pumps B-3222 ABCD System Sale of recirculation Dark Oil.** 2012. 72 f. Monograph (Specialization in Engineering Reliability Applied to Maintenance) - Academic Department of Electrical Engineering, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2012.

This is a research field applied evaluating the modification of the sealing system in the centrifugal pump. The change made was the replacement for mechanical seal to cartridge seal and gasket test. It presented the failures data, the curves of reliability and some concepts concerning the sealing of pumps. Research has shown that changing the sealing system brought gains, but it must be very careful in the changes of equipment, because the changes may not provide large gains both availability and costs. The main analysis methods used were the lifting of the fault history, probability fault plot analysis and simulation block diagram.

Keywords: Sealing. Gasket. Mechanical Seal. Cartridge Seal. Centrifugal Pump.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico da densidade de probabilidade Weibull com β conhecidos.....	39
Gráfico 2 - Gráfico da densidade de probabilidade Weibull com β fixo	40
Gráfico 3 - Diagrama de Pareto dos Modos de Falhas das Bombas B-3222ABCD.	43
Gráfico 4 - PDF dos Selos da B-3222A.....	50
Gráfico 5 - PDF dos Selos da B-3222B e teste com Gaxeta	51
Gráfico 6 - PDF dos Selos da B-3222C.....	51
Gráfico 7 - PDF dos Selos da B-3222D.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico de Falhas da B-3222A	46
Tabela 2 - Histórico de Falhas da B-3222B	47
Tabela 3 - Histórico de Falhas da B-3222C	48
Tabela 4 - Histórico de Falhas da B-3222D	49
Tabela 5 - Confiabilidade das bombas B-3222ABCD	53
Tabela 6 - MTTF das bombas B-3222ABCD	54
Tabela 7 - Disponibilidade das bombas B-3222ABCD com selo cartucho	55
Tabela 8 - Disponibilidade das bombas B-3222ABCD com selo mecânico	55
Tabela 9 - Custos de manutenção simulados para 20 anos com selo cartucho.....	56
Tabela 10 - Custos de manutenção simulados para 20 anos com selo mecânico ..	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Dados de projeto das bombas B3222-ABCD.....	23
Quadro 2- Produtos bombeados pelo Sistema.....	24
Quadro 3- Distribuições de confiabilidade e suas funções	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia Logística da REPAR.....	16
Figura 2 - Imagem do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) das B-3222AB	24
Figura 3 - Imagem do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) das B-3222CD.....	25
Figura 4 - Classificação das bombas industriais	26
Figura 5 - Rotor de dupla sucção de bomba centrífuga	27
Figura 6 - Carcaça com Descarga fora de linha de centro	28
Figura 7 - Eixo de bomba horizontal	28
Figura 8 - Mancal radial bipartido de deslizamento.....	29
Figura 9 - Mancais de rolamento da bomba centrífuga bi-partida	29
Figura 10 - Sistema de selagem em corte	31
Figura 11 - Eixo de bomba horizontal	31
Figura 12 - Relações básicas entre as principais distribuições estatísticas para análise de confiabilidade	37
Figura 13 - Arranjos Típicos de Sistemas	41
Figura 14 - Arranjo do Sistema em Estudo	42
Figura 15 - Imagem do Aplicativo GMCC	63

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

SIGLA	DESCRIÇÃO
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
AICHE	American Institute of Chemical Engineers
API	American Petroleum Institute
CCPS	Center of Chemical Process Safety
GMCC	Grupo de Melhoria Contínua de Confiabilidade
GT	Grupo de Trabalho
MTTF	Mean Time To Failures
OREDA	Offshore Reliability Data
PDF	Probability Density Function – Função Densidade de Probabilidade
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SIC	Simpósio Internacional de Confiabilidade
SINPEP	Sistema Integrado de Padronização Eletrônica da Petrobras
TMF	Tempo Médio Para Falhar

LISTA DE SIMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
β	BETA – Para o gráfico de Weibull equivale ao parâmetro de forma
η	ETA – Para o gráfico de Weibull equivale a vida característica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 TEMA.....	15
1.1.1 Delimitação do Tema	16
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.4 JUSTIFICATIVA.....	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO	19
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 ANÁLISE DO SISTEMA E CONCEITUAÇÃO	20
2.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	20
2.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	20
2.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	23
2.4 DEFINIÇÃO DE BOMBAS	25
2.5 SISTEMA DE SELAGEM	30
3 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE	33
3.1 CONCEITOS DE CONFIABILIDADE	33
3.2 CONCEITOS DE FALHA	34
3.3 PRINCIPAIS DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS	35
3.4 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL	38
3.5 SISTEMAS.....	41
4 HISTÓRICO DE FALHAS E METODOLOGIA	43
4.1 ANÁLISE DAS FALHAS RECORRENTES.....	43
4.2 HISTÓRICO DE FALHAS	44
5 COMPARAÇÕES E RESULTADOS	50
5.1 COMPARAÇÃO GRÁFICA DAS PDF's DOS SELOS	50
5.2 COMPARAÇÃO COM PADRÕES INTERNOS E INTERNACIONAIS	52
5.3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE	55
5.4 ANÁLISE DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO	56
6 CONCLUSÕES	57
6.1 PROPOSTA DE ESTUDOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58
ANEXOS	63
ANEXO A – APLICATIVO GMCC	63
ANEXO B – PADRÃO REPAR-PG-5AR-00014-M	66
ANEXO C – DE-295-RE-3000-0-20-53 - FLUXOGRAMA DOS SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL.....	72

1 INTRODUÇÃO

O primeiro capítulo desta monografia irá definir o tema, os problemas e premissas que levaram a este estudo, quais os objetivos e justificativa para a realização deste, os procedimentos e métodos adotados durante o levantamento de dados e a análise dos mesmos, o embasamento teórico assim como a sua estrutura.

1.1 TEMA

O presente trabalho apresenta uma análise das condições operacionais da bomba centrífuga B-3222 ABCD da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR) cuja função principal é efetuar a venda de escuros e secundariamente recircular o produto para homogeneização.

A REPAR – Refinaria Presidente Getúlio Vargas está localizada no município de Araucária e é responsável pelo abastecimento do Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e parte do interior de São Paulo e ainda exporta para o Paraguai. Sua área de abrangência atende a cerca de 15 milhões de pessoas e cerca de 3500 postos combustíveis. A figura 1 mostra o mapa simplificado da área de abrangência da REPAR.

Com a importância desta unidade para o sistema de abastecimento nacional surge a necessidade de manter a disponibilidade de equipamentos cada vez maior. Sendo assim, foi proposta a análise de um dos sistemas de venda que impactam o mercado e que possuem taxas de falhas altas para os padrões da refinaria.



Figura 1 - Cadeia Logística da REPAR
Fonte: Petrobras (2012c).

1.1.1 Delimitação do Tema

O foco principal será o de analisar se a troca do sistema de selagem, de selo mecânico para selo cartucho, trouxe melhorias para o conjunto.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Durante anos a manutenção de equipamentos da refinaria trabalhou efetuando reparos no sistema de selagem, mas a equipe não estava satisfeita, pois eram inúmeras as intervenções efetuadas nas quatro bombas gerando grande volume de trabalho e custos. No final da década de 90 e início dos anos 2000 a equipe decidiu efetuar a troca do sistema de selagem de forma gradativa, e assim foi feito conforme pode ser verificado nas pastas de documentos da equipe de

manutenção de equipamentos dinâmicos (PETROBRAS, 2012c). O problema é que não se tem certeza de que esta mudança trouxe benefícios, pois o sistema continua tendo muitas intervenções e altos custos conforme pode ser observado nos comentários do aplicativo de Gestão de Melhoria Continua de Confiabilidade que se encontra no anexo 01 (PETROBRAS, 2012a).

Uma questão importante é que em uma refinaria a mão de obra é escassa e extremamente cara, conforme Pinto (2001), a manutenção possui custos globais altos, e no passado o desempenho da equipe era baixa. Além dos custos, a indisponibilidade de equipamentos para o sistema é prejudicial. Quando se fala de sistema de venda, o risco é não conseguir efetuar o bombeio para o cliente, impactando o mercado e diretamente a imagem da empresa.

Outro problema que deve ser analisado é a questão dos riscos. Conforme cita Lafraia (2001) um grande número de intervenções em equipamentos geram riscos operacionais, e uma unidade petroquímica não deve conviver confortavelmente com estes riscos, necessitando minimizá-los.

Deve-se verificar ainda que a refinaria possui um padrão interno (Sistema Integrado de Padronização Eletrônica da Petrobras - SINPEP) que informa o Tempo Médio para Falhar (TMF – do Inglês *Mean Time To Failures* – *MTTF*) mínimo para equipamentos dinâmicos é de 25000 horas (cerca de 1040 dias) conforme padrão interno da REPAR (REPAR - SINPEP número REPAR-PG-5AR-00014-M, 2012, item 6.1), padrão este que, pelo levantamento de falhas realizado, os equipamentos não estavam conseguindo cumprir em sua plenitude (PETROBRAS, 2012c).

1.3 OBJETIVOS

Esta monografia tem o objetivo de analisar as falhas do sistema de bombeio e circulação de escuros da REPAR de modo a verificar a relevância da troca do sistema de selagem, verificando assim se esta alteração promoveu diminuição de custos de manutenção e aumento de disponibilidade para o sistema.

1.4 JUSTIFICATIVA

Durante anos estas bombas vêm sendo tema de discussão nas reuniões do Grupo de Melhoria Contínua de Confiabilidade (GMCC) e de Grupos de Trabalho (GT's) dentro da refinaria. Por ser o GMCC coordenado de forma geral pela equipe de confiabilidade, este se tornou um estudo a ser efetuado por esta equipe.

Com a análise dos dados, o grupo de manutenção poderá constatar se houve ganho real na troca do sistema de selagem. Esta análise é importante pois a equipe de manutenção não está satisfeita com os resultados atuais mas não possui embasamento sobre o efetivo resultado, apenas continua achando que existe um número alto de intervenções.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta é uma pesquisa aplicada (OCDE, 2002) no qual deseja-se fundamentalmente verificar se as alterações implementadas na selagem das bombas trouxeram de fato ganhos em disponibilidade e redução de custos. Por isso o propósito macro de pesquisa é explicativo.

A coleta de dados das intervenções é fundamentalmente de campo, porém existe no trabalho a pesquisa de dados bibliográficos para efeito de comparação dos tempos de falhas. Sendo assim, o levantamento de dados de campo, foi efetuado em duas fontes, a pasta de arquivos dos equipamentos (2012), que encontra-se no departamento de manutenção, e é atualizada a cada intervenção efetuada no equipamento. Outra fonte utilizada foi o sistema SAP (2012). Este recurso forneceu os custos de manutenção.

Para os cálculos e simulações dos estudos de confiabilidade e análises estatísticas serão adotados os softwares da Reliasoft (Weibull 7++ e BlockSim 7).

Os dados de falhas serão analisados através do gráfico de Weibull, pois é o mais recomendável para falhas de equipamentos (PALLEROSI, 2006).

Estes procedimentos serão explorados no capítulo quatro

1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para a utilização dos softwares citados no item 1.5, serão utilizados os manuais do Weibull 7++ (RELIASOFT, 2005) e do BlockSim (RELIASOFT, 2007).

Como referência para a análise estatística dos gráficos de Weibull Será utilizado Pallerosi (2006).

Para a análise dos dados de disponibilidade, será adotado o OREDA (2002, 2009) e Software BICycle OREDA (2010).

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo um apresenta uma introdução ao estudo delimitando a abrangência do mesmo, além de apresentar de forma sucinta o tema, objetivos, justificativa e procedimentos que serão adotados.

O segundo capítulo apresentará o sistema produtivo envolvido na análise do trabalho, uma conceituação de bombas e sistemas de selagem.

No terceiro capítulo serão apresentados conceitos de engenharia de confiabilidade e particularmente os conceitos referentes a distribuição de Weibull.

O quarto capítulo mostrará o histórico de falhas dos equipamentos em estudo e será explorada a metodologia de análise e comparação dos dados obtidos com os valores de referências internacionais.

Os resultados serão apresentados no quinto capítulo.

O sexto capítulo trará as conclusões do trabalho e proposta de trabalhos futuros.

2 ANÁLISE DO SISTEMA E CONCEITUAÇÃO

Neste capítulo será apresentado o sistema no qual está inserido as bombas que são objetos da análise. Será mostrado ainda uma breve conceituação sobre bombas.

2.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema é composto por tanques de produtos escuros (óleo) bombas para efetuar a circulação de modo a homogeneizar o óleo neles contidos. Com a homogeneização, o óleo pode ser vendido pelo sistema de dutos para clientes.

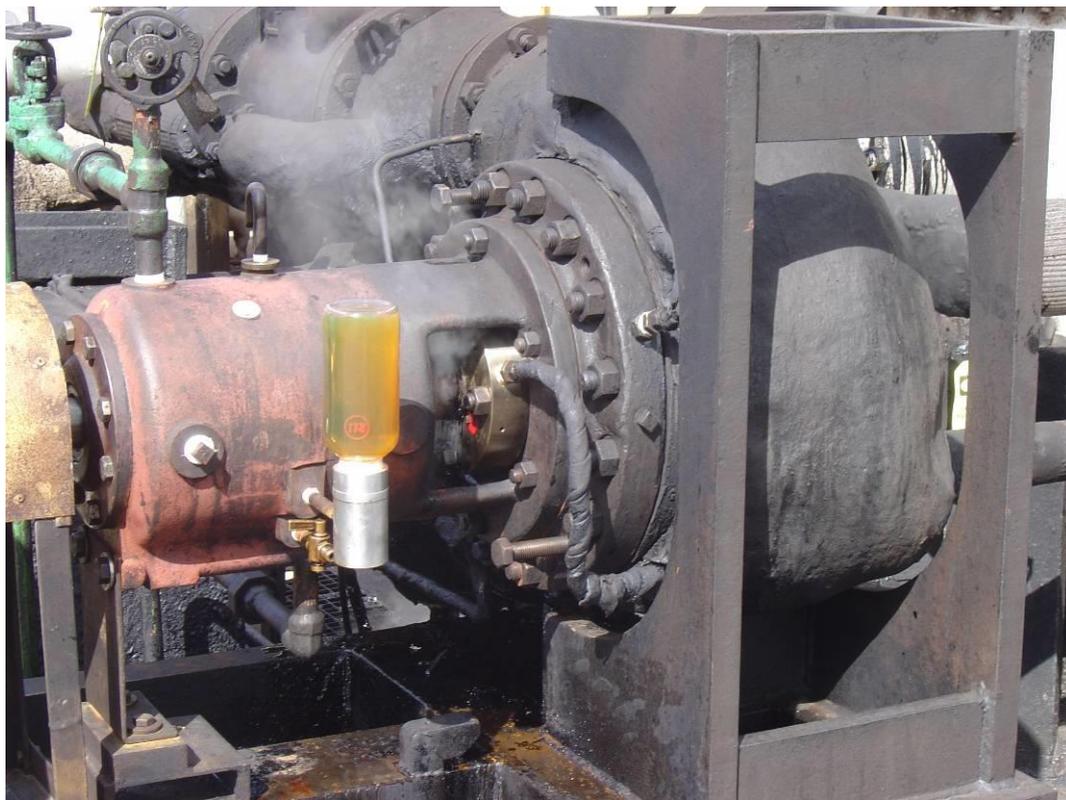
2.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O sistema é composto por quatro bombas centrífugas API (American Petroleum Institute) de dupla voluta. O sistema atual possui selo tipo cartucho e selagem com o próprio produto. O acionamento das bombas é efetuado por motores de 250 CV de potência 2400V com 3500 rpm a 60Hz. A fotografia 1 mostra as instalações das bombas e o *lay out* das mesmas.

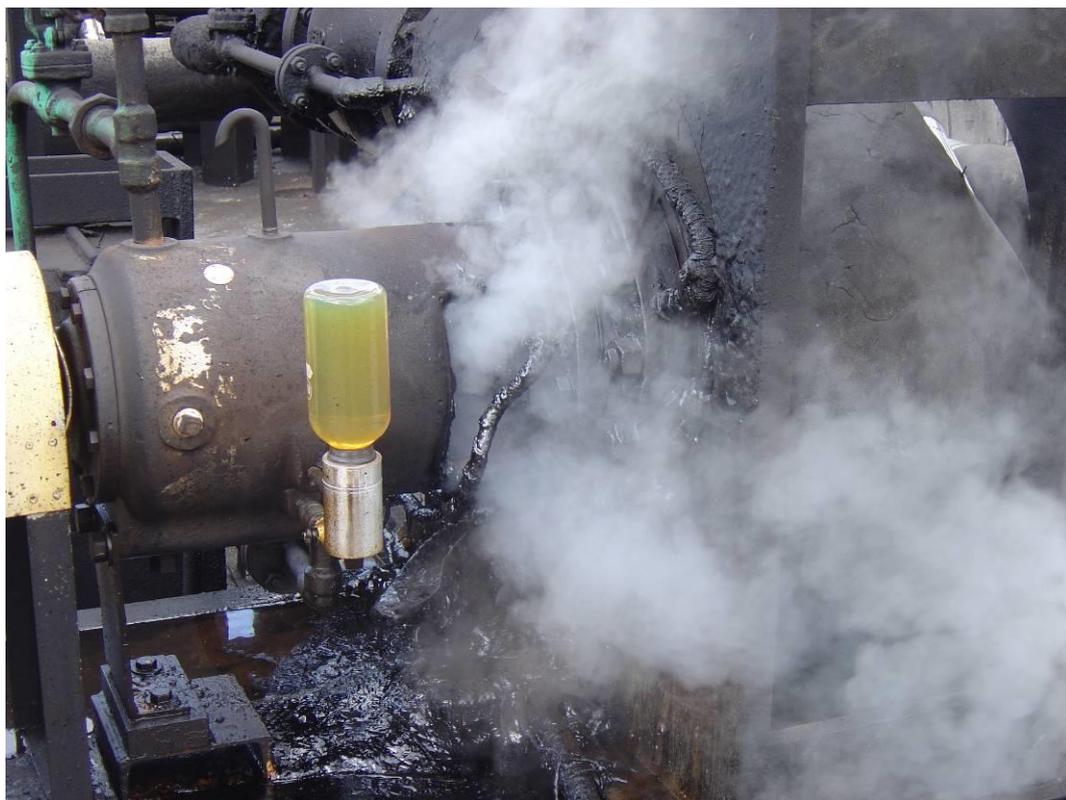


Fotografia 1 - Bombas B-3222 ABCD
Fonte: Autoria própria (2012).

Pela fotografia 1 é possível verificar que existem manchas de óleo que são características de vazamentos pelos selos. As fotografias 2 e 3 mostrarão a selagem de duas das bombas instaladas. A bomba “A” (fotografia 2) que retornou a operação poucos dias antes da fotografia e a bomba “C” (Fotografia 3) que já estava em operação a mais tempo.



Fotografia 2 - Bomba B-3222 A
Fonte: Autoria própria (2012).



Fotografia 3 - Bombas B-3222 C
Fonte: Autoria própria (2012).

Pelas fotografias 2 e 3 pode-se perceber o efeito do tempo de operação em relação a quantidade de produto vazado. Esta questão é importante pois o controle de emissões é rigoroso em uma refinaria. Percebe-se que a bomba “C” que estava em operação a mais tempo possui um volume grande de resíduo vazado. Isto mostra que o selo já está com pequeno desgaste e que dentro em breve será necessário a sua substituição conforme citam os especialistas da manutenção da refinaria.

2.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O sistema foi concebido de forma a permitir vários tipos de alinhamentos para circulação de tanques, de modo a permitir a homogeneização do produto, e alinhamentos para venda. O produto bombeado sempre será o óleo combustível, porém com uma ampla faixa de viscosidade.

Durante o início da operação de circulação, o produto bombeado é mais viscoso e vai afinando com as misturas que são efetuadas para especificar o produto a ser vendido. Este início de bombeio é o mais crítico para o sistema. No passado foi instalado um viscosímetro para ser efetuado o acompanhamento do produto que circulava pela bomba, mas foi retirado pois o equipamento não se mostrou confiável (SUCHEK et al., 2010). Os quadros 1 e 2 mostram os dados de projeto da bomba e os dados apresentados pela operação referente aos produtos que são bombeados por este sistema.

Produto	Óleo combustível
Viscosidade	120 cSt a 80 °C
Vazão	260 m ³ /h
BEP	280 m ³ /h
Temperatura	80 °C a 120 °C
NPSH Disponível	3,2 m
Head	137 m
Selagem	Tipo: “PUSHER 3”
Flush	Plano 12

Quadro 1- Dados de projeto das bombas B3222-ABCD
 Fonte: Tokikawa (2007).

Produto	MF-380 "BUNKER"	OC-1A	OC-3A	RASF
Viscosidade [cSt a 80°C]	100	200	320	4000
Vazão máxima [m³/h]	350	350	350	350
Temperatura [°C]	84	97	97	84
NPSH Disponível[m]	9,97	8,18	4,79	2,48
NPSH Requerido[m]	5	4,8	3,1	2
Head[m]	117	120	137	170

Quadro 2- Produtos bombeados pelo Sistema
Fonte: Tokikawa (2007).

Os dados mostram que a bomba trabalha em alguns casos bem fora o ponto de projeto de especificação da bomba e isto acarreta aquecimentos e vibrações indesejadas.

Todo o processo é acompanhado pelo operador de painel que monitora o sistema pelo SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído). As figuras 2 e 3 mostram as telas do sistema SDCD.

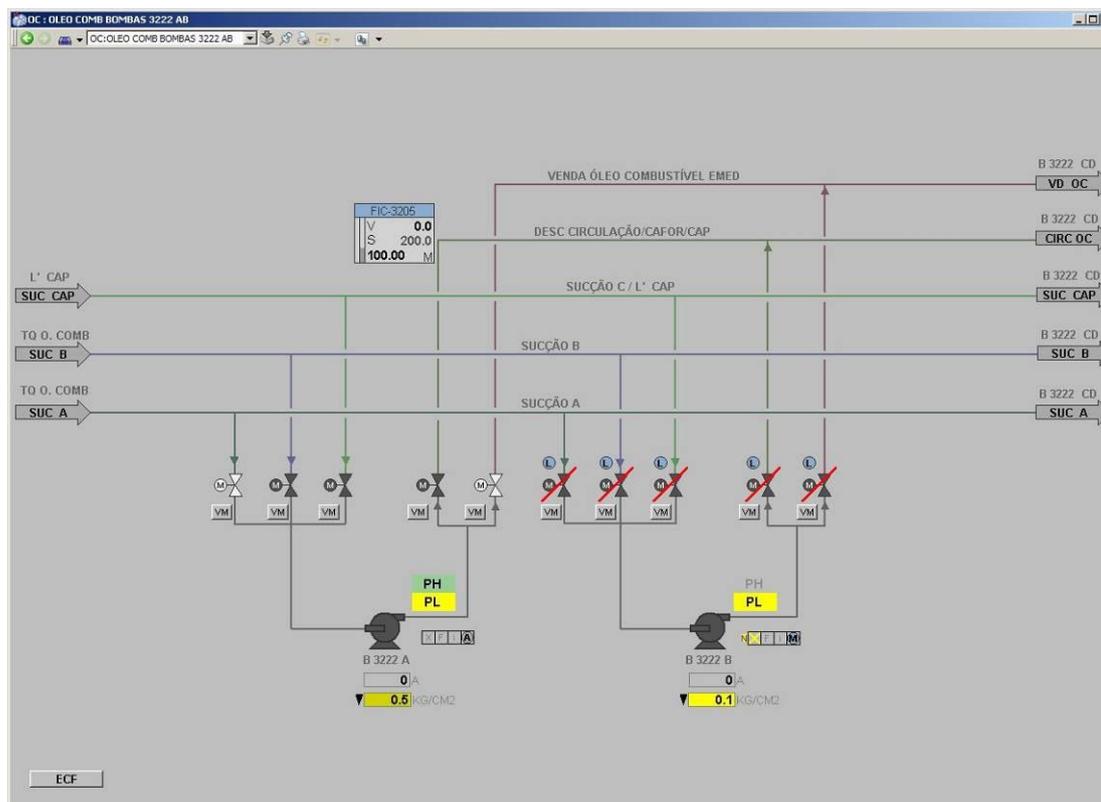


Figura 2 - Imagem do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) das B-3222AB
Fonte: Documentos Internos REPAR (2012).

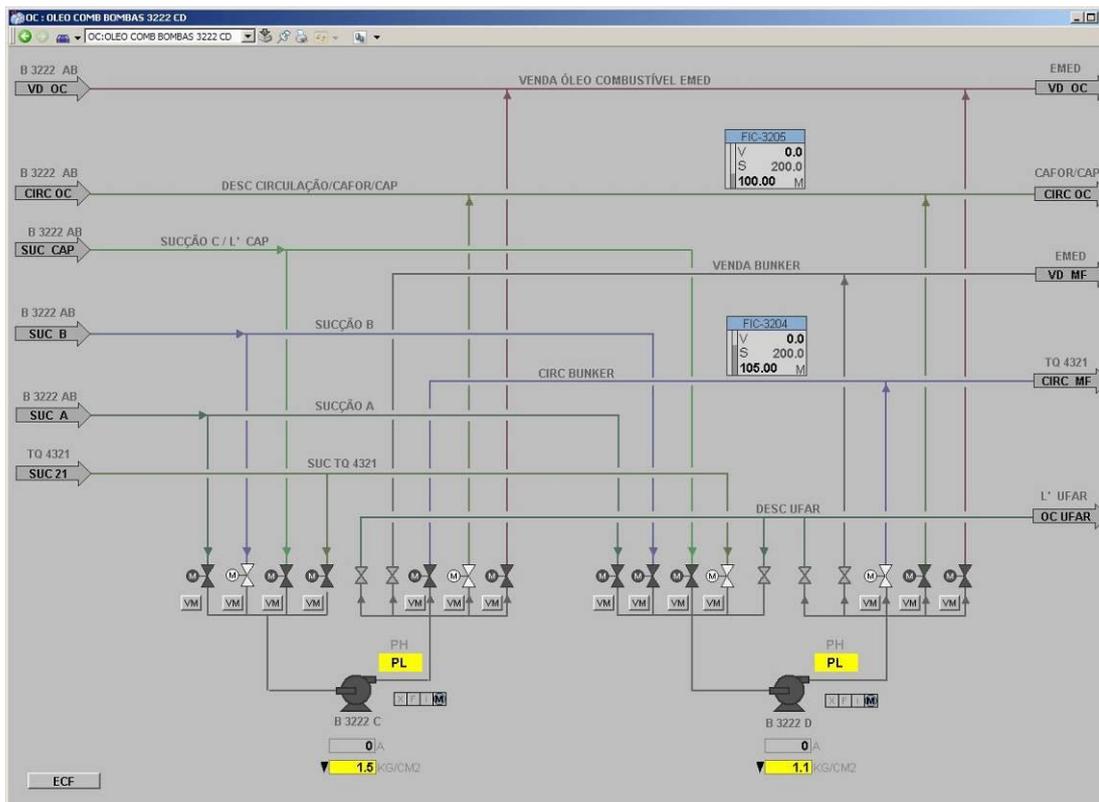


Figura 3 - Imagem do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) das B-3222CD

Fonte: **Documentos Internos REPAR (2012).**

Através das figuras 2 e 3 é possível perceber o grande número de alinhamentos disponíveis, sendo que alguns deles são possíveis de serem executados apenas pelas bombas AB e outros pelas bombas CD.

O fluxograma do sistema encontra-se no anexo C (DE-295-RE-3000-0-20-53 - Fluxograma dos Sistemas de Transferência Óleo Combustível).

Como o sistema depende do funcionamento das bombas para operar faremos uma breve conceituação de bombas.

2.4 DEFINIÇÃO DE BOMBAS

Conforme Lima (2003) bomba é um equipamento que transforma energia mecânica em energia cinética e de pressão. Esta energia tem o objetivo de escoar o fluido pela tubulação a uma dada velocidade e pressão. Equipamento de alta flexibilidade operacional vem proporcionando seu emprego em larga escala.

As bombas podem ser acionadas por motores elétricos, transformando esta energia em mecânica ou por turbinas dependendo da disponibilidade de vapor (MATTOS; FALCO, 1998; PACHOLOK, 2002; LIMA, 2003).

As bombas são classificadas como centrífugas ou de deslocamentos positivo. A figura 4 desmembra esta classificação de modo a facilitar a visualização desta gama de possibilidade de configuração de bombas.

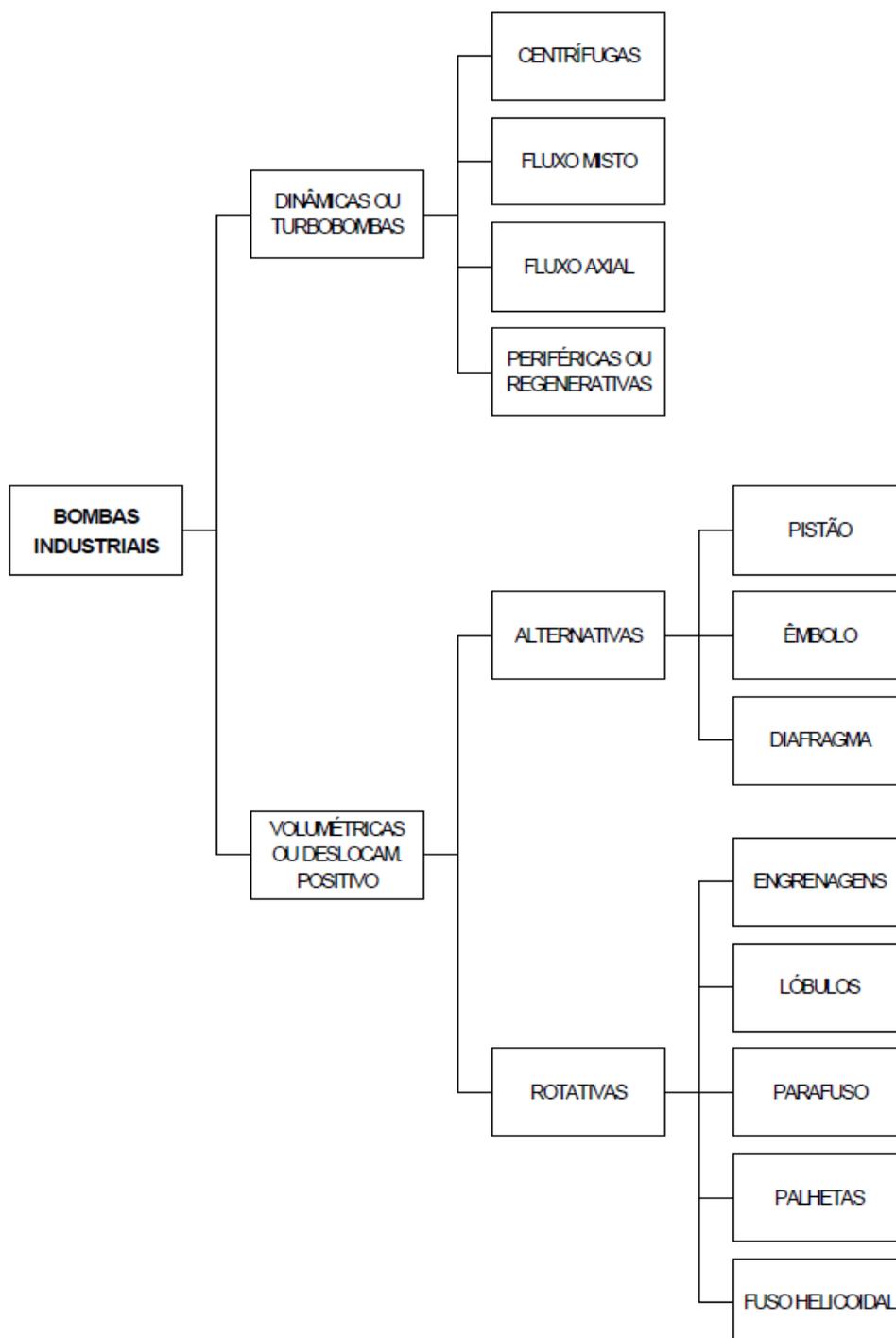


Figura 4 - Classificação das bombas industriais
Fonte: Pacholok (2002).

A bomba que está em análise neste estudo é classificada como turbobomba, centrífuga.

Como o projeto explora em sua essência as falhas do sistema de selagem das bombas, será explanado especificamente o sistema de selagem no item 2.5.

Bombas são sistemas que possuem vários componentes como rotores, carcaça, eixos, sistema de vedação e mancais. Estes itens serão explanados de forma simplificada.

O rotor é o componente responsável por imprimir movimento ao fluido. Este movimento gera uma força centrífuga (energia cinética) que através da forma construtiva da bomba (carcaça) transforma esta energia de cinética para potencial aplicando assim a energia necessária para o fluido se deslocar com pressão a uma determinada altura (LIMA, 2003). A figura 5 mostra um rotor de dupla sucção.

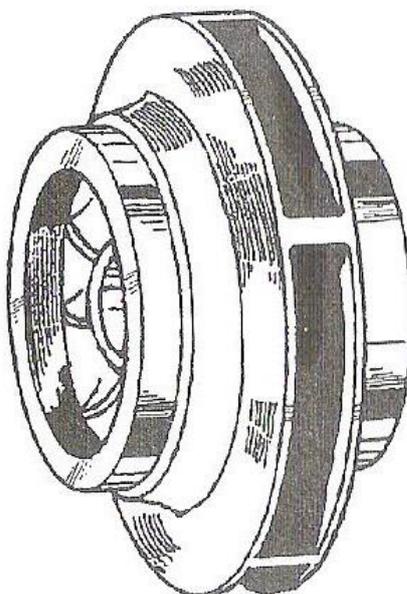


Figura 5 - Rotor de dupla sucção de bomba centrífuga
Fonte: Lima (2003).

O rotor mostrado na figura 5 é similar ao da bomba analisada neste projeto.

A carcaça é outro componente da bomba e é nele que a energia gerada pelo rotor (energia cinética) é transformada em energia de pressão (energia potencial). A carcaça tem ainda a função de condução do fluido até o bocal (LIMA, 2003). As carcaças possuem os bocais de sucção e descarga. A figura 6 mostra um modelo de carcaça.

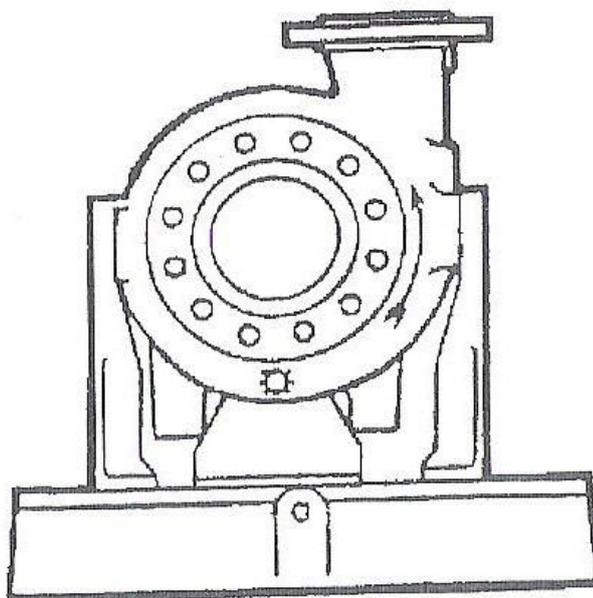


Figura 6 - Carcaça com Descarga fora de linha de centro
Fonte: Lima (2003).

A figura 6 mostra de forma simplificada a configuração de uma carcaça com descarga fora da linha de centro. Esta configuração é a mesma da bomba analisada.

Conforme Lima (2003) eixo é um componente indispensável para as bombas. A função principal do eixo é o de transmitir movimento de rotação advindo da máquina geradora de movimento para o rotor. O eixo pode ser uma peça única (bombas horizontais) ou em várias partes (bombas verticais). A figura 7 mostra um exemplo de eixo.

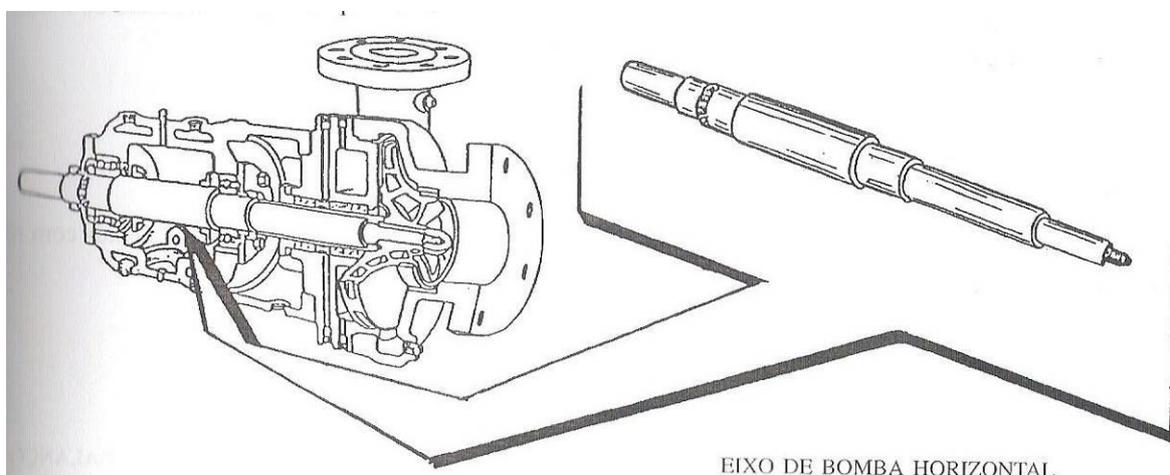


Figura 7 - Eixo de bomba horizontal
Fonte: Lima (2003).

Conforme pode ser visto na figura 7, o eixo das bombas horizontais possuem vários diâmetros o que normalmente não ocorrem nas bombas verticais. Estas

diferenças devem-se principalmente devido as partes de apoios e fornecimento de maior resistência a deflexões (LIMA, 2003).

Os eixos são suportados por mancais que possuem ainda a função de manter o alinhamento do eixo. Os mancais, quanto ao tipo de atrito predominante, podem ser de deslocamento ou de rolamento. “A parte do eixo que fica em contato com o mancal é chamado de munhão” (LIMA, 2003). Munhão é composto de material mais mole que o eixo, ou seja é ele que se desgasta. A figura 8 mostra um mancal de deslizamento e a figura 9 um mancal de rolamento.

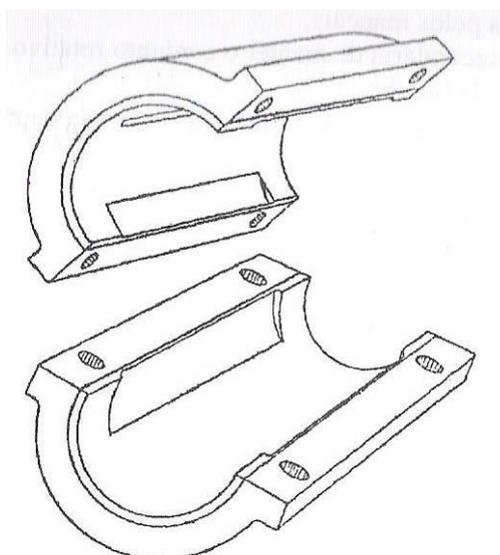


Figura 8 - Mancal radial bipartido de deslizamento
Fonte: Lima (2003).

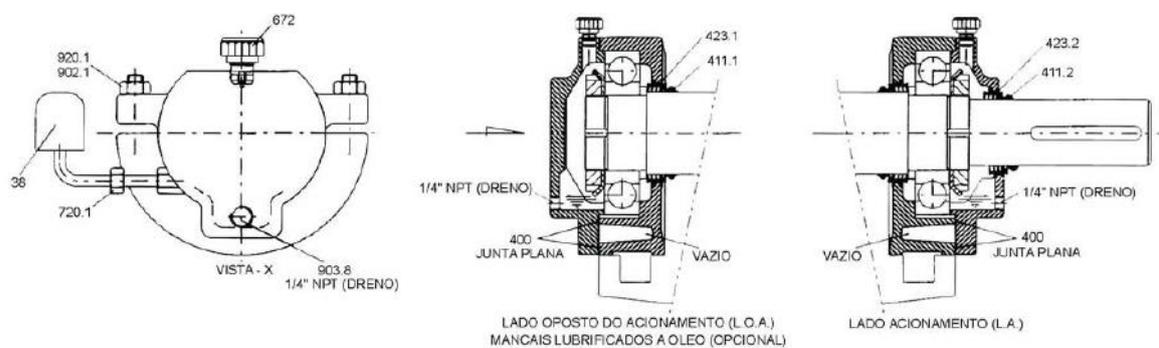


Figura 9 - Mancais de rolamento da bomba centrífuga bi-partida
Fonte: KSB... (2009).

Segundo Lima (2003) “Mancais radiais de deslizamento são empregados quando cargas transmitidas pelo munhão são elevadas e o eixo gira em altas rotações”.

Os mancais de rolamentos são utilizados para permitir o giro do eixo com baixo atrito, ou seja, com baixa perda de potência no eixo (LIMA, 2003).

2.5 SISTEMA DE SELAGEM

Todas as bombas possuem eixo (parte móvel) e a carcaça (parte fixa). Como é necessário que o eixo gire para que gere energia para a movimentação do fluido, é necessário que exista folgas entre os eixo e carcaça. Com a existência destas folgas, há espaços para vazamentos e é exatamente aí que torna-se necessário a inserção de sistemas de selagem.

Conforme Mattos e Falco (1998) e Lima (2003) sistema de selagem são sistemas que tem a função de minimizar ou impedir vazamentos. Sistemas com gaxetas minimizam os vazamentos mas são necessários constantes ajustes na caixa de gaxetas. Sistema com selos mecânicos ou cartucho tem por objetivo impedir os vazamentos, mas com o desgaste de seus componentes estes permitem a passagem de pouco fluido. Com o aumento da passagem de fluidos pelo sistema de selagem é necessário efetuar a intervenção para troca do mesmo.

A selagem pode ser exercida por gaxetas, desde que o sistema permita vazamentos, já que este tipo de selagem não garante estanqueidade total, conforme descreve Pacholok (2002). Ele destaca ainda que em caso de fluidos que não podem vazar por causa do risco ou pelo custo do mesmo, é necessária a instalação de selo mecânico, pois este garante vazamento zero ou quase zero. A figura 10 mostra uma imagem em corte de um sistema com selo Mecânico. A figura 11 apresenta um selo mecânico completo.

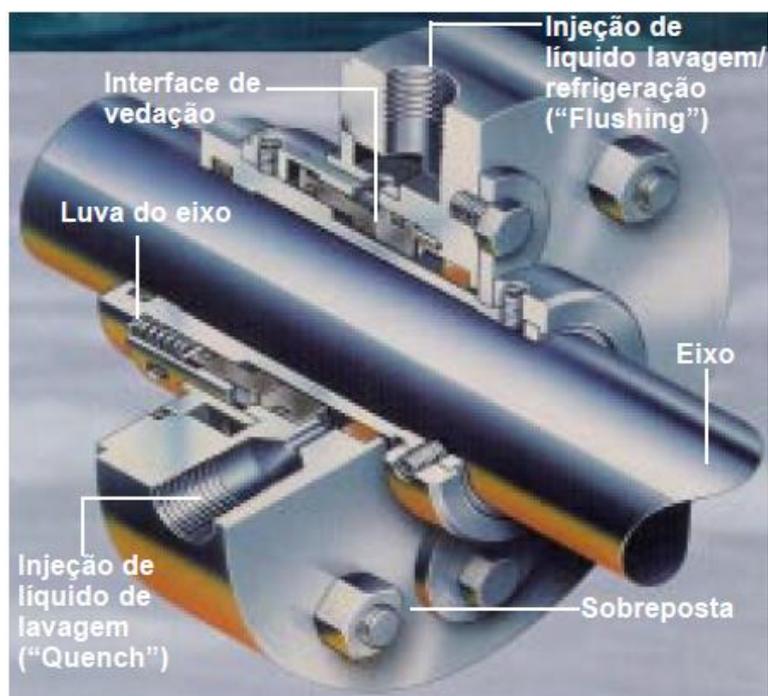


Figura 10 - Sistema de selagem em corte

Fonte: Flowserve, Products & Services. Catálogo FSD101. USA: [s.n.]: 1999 (apud PACHOLOK 2002, p. 17).

Outro destaque que deve ser dado, comparando-se o sistema por gaxeta e por selo, é que o segundo garante maior durabilidade operacional, permitindo assim uma maior disponibilidade do sistema e menores perdas de fluidos (SOUZA, 2009). Isto será observado no capítulo 4, quando apresentado o histórico de falhas da bomba “B” onde foi efetuado teste com gaxeta.

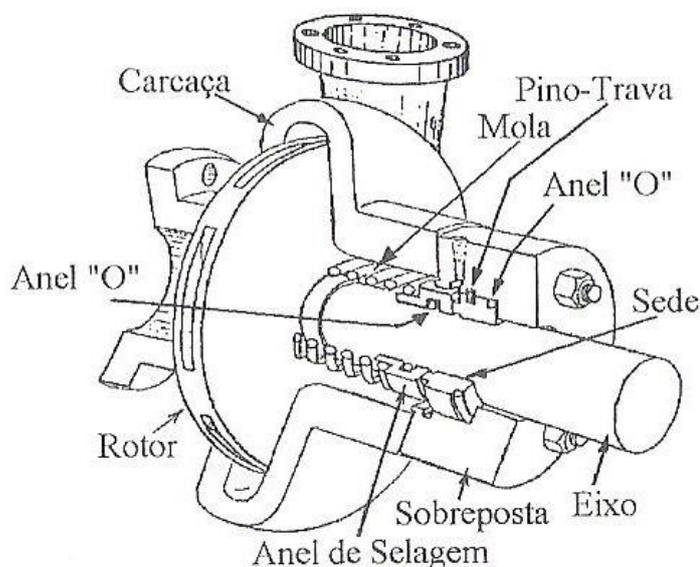


Figura 11 - Eixo de bomba horizontal

Fonte: Lima (2003).

Selos mecânicos como o da figura 11 são muito utilizados em bombas cujos fluidos são poluentes perigosos, pois minimizam em muito os vazamentos.

As vantagens de utilização dos selos em relação a gaxetas segundo Ferraz (1996) são:

- Reduz o atrito entre o eixo da bomba e o elemento de vedação reduzindo, conseqüentemente, a perda de potência.
- Elimina o desgaste prematuro do eixo e da bucha.
- A vazão ou fuga do produto em operação é mínima ou imperceptível.
- Permite operar fluidos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis com segurança.
- Tem capacidade de absorver o jogo e a deflexão normais do eixo rotativo.

Segundo Rea (2005) em seu artigo sobre selos mecânicos, os *bad actors* das bombas realmente são os selos mecânicos e os rolamentos. Segundo o autor, isso só é verdade pois como o processo de forma global falha, os componentes falham. Cita ainda que independente disto, os selos devem ser desenvolvidos cada vez mais de forma a tornarem-se robustos.

3 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

Aqui serão apresentados os principais conceitos de engenharia de confiabilidade para referenciar as análises que serão efetuadas no capítulo 4.

Engenharia de confiabilidade em muitas vezes é abreviada em análise prática das falhas e infelizmente é pouco aplicada nas fases de projeto, pois é nesta fase que se pode efetuar a seleção dos componentes, materiais e métodos mais adequados (IEEE, 2007).

3.1 CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

Segundo Pallerosi (2006) confiabilidade é utilizada no cotidiano das pessoas. Muitas vezes elas nem percebem que estão aplicando os conceitos de confiabilidade, mesmo sem conhecimento dos conceitos matemáticos. Existem situações que as pessoas adquirem produtos por acreditar que um produto “A” é mais confiável que o produto “B”. Esta referência está relacionada a durabilidade de determinado produto e isto é adquirido através de experiências e não pela aplicação de conceitos matemáticos.

Confiabilidade vem sempre ligada aos conceitos de Manutenibilidade e Disponibilidade, onde manutenibilidade é a facilidade com que um equipamento pode ser mantido e disponibilidade é o tempo que o mesmo está apto a operar durante um determinado período (PALLEROSI, 2006).

“Confiabilidade é uma característica de um item, expressa pela probabilidade de que o item irá executar a sua função, nas condições dadas para um intervalo de tempo indicado” (BIROLINI, 2007).

Segundo Reliasoft (2008a) confiabilidade é a probabilidade de que um item irá realizar a sua função pretendida sem falhas para um período de tempo determinado sob condições especificadas.

Verificando a NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO..., 1994) disponibilidade e manutenibilidade são:

Disponibilidade – Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

Mantenabilidade – Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

Conforme Pessoa (2009) taxa de falhas é representada pela letra grega λ e expressa a quantidade de falhas por unidade de tempo dividida pela quantidade de componentes expostos a falhas.

3.2 CONCEITOS DE FALHA

Quando um item falha é porque ele deixa de executar sua função. Muito simples quando não se fala de sistemas complexos (BIROLINI, 2007). Segundo o autor, é importante determinar a frequência das falhas e sua classificação. A frequência é determinada através do histórico de falhas já a classificação deve ser quanto ao modo, causa, efeito e mecanismo (BIROLINI, 2007, p. ?).

1. Modo: O modo de falha é o (efeito local) sintoma de que uma falha é observada, por exemplo: ruptura frágil, fluência, rachaduras, fadiga, para componentes mecânicos .
2. Causa: A causa de uma falha pode ser intrínseca, devido a desgaste, ou extrínseca, devido a erros, mau uso ou manuseio inadequado durante a concepção, produção ou utilização. Causas extrínsecas muitas vezes levam a falhas sistemáticas, que são determinísticas.
3. Efeito: O efeito (consequência) de uma falha pode ser diferente se for considerado no próprio nível ou no nível superior. A classificação habitual é: falha relevante, parcial, completa e não crítica.
4. Mecanismo: O mecanismo de falha é o produto químico, físico ou outro processo, resultando em falha.

Pallerosi (2007) descreve as classificações quanto ao modo, efeito e causa. O modo descreve como a falha pode ocorrer, o efeito da falha como o modo afeta o uso ou operação do componente e a causa é o motivo da ocorrência ou degradação.

Normalmente as empresas classificam apenas o modo de falha.

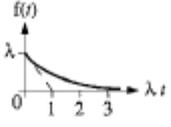
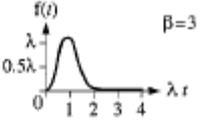
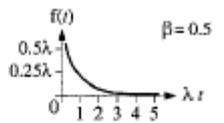
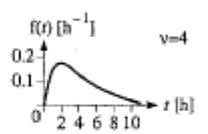
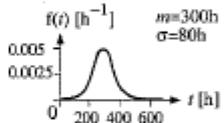
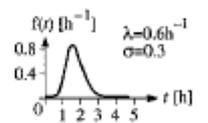
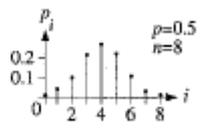
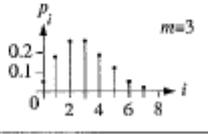
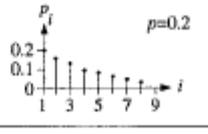
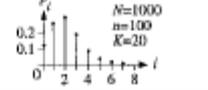
As falhas são definidas pela função. A função deve ser definida por um verbo mais um objeto e o padrão de desempenho (RELIASOFT, 2011a ou 2011b).

3.3 PRINCIPAIS DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

Segundo Pallerosi (2007) as principais distribuições estatísticas para análise de confiabilidade são: Normal, Lognormal, Exponencial e Weibull.

Para o caso de análise de falhas, a distribuição normal mostra uma concentração em torno da média, a lognormal a concentração é deslocada da média, a exponencial mostra um probabilidade aleatória e a distribuição Weibull é a mais geral, e sua curva representa todas as demais citadas.

O quadro 3 mostra as distribuições de confiabilidade e suas funções.

Name	Distribution Function $F(t) = \Pr\{\tau \leq t\}$	Density $f(t) = dF(t) / dt$	Parameter Range
Exponential	$1 - e^{-\lambda t}$		$t \geq 0$ $\lambda > 0$
Weibull	$1 - e^{-(\lambda t)^\beta}$		$t > 0, F(0) = 0$ $\lambda, \beta > 0$
Gamma	$\frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^{\lambda t} x^{\beta-1} e^{-x} dx$		$t > 0, F(0) = 0$ $\lambda, \beta > 0$
Chi-square (χ^2)	$\frac{\int_0^t x^{\nu/2-1} e^{-x/2} dx}{2^{\nu/2} \Gamma(\nu/2)}$		$t > 0, F(0) = 0$ $\nu = 1, 2, \dots$ (degrees of freedom)
Normal	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx$		$-\infty < t, m < \infty$ $\sigma > 0$
Lognormal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\ln(\lambda t)} e^{-x^2/2} dx$		$t > 0, F(0) = 0$ $\lambda, \sigma > 0$
Binomial	$\Pr\{\zeta \leq k\} = \sum_{i=0}^k p_i$ $p_i = \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$		$k = 0, \dots, n$ $0 < p < 1$
Poisson	$\Pr\{\zeta \leq k\} = \sum_{i=0}^k p_i$ $p_i = \frac{m^i}{i!} e^{-m}$		$k = 0, 1, \dots$ $m > 0$
Geometric	$\Pr\{\zeta \leq k\} = \sum_{i=1}^k p_i = 1 - (1-p)^k$ $p_i = p(1-p)^{i-1}$		$k = 1, 2, \dots$ $0 < p < 1$
Hyper-geometric	$\Pr\{\zeta \leq k\} = \sum_{i=0}^k \frac{\binom{K}{i} \binom{N-K}{n-i}}{\binom{N}{n}}$		$i = 0, 1, \dots$ $\dots, \min(K, n)$

Quadro 3- Distribuições de confiabilidade e suas funções
Fonte: Birolini (2007).

Estas funções são utilizadas para a criação dos gráficos de análise das probabilidades. A densidade representa a frequência com que algo acontece (PALLEROSI, 2006).

3.4 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Em 1951 Weibull publicou uma função estatística que levou seu nome. Ela tornou-se reconhecida depois de uma publicação em 1952. O artigo apresentava dados de falhas que nos testes realizados apresentaram boa aderência estatística (Filho, 2006)

A função densidade de probabilidade Weibull ($f(t)$), possui a seguinte equação geral:

$$f(t) = \beta \cdot \lambda_0^\beta \cdot (t - \gamma)^{\beta-1} \cdot e^{-[\lambda_0 \cdot (t - \gamma)]^\beta}$$

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta} \right) \cdot \left[\frac{(t - \gamma)}{\eta} \right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{(t - \gamma)}{\eta} \right]^\beta}$$

Onde:

$\lambda_0 = 1/\eta$, representa a taxa de falha característica;

t , é a variável referida ao tempo;

γ , é a vida inicial ou parâmetro de posição;

β , representa o parâmetro de forma;

η , representa a vida característica.

A equação de confiabilidade ($R(t)$) que representa a Weibull tripamétrica é representada por:

$$R(t) = e^{-[\lambda_0 \cdot (t - \gamma)]^\beta} = e^{-[(t - \gamma)/\eta]^\beta}$$

Segundo Guimarães (2011) uma das aplicações mais freqüentes para a equação de Weibull é para a determinação de tempos de garantia.

A equação de confiabilidade ($R(t)$) da Weibull bipamétrica é determinada quando $\gamma = 0$.

$$R(t) = e^{-[\lambda_0 \cdot t]^\beta} = e^{-[t/\eta]^\beta}$$

Como pode-se perceber a equação mostra-se de forma simples, e conforme dito anteriormente, esta é uma das principais razões de sua ampla aplicação em análises de confiabilidade.

Além da facilidade da aplicação da Weibull, Pallerosi (2006) cita que esta curva estatística normalmente não apresenta problemas de convergência.

Outro ponto importante que conduz para a sua utilização é o parâmetro de vida característica (η) (PALLEROSI, 2007), este parâmetro indica que 63% dos itens já falharam.

O gráfico 1 mostra as curvas da função densidade de falha Weibull para alguns valores de β padronizados e o gráfico 2 mostra o mesmo gráfico mas para β fixo e η diferentes.

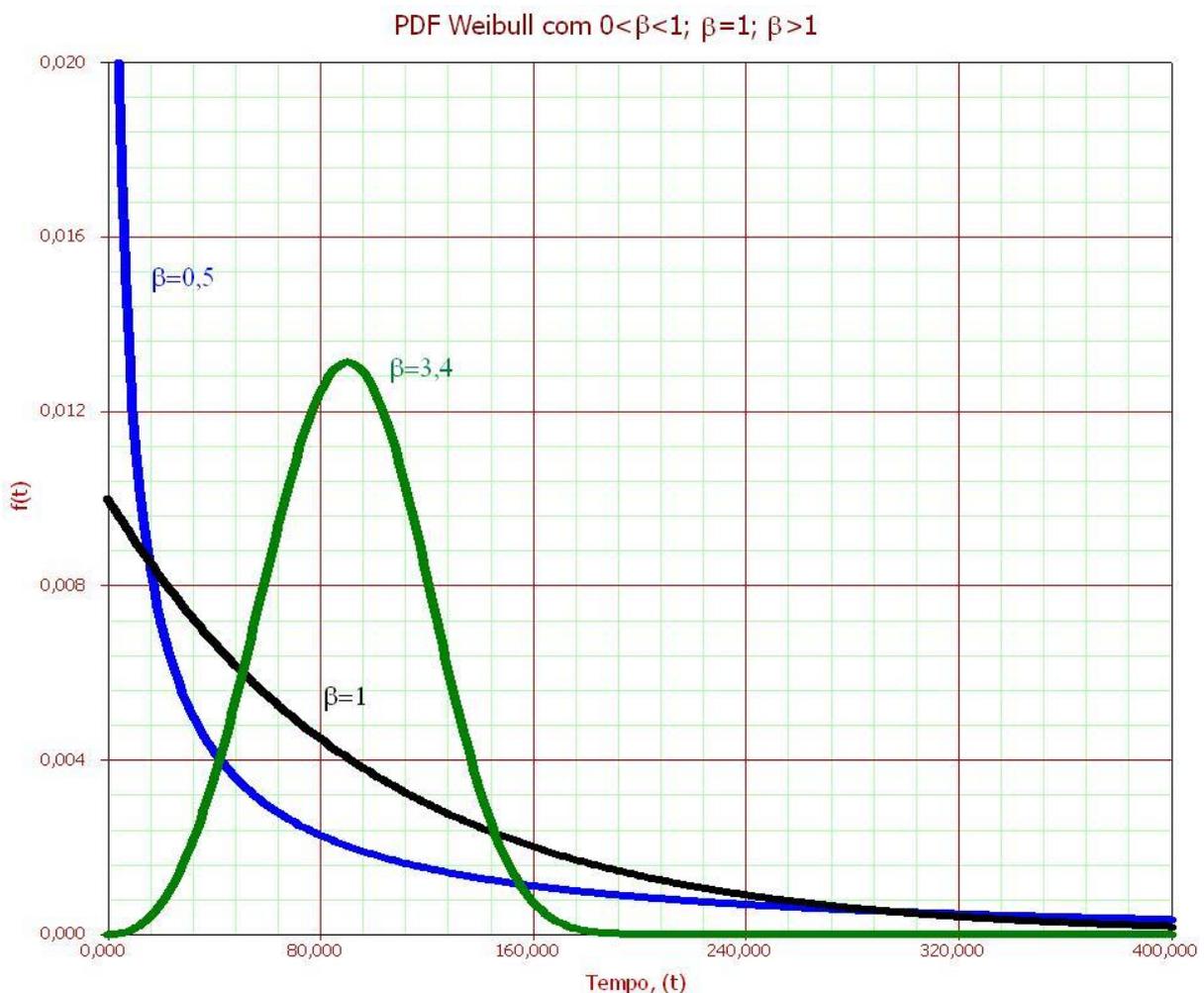


Gráfico 1 - Gráfico da densidade de probabilidade Weibull com β conhecidos

Fonte: Autoria própria, adaptado de Pallerosi (2006).

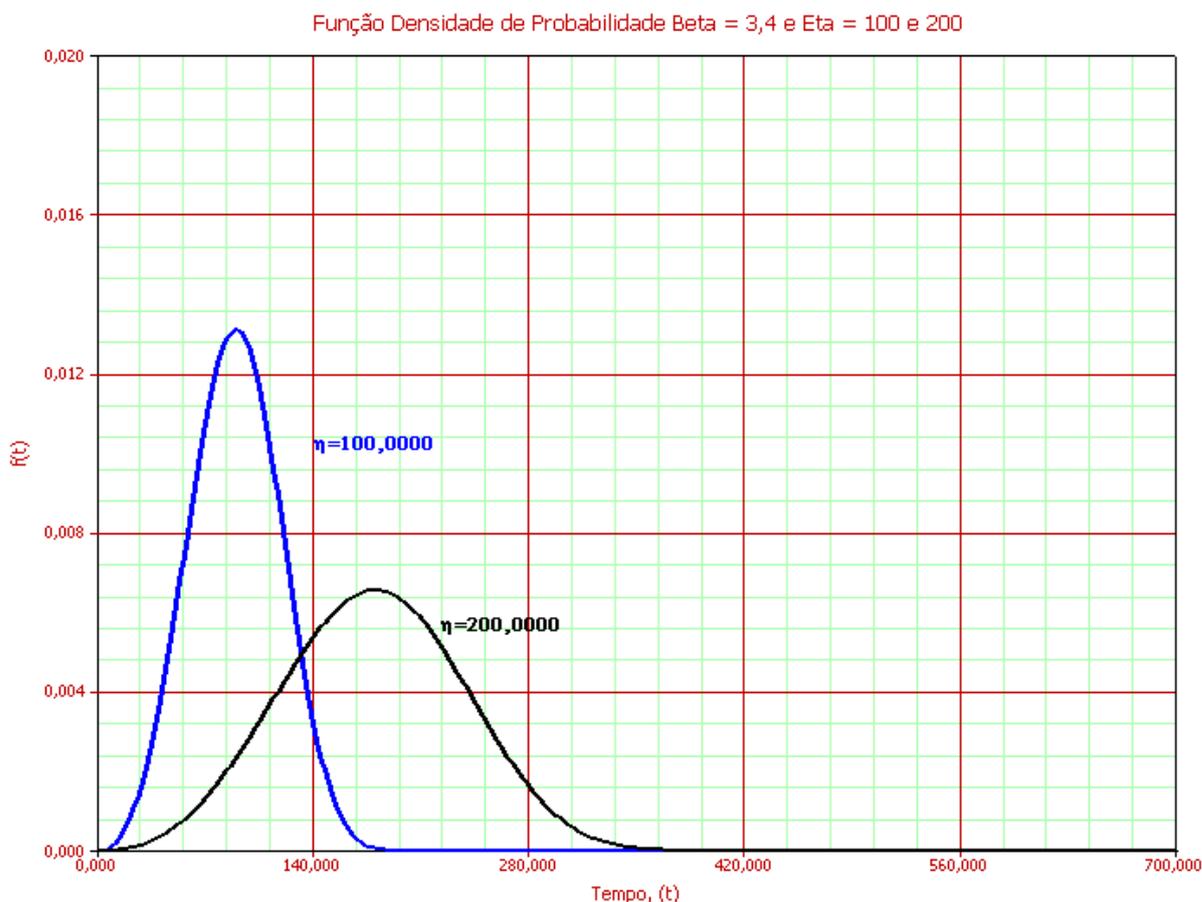


Gráfico 2 - Gráfico da densidade de probabilidade Weibull com β fixo
Fonte: Autoria própria, adaptado de Pallerosi (2006).

A curva representada no gráfico 1 na cor azul ($\beta > 1$) mostra uma mortalidade infantil, ou seja, o sistema falha com pouca utilização. A curva representada pela linha preta ($\beta = 1$) apresenta uma característica similar a da distribuição exponencial, ou seja, ela falha pode ocorrer de forma aleatória. A curva verde ($\beta = 3,4$) é similar a uma normal, ou seja, o equipamento apresenta envelhecimento.

No gráfico 2 as curvas mostram a diferença entre a vida característica, ou seja, quanto maior o η maior a vida do componente, ou pode-se dizer ainda que ele possui uma taxa de falha menor.

Para Pallerosi (2006) estes gráficos demonstram a flexibilidade que a Weibull possui.

A escolha por esta curva estatística é comum nas análises em confiabilidade, porque ela é a mais flexível e recomendada para análise de falhas em equipamentos e pode representar falhas crescentes decrescentes ou constantes (RELIASOFT, 2011a ou 2011b).

Os equipamentos estão sempre acompanhados de outros para formar um sistema, deste modo devemos analisá-los como um grupo. O item 3.5 mostrará os conceitos de sistema.

3.5 SISTEMAS

Conforme Pallerosi (2007) os sistemas de confiabilidade são divididos em estáticos e dinâmicos. Os sistemas estáticos são aqueles que não sofrem a influência do tempo em sua aplicação matemática, já os sistemas dinâmicos consideram a influência do intervalo de tempo para as análises. O sistema analisado neste estudo é do tipo dinâmico.

Neste caso é necessário conceituar os sistemas série e paralelo. Nos sistemas em série, se um dos componentes falharem, todo o sistema falha. No sistema paralelo, se um componente falhar o sistema continua operando. Existe ainda um tipo de sistema paralelo que é normalmente chamado de paralelo combinado (k/n). Neste tipo de configuração, sempre existe um ou mais componentes reservas. Existe ainda o sistema composto que é formado pela combinação de sistema série com paralelo e por fim o sistema complexo, que necessita uma análise muito mais refinada para execução dos cálculos (PALLEROSI, 2007).

A figura 13 apresenta as configurações possíveis de sistemas (PALLEROSI, 2007).

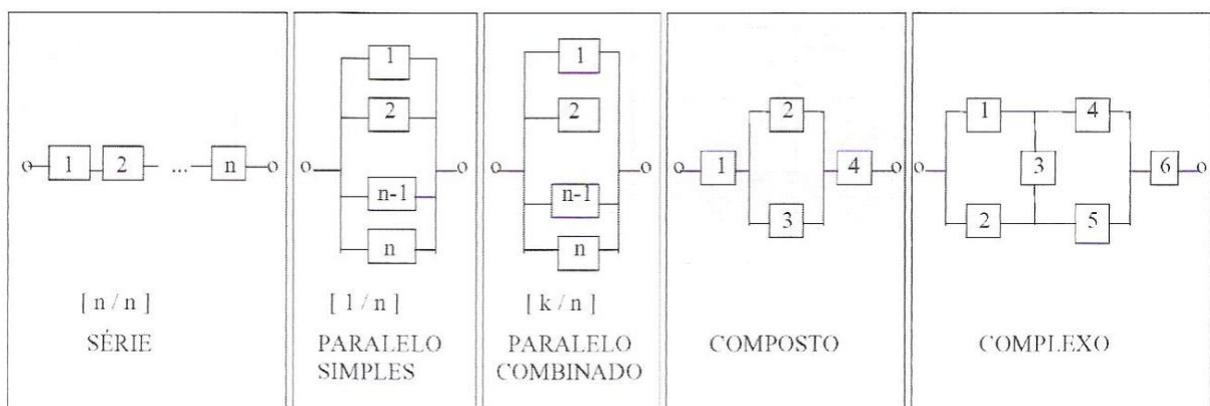


Figura 13 - Arranjos Típicos de Sistemas
Fonte: Pallerosi (2007).

A figura representa de modo gráfico os arranjos típicos de sistemas. É importante salientar que na prática existe uma combinação dos sistemas. No estudo em questão, o sistema será representado por dois sistemas paralelo combinado (k/n) ligados de forma série. A figura 14 mostra esta configuração.

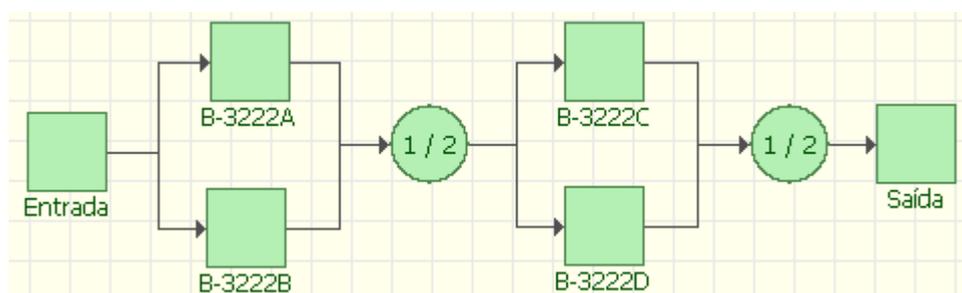


Figura 14 - Arranjo do Sistema em Estudo
Fonte: Autoria Própria (2012).

Como pode ser visualizado na figura, as bombas A e B estão em paralelo com uma configuração k/n (1/2) ligadas em série com as bombas C e D que apresentam a mesma configuração de A e B. O sistema foi configurado desta maneira pois caso as bombas A e B ou C e D estejam indisponíveis ao mesmo tempo, o sistema para de cumprir sua função que é de efetuar a venda de escuros.

4 HISTÓRICO DE FALHAS E METODOLOGIA

Este capítulo irá explorar as falhas do sistema e comparar com os dados internacionais. O intuito é o de verificar se o sistema está apresentando falhas superiores ao que ocorre no mundo em processos similares.

4.1 ANÁLISE DAS FALHAS RECORRENTES

Conforme adotado por Tokikawa (TOKIKAWA; FERRAZ; ROCHA FILHO, 2007) em sua análise de falhas comuns em equipamentos foi utilizado o diagrama de Pareto com o intuito de determinar qual a falha mais comum e assim direcionar os estudos de análise de falhas. Este estudo mostrou que a falha predominante neste sistema é o sistema de selagem conforme pode ser visto no gráfico 3.

Diagrama de Pareto dos Modos de Falha das Bombas

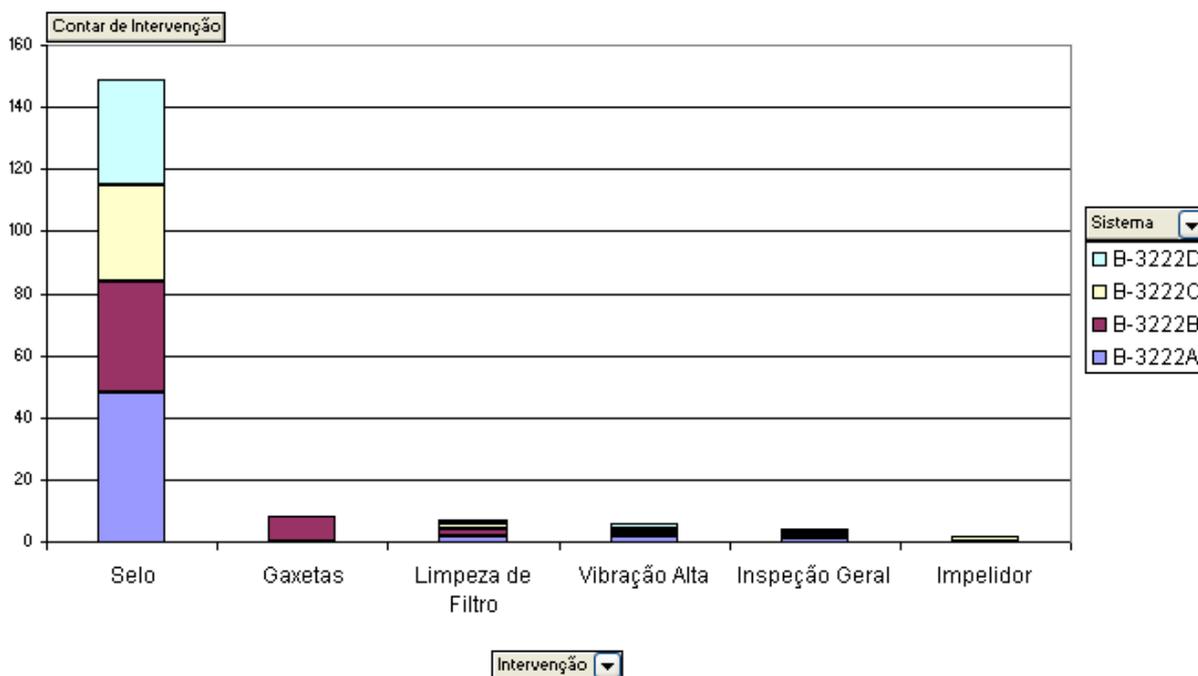


Gráfico 3 - Diagrama de Pareto dos Modos de Falhas das Bombas B-3222ABCD
 Fonte: Dados atualizados pelo autor em 2012 de Tokikawa et al (2007).

O gráfico mostra que a falha mais comum é a do sistema de selagem. Deste modo a análise foi realizada somente neste sistema. Neste estudo, os demais problemas estão sendo descartados, pois o intuito é o de verificar se as alterações efetuadas no sistema de selagem surtiram algum efeito.

4.2 HISTÓRICO DE FALHAS

Desde o início das operações da refinaria em 1976 as quatro bombas apresentavam muitas falhas, causando problemas para as equipes de manutenção e operação. Conforme visto no item 4.1, o grande causador de indisponibilidade no sistema é o sistema de selagem, sendo assim os dados apurados são referentes a este modo de falha.

O problema referente a selagem é um dos grandes problemas para a indústria, sendo um dos grandes acumuladores de custos para as mesmas (GIRDHAR, 2005).

Se não bastassem os custos, existe a questão de segurança, pois ao haver vazamento de selo, o mesmo emana produto para a atmosfera e sendo este produto perigoso a pessoas ou danoso ao meio ambiente, torna-se indispensável a redução de possíveis falhas.

Bloch (2002) em seu artigo, cita ser a oportunidade da década para quem investir em sistemas de selagem para reduzir custos. Ele comenta ainda sobre um estudo realizado que mostrou MTTF (*Mean Time To Failures* – Tempo Médio Para Falhar) de selos em bombas centrífugas diferentes para atividades distintas sendo o levantamento referente a uma fábrica de papel dos EUA, uma refinaria de petróleo do Brasil e outra refinaria de petróleo na Califórnia constatando os tempos em treze, dezessete e sessenta e oito meses respectivamente. Isto mostra que existe um ponto ótimo para trabalho, mas que há uma necessidade de estudo para garantir ganhos no sistema.

A AIChE - American Institute of Chemical Engineers (CCPS - Center of Chemical Process Safety, 2012), órgão internacional, que verifica e divulga as ocorrências relevantes em indústrias do mundo, através do CCPS, relata em seu “*Process Safety Beacon*” de julho de 2002, uma ocorrência em uma unidade

industrial a qual houve o rompimento de selo mecânico que causou o vazamento de hidrocarboneto leve o qual incendiou e causou grandes prejuízos a planta.

A World Pumps em seu artigo sobre selagem de bombas (SHIELS, 2002) cita a importância da circulação de fluido para a refrigeração e lubrificação do selo, e em havendo a falha desta circulação o selo poderá sofrer desgaste e/ou escoamento devido a altas temperaturas. Isto resulta em um das dificuldades do sistema atual instalado, pois o mesmo trabalha com produtos viscosos e que em estando a bomba parada, há um congelamento do produto nos internos das bombas, causando uma deficiência no início de cada bombeio.

Hatakeyama e Ezequiel (2006) citam que na unidade industrial na qual ele trabalha, um dos grandes problemas e gerador de altos custos são justamente as falhas em selos mecânicos. A equipe da referida unidade desenvolveu estudos junto a um fornecedor para redução das falhas.

Entre as ocorrências de incêndios que ocorreram em unidades industriais pode ser citado o ocorrido em 2011 na refinaria de Pasadena, EUA. Este incêndio deu-se devido a uma cavitação e consequente rompimento de selo. Conforme o Relatório da comissão de investigação da ABS Consulting (2011) o fogo iniciou logo que o selo rompeu e este projetou produto inflamável que principiou o incêndio.

As tabelas 1 a 4 mostram o histórico de falhas dos equipamentos. O levantamento foi efetuado com base nos relatos das pastas de manutenção dos equipamentos (PETROBRAS, 2012c). É importante salientar que todas as bombas inicialmente foram instaladas com selos mecânicos.

Tabela 1 - Histórico de Falhas da B-3222A

Data Falha	Intervenção	MTTF Dias	Continuação		
Data Falha	Intervenção	MTTF Dias	Data Falha	Intervenção	MTTF Dias
16/01/2012	Selo	992	7/1/1993	Selo	48
29/04/2009	Selo	399	20/11/1992	Selo	168
26/03/2008	Selo	352	5/6/1992	Selo	392
09/04/2007	Selo	1589	10/5/1991	Selo	693
02/12/2002	Troca p/ Selo Cartucho	501	16/6/1989	Selo	73
19/7/2001	Selo	84	4/4/1989	Selo	452
26/4/2001	Selo	170	8/1/1988	Selo	268
7/11/2000	Selo	55	15/4/1987	Selo	37
13/9/2000	Selo	110	9/3/1987	Vibração Alta	137
26/5/2000	Selo	220	23/10/1986	Selo	440
19/10/1999	Selo	106	9/8/1985	Limpeza de Filtro	94
5/7/1999	Selo	147	7/5/1985	Limpeza de Filtro	165
8/2/1999	Selo	77	23/11/1984	Selo	367
23/11/1998	Selo	101	22/11/1983	Selo	5
14/8/1998	Selo	301	17/11/1983	Selo	27
17/10/1997	Selo	274	21/10/1983	Selo	144
16/1/1997	Vibração Alta	30	30/5/1983	Selo	200
17/12/1996	Selo	277	11/11/1982	Selo	398
15/3/1996	Selo	14	9/10/1981	Selo	17
1/3/1996	Selo	256	22/9/1981	Selo	365
19/6/1995	Selo	32	22/9/1980	Selo	439
18/5/1995	Selo	114	11/7/1979	Selo	102
24/1/1995	Selo	57	31/3/1979	Selo	645
28/11/1994	Selo	74	24/6/1977	Selo	249
15/9/1994	Selo	76	18/10/1976	Inspeção Geral	
1/7/1994	Selo	168			
14/1/1994	Selo	144			
23/8/1993	Selo	228			

Fonte: Petrobras (2012c).

Tabela 2 - Histórico de Falhas da B-3222B

Data Falha	Intervenção	MTTF Dias
11/3/2011	Selo	282
2/6/2010	Selo	987
19/9/2007	Selo	441
5/7/2006	Selo	663
10/9/2004	Selo	921
4/3/2002	Selo	440
19/12/2000	Selo	144
28/7/2000	Troca p/ Selo Cartucho	121
29/3/2000	Selo	196
15/9/1999	Selo	40
6/8/1999	Selo	57
10/6/1999	Selo	86
16/3/1999	Selo	147
20/10/1998	Selo	229
5/3/1998	Vibração Alta	191
26/8/1997	Selo	249
20/12/1996	Selo	332
23/1/1996	Troca p/ Selo Mecânico	61
23/11/1995	Gaxetas	55
29/9/1995	Gaxetas	42
18/8/1995	Gaxetas	21
28/7/1995	Gaxetas	32
26/6/1995	Gaxetas	34
23/5/1995	Gaxetas	49
4/4/1995	Gaxetas	35
28/2/1995	Troca para Gaxetas	81

Fonte: Petrobras (2012c).

Continuação

Data Falha	Intervenção	MTTF Dias
9/12/1994	Selo	79
21/9/1994	Selo	36
16/8/1994	Selo	461
12/5/1993	Selo	583
7/10/1991	Selo	250
30/1/1991	Selo	133
19/9/1990	Selo	487
20/5/1989	Selo	1370
19/8/1985	Limpeza de Filtro	104
7/5/1985	Limpeza de Filtro	249
31/8/1984	Selo	449
9/6/1983	Selo	296
17/8/1982	Selo	181
17/2/1982	Selo	65
14/12/1981	Selo	155
12/7/1981	Selo	241
13/11/1980	Selo	297
21/1/1980	Selo	281
15/4/1979	Selo	194
3/10/1978	Selo	274
2/1/1978	Selo	424
4/11/1976	Inspeção Geral	

Tabela 3 - Histórico de Falhas da B-3222C

Data Falha	Intervenção	MTTF Dias	Continuação		
Data Falha	Intervenção	MTTF Dias	Data Falha	Intervenção	MTTF Dias
31/10/2011	Selo	223	5/10/1994	Selo	657
22/3/2011	Impelidor	154	17/12/1992	Selo	63
19/10/2010	Selo	306	15/10/1992	Selo	790
17/12/2009	Impelidor	114	17/8/1990	Selo	240
25/8/2009	Selo	123	20/12/1989	Selo	699
24/4/2009	Selo	242	21/1/1988	Selo	728
25/8/2008	Selo	573	23/1/1986	Selo	157
30/1/2007	Selo	159	19/8/1985	Limpeza de Filtro	104
24/8/2006	Selo	882	7/5/1985	Limpeza de Filtro	943
25/3/2004	Selo	650	7/10/1982	Selo	542
14/6/2002	Selo	182	13/4/1981	Selo	227
14/12/2001	Selo	129	03/9/1980	Selo	5
7/8/2001	Selo	25	29/8/1980	Vibração Alta	232
13/7/2001	Selo	23	10/1/1980	Selo	477
20/6/2001	Troca p/ Selo Cartucho	92	20/9/1978	Selo	292
20/3/2001	Selo	802	2/12/1977	Selo	398
8/1/1999	Selo	799	30/10/1976	Inspeção Geral	
31/10/1996	Selo	598			
13/3/1995	Selo	15			
26/2/1995	Selo	144			

Fonte: Petrobras (2012c).

Tabela 4 - Histórico de Falhas da B-3222D

Data Falha	Intervenção	MTTF Dias
16/9/2010	Selo	128
11/5/2010	Selo	173
19/11/2009	Selo	610
19/3/2008	Troca p/ Selo Cartucho	385
28/2/2007	Selo	29
30/1/2007	Selo	544
4/8/2005	Selo	465
26/4/2004	Vibração Alta	1126
27/3/2001	Selo	46
9/2/2001	Selo	673
8/4/1999	Selo	920
30/9/1996	Vibração Alta	27
3/9/1996	Selo	47
18/7/1996	Selo	155
14/2/1996	Selo	132
5/10/1995	Selo	384
16/9/1994	Selo	105
3/6/1994	Selo	203
12/11/1993	Selo	409
29/9/1992	Selo	124

Continuação

Data Falha	Intervenção	MTTF Dias
28/5/1992	Selo	335
28/6/1991	Selo	234
6/11/1990	Selo	1497
1/10/1986	Selo	512
7/5/1985	Limpeza de Filtro	29
8/4/1985	Selo	304
8/6/1984	Selo	224
28/10/1983	Selo	38
20/9/1983	Selo	33
18/8/1983	Selo	372
11/8/1982	Selo	384
23/7/1981	Selo	107
7/4/1981	Selo	338
4/5/1980	Selo	541
10/11/1978	Selo	361
14/11/1977	Selo	147
20/6/1977	Selo	256
7/10/1976	Inspeção Geral	

Fonte: Petrobras (2012c).

Com os dados das falhas (tabelas 1 à 4) foi possível determinar a curva da Função Densidade de Probabilidade (Probability Density Function – PDF). Estas curvas ajudam na análise estatística dos dados. Estas curvas serão apresentadas no capítulo 5.

5 COMPARAÇÕES E RESULTADOS

Neste momento serão apresentadas as comparações dos dados do sistema analisado com padrões internacionais e equipamentos similares de outra refinaria e que exercem a mesma função.

5.1 COMPARAÇÃO GRÁFICA DAS PDF'S DOS SELOS

Uma comparação gráfica, através da PDF dos selos analisados, faz-se necessária pois evidencia as curvas de falhas dos equipamentos.

Os gráficos 4 a 7 que serão apresentados, foram traçados a partir de curvas estatísticas Weibull. A escolha por esta curva estatística é comum nas análises em confiabilidade, conforme citado no capítulo 3.

Os gráficos foram colocados na mesma escala, de modo a permitir as comparações necessárias.

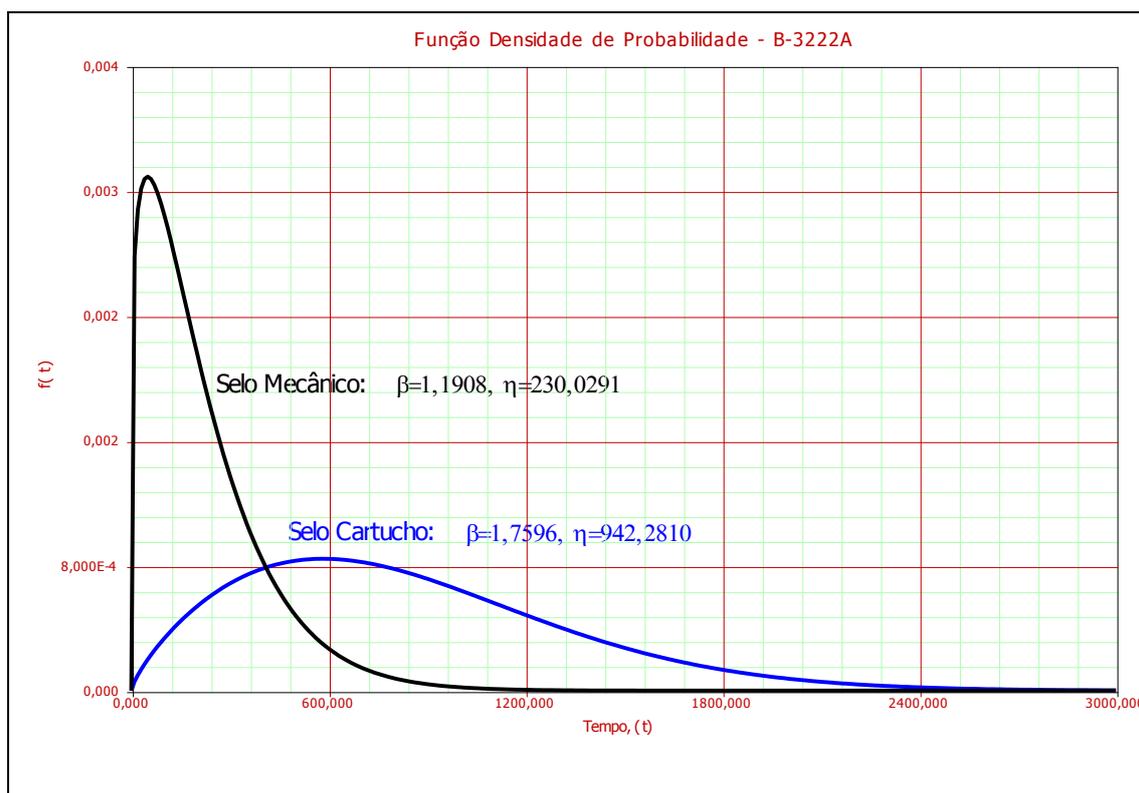


Gráfico 4 - PDF dos Selos da B-3222A
Fonte: Autoria própria (2012).

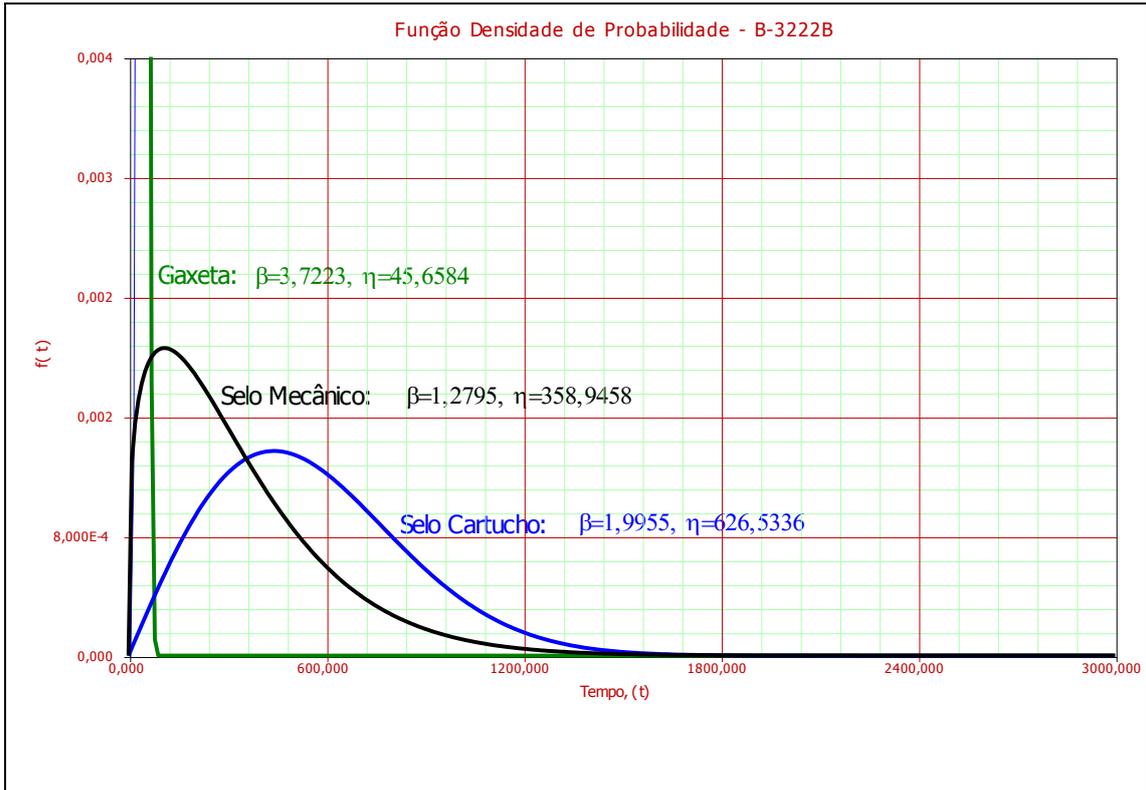


Gráfico 5 - PDF dos Selos da B-3222B e teste com Gaxeta
 Fonte: Autoria própria (2012).

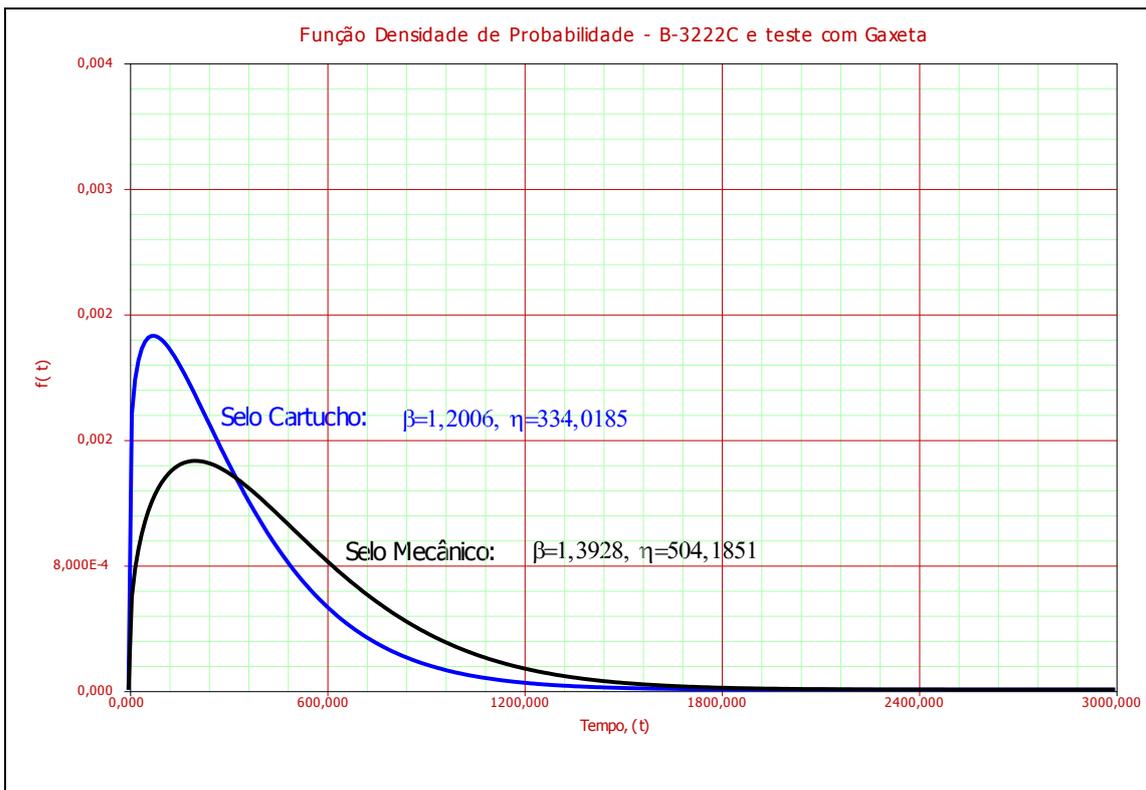


Gráfico 6 - PDF dos Selos da B-3222C
 Fonte: Autoria própria (2012).

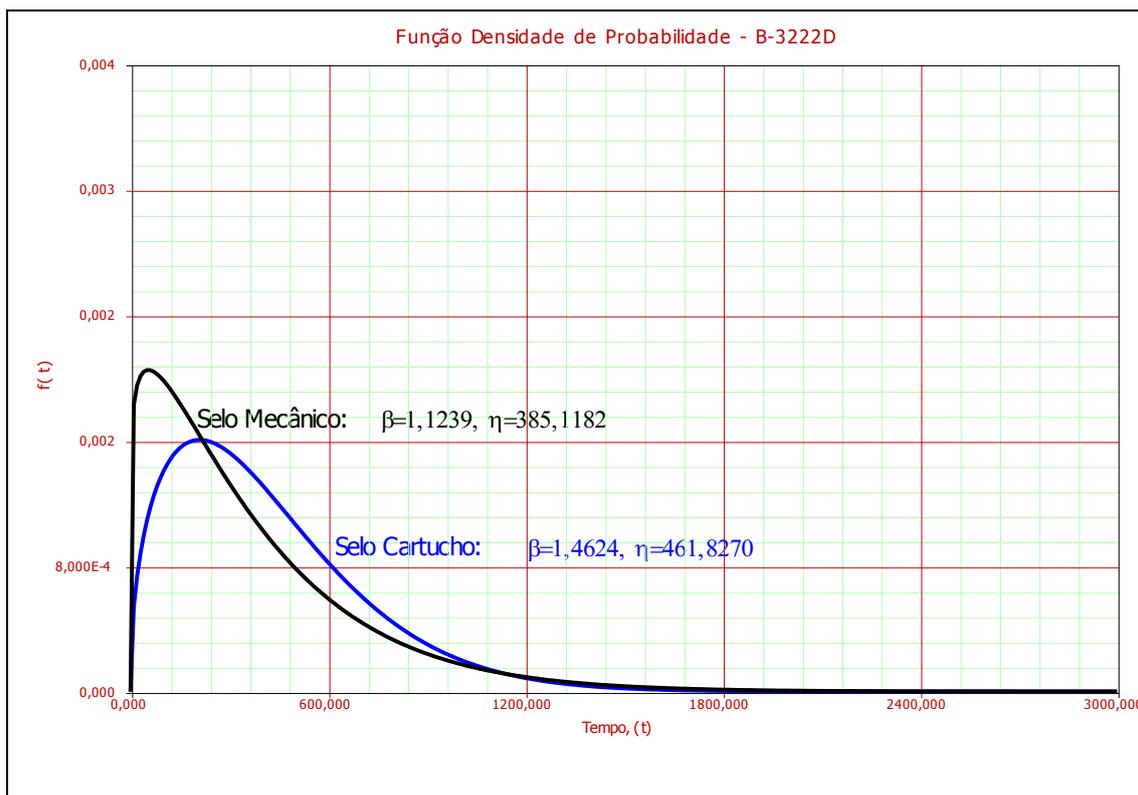


Gráfico 7 - PDF dos Selos da B-3222D
Fonte: Autoria própria (2012).

Com estes gráficos é possível visualizar que a substituição do tipo de selo nas bombas B-3222 AB surtiram melhoria na disponibilidade devido a redução da taxa de falhas, porém ainda muito aquém do que espera-se deste tipo de equipamento. O Mesmo não foi percebido nas bombas B-3222 CD, inclusive pode-se dizer que houve uma piora na taxa de falha do equipamento “C”. É importante salientar que os equipamentos A e D possuem um número pequeno de amostra de dados e isto pode influenciar nas análises.

Conforme mostrado no item 3.4 com o gráfico 2, o valor da vida característica sendo maior significa que a taxa de falhas é menor, sendo a mesma distribuída de forma mais distanciada de um ponto central.

5.2 COMPARAÇÃO COM PADRÕES INTERNOS E INTERNACIONAIS

Quando analisamos a confiabilidade das bombas individualmente para compararmos ao requisito de padrão interno (PETROBRAS, 2012b) para este tipo

de equipamento, verificamos que para 25000 horas de trabalho, ou cerca de 1040 dias, com intervalo de confiança de 90%, as bombas apresentam os valores conforme a seguir (Software Weibull 7++).

Tabela 5 - Confiabilidade das bombas B-3222ABCD

Bomba	Tipo Selo	Confiabilidade (1040 dias)
B-3222A	Mecânico	0,24%
B-3222A	Cartucho	30,43%
B-3222B	Mecânico	2,02%
B-3222B	Cartucho	6,40%
B-3222C	Mecânico	6,45%
B-3222C	Cartucho	2,00%
B-3222D	Mecânico	4,72%
B-3222D	Cartucho	3,77%

Fonte: Autoria própria (2012).

Por esta tabela, pode-se verificar que o grande ganho obtido no sistema é referente a bomba “A”, porém ela e a bomba “D” possuem as alterações mais recentes do tipo de selagem, e esta informação deve ser levada em conta, pois pode haver um desvio grande a ser considerado.

Comparando-se ao software BiCycle OREDA - Offshore Reliability Data (2010), os dados de falhas para bombas centrífugas apresentam tempo médio para falhas, do inglês MTTF, de 4,1 anos, ou seja, cerca de 1500 dias, ou ainda, 36000 horas, valores superiores ao padrão da unidade que sugere 25000 horas de operação. Estes dados são extraídos de 112 instalações diferentes e 850 equipamentos dos quais geraram 6659 eventos de falhas. Esta primeira amostra exhibe bombas que trabalham com outros produtos que não são óleos como, por exemplo, água. Destes dados foram filtradas as falhas referentes somente a bombas centrífugas e ainda para as falhas críticas dando um total de 793 eventos de falhas.

Quando efetuado filtro para bombas que trabalham somente com óleo, o resultado é de uma média de falhas a cada 1,4 anos ou 510 dias ou ainda 12240 horas. Os dados são referentes a 37 instalações diferentes, sendo um total de 178 equipamentos resultando em uma análise de 2394 eventos de falhas e analisados os 429 eventos de falhas críticos.

Quando analisado os dados pelo manual do OREDA de 2002, o mesmo trás dados de falhas médios para bombas centrífugas que trabalham com óleo com MTTF de 1,5 anos ou 550 dias ou ainda 13170 horas para uma população de apenas 5 equipamentos resultando em 47 falhas, das quais 15 foram críticas. Outra comparação efetuada foi com manual OREDA de 2009 que analisou uma população de 2 equipamentos trabalhando com óleo resultando num total de 31 falhas no período analisado sendo 15 críticas. Estas falhas apresentam um MTTF de 0,75 anos ou 274 dias ou ainda 6570 horas.

Para efeito de análise e comparação com o sistema, adotaremos apenas os dados retirados do software ByCicle da entidade OREDA por este possuir uma população amostral maior e assim possuir uma média com maior sensibilidade.

Mesmo sendo bem menor o tempo médio para falhas (MTTF), para o caso em que foi considerado apenas as bombas que trabalham com óleo, estes valores mostram que há um ganho que é necessário se obter principalmente nas bombas “C” e “D”. As bombas “A” e “B” atingiram o MTTF esperado para bombas que trabalham com óleo após a troca do sistema de selagem para o selo tipo cartucho, mas as bombas “C” e “D” apresentaram um resultado contrário, e em qualquer um dos sistemas de selagem não atinge esta média. Estes valores podem ser verificados na tabela a seguir.

Tabela 6 - MTTF das bombas B-3222ABCD

Equipamento	Tipo Selo	MTTF
B-3222A	Cartucho	833
B-3222A	Mecânico	199
B-3222B	Cartucho	554
B-3222B	Mecânico	304
B-3222C	Cartucho	270
B-3222C	Mecânico	409
B-3222D	Cartucho	304
B-3222D	Mecânico	338

Fonte: Aatoria própria (2012).

Comparando-se o sistema a um similar de outra refinaria, a taxa de falhas verificada pelo histórico apresenta MTTF de 1,2 anos, ou seja, cerca de 440 dias, ou

ainda, 10560 horas. Estes valores foram baseados nas bombas C e D desta outra refinaria. Não foram coletados os dados das bombas A e B.

Apenas para efeito de constatação para este sistema, os testes efetuados com gaxeta (bomba “B”) mostraram que o sistema não comporta esta solução de selagem por apresentar alto desgaste e elevada taxa de falhas.

Conforme o exposto neste item, verifica-se a necessidade de melhoria do sistema.

5.3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE

Através do software BlockSim, foi efetuada a simulação do sistema (figura 14) para um período de 7300 dias (20 anos) para determinar a disponibilidade do sistema, as quais são apresentadas nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Disponibilidade das bombas B-3222ABCD com selo cartucho

Ranking - Tempo Disponível do Bloco (Cartucho)	
Nome do Bloco (Diagrama)	Tempo Disponível do Bloco
B-3222A	7110,1561
B-3222B	7020,4917
B-3222D	6939,1232
B-3222C	6827,7552

Fonte: Autoria própria (2012).

Tabela 8 - Disponibilidade das bombas B-3222ABCD com selo mecânico

Ranking - Tempo Disponível do Bloco (Mecânico)	
Nome do Bloco (Diagrama)	Tempo Disponível do Bloco
B-3222A	6564,2969
B-3222B	6783,749
B-3222C	6917,5426
B-3222D	6816,0832

Fonte: Autoria própria (2012).

Com os dados das tabelas de disponibilidade pode-se perceber que houveram ganhos de disponibilidade nas bombas A e B.

5.4 ANÁLISE DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Acrescentando-se os custos de manutenção para as bombas e efetuando as simulações do sistema dentro do software BlockSim, pode-se extrair os custos estimados pelo número de falhas esperadas para 20 anos conforme tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Custos de manutenção simulados para 20 anos com selo cartucho

Ranking - Custos do Bloco (Cartucho)	
Nome do Bloco (Diagrama)	Custo Total
B-3222A	R\$ 713.569,60
B-3222B	R\$ 1.051.551,19
B-3222C	R\$ 1.782.276,80
B-3222D	R\$ 1.361.312,70
Total	R\$ 4.908.710,29

Fonte: Autoria própria (2012).

Tabela 10 - Custos de manutenção simulados para 20 anos com selo mecânico

Ranking - Custos do Bloco (Mecânico)	
Nome do Bloco (Diagrama)	Custo Total
B-3222A	R\$ 2.754.180,75
B-3222B	R\$ 1.927.058,57
B-3222D	R\$ 1.802.998,71
B-3222C	R\$ 1.426.152,98
Total	R\$ 7.910.391,01

Fonte: Autoria própria (2012).

Assim como na disponibilidade, com os dados dos custos de manutenção, pode-se perceber que as mudanças trouxeram ganhos financeiros para a empresa de cerca de três milhões de reais.

6 CONCLUSÕES

Pode-se evidenciar que qualquer que seja o teste realizado em um sistema, este necessita ser avaliado por critérios científicos, pois somente deste modo é que pode-se precisar se a mudança trás ou não melhorias. Neste caso específico ficou claro que o sentimento de melhora pela equipe de manutenção foi confirmado pelas taxas de falhas menores nas bombas A e B, porém as bombas C e D apresentaram sensível piora quando analisado os dados de confiabilidade.

Quando analisado o sistema pelas PDF's, pode-se afirmar que os sistemas apresentaram pequenas melhoras principalmente nas bombas A e B do mesmo modo que através dos dados de confiabilidade.

Se analisado pelo lado financeiro das manutenções, o sistema também mostra ganhos, mostrando que ao longo dos anos os custos serão menores.

Os dados analisados mostraram que tanto por confiabilidade, disponibilidade e custos a mudança se mostrou positiva, porém são esperados maiores ganhos de confiabilidade e taxas de falhas menores. Deste modo a preocupação da equipe de manutenção esta correta e ela que deve procurar outras melhorias para que o sistema busque o atendimento ao requisito de 25000 horas de MTTF (PETROBRAS, 2012b).

6.1 PROPOSTA DE ESTUDOS FUTUROS

Além da análise da troca do sistema de selagem, fica como proposta de estudos futuros a avaliação da possibilidade de aquisição de equipamento de deslocamento positivo para substituição de bomba centrífuga atual, pois um dos problemas que podem ser determinantes para as falhas é a necessidade de bombear fluidos com diversas viscosidades, algo que a bomba centrífuga não possui robustez para isso (LIMA, 2003). Esta consideração não foi explorada neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABS CONSULTING. **Report incident investigation of the fire at the Pasadena Refining System**. Texas: Incorporated Crude Unit in Pasadena, Oct. 2011. 111 p.

AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. **Equipamentos mecânicos**: análise de falhas e solução de problemas. Rio de Janeiro: Qualitymark; Petrobras, 2002. 351 p.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. **Process Safety Beacon**. [S.l.], July 2002. Disponível em: <<http://www.aiche.org/CCPS/Publications/Beacon/index.aspx>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Standard 610**: Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. 9. ed. USA: [s.n.], Jan. 2003.

_____. **API Standard 682**: Pumps – Shafts Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps. 2. ed. USA: [s.n.], July 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, Nov. 1994, 37 p.

BIROLINI, Alessandro. **Reliability engineering**: theory and practice. 5. ed. New York: Springer, 2007. 593 p.

BLOCH, Heinz P. Mechanical seals: an opportunity for the next decade. **World Pumps**, [S.l.], v. 1999, n. 391, p. 52-53, Apr. 2002.

FERRAZ, Fabio. **Noções básicas de elementos de máquinas**. [S.l.]: SENAI – ES, 1996. 120 p. CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção.

FERREIRA FILHO, Jair; RODRIGUES, Renato Cosenza. **Monitoramento e controle de processos**. Rio de Janeiro: PETROBRAS; Brasília: SENAI/DN, 2003. 249 p.

GIRDHAR, Paresh. Centrifugal pump maintenance. In: **WORLD pumps: practical centrifugal pumps: design, operation and maintenance**. Oxford: Newnes, 2005. p. 160-194.

GUIMARÃES, Inácio Andruski. **Estatística**. UTFPR, Curitiba. 2011. 149 p. Notas de aula do professor.

HATAKEYAMA, Mário Katayama; EZEQUIEL, Borges. Aumento da confiabilidade de sistemas de selagem de bombas, através de uma parceria bem sucedida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 21., 2006, Aracaju. **Trabalho apresentado...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Manutenção, 2006.

IEEE. **IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems**. 7 Feb. 2007. 369 p.

KSB DO BRASIL. **Catálogo geral de bombas**. Brasil: [s.n.], 2009. 59 p.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 373 p.

LIMA, Epaminondas Pio Correia. **Mecânica das bombas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 609 p.

MATTOS, Edson Ezequiel de; FALCO, Reinaldo de. **Bombas industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 473 p.

OFFSHORE Reliability Data Handbook (OREDA). 4. ed. Norway: [s.n.], 2002. p. 173-206.

OFFSHORE Reliability Data Handbook (OREDA). 5. ed. Norway: [s.n.], 2009. p. 139-163.

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES (OCDE). **Proposed standard practice for surveys on research and experimental development**: Manuel de Frascati. Paris: OCDE, 2002. 255 p.

PACHOLOK, Mariano. **Curso de formação de operadores de refinaria: equipamentos dinâmicos**. Curitiba: PETROBRAS/Unicenp, 2002. 68 p.

PALLEROSI, Carlos Amadeu. Principais aplicações, vantagens, desvantagens e limitações das atuais distribuições estatísticas em confiabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONFIABILIDADE, 5., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n.], 2007.

_____. **A quarta dimensão da qualidade:** conceitos básicos e métodos de cálculo. São Paulo, 2006. v. 1. 353 p.

_____. **A quarta dimensão da qualidade:** confiabilidade de sistemas. São Paulo, 2007. v. 4. 157 p.

_____. **A quarta dimensão da qualidade:** manutenibilidade e disponibilidade. São Paulo, 2007. v. 5. 155 p.

PESSOA, Gerisvaldo Alves. **Fundamentos de confiabilidade.** Faculdade Atenas Maranhense – FAMA, Curso de Especialização em Gestão Estratégica da Qualidade, abr. 2009. Notas de aula do professor. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/9249111/Fundamentos-de-Confiabilidade>>. Acesso em: 21 maio 2012.

PETROBRAS. REPAR. **Aplicativo GMCC:** Grupo de Melhoria Contínua de Confiabilidade, Refinaria Presidente Getúlio Vargas – REPAR: Software. Petrobras: Araucária, [2012a].

_____. **Padrão REPAR-PG-5AR-00014-M.** Petrobras: Araucária, [2012b].

_____. **Pastas/arquivos de Manutenção da B-3222ABCD:** Setor de Equipamentos Dinâmicos da Manutenção Industrial REPAR. Petrobras: Araucária, [2012c].

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção:** função estratégica. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 341 p.

REA, Chris. Mechanical seals: in defence of the seal industry. **World Pumps**, [S.l.], v. 2005, no. 464, p. 18-20, May 2005.

RELIASOFT. **Blocksim 7 Version 7.0.14.** Tucson, Arizona: Reliasoft Office, 2011a. 1 CD-ROM.

_____. **Confiabilidade aplicada a manutenção uma visão sistêmica.** [Curitiba]: UTFPR, 2008a. I Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção da UTFPR em 2011.

_____. **Presentation Handouts**: análise de dados de vidas – RS401: manual de treinamento. Tucson, Arizona: Reliasoft Office, 2011b.

_____. **User's Guide ReliaSoft's BlockSim Version 7**. Tucson, Arizona: Reliasoft Office, 2007. 587 p.

_____. **User's Guide ReliaSoft's Weibull++ Version 7**. Tucson, Tucson, Arizona: Reliasoft Office, 2005. 709 p.

_____. **Weibull ++7 Verion 7.5.7**. Tucson, Arizona: Reliasoft Office, 2008b. 1 CD-ROM.

SAP-ERP: Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados, módulo PM. [S.l.: s.n.], nov. 2012.

SENNA, Ayrton. *The Face of a Champion Software*. São Paulo: Sonopress – Rimo Indústria e Comércio Ltda, 1995. 1 CD-ROM.

SIMÕES FILHO, Salvador. **Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos**. 2006. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SHIELS, Stan. Failure of mechanical seals in centrifugal pumps: part two. **World Pumps**, [S.l.], v. 2002, n. 432, p. 34-37, Sep. 2002.

SOFTWARE BICycle OREDA. Program version 10.1.0.7. [S.l.: s.n.], 25 mar. 2010. 1 CD-ROM.

SOUZA, Védson Lopes de. **Estudo técnico-econômico da substituição de gaxetas por selos mecânicos em bombas centrífugas**. 2009. 53 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica)-Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2009.

SUCHEK, Taís Helena et al. **Avaliação do TQ-4318 e das B-3222 ABCD**. Araucária: PETROBRAS. REPAR, jan. 2010. Relatório Técnico.

TOKIKAWA, Ricardo Takeshi; FERRAZ, Marcelo Barbosa; ROCHA FILHO, Joel da. Aumento da confiabilidade do parque de bombas centrífugas de óleo combustível: estudo de caso. In: CONGRESSO DA ABRAMAN, 20., 2007. **Trabalho apresentado...** [S.l.]: ABRAMAN, 2007.

ANEXOS

ANEXO A – APLICATIVO GMCC

Neste item será adicionada imagem do aplicativo GMCC (2012) (figura xx) bem como o texto de comentários de reuniões dos grupos.

Consulta, Atualização e Cadastro de Novas Ocorrências

REUNIÃO do GMCC

58 Pendente SELEÇÃO GRUPO SELEÇÃO ÁREA Status

GRUPO: ED ORIGEM: ANÁLISE DE RISCOS

ÁREA: 5900 - SETRAE Número:

SISTEMA: B-3222 A/B/C/D Solicitante:

ESTUDO: B-3222 A/B/C/D - ELEVADA TAXA DE FALHAS

DETALHES

GRUPO SELECIONADO: TODOS

Lin Col Descrição TAG

B	1	B-3222 A/B/C/D - ELEVADA TAXA DE FALHAS	B-3222 A/B/C/D
B	1	Pintura Geral e Substituição do Selo de Vedação	TQ-4224
B	1	FUNCIÓNAMENTO DOS DETECTORES DE GÁS	DETECTORES DE
B	1	Pintura ou Lining	TQ-4222
B	1	Instalação de Fundo Duplo e Telo Ademado	TQ-4104
B	1	VAZAMENTOS CONSTATES DE GÁS COMBUSTIVEL PELO	F-2102 A/B e F-210
B	1	Manutenção Geral e Pintura Interna	TQ-4304
B	1	IMPLEMENTAR O CONTROLE DO EXCESSO DE AR NA MA	CONTROLE DO EX
B	1	ADEQUAR FORNOS DA U-2100 A PASSAGEM DE FIG	DESCOQUEAMENT
B	1	Medidor de Interface	TQ-4107
B	1	Pls - ADEQUAÇÃO DAS CONEXÕES	PI'S
B	1	Manutenção Geral	TQ-4264
B	1	CONDICÃO OPERACIONAL DOS MOTORES DO TERMINAL	PRONTEAMENTO

- B = IMPACTO DIRETO NO ABASTECIMENTO DO CONSUMIDOR FINAL.
1 = JÁ OCORREU MAIS DE UMA VEZ NA REPAR.

- OPERA COM MAIS DE UM PRODUTO(ESCUROS).

- RTA REGISTRADO REPAR/MI/ED 0007A/2007 (Uma arruela de balanceamento do rotor do motor MB-3222C soltou-se e danificou o enrolamento do estator do mesmo. O pacote magnético não sofreu avarias.)

- RTA ENCERRADO COM TRATAMENTO EFICAZ REPAR/TE 0006A/2007 (Bomba vem apresentando rompimento constante do selo por estar operando fora das condições de projeto (produto muito viscoso), já foi feito um estudo pela mecanica e apresentou troca de bomba.)

NÃO FOI APROVADA A TROCA DAS BOMBAS POR CUSTO. PERMANECE

Data 1ª Programac: Prazo:

Data Programada: Data Final:

ÁREA Responsável: REPAR-MI/ED

Responsável: MARIO CESAR FLORES NUNES

DESTINO: RTA

Num: REPAR/TE 0006A/2007

Registro: 34 de 276

Figura 15 - Imagem do Aplicativo GMCC
Fonte: Petrobras (2012a).

A seguir segue o texto de comentários das reuniões extraído do aplicativo GMCC.

- OPERA COM MAIS DE UM PRODUTO(ESCUROS).
- RTA REGISTRADO REPAR/MI/ED 0007A/2007 (Uma arruela de balanceamento do rotor do motor MB-3222C soltou-se e danificou o enrolamento do estator do mesmo. O pacote magnético não sofreu avarias.).
- RTA ENCERRADO COM TRATAMENTO EFICAZ REPAR/TE 0006A/2007 (Bomba vem apresentando rompimento constante do selo por estar operando fora das condições de projeto (produto muito viscoso), já foi feito um estudo pela mecânica e apresentou troca de bomba.)

NÃO FOI APROVADA A TROCA DAS BOMBAS POR CUSTO. PERMANECE REPARANDO O SELO.

02/08/2007

- Irajá tentou por diversas vezes abrir o GM com o pessoal da operação não obteve sucesso.

- Avaliar impacto dos novos empreendimentos na criticidade destas bombas.
- O problema se tornou crítico por problemas de fornecimento de materiais.
- A solução já foi proposta pelo MI/ED mas não foi aprovada.

01/10/07

- Aguardando reestruturação da TE.

08/10/2007

- Responsável pela TE - Flores.

10/12/2007

- Revisar estoque estratégico.

26/12/2007

- Estoque estratégico revisado, encerrado estudo deste equipamento.

04/12/2008

- MI/ED solicita reabertura do estudo das bombas B-3222A/B/C/D. Fernando Moura comenta a necessidade de reavaliar a análise pois as condições operacionais são severas e os impactos de manutenção são elevados.

09/02/2009

Foram recuperados os processos anteriores, os quais foram reprovados por questões orçamentárias. Demanda atualização de propostas e EVT.

17/04/2009

Aguardando cenários de processo da OT para seleção de estratégia e novos equipamentos.

22/06/09

Aguardando entrega dos dados pela OT.

Jonas/TE informou que estas bombas terão cenários diferentes com a partida do Coque. O produto será menos viscoso e muito próximo da condição original.

24/08/09

- No aguardo de informações da OT.

19/11/09

- Continuamos no aguardo das informações pela OT.

02/12/09

- Enviado DIP REPAR/MI/ED 000062/2009

18/07/2011

Foi criado em 28/12/2009 através da DIP Repar 348/2009 o GT para Avaliação do TQ-4318 e as B's -3222A/B/C/D.

Recomendações do GT:

- Substituir duas das B-3222 (C e D) por bombas de deslocamento positivo.
- Modificar procedimento operacional para mistura e venda de óleos combustíveis. Devendo ser utilizadas as bombas de deslocamento positivo para mistura e as bombas centrífugas para venda.
- Analisar sistema de injeção de flushing das bombas B-3222 A e B, que continuarão a ser centrífugas.
- Interligar as sucções das B-3222 A e B com o TQ-4321 (8" e aproximadamente 400 m cada).

ANEXO B – PADRÃO REPAR-PG-5AR-00014-M

REPAR	
Código: PG-5AR-00014-M	
CORPORATIVO	MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DINÂMICOS
	Status: Ativo
Órgão aprovador: REPAR/MI/ED	Data de Aprovação: 15/09/2010
Órgão gestor: REPAR/MI/ED	Assinatura: Fernando Luis de Moura
Tipo de Cópia Impressa: Não Controlada	

1. OBJETIVO

Manter a disponibilidade operacional dos equipamentos dinâmicos da REPAR através da detecção, prevenção, predição, pró-ação e correção de falhas em equipamentos dinâmicos.

2. ABRANGÊNCIA E DISSEMINAÇÃO

Equipamentos dinâmicos da REPAR abrangendo motores elétricos, turbinas a vapor, bombas, compressores, sopradores, agitadores, aeradores, clarificadores, separadores, ventiladores, redutores, atuadores de válvulas, válvulas de segurança, sistemas pneumáticos, sistemas hidráulicos e sistemas auxiliares. Para referência, usar os equipamentos cadastrados no SAP/R3 que pertençam às classes citadas.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- MG-1AT-00001 - Manual da Gestão do Abastecimento;
- PE-5AR-00189 - Planejamentos e Programação de Serviços de Manutenção;
- PE-5AR-00039 - PROCESSO DE PLANEJAMENTO, ACOMPANHAMENTO E REGISTRO DE PARADAS
- PE-3AT-00110 - Coordena o Processo de Manutenção de Rotina;
- PE-3AT-00113 - Estabelece e Promove o Cumprimento das Diretrizes de Confiabilidade;
- PE-3AT-00127 - Controla e Avalia os Resultados dos Indicadores de Confiabilidade Operacional;
- PG-1AT-00006 - Tratamento de Anomalias;
- PG-3AT-00019 - Gestão da Manutenção de Rotina no Abastecimento;
- PG-3AT-00020 - Gestão de Planejamento de Paradas do Abastecimento;
- PP-3AR-00001 - Produção de Derivados - REPAR;
- PP-3AT-00030 - Monitora e Aprimora Tecnologia de Equipamentos;
- PP-3AT-00033 - Desenvolve Confiabilidade Operacional;

PP-3AT-00035 - Planeja e Promove a Gestão Da Manutenção e Engenharia de Equipamentos;
Diretrizes Corporativas de SMS;
Planilhas de Aspectos e Impactos - Sistema SMSnet.

4. DEFINIÇÕES

AR – Análise Risco.

ED – Setor de Equipamentos Dinâmicos.

EI – Setor de Elétrica e Instrumentação.

EN – Engenharia.

EP – Estudos de Problemas.

EPI – Equipamento de Proteção Individual.

GD – Gerenciamento de Desempenho .

MI – Manutenção Industrial.

PM – Setor de Planejamento da Manutenção.

RBM – Reliability Based Maintenance (Software - Manutenção Baseada em Confiabilidade).

RESSERVIÇO – Ocorrência da mesma falha no mesmo equipamento num prazo igual ou menor a noventa dias.

RTA – Relatório de Tratamento de Anomalias.

SC – Serviços Compartilhados.

SAP/R3 – Sistema Integrado de Gestão Empresarial.

TMEF – Tempo Médio Entre Falhas.

5. DESCRIÇÃO

5.1 VISÃO

Conforme estabelecido no item 5.4.5 do padrão Notes Link PP-3AR-00001 - Produção de Derivados – REPAR, a manutenção dos equipamentos dinâmicos da REPAR é tarefa e atividade do subprocesso mantém a disponibilidade operacional das instalações industriais do processo produz derivados.

5.2 RESPONSABILIDADE

A responsabilidade imediata pela manutenção dos equipamentos dinâmicos da REPAR, na visão de estrutura organizacional, é do Gerente do ED. A responsabilidade, na visão de atitude, é de todos os Empregados lotados no ED.

5.3 ORGANIZAÇÃO DO ED

5.3.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Na estrutura organizacional da REPAR o ED pertence à MI, ver figura 2 do Notes Link PP-3AR-00001 - Produção de Derivados - REPAR. Internamente o ED possui grupos de trabalho para:

- Gestão de competências;
- Planejamento;
- Gestão de materiais e serviços;
- Engenharia de manutenção;
- Supervisão e execução de serviços;
- Gestão da informação técnica;
- Manutenção preditiva.

5.3.2 COMPETÊNCIAS

Os grupos de trabalho são compostos por Empregados Próprios e Contratados. Os empregados possuem os seguintes cargos:

- Gerente Setorial
- Engenheiro de Equipamentos;
- Técnico de Manutenção Junior;
- Técnico de Manutenção Pleno;
- Técnico de Manutenção Senior;
- Supervisor;
- Mecânico;
- Mecânico de Equipamentos Dinâmicos de Grande Porte;
- Torneiro Mecânico;
- Meio Oficial Mecânico;
- Técnico de Segurança;
- Mecânico Lubrificador;
- Eletromecânico.

A habilitação para o trabalho é feita por registro no CREA-PR e certificação na ABRAMAN.

A qualificação dos Empregados Próprios é gerenciada através do GD e a dos Empregados Contratados é por pré-qualificação e treinamentos estabelecidos em contrato.

5.3.3 ESTRUTURA FÍSICA

O ED conta com estrutura física para a execução dos reparos, composta de:

- Oficina mecânica;
- Ferramentaria;
- Veículos;
- Recursos computacionais para monitoramento, pesquisa e gestão;
- Recursos de comunicação;
- Documentação técnica.

5.4 CRITÉRIOS DE CONFIABILIDADE

- Qualificação e habilitação de mão-de-obra;
- Treinamento dos Empregados Próprios e Contratados;
- Balanceamento de conjuntos rotativos de eixo rígido conforme norma ABNT NBR 8008 ou ISO 1940;
- Alinhamento de eixos com sistema laser;
- Uso de sobressalentes originais;
- Uso de sobressalentes standard fornecidos somente por fornecedores com qualidade comprovada pela Engenharia de Manutenção;
- Rigoroso controle sobre a lubrificação;
- Monitoramento da condição dos equipamentos por medição contínua ou periódica de vibração;
- Atuação pró-ativa referenciada em RTAs e no indicador TMEF;
- Meta de TMEF de 25000 horas.

5.5 INTERVENÇÕES E MUDANÇAS

5.5.1 INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO

As intervenções descritas no item 5.6.1 são feitas conforme planos estabelecidos no SAP/R3 e nos planos de paradas. As falhas detectadas e descritas nos itens 5.6.2 e 5.6.3 são corrigidas através de intervenção nos equipamentos através de Ordem de Manutenção no SAP/R3 conforme critérios estabelecidos no Notes Link PE-5AR-00189 - Planejamento e Programação de Serviços de Manutenção.

Para a intervenção nos equipamentos deve-se observar todo o conteúdo dos itens 7 e 8 deste padrão.

5.5.2 MODIFICAÇÕES DE PROJETO

As recomendações para melhoria de projetos, decorrentes do item 5.6.4, são encaminhadas à EN através de EP.

5.6 MOTIVAÇÃO PARA AS INTERVENÇÕES DE MANUTENÇÃO

5.6.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

- Lubrificação periódica conforme Notes Link PE-5AR-00329 - Lubrificação;
- Paradas programadas planejadas pelo PM. Quando for aplicável, devem ser observados os documentos:
 - Notes Link PG-5AR-00010 - Manutenção do Soprador de Ar – SP-2201;
 - Notes Link PG-5AR-00026 - Manutenção do Compressor de Gases da U-2200 – C-2201;
 - Notes Link PG-5AR-00027 - Manutenção de Sopradores de Tiragem Forçada das Caldeiras GV-5601/02 e GV-2201;
 - Notes Link PG-5AR-00685 - Manutenção Preventiva dos C-2501A/B.

5.6.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA

- Testes específicos para motores elétricos realizados pelo EI.
- Monitoramento da condição dos equipamentos conforme Notes Link PE-5AR-00257 - Vibração.
- Acompanhamento e diagnóstico do pessoal de manutenção e operação envolvidos com o equipamento. Por exemplo: ruído, temperatura, pressão, outros;

5.6.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA

- Falha súbita.

5.6.4 MANUTENÇÃO PRÓ-ATIVA

- Atuação pró-ativa referenciada em RTAs e no indicador TMEF;

6. CICLO DE CONTROLE

6.1 ANOMALIAS

Deve-se abrir RTA para as ocorrências definidas no padrão Notes Link PG-1AT-00006 - Tratamento de Anomalias e para as seguintes:

- Resserviço;
- TMEF menor que 25000 horas para a REPAR relativo a equipamentos dinâmicos.

6.2 INDICADORES

- IM - Índice de Manutenção Industrial;
- TMEF - Tempo Médio Entre Falhas;
- Perda de Produção por Equipamento Dinâmico (NS34).

7. REQUISITOS DE SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE, SAÚDE E RESPONSABILIDADE SOCIAL

7.1 CONDIÇÕES GERAIS

A legislação é observada de acordo com Notes Link PG-1AT-00003 - Requisitos Legais e Outros Requisitos de Meio Ambiente, Saúde e Segurança Aplicáveis a REPAR

7.2 MEIO AMBIENTE

Deve-se conhecer os aspectos, seus respectivos impactos ambientais e os mecanismos de controle e mitigação para cada processo/atividade de acordo com as **Planilhas de Aspectos e Impactos - Sistema SMSnet**.

O descarte de resíduos líquidos deverá, obrigatoriamente, sempre ser feito nas canaletas próprias para efluentes oleosos, tanto na área industrial quanto na oficina do ED. Quando não houver esse tipo de canaleta nas proximidades do local de execução da atividade, os resíduos líquidos devem ser coletados em recipientes apropriados, bacias de alumínio por exemplo, e trazidos até a oficina do ED. Quando se tratar de drenagem de óleo lubrificante, este deverá ser coletado e descartado em tambores próprios na oficina do ED, área de lubrificação ou nas áreas de processo.

O descarte de resíduos sólidos deverá, obrigatoriamente, sempre ser feito nos recipientes identificados no ED. Quando a execução da atividade for fora da oficina do ED todos os resíduos sólidos, exceto resíduos de varrição, devem ser coletados em recipientes apropriados, caixas de madeira por exemplo, e trazidos até a oficina do ED.

No caso de pilhas e baterias o descarte deve, obrigatoriamente, ser feito na caixa coletora localizada no SC S1-RECEBIMENTO.

No caso de toner de impressora deve, obrigatoriamente, ser feita devolução ao SC.

Os FISCAIS de contratos devem exigir que as Contratadas destinem os resíduos adequadamente e considerar o zelo pelo meio ambiente no Boletim de Avaliação de Desempenho da Contratada.

Também devem ser observados os seguintes documentos:

PG-2AT-00039 - Gestão de Resíduos;

PG-4AR-00096 - Plano de Gerenciamento de Resíduos ;

7.3 SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL

Deve-se conhecer os aspectos e seus respectivos impactos na segurança e saúde das pessoas em função dos riscos decorrentes das intervenções de manutenção e os mecanismos de controle e mitigação para cada processo/atividade, de acordo com as **Planilhas de Aspectos e Impactos - Sistema SMSnet**.

Os EPI's deverão ser requisitados no SAP/R3 ou retirados no SC - ferramentaria ou solicitados à SMS. Em caso de falta de algum EPI a atividade não deve ser executada e deve haver comunicação ao Supervisor ou ao Gerente do ED. Os Fiscais de contratos devem exigir o uso de EPIs pelos Empregados de Contratadas e considerar o seu zelo no Boletim de Avaliação de Desempenho da Contratada.

Para a execução dos trabalhos de limpeza de peças no lavador do ED deve-se, obrigatoriamente, usar EPIs básicos e, quando necessário, viseira panorâmica e capa de chuva. Também deve-se, obrigatoriamente, prender a mangueira da máquina WAP ao ligá-la e desligá-la. Caso haja dúvidas sobre o equilíbrio da peça a ser lavada esta deve ficar presa à ponte rolante.

Para executar a manutenção em equipamentos dinâmicos, válvulas de segurança e filtros independentemente se com Pessoal Próprio ou Contratado, deverão ser atendidas as recomendações constantes nos seguintes padrões:

- PE-3AR-00002 - Intervenção nas Unidades ou Sistemas Operacionais;
- PE-5AR-00636 - Liberação de Equipamentos para Intervenção pelo ED;
- PG-2AT-00002 - Permissão para Trabalho - PT;
- PG-4AR-00127 - Padrões básicos de Segurança, Saúde e Meio Ambiente.

7.4 SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

Deve-se conhecer os aspectos e seus respectivos impactos para a integridade das pessoas, instalações e partes interessadas decorrentes das intervenções de manutenção e os mecanismos de controle e mitigação para cada processo/atividade, de acordo com as **Planilhas de Aspectos e Impactos - Sistema SMSnet**.

Deve-se conhecer as recomendações constantes nos seguintes padrões:

- PG-2AT-00132 - Preparação e Resposta a Emergência;
- PG-4AR-00032 - Plano de Abandono.
- PG-3AR-00009 - Pre Plano de Resposta a Emergência da REPAR

7.5 RESPONSABILIDADE SOCIAL

Deve-se conhecer o padrão Notes Link PG-1AT-00020- Responsabilidade Social no Abastecimento.

8. REGISTROS

Deve-se fazer registros técnicos para cada manutenção executada. Os registros devem ser feitos através de:

- Encerramento da ordem de manutenção no SAP/R3 conforme Anexo A do Notes Link PG-3AT-00019 - Gestão da Manutenção de Rotina no Abastecimento;
- Relatório de histórico de intervenção feito em formulários pré-impressos e disponíveis no arquivo do ED;

O monitoramento da condição dos equipamentos permite registro automático através do sistema RBM conforme Notes Link PE-5AR-00257 - Vibração.

9. ANEXOS

Não se aplica.

ANEXO C – DE-295-RE-3000-0-20-53 - FLUXOGRAMA DOS SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

