

FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE PRÁTICAS DE NÍVEL
MUNDIAL NA MANUTENÇÃO DE COMPRESSORES
CENTRÍFUGOS**

Paulo Roberto Leite Nóbrega

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima

Santa Bárbara d'Oeste, SP

2008

FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE PRÁTICAS DE NÍVEL
MUNDIAL NA MANUTENÇÃO DE COMPRESSORES
CENTRÍFUGOS**

Paulo Roberto Leite Nóbrega

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba UNIMEP como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Santa Bárbara d'Oeste, SP

2008

Agradecimentos

Ao meu Senhor Jesus Cristo, pela força, discernimento e determinação.

À minha família pelo incentivo e compreensão.

Aos meus velhinhos, meus queridos e amados pais, dos quais esse mundo não é digno, agradeço por tudo.

Ao Professor Dr. Carlos Roberto Camello Lima, pela orientação, amizade e conhecimentos adquiridos para a conclusão desse trabalho.

Aos professores do programa de pós-graduação em engenharia de produção da UNIMEP, pela dedicação no cumprimento de suas atribuições e pelo ambiente amigável que nos foi proporcionado.

À PETROBRAS, pela concessão da bolsa de estudos, pela liberação de alguns dias de trabalho para dedicação ao estudo, e pela oportunidade de crescimento.

As gerentes da Refinaria da Petrobras em Cubatão, RPBC, que me apoiaram e criaram condições para que esse projeto se realizasse. Em especial à Gerência da Manutenção Industrial, a Gerência Setorial de Equipamentos Dinâmicos e a Gerência de Recursos Humanos.

Aos companheiros de trabalho e estudo, pelo apoio, incentivo e companheirismo ao longo da minha carreira.

Ao amigo Marcelo Eloy, pela amizade e alegria de nosso convívio na UNIMEP.

“Vinde a mim todos que estais cansados e oprimidos e eu vos aliviarei”.

Jesus Cristo

SUMÁRIO

Lista de figuras -----	vi
Lista de tabelas -----	viii
Lista de quadros -----	viii
Lista de siglas e termos técnicos -----	ix
Resumo -----	xi
Abstract -----	xiii
1. Introdução -----	1
1.1. Objetivo do trabalho -----	3
1.2. Importância do trabalho -----	4
1.3. Estrutura do trabalho -----	6
2. Manutenção Industrial -----	8
2.1. Aspectos gerais da manutenção industrial -----	8
2.2. Conceitos de manutenção -----	10
2.3. Conceitos de confiabilidade -----	12
2.3.1. <i>Confiabilidade na manutenção</i> -----	18
2.3.2. <i>Confiabilidade na produção</i> -----	20
2.3.3. <i>Manutenabilidade</i> -----	22
2.4. Compressores Centrífugos e sua manutenção -----	22
3. Práticas de Classe Mundial Aplicadas na Manutenção de um Compressor Centrífugo -----	28
3.1. Metodologia -----	28
3.2. Técnicas de manutenção -----	30
3.3. Detalhamento dos Procedimentos de Manutenção -----	34
3.3.1. Projeto da Unidade -----	35
3.3.1.1. <i>Sistemas de proteção</i> -----	37
3.3.1.2. <i>Layout das tubulações</i> -----	39
3.3.1.3. <i>Preparação para flushing</i> -----	41
3.3.2. <i>Preparação da manutenção</i> -----	42
3.3.2.1. <i>Planejamento</i> -----	44

3.3.2.2.	<i>Sobressalentes</i>	46
3.3.2.3.	<i>Formação da equipe</i>	49
3.3.2.4.	<i>Confiabilidade humana</i>	50
3.3.3.	Acompanhamento e análise das variáveis antes da parada	51
3.3.3.1.	<i>Manutenção preditiva</i>	52
3.3.3.1.1.	Detecção de anomalias	55
3.3.3.2.	<i>Inspeção nos visores de óleo</i>	55
3.3.3.3.	<i>Análise do óleo lubrificante</i>	56
3.3.3.3.1.	Ferrografia	57
3.3.3.4.	<i>Análise da vibração</i>	57
3.3.4.	Cuidados com o rotor	58
3.3.4.1.	<i>Inspeção dos rotores</i>	60
3.3.4.2.	<i>Armazenagem</i>	68
3.3.5.	Remoção dos internos (bundle) e desmontagem dos diafragmas	70
3.3.5.1.	<i>Movimentação das peças pesadas</i>	71
3.3.6.	Medição de folgas	73
3.3.6.1.	<i>Medições axiais antes da desmontagem</i>	76
3.3.6.1.1.	Medir passeio axial com escora	77
3.3.6.1.2.	Medir primeiro contato para cada lado	77
3.3.6.1.3.	Medir passeio axial sem escora	79
3.3.7.	Alinhamento dos impelidores nos diafragmas (overlap) -	80
3.3.8.	Cuidados com o sistema de lubrificação	83
3.3.9.	Cuidados com os componentes de selagem	84
3.3.9.1.	<i>Anéis "oring"</i>	84
3.3.9.2.	<i>Ajuste da selagem inter-estágios com labirinto</i>	85
3.3.9.3.	<i>Selo a óleo de anéis flutuantes</i>	87
3.3.9.4.	<i>Selo de contato</i>	89
3.3.9.5.	<i>Selo a gás</i>	90
3.3.10.	Montagem hidráulica de acoplamento	91

4. Dissonância entre o uso de Técnicas Mundiais e

Convencionais	93
4.1. Panorama Nacional e Mundial	93
4.2. Apresentação e análise dos resultados	97
5. Conclusão	101
5.1. Sugestões para trabalhos futuros	104
Referências Bibliográficas	105
Anexo A: Planilha de folgas do levantamento dimensional do rotor	112

Lista de Figuras

Figura 1 – Visão de confiabilidade	13
Figura 2 – Curva típica da função confiabilidade	16
Figura 3 – Curva da banheira	16
Figura 4 – Classificação dos compressores	23
Figura 5 – Difusores e caminho do gás	25
Figura 6 – Carcaça com corte horizontal	25
Figura 7 - Carcaça com corte vertical	26
Figura 8 – Tubulações dificultando acesso à máquina	41
Figura 9 – Linha de desvio de óleo	42
Figura 10 – Quadro de precibilidade	49
Figura 11 – Impelidor aberto	59
Figura 12 – Levantamento dimensional geral	61
Figura 13 – Levantamento dimensional região dos selos	61
Figura 14 – Levantamento dimensional região do acoplamento	63
Figura 15 – Mancal radial	63
Figura 16 - Levantamento dimensional região dos mancais	64
Figura 17 – Levantamento dimensional axial	65
Figura 18 – <i>Runout</i> elétrico	65

Figura 19 – <i>Runout</i> mecânico	66
Figura 20 – Local de apoio nos mancais	67
Figura 21 – Medição do <i>runout</i> mecânico	67
Figura 22 – Área interna de um túnel de vácuo	68
Figura 23 – Rotor armazenado em armazém climatizado	69
Figura 24 – Recipiente metálico inerte para guardar rotor	69
Figura 25 - Pacote de diafragmas e rotor ou bundle	70
Figura 26 – Medição de mancal	73
Figura 27 – Comparação entre as sapatas	76
Figura 28 – Mancal de escora completo	77
Figura 29 – Fluxo do gás através do impelidor e diafragma	80
Figura 30 – Medição do overlap	81
Figura 31 – Diferenças na medição do overlap	82
Figura 32 – Anel “o ring” com boa fixação	84
Figura 33 – Selagem inter estágio	86
Figura 34 - <i>Medição das folgas laterais</i>	87
Figura 35 – Selo de anéis flutuantes	88
Figura 36 – Selo de contato	89
Figura 37 – Selo a gás	90
Figura 38 – Dispositivo hidráulico	91
Figura 39 – <i>Média de vibração em máquina na empresa B</i>	100

Lista de Tabelas

Tabela 1 – <i>Levantamento dimensional</i>	62
Tabela 2 – <i>Levantamento dimensional região dos mancais</i>	64
Tabela 3 – <i>Medição dos mancais</i>	82
Tabela 4 – <i>Resultados do uso de técnicas refletindo o TMEF</i>	98
Tabela 5 – <i>Relação das práticas com os resultados</i>	99

Lista de Quadros

Quadro 1 – <i>Principais diferenças entre as práticas de padrão mundial e convencional</i>	96
--	----

Lista de Siglas e Termos Técnicos

API: American Petroleum Institute

HAZARD RATE – termo em inglês para a taxa de risco até a primeira e única falha

DISPONIBILIDADE: pode ser definida como um percentual do tempo em que o sistema funciona com sucesso

FALHA - condição em que determinado equipamento ou sistema não consegue cumprir a missão para qual foi especificado

FALHA FUNCIONAL: é a falha de uma determinada função do sistema

TMEF: tempo médio entre falhas (MTBF- Mean Time Between Failures)

FLUSHING: Método de limpeza das tubulações do equipamento, em que é circulado algum fluído em alta velocidade para remover sujeira

LAYOUT: planta ou esquema

TMPF: média de tempo até a primeira falha (MTTF – Mean Time To Failure)

TMPR: tempo necessário para reparar a função de um equipamento (MTTR – Mean Time To Repair)

MODO DE FALHA - é a maneira como um determinado sistema falha

OVERLAP: Alinhamento dos impelidores nos difusores

PARADA: Período em que uma unidade de processo fica parada para manutenção geral, programada ou não

ROTOR: Parte rotativa completa de um compressor centrífugo

SELOS: Componentes de vedação presos entre a carcaça e o eixo que impedem a saída do gás

TAXA DE FALHA - quantidade de falhas em um determinado tempo.

UN: Unidade de negócio

RESUMO

A necessidade de implementação de melhores práticas no processo de manutenção de grandes máquinas tem aumentado devido aos altos níveis de desempenho e segurança requeridos pelos novos projetos. Os parâmetros de manutenção são tradicionalmente baseados na experiência do executante e, em muitos casos, tais parâmetros não incluem todas as recomendações dos fabricantes da máquina, nem agregam as melhoras práticas existentes. O conceito de “manutenção de classe mundial” está consolidado em muitas áreas da manutenção, com o objetivo de fazer frente às novas exigências do mercado. Entretanto, não é evidente, na literatura disponível, um padrão para agregar todas as técnicas conhecidas e praticadas em nível mundial, por fabricantes e profissionais de manutenção. Esse conjunto de práticas é comum para cada família de máquinas e se repete a cada manutenção, logo, pode ser padronizado. Com o objetivo de desenvolver o conceito de unificação das melhores práticas de manutenção, como o caminho mais seguro para alcançar o nível da manutenção de classe mundial, foi feito um levantamento extensivo dos melhores procedimentos adotados pelos fabricantes. Experimentos utilizando diferentes opções foram analisados e os resultados demonstraram que, através dos dados adquiridos, podem ser identificadas as perdas em termos de prazo e custos na manutenção. O empenho na implementação das melhores práticas na manutenção depende muito da disposição e conhecimento do gestor em analisar os dados, comparar os resultados e preparar sua equipe. Esse é o foco principal da padronização de boas práticas

e é através dessa visão que este trabalho pretende contribuir com a comunidade de manutenção.

Palavras-chave: Manutenção, Confiabilidade, Compressor Centrífugo, Boas Práticas

ABSTRACT

The necessity of implementing best practices in the large machine maintenance has increased due to the high performance and safety level required in new projects. Normally the maintenance standards are based on the worker`s experience. In most cases these actions do not include neither the manufacture requirements nor the best practices of the market. The world class maintenance concept is supported by many users. The goal is to face the new market requirements, but a common standard with large industrial application has not been established. Since the tasks are common to each group of machines, a standard could be established. With the objectives of looking for some of the best practices, checking their use and identifying the state of the art, it was made a collection with the best procedures used by manufacturers. Analyzing the use of other kind of practices, when manufacture procedure are not used, it was found limitations to optimized time and maintenance costs. The manager effort in the implementation of these best practices depends on his capacity of seeing and analyzing the data, compare the results and keep the team prepared. This is the main objective of best practices standardization, and it is from this point of view that this work intends to help the maintenance community.

Keywords: *Maintenance, Reliability, Centrifugal Compressor, Best Practices.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Silva, Cabrita e Matias (2008), é do conhecimento de muitos que a disponibilidade dos equipamentos deve ser o mais próximo possível de 100%, a fim de evitar as paradas não planejadas com conseqüentes perdas de produção.

Duffuaa (1988), há duas décadas, já identificava enorme pressão sobre as organizações de manufatura e serviços para serem mais competitivas e fornecer produtos com maior qualidade e prazos menores, envolvendo todos os sistemas da organização. O departamento de manutenção, como um destes sistemas, é uma das peças chave para que a organização alcance seus objetivos e também é submetido a essa pressão.

As necessidades crescentes por novas tecnologias têm alavancado contínuos avanços tecnológicos no campo das turbomáquinas. Também chamados de máquinas de fluxo, esses equipamentos convertem energia de um acionador, com eixo rotativo, em energia de pressão aplicada no bombeio de fluídos. Existem os mais variados tipos e modelos, passando pelos compressores, turbinas, turbogeradores e outros. Atuam como acionadores ou como equipamentos acionados. Neste cenário, as famílias de compressores, com seus mais variados modelos, capacidades e recursos, atuam sempre como máquinas acionadas. Assim, os compressores estão sempre acoplados a outra máquina, a qual recebe energia elétrica ou térmica e a transforma em movimento rotacional do eixo.

Estas máquinas vêm exigindo grande atenção das equipes de manutenção, pois, geralmente, são de suma importância ao processo produtivo. Sua parada normalmente envolve a parada geral da planta. A gerência de manutenção trata esses equipamentos de maneira diferenciada, e as oportunidades de manutenção são restritas às paradas da unidade de processo onde a máquina está inserida. Nesse sentido, almeja-se aproximar as inovações das políticas e metodologias de manutenção, grandemente consagradas na indústria, em razão, sobretudo da necessidade de sobrevivência imposta pelo mercado globalizado (LUCATELLI, 2001).

A manutenção destas grandes máquinas deve ser gerida de modo a proporcionar à organização, um grau de funcionalidade com um custo global otimizado. Como o prazo máximo de manutenção ou o caminho crítico, por vezes, é determinado por estas máquinas, qualquer atraso ou reserviço durante a manutenção implica em grandes prejuízos. Sua confiabilidade para o processo determina, muitas vezes, a própria lucratividade da planta. Desta forma, o investimento em treinamento para melhorar as técnicas de manutenção, pode aumentar o poder de decisão e a habilidade dos executantes, e se justificará nos melhores resultados a serem alcançados.

Como afirmam Dhillon e Liu (2006), as pessoas exercem um importante papel nas fases de projeto, instalação, produção e manutenção de um produto. Erro humano pode ser definido como a falha em executar determinada tarefa, o que poderia levar à interrupção da produção ou resultar em danos à propriedade ou aos equipamentos.

As necessidades e dificuldades durante a manutenção são as mesmas em várias situações de manutenção ao redor do mundo. Uma vez que os procedimentos de manutenção se repetem a cada intervenção, a padronização das ações, norteadas pelas recomendações dos fabricantes e pelas melhores práticas utilizadas pelos diversos profissionais, pode elevar os serviços de manutenção ao estado da arte. Assim, entende-se que o levantamento e disseminação das melhores práticas, com padrão mundial, poderão produzir significativas vantagens competitivas. Dentre as vantagens esperadas, podem-se citar a sensível redução das falhas na manutenção, melhoria da qualidade dos serviços, melhoria do desempenho das máquinas, maior segurança e menores custos totais.

A função “Manutenção de Sistemas Técnicos” está na interface entre as áreas de gestão da produção e de sistemas técnicos. Neste sentido, este trabalho apresentará dados técnicos imprescindíveis, que poderão ajudar na correta gestão da manutenção de compressores e de outras máquinas do gênero.

1.1. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo geral desse trabalho é apresentar uma proposta de unificação das melhores práticas de manutenção como o meio mais seguro para alcançar o nível de manutenção de classe mundial.

Os objetivos específicos são:

- Identificar as melhores e mais relevantes práticas de manutenção aplicadas aos componentes de compressores
- Orientar os trabalhadores quanto aos principais cuidados durante a manutenção de compressores
- Avaliar comparativamente os resultados alcançados com a aplicação das técnicas de manutenção de classe mundial e convencionais.

1.2. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Como afirmam Pintelon, Pinjala e Vereecke (2006), a pressão intensa pela competitividade está forçando muitas empresas a procurar por toda fonte possível de vantagem competitiva. Os compressores centrífugos, como a maioria das turbomáquinas, têm campanhas de operação em torno de quatro anos ininterruptos. Para fazer frente à expectativa de operação, em longas campanhas, é necessária alta confiabilidade dos sistemas envolvidos. Isso pode ser alcançado por meio de projeto adequado, qualidade na operação e utilização das melhores técnicas de manutenção. É possível afirmar que as técnicas empregadas na manutenção devem ter estreita relação com as expectativas gerenciais. Por sintetizar as melhores práticas de manutenção, focadas em compressores, este trabalho ajudará a aperfeiçoar o acompanhamento técnico, possibilitando uma inspeção das etapas de manutenção mais rápida e eficaz por parte do gestor do trabalho.

A aplicação de técnicas adequadas de manutenção, para manter a máquina em melhores condições operacionais, pode ser traduzida como aumento da qualidade e da confiabilidade operacional. O custo operacional da parada de

uma planta de processo, associado às implicações causadas ao mercado consumidor, eleva as decisões técnicas de manutenção e gerenciais a um patamar de grande relevância.

Assim, a importância deste trabalho está fundamentada no seguinte cenário:

- Pela experiência do autor, em mais de vinte anos de trabalhos e visitas a empresas nesta área, a maioria absoluta das empresas brasileiras adota práticas convencionais, individualizadas de acordo com a experiência e percepção do mantenedor, em geral longe das práticas de maior eficácia;
- O uso de técnicas de padrão mundial permite minimizar os erros, uma vez que são já bastante experimentadas. Normalmente, para aplicá-las requer apenas conhecer e treinar, pois, previamente, a comunidade já as ajustou para o melhor caminho. Provavelmente, as questões culturais sejam o maior obstáculo;
- A avaliação das técnicas utilizadas é importante para o setor industrial como um todo, na medida em que são identificadas as limitações das práticas convencionais de manutenção e definidos novos caminhos para garantir o retorno das turbomáquinas às suas características originais, após a manutenção.
- A confiabilidade necessária para um compressor é alta, pois, geralmente, é o coração da unidade e não tem equipamento reserva; seu regime de operação gira em torno de quatro anos ininterruptos. Assim, a aplicação das melhores técnicas de manutenção é um meio vital para garantir a continuidade operacional.

Com base no cenário acima, entende-se que a lacuna entre uma manutenção convencional e outra de classe mundial não é intransponível. Uma vez identificadas as diferenças e iniciado o processo de treinamento e adequação, pode ser alcançado o estado da arte.

Este trabalho se justifica por contextualizar a padronização no uso de técnicas aplicadas mundialmente. Assim, visa a unificar os procedimentos, diminuindo os erros de manutenção e aumentar a confiabilidade, trazendo vantagem competitiva à organização.

O trabalho destaca, em especial, os principais cuidados a serem considerados durante a manutenção de um compressor centrífugo, elencados com base em pesquisa bibliográfica extensiva e na experiência acumulada do autor, com mais de vinte anos de trabalhos, consultoria, cursos e visitas, nacionais e internacionais, nesta área. Embora algumas das orientações técnicas, que serão citadas mais a frente, possam também ser aplicadas em outras máquinas do gênero, as colocações apresentadas se justificam pela constatação da falta de padronização dos procedimentos geralmente utilizados durante as manutenções de grandes máquinas.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2, são trabalhados os aspectos gerais da manutenção industrial e também os conceitos de manutenção, confiabilidade e manutenibilidade. Traz, ainda, um resumo das características dos compressores centrífugos.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada, define as técnicas de manutenção e faz o detalhamento dos procedimentos de manutenção.

O Capítulo 4 apresenta a dissonância entre o uso de técnicas de padrão mundial e as técnicas convencionais. Apresenta o panorama nacional e mundial e faz a apresentação e análise dos resultados.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Finalizando, o Capítulo 6 traz a lista das referências utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

2. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

2.1. ASPECTOS GERAIS DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

O termo manutenção não tem, em geral, uma conotação positiva. Na maioria das vezes, a primeira idéia que surge quando se percebe um defeito no equipamento, é trocá-lo por outro novo. Os recursos não são ilimitados e, naturalmente, uma indústria quer sempre tirar o máximo proveito de seus ativos. Nesse quadro, percebe-se que cada vez mais a manutenção, como um todo, tem se tornado um componente de crucial importância nas empresas modernas.

A qualidade da manutenção é alcançada por meio do uso de recursos adequados, dentre eles, os sobressalentes, que ocupam papel fundamental. Como afirmam Clavareau e Labeau (2008), na prática, novos equipamentos estão regularmente disponíveis no mercado para cumprir as mesmas funções, mas com melhor desempenho. Este melhor desempenho pode ser entendido como menores taxas de falhas, menor consumo de energia, melhores preços de aquisição, etc. Ao mesmo tempo, torna-se mais difícil e caro adquirir sobressalentes de máquinas de gerações anteriores.

As plantas de processo, durante as paradas para manutenção, vivem seu pior momento, exceção apenas para as situações de sinistro. Isso fica fácil de ser evidenciado pelo ponto de vista econômico e de segurança. Durante as paradas, o custo de manutenção e a exposição de funcionários ao risco atingem seu ponto máximo, enquanto o faturamento é zero. Assim, não é de se

estranhar que todo empenho seja feito para reduzir o tempo de parada. Entretanto essa busca de redução de prazo deve ser criteriosa, para não se tornar a causa de acidentes e reserviços.

As equipes de manutenção agem em favor da lucratividade da organização não pela produção de bens ou serviços, mas pela manutenção dos ativos, mantendo-os em condições de cumprir seu papel. Como afirma Filho (2000), a manutenção é uma função empresarial, da qual se espera o controle constante das instalações. A gestão de ativos envolve vários níveis, desde a vigilância patrimonial, passando pelo técnico-operacional, até o gerencial. Um ativo deve ser visto não apenas como uma fonte de renda, mas como um recurso a ser explorado e controlado, pois seu uso inadequado poderá representar, além de prejuízo financeiro, riscos às pessoas, ao patrimônio, ao meio ambiente e prováveis danos à imagem da empresa.

Segundo Souza e Lima (2003), a manutenção pode ser considerada uma função estratégica que agrega valor ao produto, sendo que as empresas buscam, no departamento de manutenção, os resultados positivos de desempenho do seu sistema produtivo para garantir ganhos de produtividade e qualidade, simultaneamente a uma redução de custos.

Não é possível prever com exatidão onde e quando uma condição de operação anormal irá ocorrer (MITSUBISHI, 2000). Dessa maneira, também não é possível prever que se podem zerar as perdas de produção por falta de continuidade operacional das máquinas, paradas por falhas de operação, material ou mesmo de manutenção. O uso e disseminação das melhores

práticas de manutenção traduzem a importância que se dispensa ao processo produtivo. Executar bem a manutenção de uma máquina vai além de fazê-la cumprir sua campanha, dentro dos parâmetros estabelecidos no projeto. É necessário ter-se idéia da dimensão exata de sua importância para a planta, dos riscos envolvidos, tanto operacionais, como empresariais, considerando até os seus efeitos à comunidade onde a unidade operacional está inserida.

Para Pinto e Xavier (2001), praticar engenharia de manutenção significa uma mudança cultural. A manutenção também é um meio de inserir melhorias, onde necessário. A engenharia de manutenção tem um papel fundamental e deve atuar muito próximo do chão de fábrica, para conseguir identificar as reais necessidades. É deixar de ficar consertando continuamente para procurar as causas básicas, interferir em situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar retorno ao projeto e interferir tecnicamente nas compras.

2.2. CONCEITOS DE MANUTENÇÃO

Considerando a natureza das coisas, nada feito pelas mãos do homem é indestrutível, mas realizando os reparos por uma atividade conhecida como manutenção, sua vida útil normalmente pode ser aumentada (DHILLON E LIU, 2006).

A origem do termo manutenção vem do vocabulário militar e significa manter, nas unidades militares, o efetivo e o material num nível adequado. Em 1950, surgiu a palavra manutenção nos Estados Unidos da América. Na França, o termo manutenção é associado à conservação de um determinado equipamento ou ativo (MONCHY,1989).

A manutenção deve ser encarada como uma função estratégica para obtenção dos resultados de uma empresa e deve estar direcionada para o suporte do gerenciamento e a solução dos problemas na área de produção, alavancando a empresa em patamares competitivos de qualidade e produtividade (PINTO e XAVIER, 2001). Alcançar esses patamares competitivos de qualidade e produtividade exige identificar quais competências a empresa precisa construir. Ganhar vantagem competitiva, num mercado em constante mudança, é tarefa árdua. Entretanto, a capacidade de inovação e a gestão do conhecimento são habilidades relevantes, nesse cenário competitivo que se avizinha. Não obstante, gerenciar a inovação, durante a execução dos trabalhos de manutenção não é tarefa simples, exigindo habilidade da empresa no que concerne à manutenção de padrões de qualidade.

A manutenção utiliza-se muito da criatividade, mas quando se quer estabelecer padrões mais apurados, a criatividade aplicada fora de hora pode levar a desvios e riscos a qualidade. Os gestores devem buscar não abafar o poder criativo de seus colaboradores, mas incentivá-los e utilizá-los nos momentos apropriados. Durante as manutenções de rotina os procedimentos consolidados oferecem o caminho mais seguro. A criatividade é muito necessária durante as análises de falha, onde o engenheiro ou técnico

geralmente tem pouco tempo para as análises e todo discernimento é necessário, aliado à capacidade de criar hipóteses para achar a causa do problema.

A manutenção precisa, com certa periodicidade, ser avaliada para ajustar seus conceitos com os interesses da empresa. Segundo Muhaisen e Santarisi (2002), a auditoria nos sistemas de manutenção vai determinar a eficiência existente nas operações e mostrará os pontos fortes e pontos para melhoria, o que permitirá que a empresa monte um plano próprio para elevar o nível do sistema de manutenção.

Como já afirmavam Kelly e Harris (1980), a manutenção pode ser considerada como uma combinação de ações conduzidas para substituir, reparar, revisar ou modificar componentes ou grupos identificáveis de componentes de uma indústria para que a mesma opere dentro de uma disponibilidade especificada, em um intervalo de tempo especificado.

Para Mirshawka (1991), manutenção é um conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem a um estado específico, ou ainda assegurar um determinado serviço.

2.3. CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

Segundo Pinto e Xavier (2001), confiabilidade é a probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso. A confiabilidade é um tema tão abrangente que não pode ficar restrito à responsabilidade de um setor ou

divisão. No início, o tema era de interesse de poucos aventureiros, no bom sentido, que estudavam o comportamento e distribuição de falhas de determinados componentes. A partir disso, tentavam identificar estratégias a serem adotadas para maximizar o desempenho dos equipamentos e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade do sistema como um todo. Com a evolução da complexidade dos sistemas de produção e a disseminação dos conceitos de confiabilidade, percebe-se que a abordagem restrita à área de manutenção, e focada simplesmente na atividade de reparo dos componentes, não atende às expectativas de um sistema produtivo confiável. Numa análise preliminar, o tema confiabilidade não consegue ser devidamente abordado, caso não seja interpretado sob a ótica de quatro variáveis: manutenção, pessoas, produção e material, conforme Figura 1.

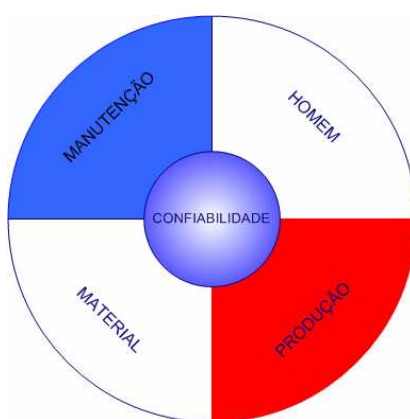


Figura 1: Visão de confiabilidade (SILVA, 2005).

Segundo a Norma Brasileira NBR 5462 (1994), item 2.2.6.4, a confiabilidade de um item é a probabilidade de que este item desempenhe a função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso.

Um sistema produtivo confiável é aquele que consegue, de forma estruturada e segura, atender a demanda de produção, previamente definida pelo planejamento de produção, culminando com a satisfação dos clientes e segurança das pessoas e do meio ambiente (SILVA, 2005).

Para Lafraia (2001), a confiabilidade operacional é fator de grande importância para as empresas, tornando relevantes itens como segurança, produtividade, automação e até a interação com mercado competitivo.

Alguns termos utilizados na área de confiabilidade são apresentados a seguir:

- TMEF: Tempo Médio Entre Falhas (*ou MTBF-MeanTime Between Failures*)
- TMPR: Tempo Médio Para Reparo (*ou MTTR – Mean Time To Repair*)
- *HAZARD RATE* – taxa de risco é primeira e única falha
- ROCOF – taxa de ocorrência de falhas
- TMPF: Tempo Médio Para a Falha (*ou MTTF – Mean Time to Failure*)
- DISPONIBILIDADE: pode ser definida como um percentual do tempo em que o sistema funciona com sucesso
- FALHA - condição em que determinado equipamento ou sistema não consegue cumprir a missão para qual foi especificado
- MODO DE FALHA - é a maneira como um determinado sistema falha
- FALHA FUNCIONAL - é a falha de uma determinada função do sistema

- TAXA DE FALHA - quantidade de falhas em um determinado tempo.

A caracterização de confiabilidade é feita através da probabilidade de um item não falhar, ou não deixar de cumprir sua função, por um período de tempo determinado, sob condições específicas, ou seja, a chance de um item funcionar por um tempo T maior ou igual à sua missão t . Por outro lado, a falha deve ser caracterizada como o não funcionamento do item dentro de condições de uso especificadas, C_1, C_2, \dots, C_n , assim pode-se expressar a confiabilidade de forma matemática usando a expressão [1] abaixo, onde se lê que a confiabilidade $R(t)$ é a probabilidade de T ser maior (ou igual) que t , dadas as condições específicas C_1, C_2, \dots, C_n .

$$R(t) = P(T > t | C_1, C_2, \dots, C_n) \quad [1]$$

Se as condições estiverem especificadas, a expressão geral da confiabilidade passa a ser dada por:

$$R(t) = P(T > t) \quad [2]$$

Intuitivamente, sabe-se que a confiabilidade depende do tempo. O envelhecimento diminui naturalmente a capacidade de um item cumprir sua função. A chance de um item funcionar é maior quanto mais novo for o item (MARCORIN e ABACKERLI, 2001). Esse conceito deve ser aplicado após o período de infância do produto, quando todos os problemas de projeto, processos de fabricação e ajustes já foram resolvidos. Assim, pode-se estabelecer para a função confiabilidade uma representação gráfica como apresentado na Figura 2.

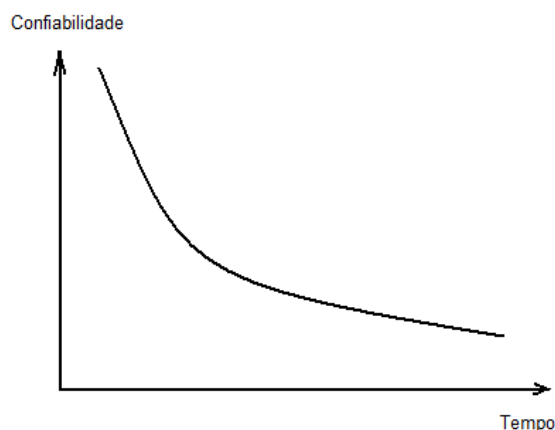


Figura 2 – Curva típica da função confiabilidade (MARCORIN e ABACKERLI, 2001).

Como pode ser visto na Figura 2, a confiabilidade decai com o tempo de uso. O conceito de confiabilidade como uma probabilidade implica que qualquer tentativa de quantificá-la envolve o uso de métodos estatísticos (KARDEC, NASCIF e BARONI, 2002).

O efeito combinado das taxas decrescentes, constantes e crescentes gera a conhecida curva da banheira, apresentada na Figura 3.

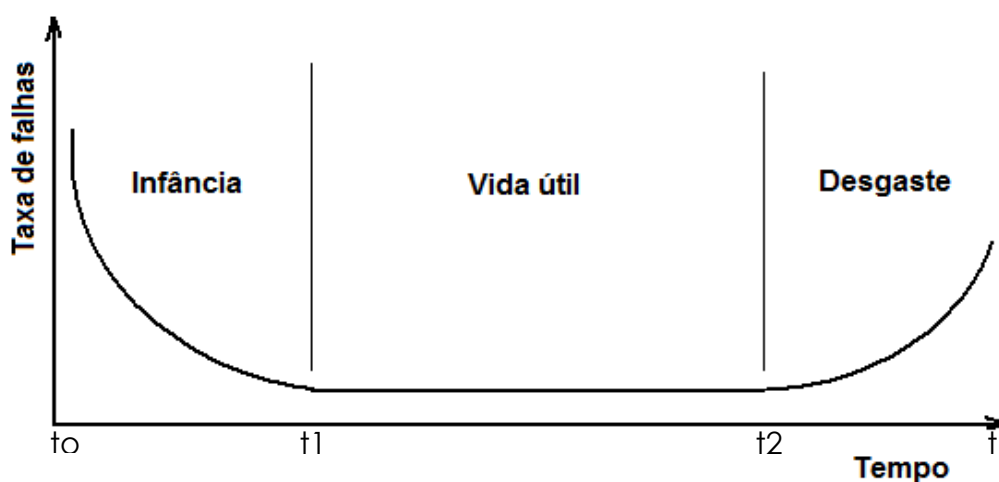


Figura 3 – Curva da banheira.

Como pode ser visto na Figura 3, a curva é dividida em três períodos, infância, de t_0 até t_1 , vida útil, de t_1 até t_2 e, finalmente, desgaste, de t_2 até t . O período inicial de taxa decrescente chamado de infância é o mais crítico, pois a expectativa e o desconhecimento são enormes. As falhas ocorridas neste período são normalmente devidas a problemas de projeto, materiais ou ao processo de fabricação. A determinação desse período é importante para que somente produtos fora do período de falhas infantis, sejam entregues aos clientes. Após um tempo t_1 , estes problemas da infância são resolvidos, através da eliminação de problemas de projeto ou de processo, ou pela substituição de itens que apresentem falhas antes de t_1 , de forma que a taxa de falhas ou de risco se estabiliza em um patamar aproximadamente constante, por um período de tempo conhecido como vida útil. Nesse período todo potencial produtivo é extraído da máquina e as falhas são casuais, ocorrendo aleatoriamente de forma imprevisível. Quando a idade do item alcança t_2 , a taxa de falhas volta crescer por dois principais motivos, se inicia um processo de degradação e aumenta o número de intervenções. De acordo com Dhillon (2002), a ocorrência de erros de manutenção aumenta devido à maior frequência de manutenção a medida que o equipamento envelhece.

Esse modelo utilizando a curva da banheira ajuda a entender um conceito importante do uso de confiabilidade na manutenção, ao analisar um equipamento é preciso entender qual dos três períodos a máquina está vivendo. A política de manutenção preventiva adotada por diversas empresas baseia-se na identificação do tempo t_2 , onde se inicia a fase de desgaste do item, quando componentes devem ser substituídos, visando prolongar o

período de vida útil e, portanto, atrasar o início da fase de desgaste. Se não é possível mais impedir que a taxa entre em sua fase crescente, por problemas de obsolescência de componentes, desgaste generalizado, mudança no procedimento de utilização, custo de reparo excessivo, etc., o item é definitivamente descartado, ou completamente reformado se o custo de reforma se justificar. Esta situação é caracterizada como obsolescência tecnológica (CLAVAREAU e LABEAU, 2008)

2.3.1. Confiabilidade na manutenção

A confiabilidade na manutenção visa a evitar que as falhas impeçam que os investimentos realizados nos ativos alcancem seu objetivo principal. De acordo com Kelly (1980), a manutenção pode ser considerada como uma combinação de ações conduzidas para substituir, reparar, revisar ou modificar componentes ou grupos identificáveis de componentes de uma indústria para que seus ativos operem dentro da disponibilidade esperada.

Evidentemente, é importante distinguir entre itens reparáveis e não-reparáveis, quando se faz previsões ou ações de confiabilidade. Em itens não-reparáveis, como a embalagem de um salgadinho, lâmpadas, componentes eletrônicos ou mesmo o motor de um foguete, a confiabilidade é a chance da sobrevivência do item durante sua vida estimada, ou por um período de sua vida, onde somente uma falha pode ocorrer e após isso ocorre seu descarte. Os itens não-reparáveis podem ser componentes discretos ou complexos, o que importa é que quando da ocorrência de uma falha em um item do sistema, todo o sistema

falha, e deixa de cumprir sua função principal e seu reparo é impossível ou inviável. Portanto, para esse tipo de bem, a confiabilidade do sistema é uma função do tempo até a primeira falha (FLEMING e FRANÇA, 1997).

Por outro lado, para os itens reparáveis, a confiabilidade é a chance de funcionar em um período de interesse onde mais de uma falha pode ocorrer. A confiabilidade pode ser expressa como a taxa de falhas ou taxa de ocorrência de falhas. Neste caso, a taxa de falhas expressa a probabilidade de falhas por unidade de tempo, sendo que mais de uma falha pode ocorrer dentro do período de interesse. Na prática, poderá acontecer de um mesmo item ser considerado reparável e não reparável. O enfoque de uma análise pode também determinar se o item vai ser tratado como reparável ou não. Um motor de uma lavadora é reparável, mas se um estudo busca modelar o tempo de vida até a primeira falha, o modelo usado pode ser de um item não-reparável. Outro exemplo, um motor é considerado reparável somente até certa idade. Depois disso seu reparo não é mais economicamente interessante.

Com base nas afirmações acima os compressores centrífugos são itens reparáveis e numa avaliação detalhada, vários de seus componentes concorrem entre si para determinar qual será o período de tempo até a primeira falha. Assim, a identificação dos componentes mais frágeis, e o incremento tecnológico sobre os mesmos aumentam o TMEF (tempo médio entre falhas).

2.3.2. Confiabilidade na produção

Como afirma Hansen (2001), as bases que garantem a confiabilidade são mais firmes se o gerente da planta, os gerentes de manutenção e operação, os supervisores de manutenção e produção, todos juntos, promovem a confiabilidade. Visões equivocadas levam ao entendimento de que a manutenção é responsável pela confiabilidade e a operação pela produção.

A confiabilidade na produção é, em geral, a resultante da confiabilidade das quatro variáveis: manutenção, pessoas, produção e material (SILVA, 2005). É no sistema produtivo que a existência ou não da confiabilidade é perceptível. Isto pode ser identificado claramente na medida em que o plano de produção é atendido, mês a mês. Além disto, outros fatos inerentes à produção são considerados, quando se é avaliada a confiabilidade desta área: o tempo de utilização do ativo, a utilização da capacidade do ativo, respeitando-se as condições de projeto, o ciclo de vida útil do equipamento, a eficiência global do sistema produtivo. Atender a função para qual foi projetado, funcionar adequadamente, operar sem falhas, etc., são termos que exprimem o entendimento de que confiabilidade está fortemente relacionada à noção de falha. Falha é o não desempenho em termos de atendimento às características de operação normais e/ou especificadas de um componente ou sistema (FLEMING e FRANÇA, 1997).

Por meio dessa e outras definições percebe-se que pode existir uma margem de interpretação muito grande a respeito do que seja uma falha. Assim, destaca-se a importância de uma especificação clara do que seja o

funcionamento normal de um determinado item. Esclarecendo-se o que se entende como funcionamento normal de um item, é importante a especificação das condições para as quais o mesmo foi projetado. As condições de uso terão sempre uma relação determinante na confiabilidade de um item e também na definição do que se entende por falha.

Assim, a caracterização de falha depende inteiramente do que se entende por funcionamento normal, incluindo as condições de uso para as quais o item foi projetado. É comum que haja uma dissonância entre o entendimento do que é falha, para as equipes de manutenção e operação. Enquanto a manutenção, por meio de métodos preditivos, consegue identificar uma falha ao analisar frequências de vibração, portanto muito antecipadamente, a operação normalmente enxerga apenas a função sendo cumprida ou não, dentro dos parâmetros estabelecidos. Daí a necessidade de um preciso alinhamento entre as duas visões de falha.

Para Zio (2008), confiabilidade é um atributo fundamental para uma operação segura de qualquer sistema tecnológico. Pensando em segurança, a análise de confiabilidade é focada em quantificar a probabilidade de falha do sistema e suas barreiras de proteção. Dentro dessa cultura, o objetivo principal não é gerenciar falhas, mas minimizá-las, identificando e eliminando suas causas. Neste quesito, a operação tem forte influência, evitando as situações anormais. Caso as situações anormais não possam ser evitadas, que ao menos sejam verdadeiramente compartilhadas com a engenharia de manutenção e equipes de manutenção, para que possam introduzir melhorias para assim diminuir sua incidência. A responsabilidade por melhorias é então introduzida na

organização como um todo, onde o real conhecimento institucional pode produzir resultados e valores.

2.3.3. Manutenibilidade

A manutenibilidade é definida como sendo a capacidade de um item retornar para a condição especificada, quando reparado por pessoal habilitado, usando procedimento específico, em cada nível de manutenção estipulado.

São três conceitos que caminham juntos: confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. Hansen (2001) afirma que confiabilidade é o mais importante deles. Se as falhas param de acontecer é porque existe confiabilidade; logo, disponibilidade e manutenibilidade perdem importância.

Enquanto o engenheiro de confiabilidade trabalha muitas características físicas que afetam o sistema de componentes, como: temperatura, umidade, impacto e vibração, o engenheiro de manutenibilidade vai trabalhar com a divisão física de um sistema em itens de reparo como: a acessibilidade, peso, volume etc., visando à relação com o elemento humano.

2.4. COMPRESSORES CENTRÍFUGOS E SUA MANUTENÇÃO

O manuseio de fluidos envolve alguns problemas básicos como pressurização, armazenagem e transporte. Neste cenário, estão presentes as famílias de compressores, com seus mais variados modelos, capacidades e recursos,

conforme ilustrado na Figura 4. Como afirma Rodrigues (1991), compressores são utilizados para proporcionar a elevação da pressão de um gás ou escoamento gasoso. Nos processos industriais, a elevação de pressão requerida pode variar desde cerca de 1,0 atm até centenas ou milhares de atmosferas.

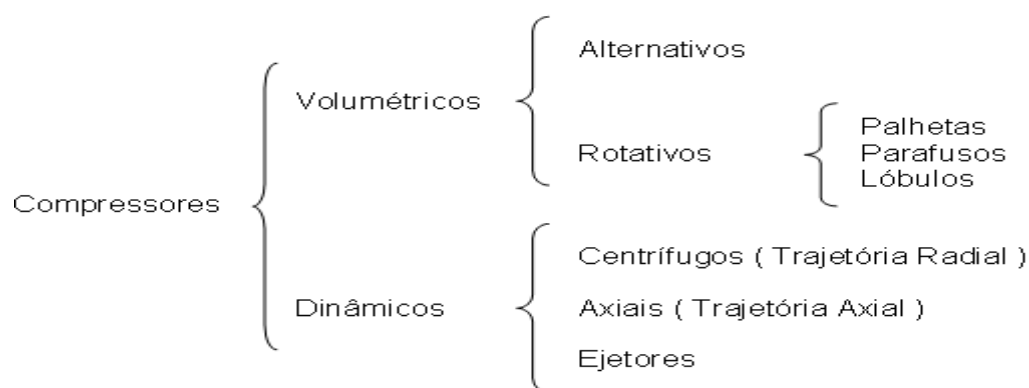


Figura 4. Classificação dos compressores (DRESSER-RAND, 2001)

Cada tipo de compressor é direcionado para uma aplicação específica; assim, não existe um melhor do que outro, mas cada um é o mais indicado para uma aplicação específica. Neste trabalho, será explorada a família dos compressores dinâmicos, mais especificamente os centrífugos. Como foi mostrado na Figura 4, essa família é composta dos centrífugos, axiais e ejetores, embora estes últimos não possuam partes rotativas.

Os compressores centrífugos têm dois componentes principais: impelidor e difusor. Eles são responsáveis pela conversão da energia mecânica do acionador em energia de pressão, no bocal de descarga do compressor. O impelidor é um componente rotativo dotado de pás que transfere ao gás a energia recebida de um equipamento acionador, transmitida por meio de um

eixo. Essa transferência de energia se faz parte na forma cinética e parte na forma de energia de pressão. Após a passagem pelo impelidor, o gás é recebido por um componente fixo à carcaça, denominado difusor, cuja função é promover a transformação da energia cinética em energia de pressão, com conseqüente aumento de pressão e redução da velocidade (RODRIGUES, 1991).

Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua, com a passagem extremamente rápida do gás pelo seu interior. Assim, diz-se que esta é uma compressão adiabática, ou seja, sem troca com o ambiente. De fato, ocorre uma pequena troca, pois a carcaça aquece muito e está em contato com a atmosfera, mas a troca por unidade de massa é desprezível devido à vazão ser muito alta.

De uma maneira mais detalhada, pode-se dizer que a compressão de um fluido num compressor dinâmico ocorre da seguinte maneira: o impelidor ou “roda” do compressor transfere a energia mecânica rotacional, que recebe do acionador através de seu eixo por transferência de quantidade de movimento, acelerando as partículas do gás. Devido à rotação e à força centrífuga, a velocidade do gás é, assim, aumentada e, já na saída do impelidor, o gás tem quase a totalidade da energia recebida na forma de energia cinética e apenas uma pequena parcela de energia de pressão. Os difusores que existem em cada estágio, após cada impelidor, convertem a energia cinética em energia de pressão por meio do aumento da área de escoamento do fluido, como mostrado na Figura 5. O aumento da área de passagem faz com que essa transformação ocorra de acordo com o Princípio da Conservação da Energia.

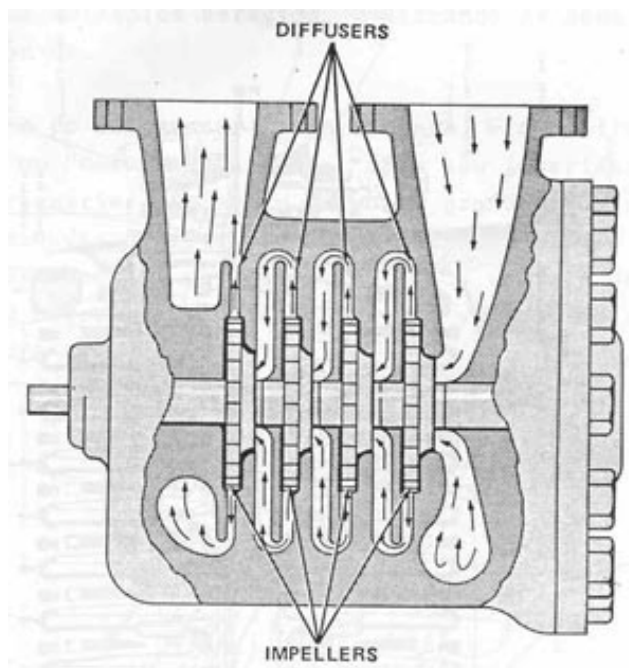


Figura 5. Difusores e caminho do gás (DRESSER-RAND, 2001)

Duas são as configurações básicas usadas em compressores centrífugos, baseando-se na linha de corte de sua carcaça: cortados na horizontal ou na vertical, também conhecidos como tipos M e B, respectivamente, conforme Figuras 6 e 7.



Figura 6. Carcaça com corte horizontal (NOBREGA, 2005)



Figura 7. Carcaça com corte vertical (NOBREGA, 2005)

O projeto das máquinas com bipartições horizontais tem maior usabilidade, sendo mais fáceis de fazer manutenção. Entretanto, sua região de selagem, por ser maior, torna-as mais vulneráveis aos vazamentos. Estas máquinas, geralmente, são utilizadas em níveis de pressão menores e em gases com maior peso molecular. Entre as vantagens deste tipo de máquina, podem-se citar: menor custo de manutenção, melhor acesso aos internos, maior facilidade de montagem, etc. Entretanto, estas vantagens somente serão bem evidentes com os bocais de sucção e descarga voltados para baixo, daí a razão da grande maioria destas máquinas apresentar tal configuração.

Segundo Brown (2005), máquinas cortadas na vertical, tipicamente conhecidas como *barril*, em sua maioria têm duas carcaças: a externa, acondicionando todo o conjunto, e a interna, acondicionando o jogo de diafragmas. Segundo Rodrigues (1991), a carcaça dividida verticalmente oferece condições de vedação bem mais favoráveis, não só pelo local da partição, mas, também, por estar sujeita a tensões longitudinais que possuem a metade da intensidade das

tensões circunferenciais. O conjunto interno é removido, geralmente com alguma dificuldade, devido à pequena folga em relação ao diâmetro interno da carcaça externa. Máquinas de pequeno porte, por vezes, são removidas inteiras e sua desmontagem ocorre nas oficinas de manutenção com melhores recursos. Algumas vantagens deste modelo são: poder operar com gases de menor peso molecular; suportam nível de pressão muito alto; menor vazamento; possibilidade de remoção dos internos sem deslocar linhas ou perder alinhamento; mais facilidade de inspeção dos internos; etc. Como desvantagens, podem-se citar: necessidade de dispositivos especiais para remoção dos internos; como já dito, por vezes, a carcaça interna oferece dificuldade de remoção; muito mais suscetível a erro de manutenção quanto à distribuição de folgas axiais (*overlap*); maior custo inicial e, em tamanhos grandes, o peso total do pacote interno pode ser um problema para a manutenção. Na maioria das aplicações, seu uso se deve à maior capacidade de pressão e possibilidade de manusear gases com menor peso molecular (BROWN, 2005).

As dificuldades de manutenção em turbomáquinas são comuns nos mais diversos países onde são aplicadas. Assim, investigar as melhores práticas de manutenção pode ser um bom método para estabelecer padrões e criar um caminho seguro durante a manutenção.

3. PRÁTICAS DE CLASSE MUNDIAL APLICADAS NA MANUTENÇÃO DE COMPRESSORES CENTRÍFUGOS

Neste capítulo, é apresentada a proposta do trabalho, iniciando pela metodologia aplicada, seguindo com o detalhamento das práticas de nível mundial, estudadas e consideradas determinantes para o melhor desempenho dos equipamentos.

3.1. METODOLOGIA

A metodologia adotada foi a pesquisa bibliográfica, juntamente com um estudo de casos múltiplos. Considerando os objetivos da presente pesquisa, a forma de coleta de dados adotada foi a observação direta intensiva, com consultas à documentação como manuais, guias, etc. (LAKATOS e MARCONI, 1991).

Criatividade na percepção da relevância dos dados e das relações entre variáveis é requerida e desejável. Condicionam a forma como os projetos ou planos de investigação são formulados: sistematizam e orientam a revisão bibliográfica, a coleta e a análise dados, assim como a discussão dos resultados (CERVO e BERVIAN, 1996; MARCONI e LAKATOS, 2008).

Para Yin (2001), o estudo de caso tem por objetivo “investigar um fenômeno contemporâneo, no contexto da vida real, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não estão perfeitamente delimitadas”. Nos estudos de casos são tratadas as questões contemporâneas e não há controle sobre os eventos. Assim, eles se diferenciam da história (que trata de fenômenos

passados), do experimento (quando há controle sobre os eventos) e do “*survey*” (que raramente pode levar em conta o contexto).

O estudo de caso permite uma análise abrangente e em profundidade, ao invés de limitar-se a aspectos muito restritos ou selecionados como ocorrer com avaliações quantitativas. Um conjunto de estudos de casos permite estabelecer padrões de similaridades e diferenças que propiciam um entendimento mais completo dos fenômenos observados.

Os estudos de casos podem ser *descritivos*, *exploratórios* ou *explanatórios* (ou *explicativos*, ou, ainda, *avaliativos*). Em termos gerais, pode-se dizer que os estudos *descritivos* são aqueles que não têm por objetivo formular ou testar uma teoria, mas basicamente descrever a natureza, ocorrência ou seqüência dos fenômenos que caracterizam uma realidade, na plenitude de suas múltiplas e complexas manifestações.

Os estudos *exploratórios* vão mais adiante, buscando levantar hipóteses e proposições relevantes que possam orientar futuros esforços de pesquisa. Já os estudos *explanatórios* ou *explicativos* (ou *avaliativos*) procuram identificar aquelas hipóteses – dentre diferentes teorias alternativas – que melhor explicam a realidade ou conjunto de eventos pesquisados. Em síntese, um descreve, outro teoriza e a terceira testa a teoria. Se considerado nesta última alternativa o estudo de caso se assemelha à pesquisa experimental, mas dela se diferencia porque mais indicado para a análise de situações em que a complexidade dos fenômenos e de suas relações causais dificilmente pode ser captada por uma pesquisa experimental (YIN, 2001).

Assim, este trabalho apresenta um estudo de casos múltiplos, exploratório. O centro das questões do estudo de caso está dividido em duas etapas, descritas abaixo:

- Avaliação do uso de técnicas recomendadas pelo fabricante
- Avaliação das técnicas convencionais.

O procedimento de avaliação consiste em executar um comparativo direto entre as práticas convencionais, aquelas que são executadas sem procedimento e baseadas somente na experiência do executante, e as recomendadas pelos fabricantes de classe mundial, avaliando seus resultados.

O estudo de caso foi realizado nos setores de manutenção e/ou serviços de quatro empresas usuárias de equipamentos e dois fabricantes multinacionais. Por motivos de confidencialidade, os nomes das empresas não serão mencionados.

3.2. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO

Os fabricantes são os que mais conhecem as máquinas, pois são os detentores de seu projeto. Conforme a API 670 - 4th ed., 2003, os fornecedores das máquinas devem fornecer informações escritas e desenhos suficiente, para permitir ao comprador ou proprietário da máquina, instalar, operar e manter os equipamentos e este manual deve ser específico para a máquina. No item 2.1.7 da Norma API 617 7th é citado que os equipamentos devem ser projetados para permitir rápida e econômica manutenção. O procedimento de manutenção deve ser fornecido no momento da aquisição do equipamento,

junto com os manuais e deve ser estudado exaustivamente pelos usuários. Como a maioria dos fabricantes de turbomáquinas situa-se nos países desenvolvidos, muitas das práticas de manutenção não são citadas nos manuais, pois no conceito dos fabricantes, já são conhecidas. No entanto, para muitos dos profissionais brasileiros são desconhecidas, o que os leva a criar suas próprias maneiras de trabalhar. Assim, existem as práticas de nível mundial, comumente utilizada pelos fabricantes e as práticas convencionais, desenvolvidas, sem muito critério, pelos usuários e alguns prestadores de serviços.

Como afirma Xavier (1998), não é exagero afirmar que no Brasil, hoje em dia, temos a maioria das manutenções com características de 3º Mundo. Fazendo uma rápida análise do que encontramos em grande parte das manutenções no Brasil, pode-se distinguir algumas características e algumas conseqüências, oriundas dessas características, que podem demonstrar o que seja uma manutenção convencional.

Características:

- Alta taxa de retrabalho
- Falta de pessoal qualificado
- Convivência com problemas crônicos
- Falta de sobressalentes no estoque
- Número elevado de serviços não previstos
- Baixa Produtividade
- Histórico de manutenção inexistente ou não confiável.
- Falta de planejamento prévio

- Abuso de das soluções rápidas
- Horas Extras em profusão
- Total falta de tempo

Conseqüências:

- Moral do Grupo sempre em baixa
- Falta de confiança dos clientes
- Mão de obra disponível insuficiente
- Não cumprimento de prazos
- Elevado número de equipamentos em manutenção
- Disponibilidade baixa
- TMEF baixo
- Perda de produção por problemas de equipamentos
- Manutenção predominantemente corretiva não planejada

Como pode ser visto, a prática de manutenção com características de Terceiro Mundo, ou seja, manutenção convencional, não traz nenhuma vantagem às empresas.

Todos os detalhes durante uma manutenção são importantes, desde a limpeza das peças até as montagens mais complexas, nenhuma tarefa é mais nobre do que outra. Ao analisar as falhas de manutenção, facilmente pode-se verificar que, algumas tarefas apresentam maior incidência de erro humano do que outras. Como afirmam Dillon e Liu (2008), existem varias razões para ocorrência de erros humanos, incluindo problemas de iluminação do local de trabalho, treinamento inadequado, falta de habilidade, projeto ruim, ruído

elevado, *layout* inadequado, ferramentas impróprias, procedimento de manutenção e operação pobre.

Foram verificados quais procedimentos são utilizados na execução das tarefas que mais apresentam falhas de manutenção, e comparados com os procedimentos utilizados por fabricantes e profissionais de alguns países do primeiro mundo. Verificou-se uma sintonia muito grande entre os usuários das práticas mundiais, como se todos utilizassem o mesmo procedimento. Ao atingir o grau de manutenção de classe mundial os procedimentos são muito semelhantes ao redor do mundo.

Por outro lado, foi percebida uma dissonância com relação a algumas práticas utilizadas por algumas empresas visitadas no Brasil. Em todas as comparações feitas, os resultados alcançados, com o uso das práticas de nível mundial, superam as convencionais, praticadas por algumas equipes brasileiras.

Ao conjunto de técnicas de manutenção, comuns entre os fabricantes de máquinas, cuja utilização reflete a boa prática de manutenção, será dado o nome de “práticas de nível mundial”. Um resumo deste conjunto de técnicas será descrito a seguir, representando o estado da arte em manutenção de compressores centrífugos. Essa é uma das contribuições que este trabalho pretende oferecer.

3.3. DETALHAMENTO DOS PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO

Todos os detalhes são importantes na manutenção de qualquer máquina, seja simples ou complexa. Têm ocorrido retrabalhos em máquinas importantes devido a problemas em itens considerados secundários. A simples montagem errada de um anel de borracha pode trazer transtornos e atrasos nos cronogramas.

Durante mais de três décadas trabalhando com profissionais brasileiros e estrangeiros, atuando no ramo de manufatura de peças, no ramo naval e na manutenção de grandes máquinas rotativas, o autor observou que existe uma enorme lacuna entre as maneira de trabalhar do profissional brasileiro e o estrangeiro. A experiência de campo confirma que os procedimentos comumente utilizados, baseados unicamente na experiência local, não podem garantir uma qualidade de classe mundial. Ao longo de todos esses anos, muitos retrabalhos foram vistos, devido à negligência em estudar e cumprir os procedimentos. A experiência do autor em outros tipos de máquinas como turbinas, bombas, redutoras, ventiladores, etc. também ajudou a observar a falta de técnica de muitos profissionais, nos mais variados tipos de tarefas.

Normalmente, os procedimentos não se repetem. Cada técnico trabalha de um jeito e, muitas vezes, cometem os mesmos erros. Ficou evidente a necessidade de iniciar um trabalho de padronização, baseado nas melhores práticas conhecidas. Este trabalho foi iniciado há alguns anos, após treinamentos no exterior, e agora ganha mais ritmo com o embasamento acadêmico, A pesquisa pelas melhores técnicas ficou focada nos fabricantes,

por apresentarem melhores resultados nos trabalhos de manutenção e por conhecerem melhor as máquinas (NOBREGA, 2005).

Os itens listados a seguir foram escolhidos por terem sido identificados, durante a pesquisa e pela experiência do autor, como os que apresentam maior reincidência de falhas durante a manutenção de compressores. Estes principais itens podem ser resumidos em:

1. Projeto da unidade
2. Preparação da manutenção
3. Acompanhamento e análise de variáveis antes da parada
4. Cuidados com o rotor e medições na desmontagem
5. Remoção do pacote (*bundle*) e desmontagem dos diafragmas
6. Medição de folgas
7. Alinhamento dos rotores nos diafragmas (*overlap*)
8. Sistema de lubrificação
9. Componentes de selagem
10. Montagem hidráulica de acoplamento

Cada um destes itens será desenvolvido, na seqüência, com detalhes e descrição de procedimentos.

3.3.1. PROJETO DA UNIDADE

Os cuidados com a manutenção começam no projeto da unidade. Todos os produtos são projetados para serem utilizados de alguma maneira pelos seres humanos. Examinando-se a interface homem-máquina em detalhe, pode-se

descobrir que ela é complexa e, geralmente, pouco compreendida. Conseqüentemente, esse é um aspecto do projeto que pode ser uma rica fonte de inspiração para os projetistas e compradores de equipamentos. O projeto de uma turbomáquina tem influência direta na vida e na confiabilidade da máquina, assim, também na sua capacidade de operar o máximo tempo entre falhas (AL-KHOWAITER, 2006). A análise das tarefas de manutenção explora as interações entre a máquina e seu usuário, por meio de observações e análises. O resultado dessas análises é usado para gerar conceitos de novas máquinas ou instalações. Este método cobre um importante aspecto do desenvolvimento de projetos, a ergonomia e derivado desse, a antropometria. Ergonomia estuda as interações entre pessoas e artefatos em geral e o seu meio ambiente, enquanto antropometria é a medida física das pessoas.

O projeto conceitual das instalações de uma máquina demanda muita criatividade. Projetos verdadeiramente inovadores raramente caem do céu. Como afirma Baxter (1998), criatividade é 99% transpiração e 1% inspiração. Então, uma boa preparação é vital para a solução de problemas. A solução para a maioria dos problemas, em uma organização, deve estar em sintonia com suas áreas de interesse como um todo (PAHL e BEITZ 1993).

As necessidades de manutenção devem ser consideradas no projeto da máquina e instalações. As decisões tomadas na compra do equipamento vão influenciar futuramente em cada item da máquina.

Os projetistas devem elaborar projetos com usabilidade, considerando todas as tarefas que as pessoas normalmente executam, durante o uso e manutenção. Deve-se efetuar o teste de usabilidade para avaliar o impacto que suas

escolhas causarão no dia a dia dos usuários. A experiência indica que, nessa etapa, é recomendável o envolvimento de pessoas da manutenção e usuários, que realmente representem os usuários finais. Deve-se observar como as pessoas usam os equipamentos e perguntar como elas percebem os detalhes de projeto.

3.3.1.1. Sistemas de proteção

De um modo geral, os compressores apresentam, no mínimo, os seguintes sistemas de monitoração:

- Temperatura dos mancais radiais e axial
- Deslocamento axial do eixo
- Vibração de eixo
- Proteção contra o *surge*.

É muito importante que todos esses sistemas funcionem adequadamente de modo a impedir uma análise falsa das condições do equipamento.

Conforme API 670– 4th ed. (2003), os fornecedores das máquinas devem fornecer informações escritas suficiente e desenhos para permitir ao comprador ou proprietário da máquina instalar, operar e manter os equipamentos, e este manual deve ser específico para a máquina. Manuais típicos com informações gerais não devem ser aceitos. As especificações devem considerar as recomendações da norma, acrescidas das orientações dos projetistas e experiência dos usuários.

Os projetistas dos sistemas de proteção constantemente lançam mão das novas tecnologias, melhorando os níveis de proteção e agregando outras

proteções, que nos sistemas antigos não eram possíveis. Atualmente, os processos de produção e manutenção estão sendo melhorados com o auxílio das ferramentas e dispositivos de manutenção preditiva, da eletrônica, da informática e dos sistemas de comunicação para obter informações em tempo real e subsidiar a tomada de decisões, considerando a proteção dos ativos. Isto permite a contínua melhoria do controle sobre os custos de manutenção e sua redução através da diminuição dos eventos não programados ou quebras de maior monta. Uma das vertentes desta otimização é o monitoramento contínuo dos equipamentos, cuja importância é vital para a tomada de decisão (AFONSO, 2006). A partir dessas informações, a manutenção pode antecipar, postergar ou até cancelar as paradas das máquinas, por meio do acompanhamento e da avaliação quantitativa do estado de funcionamento dos equipamentos.

Os compressores têm sistemas de inter-travamento que param a máquina diante de várias condições de risco, como falta de óleo, alta temperatura, pressão alta ou baixa, vibração, deslocamento axial do eixo, sistema anti-surge, etc. Todos esses pontos devem ser verificados durante uma manutenção de rotina ou parada. Normalmente, seu teste é fácil de ser feito e representa muito para a segurança (AFONSO, 2006).

Um dos sistemas que chama muito a atenção é o mecanismo anti-surge, que é bem complexo e utiliza, no mínimo, controladores, medidores (usualmente de pressão, vazão, temperatura e rotação), válvulas e atuadores dinâmicos (RODRIGUES, 1991). Nesse sistema, o tempo de resposta e precisão são características fundamentalmente exigidas para os medidores empregados,

como afirma Brown (2005). O componente que possui maior peso na qualidade do desempenho desse sistema é, sem dúvida, a válvula de reciclo. É importante ressaltar os cuidados de manutenção para o bom funcionamento de uma válvula instalada sob tal expectativa de desempenho. Há autores que defendem, inclusive, a adoção de uma válvula de controle anti-surge reserva, principalmente nos serviços com fluídos corrosivos ou formadores de depósitos (RODRIGUES, 1991).

3.3.1.2. *Layout das tubulações*

O projeto inicial das linhas, principais e auxiliares, deve considerar o acesso à máquina e o transporte de componentes durante a operação e manutenção (BROWN, 2005). Como afirmam Nóbrega (2005) e Rodrigues (1991), os modelos com os bocais de sucção e descarga voltados para baixo, são os mais indicados, para qualquer tipo, cortados na vertical ou horizontal. Isso permite a abertura do compressor sem desconectar as tubulações e aproveitar todas as vantagens da bipartição horizontal.

Esta concepção, em alguns sistemas, causa um sensível acréscimo na altura do piso da casa de compressores, o que gera algum incômodo aos operadores, que sobem com maior frequência. Com a redução de pessoal nas áreas, essas distâncias a serem percorridas pelos operadores fazem muita diferença. A saída de tubulações por baixo é a melhor opção por apresentar as seguintes vantagens:

- Facilidade de manutenção
- Menor prazo nos serviços de manutenção

- Menor risco de acidentes
- Maior qualidade dos serviços
- Melhor atendimento às emergências
- Menor *estresse* dos operários

Mesmo com tantas vantagens, alguns projetos obrigam a saída de linhas para cima como a única opção possível, devido ao *layout* da área, processo operacional e disposição dos vasos do processo. Nestes casos, algumas aplicações de campo tiveram bons resultados ao elevar a plataforma no mínimo três metros em relação ao solo. Isso permite a instalação das linhas e equipamentos auxiliares na parte de baixo da máquina. Se os equipamentos auxiliares como bombas de lubrificação, trocadores de calor, etc. são instalados no piso térreo, a movimentação de pessoas e peças em torno da máquina fica livre. Usando este recurso, mesmo com as linhas principais saindo por cima, os cuidados com a manutenção não foram ignorados. Nos compressores com bipartição horizontal, a opção de ter as linhas saindo por cima é ainda pior, pois elimina a maioria das suas vantagens durante a manutenção. O uso de plataforma elevada a três metros, somado a instalação de curvas e trechos de linhas removíveis permite acesso à máquina e minimiza o problema.

A Figura 8 ilustra bem a que ponto pode chegar um projeto caso as necessidades de manutenção sejam ignoradas.



Figura 8: Tubulações dificultando acesso à máquina (NOBREGA, 2005)

3.3.1.3. Preparação para *Flushing*

O procedimento de limpeza das linhas de lubrificação, já instaladas através da circulação do óleo lubrificante é denominado *flushing*. Uma boa prática é fazer o *flushing* desviado para cárter, sem passar nos mancais no primeiro momento. Isto permite eliminar as restrições e aumentar a vazão de circulação permitindo maior passagem pelo filtro e uma limpeza muito mais rápida. Este procedimento acelera muito o serviço, entretanto, esta prática fica muito comprometida pela falta de acesso, pois normalmente não são previstos flanges nas linhas próximas à máquina, durante o projeto (NOBREGA, 2005).

A Figura 9 ilustra a facilidade para instalar mangueira flexível quando existe flange junto ao mancal. O projeto deve prever esses flanges e assim, permitir o desvio do fluxo de óleo em todos os mancais, e o diâmetro destas saídas devem ser, no mínimo igual ao diâmetro da linha de entrada de óleo.

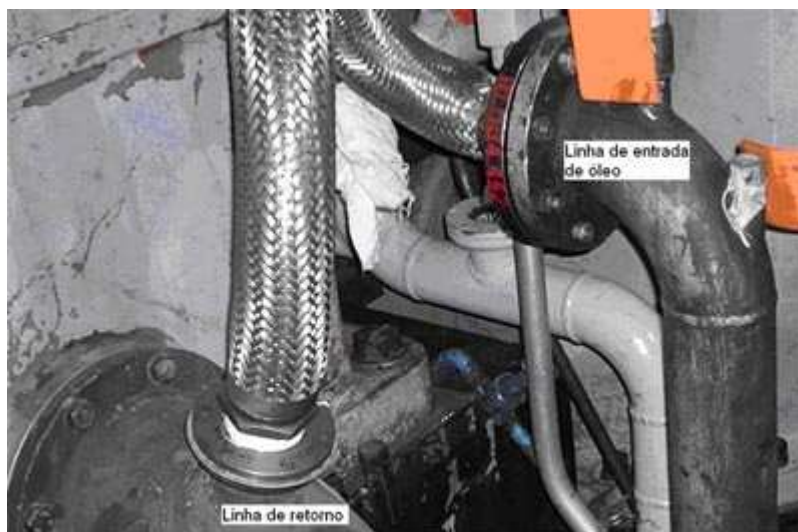


Figura 9: Linha de desvio de óleo (NOBREGA, 2005)

3.3.2. PREPARAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção envolve custos elevados e normalmente perdas de produção, assim deve ser bem avaliada para que seja feito aquilo que realmente é necessário. Como afirma Afonso (2006), o mais importante é o conceito de não fazer manutenção em equipamentos que não têm sinais de problemas.

Deve ser feito um estudo aprofundado do manual e dos relatórios de manutenção da máquina. A equipe deve ter conhecimento dos detalhes da máquina e compartilhar experiências práticas. A elaboração de uma ficha com as folgas recomendadas ajuda muito no trabalho e evita correrias na busca de informações no manual. Essa ficha deve conter os valores recomendados pelo fabricante de forma clara e rica em detalhes e não apenas folgas genéricas (NOBREGA, 2005).

A ponte rolante é um dos mais importantes recursos a serem utilizados durante a manutenção de uma máquina e o melhor momento para sua revisão, a fim de garantir seu uso seguro, é antes da parada. Algumas plantas até permitem o uso de guindaste, mas é perigoso e seu uso deve limitar-se a última opção, com forte acompanhamento técnico especializado. Existem plantas que nem o uso de máquina é possível, assim o cuidado com a ponte rolante é indispensável. Estes cuidados envolvem uma revisão completa e deve ter a participação da engenharia de manutenção (KARDEC, NASCIF e BARONI 2002).

Preparação de bancadas é outro item importante e deve ser providenciado previamente. As bancadas devem ser montadas com material de andaime e devem ter beiral para evitar a queda de peças.

Existem tarefas durante a manutenção de compressores que, apenas com o uso das ferramentas comuns não é possível realizar, para essas tarefas os fabricantes fornecem um jogo de ferramentas especiais. A preparação destas ferramentas envolve leitura do manual para conhecer sua correta aplicação. Como são ferramentas usadas somente nas paradas, sua conservação após o uso é de vital importância; acondicioná-las em caixa devidamente identificada, constando na lista de sobressalentes do equipamento, é uma boa prática.

A máquina deve ser lavada com água e solvente e soprada com ar comprimido para permitir um trabalho de manutenção em boas condições (NOBREGA, 2005). Nunca se deve iniciar uma manutenção com a máquina suja, pois isso poderá influenciar na qualidade geral do trabalho. Limpar, também, sempre que possível, as partes internas para melhorar a higiene no trabalho.

3.3.2.1. Planejamento

Como afirma Pinto (2001), a organização de manutenção de qualquer empresa deve estar voltada para a gerência e a solução de problemas na produção. Assim qualquer planejamento deve buscar sintonia com as reais necessidades operacionais.

Para a manutenção de um trem de grandes máquinas é recomendado que pelo menos um técnico especializado inicie os trabalhos de preparação um ano e meio antes da parada, em tempo integral. Quanto melhores forem as informações armazenadas e melhor for a estrutura de sobressalentes, mais curto será o período necessário de planejamento. Durante a elaboração do planejamento, deve-se observar que a quantidade de recursos a serem utilizados deve levar em conta o tempo disponível para se realizar o serviço e o número de partes a serem revisadas. As tarefas têm seu tempo médio para serem executadas e, problemas com o prazo não podem interferir na programação das mesmas, sob pena de comprometer a qualidade. Os seguintes cuidados devem ser considerados:

- Ler atentamente o manual do fabricante e suas recomendações, buscar atender também as orientações da engenharia de manutenção local. Esse sempre será o caminho mais seguro para uma boa manutenção e essa prática deve prevalecer sobre qualquer outra (DRESSER-RAND, 2001).

- Determinar quais os trabalhos que serão realizados, com base no histórico de desempenho da máquina, nas informações de acompanhamento das variáveis e nas expectativas da gerência.
- A preparação dos sobressalentes envolve prazos longos, pois os materiais importados exigem muito tempo para compra, a qual deverá sempre ser direcionada para o fabricante da máquina (HANSEN, 2001).
- Deve ser feito um estudo aprofundado dos relatórios anteriores de manutenção da máquina. A equipe deve ter conhecimento dos detalhes da máquina e compartilhar suas experiências práticas.
- A elaboração de uma ficha com as folgas recomendadas pelo fabricante ajuda muito no trabalho e evita correrias na busca de informações no manual.
- As bancadas devem ser montadas com material de andaime e devem ter beiral para evitar a queda de peças, além de capacidade de carga adequada (NOBREGA, 2005).
- Analisar a vibração e verificar o histórico para direcionar as tarefas e atingir o objetivo da manutenção. Não trabalhar apenas com dados informatizados, mas cruzar tais informações com a opinião da supervisão de campo e com o chão de fábrica.
- Verificar e fotografar nível dos retornos de óleo para saber se durante a partida tem algo anormal. Esta não é uma informação que geralmente se encontra em manuais, mas é importante na partida.

- Antes da parada, anotar valores normais de temperatura e pressão, estes valores são de conhecimento da operação e provavelmente serão cobrados por eles na partida. Utilizar formulário apropriado para anotar estas variáveis.
- Verificar quais sistemas auxiliares que vinham operando (trocadores, buffer gás, etc.). A análise destes equipamentos ajuda na prevenção de problemas.
- Fazer o cronograma e determinar quais recursos serão usados.
- Fazer uma reunião com toda a equipe envolvida mostrando as características da máquina e o que se espera com a manutenção. Conscientizar a todos de sua importância no processo e ouvir atentamente todas as sugestões ou queixas. A equipe deve ser formada não pelos “melhores amigos”, mas por pessoas devidamente comprometidas com os resultados, dispostas a participar em equipe. Devem ter conhecimento técnico adequado sobre a máquina, além de estarem ou serem preparadas para os momentos de tensão que poderão surgir.
- Planejar as tarefas incluindo mão de obra de outras áreas especializadas, como instrumentação, caldeiraria, montagem de andaime, movimentação de cargas e outras.
- Observar vazamentos e ruídos característicos e anotar. Conversar com os operadores antes da parada.

3.3.2.2. Sobressalentes

A preparação dos sobressalentes envolve prazos longos, pois os materiais importados exigem muito tempo para aquisição. Normalmente a compra dos sobressalentes será sempre direcionada para o fabricante da máquina. Qualquer desvio nesse sentido deverá ser acompanhado por técnicos e engenheiros especializados e nunca por livre decisão do setor de compras.

No caso de ser necessário adquirir um sobressalente de um fornecedor alternativo, deve-se, ao menos, escolher de um fornecedor de renome e especializado naquele item, assim os riscos podem ser reduzidos.

O volume de informações de sobressalentes é muito grande, por isso deve ser compartilhado em grupo. Como já afirmava Levitt (1997), os problemas de manutenção são muito complexos para ser resolvidos por uma única pessoa. Um departamento de manutenção de classe mundial reconhece e capitaliza diferentes habilidades e experiências de diferentes membros de seu grupo e de outros departamentos.

A inspeção do recebimento é uma atividade que deve ter a participação direta de profissionais de manutenção. Embora, predominantemente, esta atividade seja associada à medição dimensional de peças, ela pode ser bem mais complexa. Ensaio relativos à dureza e composição estrutural do material, se realizados no momento do recebimento, poderão evitar transtornos para a manutenção. Não são raros os casos em que, no exato momento do uso, o técnico se depara com uma irregularidade, quer seja um material de composição inadequada ou dimensional. O transtorno, neste caso, é inevitável. Medidas simples como a adoção da inspeção no recebimento esbarram na corrente pressão por custos. Normalmente mesmo quando esses

procedimentos existem, em geral carecem de uma metodologia para especificação dos pontos realmente críticos da peça. Em muitos casos, a solução adotada é a contratação de um profissional experiente, geralmente oriundo dos quadros da manutenção para a atividade de inspeção. O processo somente será confiável quando as empresas estabelecerem procedimentos específicos de recebimentos de sobressalentes e os mesmos sejam periodicamente auditados (PALMER, 1999).

Em geral, o quadro em relação à preservação pode ser ainda pior. Se a atividade de inspeção, de forma geral, não é desempenhada de forma apropriada, a preservação fica numa condição ainda inferior. Esta atividade é esquecida pela grande maioria das empresas e, quando lembrada, fica restrita à condição da preservação inicial, ou seja, aquela feita no momento de recebimento do material. Uma preservação correta deve contemplar as seguintes atividades: limpeza, identificação de qual produto é mais adequado para a preservação, preservação inicial, embalagem, armazenagem e inspeção periódica. Esta atividade será tanto mais importante quanto maior for a complexidade, o custo e a perecibilidade da peça, conforme esquematizado na Figura 10.

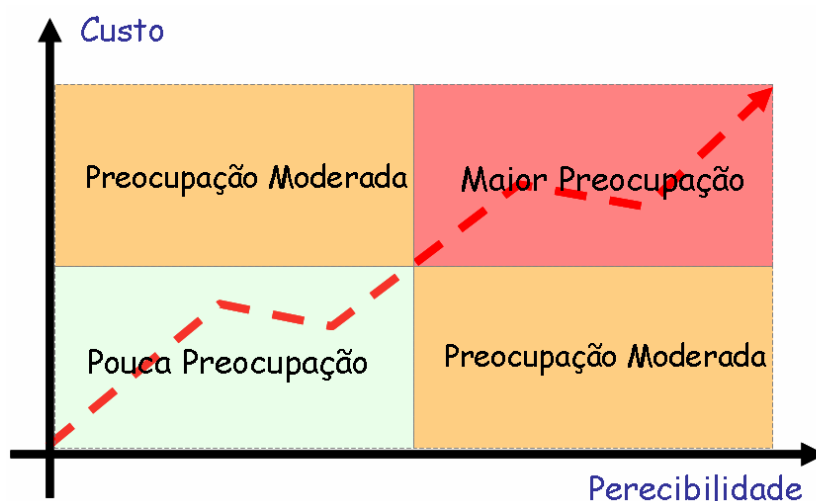


Figura 10: Quadro de preocupação (SILVA, 2005)

3.3.2.3. Formação da equipe

O resultado do trabalho estará diretamente ligado à maneira como os recursos serão utilizados. Bons recursos não se traduzem, necessariamente, em bons resultados. É importante escolher pessoas participativas e habilitadas ao regime de trabalho de parada. Pessoas comprometidas com o resultado final e, de preferência, interessadas em continuar neste ramo (NOBREGA, 2005).

Um grupo de trabalho bem treinado, motivado e flexível é de muito valor e, certamente, ajudará no sucesso do trabalho e da empresa. Da mesma forma, um grupo triste, desmotivado, não participativo e resistente pode trazer problemas para a empresa. Baseado nas circunstâncias, o mesmo indivíduo pode variar entre um comportamento e outro em momentos diferentes (HANSEN, 2001).

A visão gerencial praticamente determinará a criação e o perfil do grupo. Normalmente, um gerente não deve reclamar de sua equipe, pois ele provavelmente será o principal responsável. Suas ações, ao longo da campanha, vão motivar ou não seus colaboradores a quererem participar das paradas em grandes máquinas. Trabalho em grandes máquinas não é um trabalho como os demais, e como tal deve ser tratado. A gerência deve criar um diferencial para os profissionais que se destacam nesta atividade. Um cenário ruim para o supervisor que monta a equipe é, deparar-se com um grupo de pessoas que não vê vantagem alguma em trabalhar com grandes máquinas. Para esses, normalmente, não importa apertar uma gaxeta ou estar incluído no grupo de grandes máquinas. Este não é um problema com solução rápida e envolve trabalho prévio da gerência, na formação da cultura local.

3.3.2.4. Confiabilidade humana

O mais importante elemento de uma empresa é seu recurso humano. Gerentes de muitas companhias reconhecem que o resultado de seu sucesso se deve a seu grupo de trabalho (DUFFUAA 1998). A análise quantitativa e qualitativa das ocorrências que culminaram com grandes perdas (explosões, derramamentos, incêndios) tem como causa principal a intervenção humana inadequada. Estudos indicam que 75% das falhas são causadas por falha humana. Portanto, falar de confiabilidade sem considerar o ser humano, caracteriza uma simplificação muito grande do tema. Num ambiente industrial, tem dois grupos de pessoas que devem ser capacitados quando estiver se

implantando um programa de confiabilidade: as pessoas de manutenção e, as de produção. A estes cabe a definição do perfil de competências necessárias para suas respectivas funções. Avaliações periódicas e complementação das mesmas, quando aplicável, através do desenvolvimento de habilidades adicionais.

Como afirmam Oliver e Capshaw (2008), empregados de manutenção estão conscientes que o treinamento pode tornar seu trabalho mais rápido e fácil. Aceitar que os trabalhadores estão excitados para participar de atividades que os desafiem e façam suas tarefas mais fáceis, prazerosas e seguras. As pessoas anseiam por líderes que mostrem a eles como fazer a coisa certa e os encorajem ao sucesso. Nesse caso motivação é inspiração para alcançar excelência em todas as atividades.

3.3.3. ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS ANTES DA PARADA

O objetivo de se fazer manutenção adequadamente numa máquina e devolvê-la à operação para uma campanha de operação confiável só pode ser alcançado se conhecido seu desempenho em detalhes. Qualquer defeito, para ser reparado, precisa ser conhecido. Portanto, é necessária uma análise detalhada de todas as variáveis antes da parada para manutenção (DUFFUAA, 1998). A equipe de manutenção preditiva, ou equipe de acompanhamento, tem forte participação nessa etapa. Os tipos de manutenção aplicadas nesse caso são: preditiva e proativa. A preditiva acompanha e analisa o comportamento e

prediz quando as falhas poderão ocorrer, enquanto a proativa intervém na máquina, ainda em operação, e introduz melhorias ou corrige problemas, antes que as falhas apareçam. Estas técnicas são utilizadas durante toda a campanha de funcionamento, mas, próximo da parada da máquina, a técnica aplicada é mesmo a manutenção preditiva.

A manutenção preditiva tem sido reconhecida, nos últimos anos, como uma técnica eficaz de gerenciamento da manutenção. Ela se baseia no acompanhamento e na avaliação quantitativa e qualitativa do estado de funcionamento dos equipamentos, com o objetivo de obter subsídios para o gerenciamento eficiente e seguro da função manter. Isso é feito por meio de um eficiente armazenamento de dados históricos do equipamento.

3.3.3.1. Manutenção preditiva

Aplicar esse nome, preditiva, a uma equipe não é correto, pois esse é, ao certo, o nome de um dos tipos de manutenção, dentre muitos. O trabalho de predizer ou prever as falhas é apenas uma das atribuições da equipe responsável pelo acompanhamento das condições operacionais das máquinas. Esse mesmo grupo pode praticar a manutenção proativa, agindo no equipamento enquanto o mesmo opera, de maneira a evitar o início da falha. Todas as tarefas de gerenciar a lubrificação também ficam aos cuidados desse grupo, além de outros acompanhamentos. Assim, chamar a equipe de acompanhamento de equipe de preditiva é, no mínimo, uma visão limitada de suas reais atribuições, como será mostrado a seguir.

Conforme Tavares (1999), manutenção preditiva ou previsiva pode ser definida por serviços de acompanhamento de desgaste de peças ou componentes de equipamentos prioritários através de análise de sintomas, ou estimativa feita por avaliação estatística, visando extrapolar o comportamento dessas peças ou componentes e determinar o ponto exato de troca ou reparo.

A premissa comum da manutenção preditiva é que o monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional e outros indicadores da condição operativa das máquinas e sistemas de processo fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos, mesmo operando até uma faixa de risco admitido (PINTO e XAVIER, 2001). Ela também minimizaria o número e os custos de paradas não programadas, criadas por falhas da máquina.

Segundo Nepomuceno (1985), a manutenção preditiva tem por finalidade estabelecer quais parâmetros devem ser escolhidos em cada tipo de equipamento, em função das informações que as alterações de tais parâmetros revelam sobre o estado mecânico de um determinado componente. Além da medição de vibração, a preditiva utiliza meios de detecção como a análise de óleo e a termografia. A inspeção termográfica constitui uma poderosa ferramenta preditiva usada no diagnóstico precoce de falhas e outros problemas em componentes em geral, evitando, assim, panes e interrupções de energia nas instalações de interesse do usuário. Essa é uma técnica de inspeção não destrutiva que se baseia na detecção da radiação da energia térmica emitida pelos equipamentos e que permite conhecer as condições

operacionais e outros itens críticos, com a identificação de componentes aquecidos, sem qualquer contato físico com os mesmos.

O investimento em manutenção preditiva tem um grande retorno para as empresas. Esse retorno vai depender de como as informações geradas são tratadas. A implantação de sistemas preditivos não só reduz os custos de manutenção, mas também faz com que técnicos e engenheiros melhorem seus conhecimentos. Automaticamente, passam a definir que melhorias devam ser introduzidas nas máquinas de modo que estas aumentem a confiabilidade e robustez ao desgaste.

A equipe de preditiva tem um custo inicial relativamente alto, pelos equipamentos e *softwares* utilizados e pelo nível técnico das pessoas. O retorno financeiro à organização se dá de várias maneiras, como segue:

- Redução dos custos por otimizar o uso dos equipamentos
- Permite operar as máquinas mesmo em falhas dentro de uma faixa de risco admitido
- Redução da manutenção corretiva e sua imprevisibilidade
- Permite melhorar o cumprimento da programação de manutenção
- Maior confiabilidade dos equipamentos
- Permite evoluir sempre, por meio dos conhecimentos adquiridos
- Melhor imagem junto ao cliente interno
- Melhora o nível técnico da equipe num todo
- Menor risco de desastre ambiental por conhecer melhor os equipamentos.

3.3.3.1.1. Detecção de anomalias

Conforme Afonso (2006), a análise de falhas de equipamento mecânico deve consistir em percorrer a história do equipamento ou componente em sentido inverso, até atingir um ponto onde será possível implementar ações preventivas que evitarão sua repetição. Através do conhecimento do estado de funcionamento de cada equipamento, é possível determinar as suas necessidades de manutenção e o momento em que a manutenção deve ocorrer. Além disso, esse conhecimento permite determinar possíveis falhas de montagem e projeto, cujas correções garantirão ao equipamento uma vida útil mais prolongada.

As ferramentas de monitoramento preditivo devem ser escolhidas de acordo com a função do equipamento e a criticidade do mesmo, sendo que, dependendo desta análise, pode-se utilizar uma ou mais ferramentas preditivas num mesmo equipamento. O conjunto das informações obtidas vai determinar as ações necessárias quando identificado o início de uma falha. O planejamento dos trabalhos a serem realizados deve considerar as informações adquiridas antes da parada da máquina.

3.3.3.2. Inspeção nos visores de óleo

Verificar e fotografar o nível dos retornos de óleo, antes da parada, para saber se, durante a partida, a máquina apresenta volume normal. Nível de óleo não é

uma informação que geralmente se encontra em manuais, mas é importante na partida.

Anotar valores normais de temperatura e pressão; estes valores são de conhecimento da operação e provavelmente serão cobrados por eles.

Verificar quais sistemas auxiliares vinham operando (trocadores, buffer gás, filtros, etc.). A análise destes equipamentos ajuda na prevenção de problemas e fornecem informações valiosas para o planejamento da manutenção.

Compressores com selo de óleo de anel flutuante devem ter suas linhas de gás de referência e indicador de nível do pote lavadas durante as paradas, para evitar falhas na informação correta do nível de óleo do pote de selagem.

3.3.3.3. Análise do óleo lubrificante

O acompanhamento das condições do óleo lubrificante é fator importante na detecção de falhas e auxílio no planejamento da manutenção.

Como afirma Brown (2005), quando se trata de óleo, há uma palavra que deve ser repetida muitas vezes: limpeza! Todo equipamento sofre desgaste com o passar do tempo pelo funcionamento e pelos inúmeros agentes contaminantes, internos e externos. O óleo lubrificante é uma grande fonte de informações sobre a situação dos equipamentos. Pelas funções que exerce, ou seja, refrigeração, limpeza, proteção contra agentes corrosivos e pelo acesso aos vários pontos da máquina, o óleo constitui-se num agente de extrema importância na determinação de elementos de desgaste e contaminação dos

equipamentos. Por meio dos resultados das análises, é possível conhecer, controlar e até combater a origem da contaminação.

3.3.3.3.1. Ferrografia

A ferrografia é uma técnica utilizada para análise do lubrificante, sendo que o objetivo é analisar o aspecto e o tamanho das partículas presentes no óleo, permitindo identificar com precisão em que nível está ocorrendo o desgaste (SOUZA, 2003).

Existem muitos testes disponíveis para análise de fluidos usados. Alguns testes são qualitativos, enquanto outros são quantitativos. Um teste raramente utilizado é a ferrografia analítica. A ferrografia analítica completa é freqüentemente referida como equivalente à ciência forense criminalística na análise de óleo. O método de teste conta com avaliação microscópica visual de partículas extraídas e depositadas em uma lâmina de microscópio chamada de ferrograma. Com o advento de novos equipamentos como o contador de partículas, já é possível conseguir quase esse mesmo grau de informação a custos e prazos bem reduzidos.

3.3.3.4. Análise da vibração

Esta análise consiste em verificar o histórico de vibração para direcionar as tarefas a serem realizadas na manutenção. Cruzar as informações adquiridas nos *softwares* de acompanhamento com as informações de campo e com o

chão de fábrica. A comparação da análise com a experiência de campo torna as decisões mais confiáveis.

A análise de vibração é particularmente útil na monitoração de operação mecânica de máquina, na detecção e reconhecimento da deterioração de rolamentos, no estudo de mau funcionamento típico em maquinaria com regime cíclico de trabalho, e na análise de vibrações de compressores e outras máquinas rotativas ou vibratórias.

3.3.4. CUIDADOS COM O ROTOR

Rotores de máquinas de fluxo são componentes altamente complexos que requerem muita atenção dos profissionais envolvidos em seu cuidado. Serviços de reparo devem ser realizados ou supervisionados pelo fabricante. Raras são as ocasiões em que o usuário alcança o nível de conhecimento necessário para, sozinho, assumir a manutenção nesse tipo de componente. Por ser o elemento rotativo, esse é um dos componentes mais críticos das máquinas de fluxo.

Todos os componentes são importantes, mas o impelidor é, de fato, o elemento principal na transferência de energia, ele inicia a transferência de energia e no difusor a conversão se completa, a seqüência é a seguinte:

- Ao girar, o impelidor arrasta o gás, por meio de suas palhetas
- Com o gás girando em alta rotação, a força centrífuga age sobre suas moléculas, deslocando-as para a periferia do impelidor

- No trajeto até a periferia, o gás ganha energia na forma de velocidade
- Como a área do próprio impelidor aumenta um pouco, à medida que se aproxima da periferia, uma pequena parte dessa energia já sai do impelidor na forma de pressão
- Quando sai do impelidor, o gás, em alta velocidade, encontra um aumento progressivo de área e quase a totalidade de sua energia cinética é convertida em potencial.

Os impelidores podem ser componentes muito complexos envolvendo técnicas modernas de fabricação. A Figura 11 mostra um exemplo de impelidor.



Figura 11. Impelidor usinado tipo semi-aberto (NOBREGA, 2005)

Rotor é o nome dado ao conjunto rotativo completo. Trata-se de uma série de componentes montados sobre um eixo, a saber:

- Eixo

- Impelidor
- Pistão de balanceamento, em alguns casos
- Disco de escora
- Porca e arruela de trava
- Luvas espaçadoras
- Acoplamento

3.3.4.1. Inspeção dos rotores

A inspeção do rotor deve ser feita minuciosamente antes do armazenamento, para que esteja em condições de uso quando necessário. Isso é preciso para justificar os altos custos envolvidos na aquisição e armazenagem. Cada rotor deve ter uma pasta arquivo com os relatórios individualizados de inspeção contendo no mínimo as seguintes informações:

- Relatório de inspeção visual
 - Identificação do equipamento: fabricante, tipo, modelo e S.N
 - Descrição das condições do rotor como: aparência, danos visuais, sujeira, peças soltas, peças faltantes e proteção das partes mais sensíveis.
 - Tipo de acoplamento, tipo de acionador, potência e RPM
 - Tipo de embalagem utilizada, cuidados específicos com a embalagem, locais de instalação de cabos para levantamento
- Levantamento dimensional geral do rotor

O levantamento dimensional deve ser feito por profissional experiente. Todas as dimensões de vedações devem ser medidas, usando a Planilha de Folgas, conforme mostrado no anexo A. As dimensões devem ser checadas duas vezes e em cruz, a 0° e 90° , conforme Figura 12. Nesta etapa são medidos todos os diâmetros, entretanto, locais mais críticos como as regiões de acoplamento, mancais e selos, devem ter relatório de medição específico.

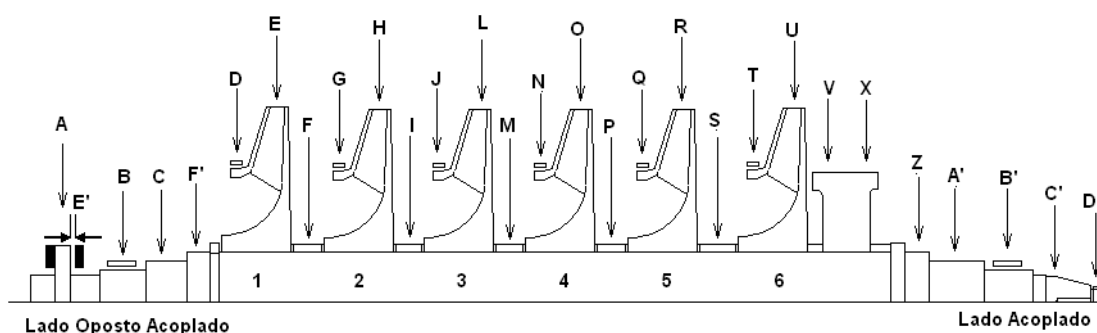


Figura 12. Levantamento dimensional geral (NOBREGA, 2005)

- Levantamento dimensional da região dos selos

O cuidado nesta tarefa evita medições em local onde o selo não apóia, conforme, Figura 13. O problema é mais evidente quando é utilizado selo a óleo com anel flutuante, pois freqüentemente o anel interno desgasta sua região de contato, devido a presença de impurezas no gás.

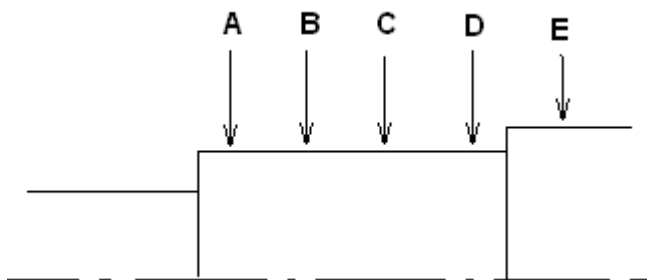


Figura 13. Levantamento dimensional região dos selos (NOBREGA, 2005)

Tabela 1. Levantamento dimensional

Posição	Descrição	Dimensão a 0°	Dimensão α
A	Diâmetro na região do selo	Medir	Medir
B	Diâmetro na região do selo	Medir	Medir
C	Diâmetro na região do selo	Medir	Medir
D	Diâmetro na região do selo	Medir	Medir
E	Diâmetro região do labirinto do	Medir	Medir

- Levantamento dimensional da região do acoplamento

A fixação de acoplamento no eixo pode ser cônica ou paralela. Este último requer apenas as medições corretas no eixo, cubo e chaveta e a montagem a quente. Quando a ponta de eixo paralelo deve ser medido em três pontos para garantir que não está cônico.

Em acoplamentos com furo cônico, deve ser verificado primeiro o contato metálico, utilizando tinta reveladora azul, (azul da Prússia). É importante que se utilize camada extrafina de tinta, não gire o cubo durante a verificação e apresente contato de no mínimo 80% da superfície. Quando é utilizado chaveta, deve ser verificado o contato com e sem chaveta. Somente deve ser armazenado rotor que, comprovadamente, está com o ângulo correto. Deve ser medida a posição axial do cubo, medida B, e a posição de aperto, medida A, como esquematizado na Figura 14. Assegurar também que o cubo do acoplamento em estoque esteja também correto.

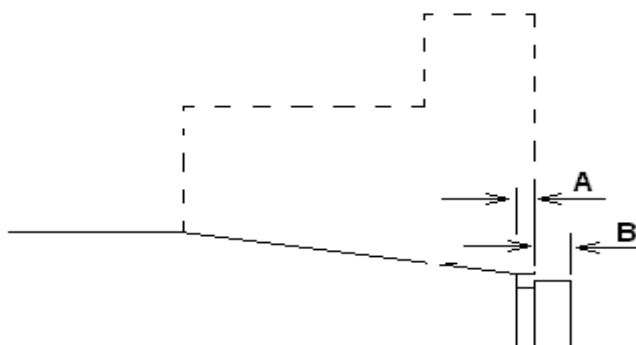


Figura 14. Levantamento dimensional região do acoplamento (NOBREGA, 2005)

- Levantamento dimensional da região dos mancais

Mancais são componentes como buchas especiais, com injeção de óleo que têm a função de suportar o eixo, ou o rotor, e mantê-lo girando na posição desejada, os mais modernos são segmentados em sapatas. Como afirma Brown (1990), os mancais são lubrificados com pressão de óleo e são bipartidos para facilitar a manutenção. Como pode ser visto na Figura 15, a região do eixo onde apóia no mancal é muito delicada, com fino acabamento e as medições desta região, devem ser apresentadas com precisão de milésimos de milímetro.



Figura 15. Mancal radial (NOBREGA, 2005)

Como o eixo nessa região pode sofrer desgaste, a medição não pode ser feita em um só ponto, mas em três pontos e em cruz, a 0 e 90°, conforme Figura 16. Identificar LA (lado acoplado) e LOA (lado oposto ao acoplado) e anotar na Tabela 2.

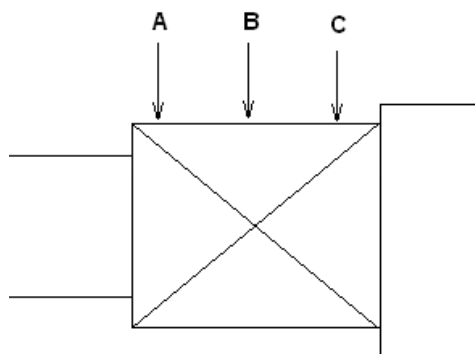


Figura 16. Levantamento dimensional região dos mancais (NOBREGA, 2005)

Tabela 2. Levantamento dimensional região dos mancais (NOBREGA,2005)

Posição	Descrição	Dimensão a 0°	Dimensão a 90°
A	Diâmetro na região do mancal LA	Medir	Medir
B	Diâmetro na região do mancal LA	Medir	Medir
C	Diâmetro na região do mancal LA	Medir	Medir
A	Diâmetro na região do mancal	Medir	Medir
B	Diâmetro na região do mancal	Medir	Medir
C	Diâmetro na região do mancal	Medir	Medir

- Posição axial dos impelidores

A posição axial dos impelidores deve ser verificada, principalmente quando o rotor for trocado ou sofrer manutenção. Este levantamento ajuda numa possível correção em relação ao *overlap* da máquina. A Figura 17 mostra que a medida de referência é a face do disco de escora, considerando a posição ativa. Deve-se notar que algumas máquinas têm ajuste na localização do disco de escora

e, nesse caso, a referência deve ser o batente de apoio no eixo, pois o disco terá posição variável.

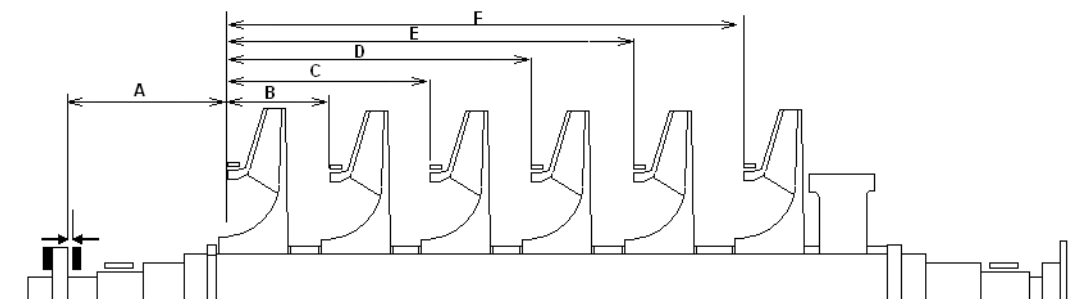


Figura 17. Levantamento dimensional axial (NOBREGA,2005)

- *Runout* elétrico da região dos *probes*

O *runout* elétrico detecta problemas na leitura que o *runout* mecânico não consegue identificar. São utilizados sensores com bobinas que emitem sinal elétrico e detectam irregularidades no material. Esses sensores são instalados em uma base fixa, com sua extremidade muito próxima do eixo. O apoio deve ser o mesmo usado para balanceamento, na região dos mancais, e a leitura feita na região preparada para tal, conforme Figura 18. Os valores máximos devem ser conseguidos com o fabricante da máquina.

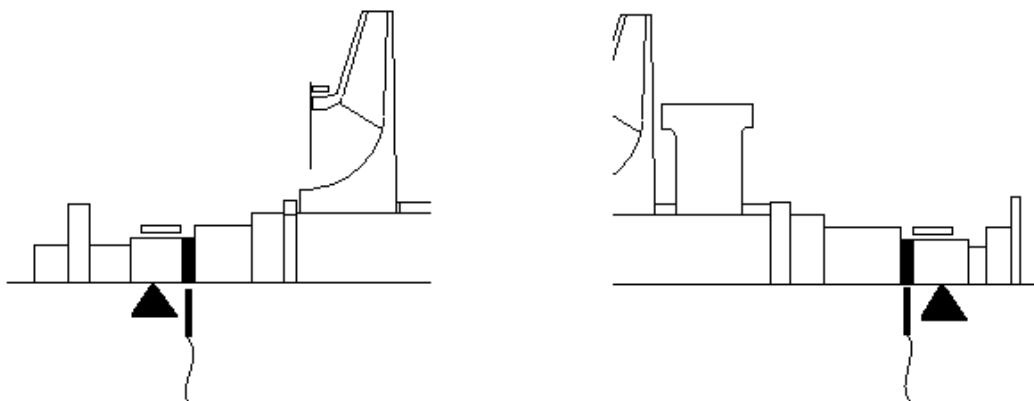


Figura 18. *Runout* elétrico (NOBREGA, 2005)

- *Runout* mecânico axial

Medir o *runout* axial utilizando um relógio comparador sobre as faces do olho do impelidor, conforme indicado na Figura 19. Esta verificação também é chamada de “verificação do batimento”. Esta medição interfere no alinhamento dos impelidores nos diafragmas (*overlap*). É necessário saber se os impelidores estão na posição recomendada, caso estejam fora, normalmente o rotor deve retornar ao fabricante para correção.

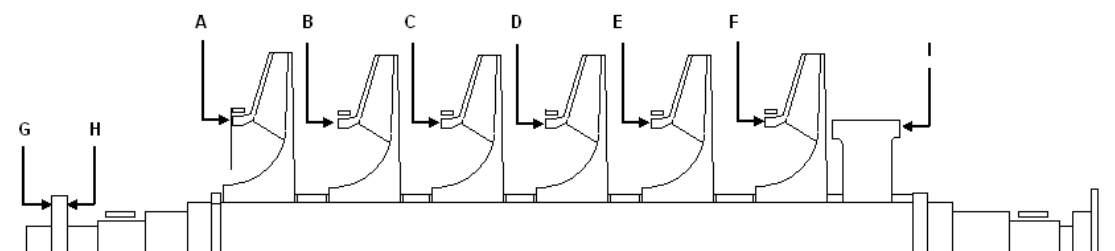


Figura 19. *Runout* mecânico (NOBREGA, 2005)

- *Runout* mecânico radial

Essa medição também é feita com o rotor apoiado na região de mancal, conforme Figura 20. Pode ser usada uma balanceadora ou prismas em V. Quando usada balanceadora, é necessária a verificação dos roletes com relógio comparador. Já o uso de prismas exige que os dois sejam apoiados na mesma base e revestidos com *Teflon*. É feita a leitura com relógio comparador em cada ponto de leitura dos *probes*, conforme Figura 21. É dividida a face do rotor em quatro e anotado 0° , 90° , 180° e 270° . Cada leitura é feita anotando o local do ponto mais alto no ângulo indicado. A leitura é feita em todos os pontos de aproximação com partes estacionárias.

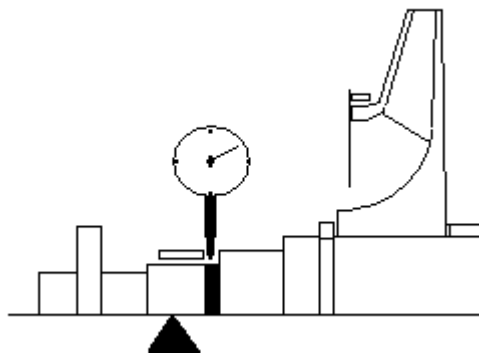


Figura.20. Local de apoio nos mancais (NOBREGA,2005)

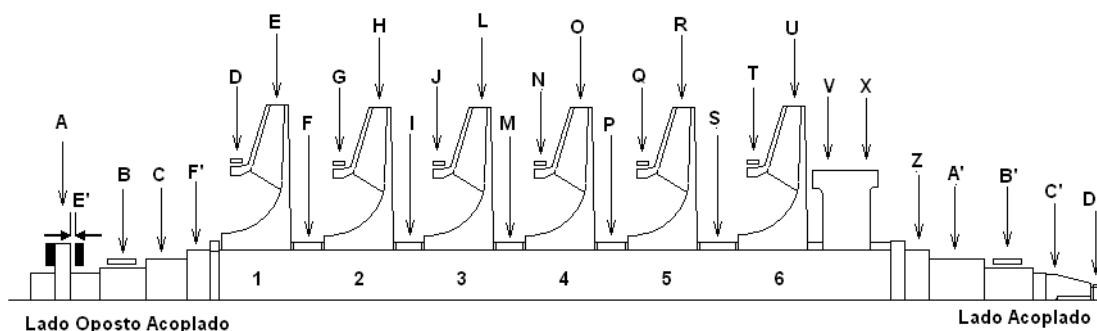


Figura 21. Medição do runout mecânico (NOBREGA, 2005)

- Checagem do balanceamento

O balanceamento é uma das tarefas mais importantes. Deve ser feito segundo procedimento do fabricante. Como os rotores dos compressores normalmente operam em altas rotações, fazer o balanceamento na rotação de trabalho somente é possível dentro de um túnel de vácuo. O balanceamento em alta rotação, em túnel de vácuo é muito usado, principalmente em rotores que sofreram manutenção ou que tem histórico de problema roto-dinâmico. O túnel é um ambiente reforçado, especialmente preparado para balanceamento que,

por operar no vácuo, não tem deslocamento de ar, não interferindo nos valores. Como no túnel, o rotor gira na rotação nominal, os mancais originais devem acompanhar o rotor. O Brasil ainda não dispõe deste recurso, o que obriga o envio dos rotores para o exterior. O resultado é muito bom, mas os custos envolvidos devem ser considerados, se o envio for somente para esse balanceamento. A Figura 22 mostra a parte interna de um túnel de vácuo.



Figura 22. Parte interna de um túnel de vácuo (NOBREGA, 2005)

3.3.4.2. Armazenagem

A armazenagem também exige cuidados, pois como é um componente que pode ficar anos no estoque. É necessário que esteja sempre em condições de uso, para justificar altos custos envolvidos na aquisição e armazenagem. Muitas experiências amargas têm sido vivenciadas por descaso com os rotores em estoque. Os rotores devem ser armazenados na vertical, pendurados em armazéns climatizados, conforme Figura 23, ou em recipiente metálico

(*contêineres*), conforme Figura 24. A posição vertical evita empeno durante o período de armazenagem.



Figura 23. Rotor armazenado em armazém climatizado (NOBREGA, 2005)

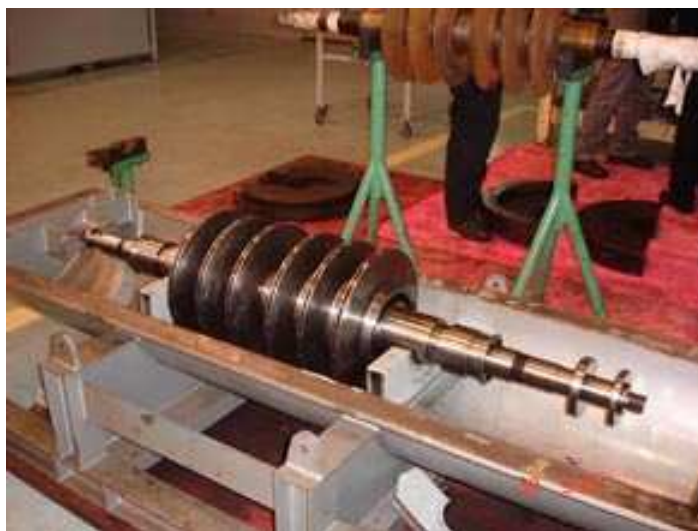


Figura 24. Recipiente metálico inerte para guardar rotor (NOBREGA, 2005)

3.3.5. REMOÇÃO DOS INTERNOS (*BUNDLE*) E DESMONTAGEM DOS DIAFRAGMAS

Como citado em Dresser-Rand (1974), *bundle* é o termo em inglês muito utilizado para se referir ao pacote de diafragmas de um compressor centrífugo cortado na vertical, conforme exemplificado na Figura 25.



Figura 25. Pacote de diafragmas e rotor ou bundle (NOBREGA, 2005)

Como afirma Brown (1990), os componentes estacionários localizados entre os estágios são chamados de diafragmas. A função do diafragma é agir como um difusor junto aos impelidores e, seus canais direcionam o gás para o estágio subsequente. Como é uma peça pesada e geralmente de difícil remoção, requer cuidados especiais, a saber:

- Sua remoção depende da remoção de obstáculos (drenos, chavetas, etc.)

- A instalação dos trilhos, que são normalmente fornecidos pelo fabricante como dispositivo especial, além de facilitar, torna o trabalho mais seguro.
- Deve-se ter cuidado com os pontos de força para remoção ou os furos e mecanismos de extração, pois não são muitos e o executante dependerá deles. Caso venham a ser usados de maneira errada, poderão se danificar e complicar muito o prazo de execução.
- Em caso de travamento o aquecimento da carcaça poderá ser necessário, o que poderá ser feito com manta térmica, água quente ou outro meio seguro.

3.3.5.1. Movimentação das peças pesadas

Na manutenção de compressores ocorre a movimentação de peças pesadas, como tampas, rotores e barril. Antes do início de uma parada de manutenção é importante realizar uma inspeção prévia na ponte rolante, para garantir a segurança nos trabalhos e manutenção dos prazos. Os cabos, manilhas e acessórios devem ser inspecionados. A compra de itens novos deve ser feita em empresas de renome e exigido o certificado de teste.

A instalação de controle remoto na ponte rolante é de fundamental importância, o que deve ser feito por empresa especializada. Isto facilitará muito o serviço, pois o operador poderá visualizar o que está sendo feito, de qualquer posição da máquina. Isso diminui muito o tempo de resposta do operador, a qualquer provável problema durante a operação de subida ou descida de peças.

O operador da ponte deve ser treinado e estar acostumado com o serviço. É recomendado simular uma situação de emergência para verificar a agilidade do mesmo em apertar o botão de desarme de emergência, esse procedimento ajuda evitar acidente. Somente um responsável deverá exercer o comando de movimentação, devendo o grupo ser orientado para isso.

Compressores cortados horizontalmente não têm *bundle*, seus diafragmas são montados um a um, com muito mais facilidade. Nessas máquinas, a peça mais pesada é a tampa, a qual precisa ser devidamente alinhada. Pelo menos uma vez na vida da máquina, os pinos guia que posicionam a tampa, devem ser conferidos para checar se o seu posicionamento realmente representa o correto alinhamento tampa / carcaça.

Não são raros pinos que posicionam a tampa fora de posição. Para verificação deve ser montada a tampa sobre a carcaça vazia e centralizado pela região de alojamento dos selos.

Durante o fechamento da tampa de um compressor cortado na horizontal, a mesma deve descer até um ou dois milímetros do contato com a outra face e, então, os pinos devem ser instalados (NOBREGA, 2005). Repousar totalmente a tampa e depois bater os pinos é errado, danifica os pinos e não alinha a tampa, pois como a tampa é pesada, os pinos não conseguem arrastá-la.

Após a centralização, os furos guias devem ser repassados e caso necessário, novos pinos devem ser utilizados. Após a montagem da tampa, os pinos devem ser removidos lubrificados e reinstalados manualmente, sem batidas, pois sua função é apenas posicionar na montagem, garantir o posicionamento é função dos parafusos de fechamento.

3.3.6. MEDIÇÃO DE FOLGAS

Como afirma Brown (2005), existem muitas tarefas que requerem atenção durante a manutenção, mas as mais importantes são as verificações de folgas e de concentricidade.

A medição das folgas é uma etapa crucial para a boa manutenção. Um exemplo de medição em mancal é apresentado na Figura 26. É muito comum o profissional ser categórico ao afirmar que tem segurança nos valores adquiridos na medição.



Figura 26. Medição de mancal (NOBREGA, 2005)

Os problemas, entretanto, não estão ligados somente aos cuidados de como a medição é realizada, mas ao procedimento utilizado. Por vezes, a medição foi realmente feita com cuidado, mas o resultado fica comprometido pela simples falta de uma etapa do procedimento. Um bom exemplo é a medição da folga de um mancal. Caso não seja medida primeiramente a folga do próprio mancal no

seu alojamento, todo serviço fica comprometido. Da mesma maneira a medição do selo. De nada adianta medir no eixo, pontos fora da zona de funcionamento dos selos.

Na medição de folga do mancal é importante:

- Utilizar valores em milésimos de milímetro (ex: 0,175mm)
- Na medição de folga com uso de alavanca, utilizar o fator de correção considerando o tipo de mancal, número de sapatas e posição do eixo. As medições devem ser na vertical e na horizontal.
- Na medição com instrumento, cada peça deve ser medida separadamente.
- Quando utilizar fio de chumbo, buscar produto com pureza de 99,99% com dureza controlada abaixo de 5 HB. O mercado já oferece fios em vários diâmetros com dureza em torno de 3,2 HB.

Fazer ensaio com Líquido Penetrante (LP) nos mancais do estoque antecipadamente, pois poderão ser utilizados. Isso alivia os serviços de parada e permite a correção, caso necessário.

Na medição de mancal de casquilho, deve ser considerado que casquilhos não têm forma própria e sua medição somente deve ser feita montada no alojamento. O casquilho também deve ter seu contato no alojamento checado com tinta azul. Mancais de casquilho são pouco utilizados; assim, muitas vezes os procedimentos são desconhecidos. Como afirma Brown (2005), devido à baixa resistência para suportar, o uso desse mancal se limita aos compressores centrífugos.

A medição dos mancais envolve tarefas simples, porém importantes para chegar a um resultado de medição confiável. Muitos profissionais têm seus próprios métodos de medição, o que, sem dúvida, deve ser respeitado, mas a sintonia com o que é praticado por bons profissionais em todo o mundo certamente resultará em métodos de maior confiabilidade. Se um mesmo método é utilizado por profissionais japoneses, americanos, alemães, italianos e brasileiros é porque já foi testado e a chance de ter erros é praticamente zero. Os procedimentos mostrados nesta obra foram extraídos de diversos cursos realizados no exterior e do trabalho com profissionais vindos de diversos países para o Brasil, em paradas de manutenção, ao longo de mais de duas décadas (ENSPM 1998, DRESSER-RAND, 2001, FLOWSERVE, 2003).

Para serem revisados, os mancais são totalmente desmontados, limpos e é feito o levantamento dimensional com os seguintes objetivos:

- Descobrir qual é a folga real em relação ao eixo
- Ir além da inspeção visual
- Verificar detalhes dimensionais dos componentes
- Avaliar se o óleo encontrará caminho livre

Para medir a folga em relação ao eixo em mancal radial de sapatas, pode ser considerada a seguinte fórmula:

$$\text{Folga} = \text{DI} - (2x \text{Ems} + \text{De}) \quad [3]$$

onde:

DI = Diâmetro interno do alojamento das sapatas

Ems = Espessura média das sapatas

De = Diâmetro do eixo

Para medir a espessura média da sapata (Ems), de maneira rápida, é preciso medir uma sapata como referência e, depois, comparar com as demais, conforme mostrado na Figura 27.



Figura 27. Comparação entre as sapatas (NOBREGA, 2005)

3.3.6.1. Medições axiais antes da desmontagem

A Figura 28 mostra um mancal misto completo para suportar cargas radiais e axiais. Pode ser visto o disco de escora em meio a um “sanduíche” de dois colares com as pastilhas de escora.

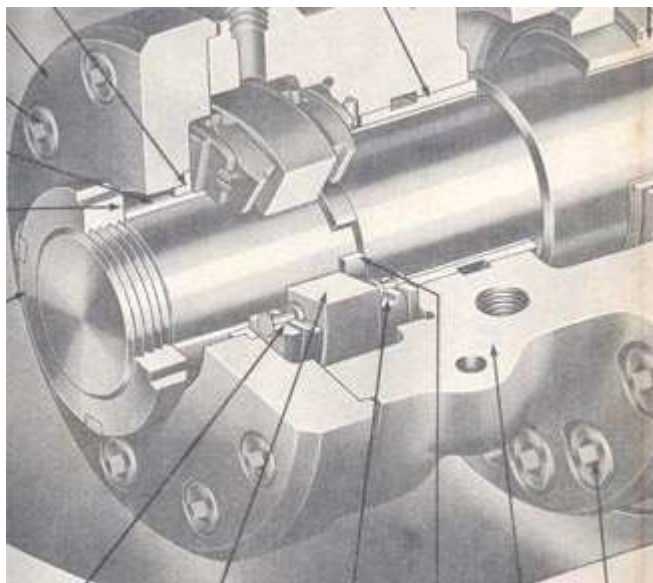


Figura 28. Mancal de escora completo (NOBREGA, 2005)

3.3.6.1.1. Medir passeio axial com escora

Para medir o passeio axial com escora, deve-se empurrar o eixo de um lado para o outro e anotar o valor total. Esta operação deve ser repetida duas vezes e os valores devem se repetir. Observar que o relógio deve estar apoiado na face do eixo em local com bom acabamento (MITSUBISHI, 2000).

3.3.6.1.2. Medir primeiro contato para cada lado

A dilatação da carcaça é diferente da dilatação do rotor, embora o fabricante faça o projeto buscando quase uma anulação de uma sobre a outra, o tempo difere muito, com o rotor dilatando bem mais rápido que a carcaça. Assim, é necessário que os impelidores tenham folgas axiais não apenas para permitir

seu giro livre, mas também para compensar essas diferenças e evitar o contato metálico.

Durante o posicionamento axial do rotor, é necessário saber qual a folga existente para cada lado, além do mancal de escora. Os fabricantes chamam esta medição de primeiro contato (DRESSER-RAND, 2001). O primeiro contato é o valor mínimo recomendado pelo fabricante como folga de cada lado dos impelidores, em relação aos diafragmas, depois de montado o rotor. A medição é feita a partir da escora ativa, considerando o valor recomendado pelo fabricante e quando são usados labirintos escalonados ou selo de bucha cônica, o passeio axial deve considerar o curso dos labirintos e selos (DRESSER-RAND, 2001). Essa medida deve ser verificada para os dois lados e seu objetivo também é evitar o roçamento do rotor na carcaça, em caso de falha da escora.

Remover um dos colares de sapatas da escora e empurrar o rotor para o lado que ficou o colar. Zerar o relógio comparador e empurrar o rotor para o lado oposto e anotar o valor. Observe que os fabricantes indicam o valor mínimo que deve ser encontrado. Refazer a operação para o outro lado, trocando o colar de escora, recolocando o que saiu e removendo o que ficou. A medida do lado inativo deve ter o valor da folga axial com escora, somado ao valor encontrado, pois para ambos os lados, a posição considerada é da face ativa. O relatório de manutenção deve constar os valores de:

- Folga da escora montada (sem óleo)
- Primeiro contato para o lado da sucção

- Primeiro contato para o lado da descarga
- Passeio total sem escora

3.3.6.1.3. Medir passeio axial sem escora

Remover a tampa de acesso aos mancais, observando que todos os parafusos que fixam o mancal de escora estejam apertados, inclusive os que prendem a telha do mancal. A folga axial total é o passeio que o rotor faz de um lado para o outro na direção axial sem os colares de escora. Isto pode ser feito utilizando uma alavanca com a ponta protegida para movimentar o eixo e um relógio para medir o deslocamento (DRESSER-RAND, 2001). O esforço para o deslocamento deve limitar-se ao necessário e a operação deve ser repetida duas ou três vezes.

Em alguns modelos a folga axial é ajustada através da espessura da junta da tampa do mancal de escora. Ao desmontar, registrar a espessura da junta para substituir por outra igual. Caso precise trocar, lembre-se que a junta que foi removida já está esmagada, logo a nova junta deve ser acrescida em torno de 20 a 30% da espessura encontrada. Deve ter a menor espessura possível. Se ocorrer qualquer mudança ou troca de peças no mancal, nova espessura de junta precisa ser determinada. A folga axial recomendada é fornecida pelo fabricante;

3.3.7. ALINHAMENTO DOS IMPELIDORES NOS DIAFRAGMAS (OVERLAP)

O alinhamento correto dos diafragmas ajuda na redução do consumo de energia, estes valores são difíceis de serem medidos, provavelmente por isso, é pouco comentado. Como pode ser visto na Figura 29, o fluxo do gás ao sair do impelidor deve estar alinhado com os diafragmas, isso melhora o rendimento da máquina. De acordo com Dresser-Rand (2001), ao reposicionar um rotor, novo ajuste axial deve ser feito no mancal de escora. Neste trabalho não será estudado os valores de ganho ou perdas, mas será estudada a orientação dos fabricantes que afirmam que os impelidores devem trabalhar alinhados com os difusores. Esta seria uma questão simples, se não fossem as dilatações da carcaça e rotor. O objetivo é que o rotor fique alinhado em operação. Muitas vezes a condição frio normalmente é diferente, isso requer atenção do executante.

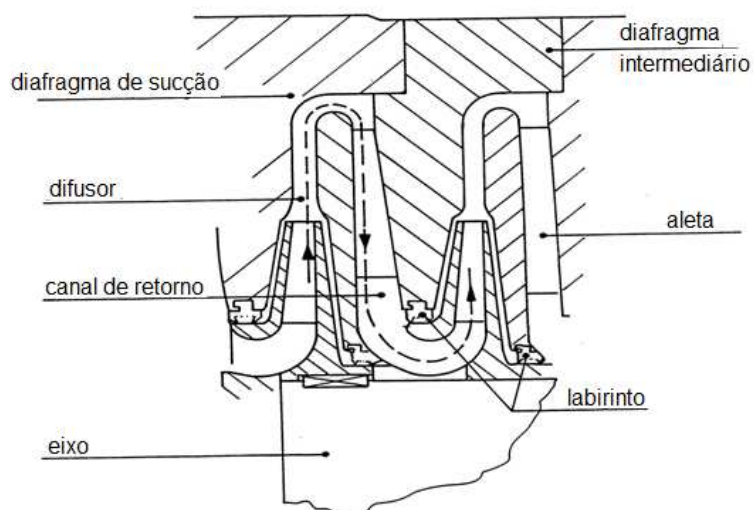


Figura 29. Fluxo do gás através do impelidor e diafragma (NOBREGA, 2005)

As seguintes recomendações devem ser consideradas:

- A recomendação do fabricante deve ser a base do alinhamento a ser feito.
- O mapeamento dos valores encontrados deve considerar o tipo de máquina (bipartição vertical e horizontal) e a referência deve ser medida em local seguro.
- Algumas máquinas permitem a correção nos diafragmas, principalmente no primeiro, mas não é comum e, quando usado, deverá ser feito logo no início da manutenção.
- Caso os valores ultrapassem a tolerância recomendada, consultar o fabricante.
- Caso as diferenças sejam muito grandes, corrigir o rotor reserva utilizando a referência do mapeamento.

Essa medição é feita entre as costas do impelidor e a face do difusor, ou seja, o lado oposto ao ponto de entrada do gás, conforme ilustrado na Figura 30.



Figura 30. Medição do overlap (NOBREGA, 2005)

Durante toda a leitura o rotor permanece parado controlado por um relógio comparador em sua extremidade. As leituras normalmente variam em torno do valor recomendado, conforme figura 31. Valores acima da tolerância não devem ser deixados, sem a autorização do fabricante.

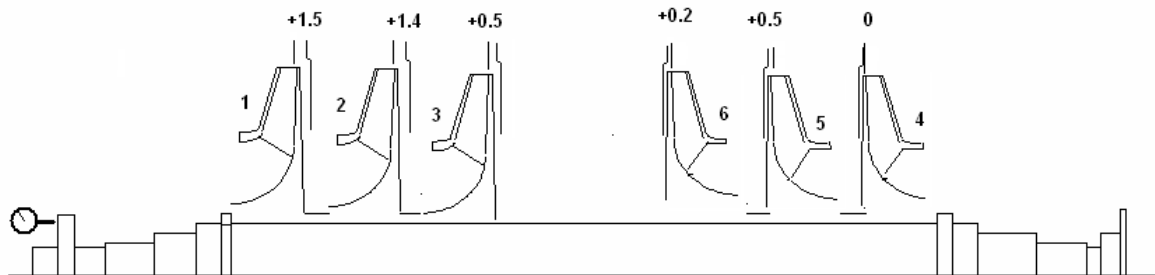


Figura 31. Diferenças na medição do overlap (NOBREGA, 2005)

Deve ser preenchido o mapa do *overlap*, conforme Tabela 3. Esse relatório deve ser considerado em uma possível revisão do rotor, para reposicionar algum impelidor, caso necessário.

Tabela 3. Medição do overlap (NOBREGA, 2005)

Rotor

Unit

STG.	A							
	Proj.	Esq.	Direita					
1	0	+1.0	+0.9					
2	0	+0.9	+0.85					
3	0	0	+0.1					
4	0	+0.7	+0.7					
5	0	+1.0	+1.0					
6	0	+0.5	+0.5					

Esta tabela, se feita com cuidado, pode ser usada para corrigir o rotor durante uma manutenção do mesmo. Caso apresente muita diferença no *overlap*, o posicionamento dos impelidores poderá ser corrigido, e numa próxima manutenção se alcançará uma leitura de *overlap* quase perfeita.

3.3.8. CUIDADOS COM O SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

Análise das condições do óleo é um forte indicador da situação da máquina. Esta análise deve ser periódica e fazer parte do acompanhamento da máquina. Durante a manutenção normalmente os trocadores de calor que refrigeram o óleo são removidos para limpeza. Essa limpeza deve ter o aceite dado pelo pessoal da mecânica e ou da lubrificação. Depois de concluída a limpeza, o feixe e o casco devem ser lavados com óleo lubrificante e embalados em plástico.

Na limpeza do cárter, não deve ser usado pano ou material que solte fiapos. O cárter não deve ser submetido a jato de areia ou reparos em pintura; o ideal é raspar a tinta que estiver soltando e não aplicar outra, pois certamente soltará. Lembrar que o óleo impregnado na chapa ao longo de anos, impede a aderência da tinta.

Para fazer um *flushing* rápido, é necessário fazer uma preparação adequada. Como as passagens pelos mancais são pequenas, é importante desviar do cárter na primeira fase para acelerar o processo. Nesta etapa, o óleo levará todas as impurezas para o cárter e para o filtro principal, por isso é mais econômico fazer o *flushing* com nível reduzido. Na fase seguinte, o óleo é direcionado para os mancais e passa por telas finas, para o controle final.

3.3.9. CUIDADOS COM OS COMPONENTES DE SELAGEM

Cada família de selos tem seus cuidados específicos e, em cada uma delas os cuidados se repetem. Assim, o usuário não precisa conhecer todos os detalhes de todos os tipos de selos, mas os detalhes mais importantes de cada grupo. A seguir, serão dadas algumas orientações de manutenção para anéis “O”, selos a gás e a óleo com ou sem contato.

3.3.9.1. Anéis “o ring”

O uso de anéis de borracha de seção redonda, conhecidos como “o ring”, é muito comum nos selos. Estes anéis devem ficar levemente esticados na montagem externa e levemente comprimidos quando montados internamente. Um dos maiores problemas na montagem dos anéis é a formação de “barriga”. O risco de formação de “barriga” existirá sempre que os anéis estiverem frouxos no alojamento. A Figura 32 mostra um bom exemplo de montagem.



Figura 32. Anel “o ring” com boa fixação (NOBREGA, 2005)

Caso não fiquem bem fixados, a folga se acomodará na parte de baixo, ficando parte fora do alojamento e fatalmente cortando na montagem. Parece simples, mas devido esse problemas já ocorreram retrabalhos de grande monta, atrasando até mesmo a partida de unidades. Também deve ser verificada a compressão a que será submetido o anel. Valores em torno de 15 a 25% de seu diâmetro são normais, entretanto deve ser verificado no projeto. Anel muito esticado reduz a seção e elimina a compressão.

3.3.9.2. Ajuste da selagem inter-estágios com labirinto

A selagem por labirinto é a mais simples, prática, econômica e usual forma de selar o gás entre os estágios e também é aplicada nas demais partes do compressor centrífugo. O labirinto não é uma vedação hermética, pois permite a passagem de um fluxo mínimo de gás. Esta é uma eficiente selagem por restrição, mas caso entre sujeira e chegar a entupir os canais o vazamento pode aumentar muito.

A selagem entre estágios é necessária devido aos sucessivos acréscimos de pressão, que ocorrem a cada estágio. Sem essa selagem, o gás teria fluxo contrário da descarga para a sucção, o que influenciaria sobremaneira o rendimento da máquina. Labirintos desgastados causam perda de rendimento de 10% ou mais. Os principais fatores que danificam os labirintos são:

- Ocorrência de forte surge (surge é o colapso de produzir pressão, resultando em forte vibração e ruído)
- Operar em surge brando por muito tempo

- Operar na faixa de rotação crítica
- Ataque químico severo no material dos labirintos.

A selagem interna (Figura 33) é composta de dois anéis de labirinto a cada estágio, montados na ranhura de cada corpo de aletas guias ou no próprio diafragma, um vedando o olho do impelidor e outro o eixo.



Figura 33. Selagem inter estágio (NOBREGA, 2005)

Como afirma Brown (2005), provavelmente a consideração mais importante é a respeito da concentricidade. A selagem inter-estágios deve ser concêntrica em relação ao elemento rotativo. É preferível que a folga do labirinto fique maior que a recomendada do que excêntrica. Para um mesmo valor de folga, labirintos excêntricos vazam duas vezes e meia mais do que labirintos concêntricos.

Uma vez medidas as folgas dos labirintos com instrumentos, montá-los na máquina e colocar também o rotor, apoiado nos mancais. A primeira etapa

desta verificação é medir as folgas laterais com verificador de lâminas, conforme Figura 34. A segunda etapa, para os compressores cortados na horizontal, é colocar fita adesiva de espessura conhecida sobre o rotor, nas regiões de selagem, para medir a folga. Girar o rotor para que a fita circunde toda a volta. Utilizando fitas adesivas de papel, sobrepostas e pintadas com tinta azul, fica fácil identificar qual parte está com a folga mais apertada e, pelos cortes nas fitas, é possível saber de quanto é a folga. Retirar as fitas cortadas; apenas as que ficarem inteiras devem ser consideradas na medição.



Figura 34. Medição das folgas laterais (NOBREGA, 2005)

3.3.9.3. Selo a óleo de anéis flutuantes

Estes selos representam uma família muito grande e ainda muito utilizada, porém, gradativamente, perde espaço para os selos a gás. O selo de filme de líquido opera com pequenas folgas no eixo e é usado para altas pressões (BROWN, 2005). O modelo mostrado na Figura 35 é mais recomendado para pressões até 30 bar.

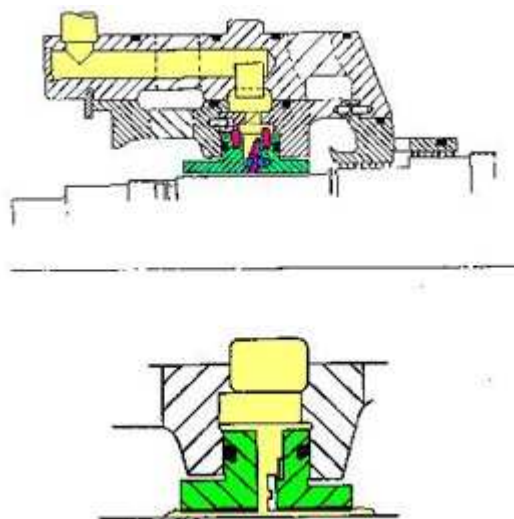


Figura 35. Selo de anéis flutuantes (DRESSER RAND, 2001)

Estes selos requerem maior atenção na medição dos diâmetros para que seja medida exatamente a região onde os anéis trabalham. Por apresentarem constantemente desgaste na região de trabalho do anel flutuante interno, este ponto precisa ser medido com atenção, caso contrário, apresentará considerável vazamento logo na partida. Outro ponto importante é garantir a livre flutuação dos anéis flutuantes através de uma leve folga axial, com valores fornecidos pelo fabricante do selo. Muitos modelos utilizam vaso suspenso, para gerar o diferencial de pressão. Nesse caso, durante a parada de manutenção, as linhas de referência devem ser lavadas e os instrumentos revisados e testados. Como em todos os selos, os anéis de borracha de seção redonda (anéis O), devem ficar levemente esticados nas montagens externas e levemente comprimidos nas montagens internas. Como já dito, esta leve pressão no alojamento serve para evitar que formem “barriga” na parte de baixo e venham a cortar na montagem.

3.3.9.4. Selo de contato

Em sua maioria utilizam o conceito de selo estacionário e por isso o perpendicularismo da sede rotativa deve ser garantido, conforme Figura 36. Este selo pode ser usado abaixo de 1000 psi, é mais complexo, mas tem a vantagem de não vazarem enquanto parado, conforme afirma Brown (2005).

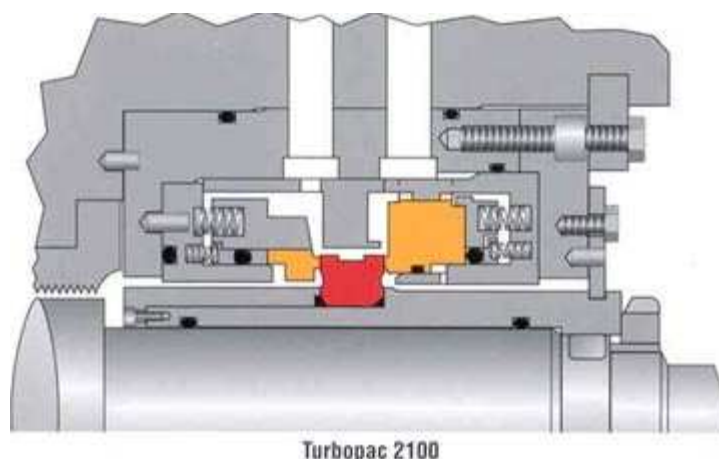


Figura 36. Selo de contato (Cortesia FLOWSERVE)

A verificação da sede rotativa deve ser feita utilizando dois relógios comparadores, este cuidado ajuda na redução do vazamento de óleo. Esse modelo utiliza anel “O ring” dinâmico na sede estacionária, assim deve ser verificado a compressão correta e a superfície de deslizamento do anel. Os cuidados são os mesmos de um selo CW (*contacting wet*) utilizados em bombas, só que na condição estática.

3.3.9.5. Selo a Gás

Selo a gás utiliza tecnologia recentemente desenvolvida. Devido ao seu alto desempenho, vem ocupando cada vez mais espaço nas descrições de compra. Devido ao seu auto-ajuste do *gap* entre as faces, consegue operar muito tempo sem contato e sem desgaste. O objetivo do selo é impedir que o gás vaze para a atmosfera. O modelo mostrado na Figura 37 é um selo de montagem simples, mas em sua maioria são utilizados selos em montagem dupla.

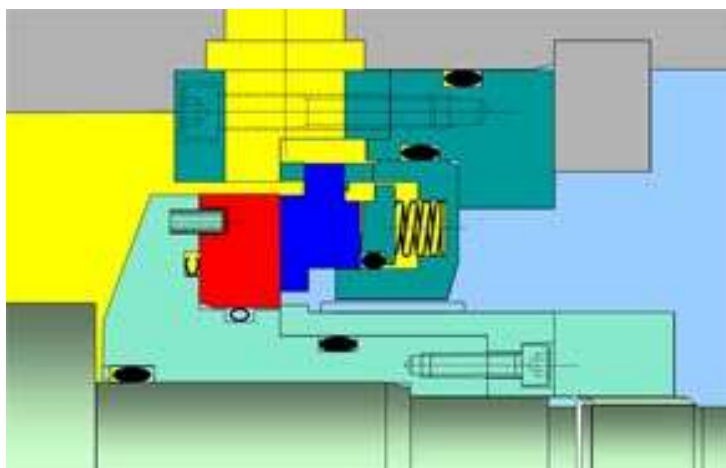


Figura 37. Selo a gás (Cortesia JOHN CRANE)

Normalmente, antes da montagem, alguns fabricantes orientam que o selo deve ser “exercitado” para garantir a movimentação axial e o giro livre. Para isso, deve-se prender o selo em um dispositivo anti-rotacional e girar a luva uma volta completa; desta forma, fica garantido que as faces não estão coladas. Deve-se colocá-lo na vertical com a aba maior da luva para baixo sobre um calço e movimentar o pacote externo axialmente. Antes de introduzi-lo no alojamento, soltar $\frac{1}{4}$ de volta todos os parafusos da contra luva, que fecha o pacote, a fim de eliminar possíveis tensões e facilitar o deslizamento

sobre o eixo. Ao utilizar a placa de montagem, não forçar as porcas além do normal. Verificar a efetiva fixação anti-rotacional no eixo. Como em todos os selos, os anéis de borracha de seção redonda (anéis O) devem ficar levemente esticados nas montagens externas e levemente comprimidos nas montagens internas.

3.3.10. MONTAGEM HIDRÁULICA DE ACOPLAMENTO

Toda montagem de acoplamento requer cuidados, sejam de aspectos técnicos ou de segurança. Na montagem de cubos aquecidos, os riscos são queimadura ou montagem em posição errada. Os meios utilizados devem prevenir estes problemas; para isso, devem ser planejados, utilizados dispositivos adequados, testando-os previamente.

Na montagem de cubos de acoplamentos por meio hidráulico, não existe o risco de queimadura, mas aumentam os cuidados, devido aos níveis de pressões utilizadas (MITSUBISHI, 2000).

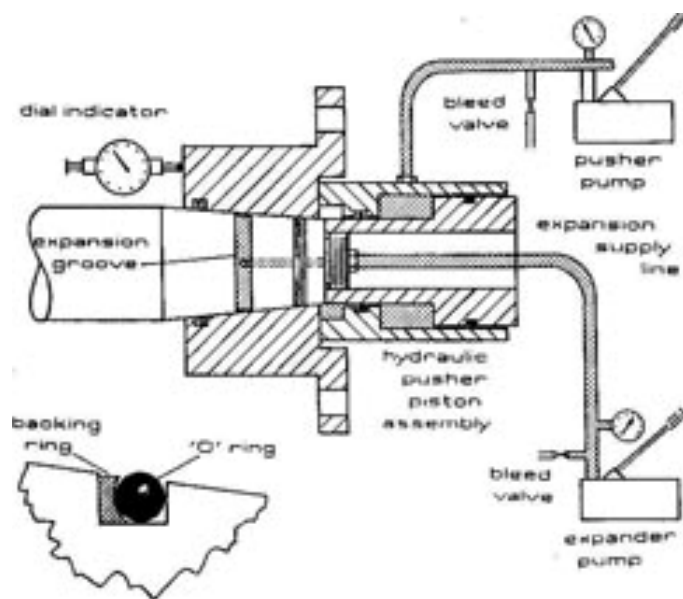


Figura 38. Dispositivo hidráulico (MITSUBISHI, 2000)

Nesse caso a interferência é muito alta e, com o uso de óleo, o risco de escorregamento do cubo sobre o eixo é grande. Alguns cuidados serão citados a seguir:

- Preparar e testar o dispositivo com antecedência, conforme figura 38. Todas as conexões devem estar sem vazamento; mesmo uma gota prejudica o serviço.
- Nunca permanecer em linha com o eixo, enquanto o cubo estiver sendo montado ou desmontado.
- Deve ser seguido o procedimento do fabricante em todos seus detalhes, atentar para os prazos de espera na instalação e remoção do cubo.
- Este é um procedimento de risco, pois envolve pressões altíssimas. Deve ser acompanhado e verificado os valores de avanço do cubo sobre o eixo, caso não fique correto poderá deslizar, danificando o eixo quando em operação.
- Conferir o contato cônico com tinta azul, sem os anéis O
- Ainda sem os anéis “O”, determinar a posição metal-metal e registrar
- Montar os anéis de vedação, lubrificar com óleo e posicionar
- Determinar a posição final recomendada pelo fabricante
- Montar o dispositivo hidráulico
- Instalar o cubo, obedecendo procedimento específico.

4. DISSONÂNCIA ENTRE O USO DE TÉCNICAS DE PADRÃO MUNDIAL E AS TÉCNICAS CONVENCIONAIS.

Neste capítulo, serão apresentados os resultados e discussão sobre as diferenças observadas entre manutenções realizadas, utilizando técnicas e procedimentos de padrão mundial e técnicas convencionais, além de resultados comparativos do estudo de casos.

A pesquisa foi realizada nos setores de manutenção e/ou serviços de quatro unidades de processo de uma grande empresa, usuária de equipamentos, e dois fabricantes multinacionais. As unidades de processo da empresa pesquisada têm gestão independente, agindo praticamente como empresas distintas. Como o sistema informatizado de gestão é único para todas as unidades de processo, a coleta de dados pôde ser feita diretamente no sistema de gestão, facilitando o acesso e não permitindo interferência de opiniões pessoais. Por motivos de confidencialidade, a identificação das empresas não será mencionada.

4.1. PANORAMA NACIONAL E MUNDIAL

Em pesquisa junto aos fabricantes e em cursos realizados no exterior, pôde ser observado que as práticas de manutenção se repetem. É como se tivessem sido “garimpadas” e adotadas por todos. Entretanto, a realidade nas oficinas de manutenção das empresas pesquisadas é diferente. Algumas vezes, ocorre uma lacuna entre as recomendações do fabricante e as práticas usadas. Cada

profissional desenvolve seu próprio método para executar as tarefas. Os resultados, principalmente das medições, tendem a ser diferentes, embora o valor nominal seja igual. Desta maneira, a medição de um mancal desgastado pode acusar a mesma medida de um mancal novo, porque o método usado foi inadequado. Nesse caso, tomar-se-ia a decisão de montar novamente o mancal, por avaliar que está bom e, no teste da máquina, a vibração alcançaria valores de amplitude que não condizem com o projeto. O quadro fica ainda pior ao se deparar com a afirmação do executante de que a medição foi feita corretamente.

A origem do problema pode estar no método adotado que, no exemplo, não está alinhado com as práticas de padrão mundial. O excesso de criatividade do operário pode ser prejudicial nesse caso, com cada um adotando seu melhor jeito de fazer ou, no jargão popular, “o jeitinho brasileiro”. Como muitos dos fabricantes são estrangeiros, vivendo em culturas diferentes, essa dificuldade pode não ser comum para eles. O operário europeu, por exemplo, costuma ser mais criterioso no cumprimento dos procedimentos, daí a provável razão da maioria das práticas de manutenção nem constarem nos manuais de manutenção.

Segundo Xavier (1998), as empresas que praticam manutenção de classe mundial apresentam as seguintes vantagens:

- Estão melhor colocadas no *ranking* das empresas de melhor desempenho
- Utilizam menor número de funcionários
- O número de problemas crônicos é menor

- Têm menores prazos de paradas para manutenção
- Cumprem fielmente os prazos planejados
- Menor número de itens em estoque
- Maior comprometimento dos empregados

As diferenças encontradas durante a pesquisa são muitas e retratam claramente o nível de atenção que é dispensado à atividade manutenção em cada um dos níveis de manutenção. As diferenças e similaridades encontradas estão apresentadas, de forma resumida, no Quadro 1.

Tarefa	Prática mundial	Prática convencional
1. Sistemas de proteção	Inspeção e teste	Inspeção e teste
2. <i>Layout</i> das tubulações	Projeto alinhado com as necessidades de campo	Necessidades de campo quase ignoradas
3. Preparação para <i>Flushing</i>	Pouca recomendação	Nenhuma recomendação
4. Preparação da manutenção	Entregue a empresa contratada de alta confiança	Pessoal próprio realiza com pouco critério
5. Planejamento	Ágil baseado em histórico	Lento, como se fosse a 1ª. vez
6. Sobressalentes	Sempre originais	Eventualmente uso de alternativos. Mal conservados
7. Formação da equipe	Só especialistas em pequeno número e eficientes	Muita gente desqualificada. Pouca preocupação com qualificação técnica
8. Confiabilidade humana	Cultura favorável	Cultura desfavorável
9. Acompanhamento e análise de variáveis antes da parada	Prioritária	Por vezes ignorada
10. Detecção de anomalias	Técnico especializado em partida de máquinas	Uso do pessoal da manutenção preditiva
11. Inspeção visores de óleo	Anotada a situação encontrada	Ignorada
12. Análise do óleo lubrificante	Feita quando necessário	Feita regularmente
13. Análise do desempenho da máquina	Feita sempre	Feita regularmente
14. Cuidados com o rotor	Alto	Baixo
15. Inspeção dos rotores	Completa	Fraca
16. Armazenagem	Na vertical ou em contêiner	Ruim, em embalagem de madeira e mal conservados

17. Remoção dos internos (<i>bundle</i>) e desmontagem dos diafragmas	Utilizam procedimento da máquina e conseguem se antecipar às dificuldades	Na tentativa e erro, não lêem o procedimento. Baseado na experiência, geralmente não registrada, de quem já fez
18. Medição de folgas	Detalhada e bem registrada, cada ponto com procedimento específico	Pobre
19. Medições axiais antes da desmontagem	Realizada completa	Verificada somente a folga axial
20. Medir passeio axial c/escora	Realizado	Realizado
21. Medir primeiro contato para cada lado	Realizado	Não realizado
22. Medir passeio axial s/escora	Realizado	Eventualmente realizado
23. Alinhamento dos impelidores nos diafragmas (<i>overlap</i>)	Realizado com qualidade razoável	Empurram o rotor para cada lado e centralizam
24. Cuidados com o sistema de lubrificação	Realizado	Realizado
25. Cuidados com os componentes de selagem	Realizado	Realizado
26. Ajuste da Selagem inter-estágios com labirinto	Feita com procedimento adequado	Procedimento pobre
27. Montagem hidráulica de acoplamento	Feita com procedimento adequado	Feita com dificuldade e em muitos casos ignorando as recomendações

Quadro 1. Principais diferenças entre práticas de padrão mundial e convencional

Como pode ser observado no Quadro 1, as diferenças são muito grandes. Como exemplo, começando pelo item 6, que trata dos sobressalentes, na prática mundial são utilizadas peças originais, melhor acondicionadas, o que resulta em maior confiabilidade. Na manutenção convencional, são utilizadas peças originais, mas muitas vezes são usadas peças de fornecedores alternativos, o que compromete a qualidade. Além disso, foi verificado que, em geral, são mal conservados.

Outro exemplo, é o item 7, formação de equipe. Na manutenção de classe mundial, são usados somente especialistas, em pequeno número, com formação adequada. Na prática convencional, são empregadas equipes

enormes, composta de pessoas sem formação técnica adequada ou experiência, o que gera retrabalho e prejuízo.

As diferenças não se limitam a problemas com materiais e pessoal, como no item 23, alinhamento dos impelidores nos diafragmas (*overlap*), onde existe também falta de conhecimento técnico. O alinhamento de impelidores, vital para o bom funcionamento da máquina, é totalmente desconhecido pelos técnicos que praticam manutenção convencional. Na manutenção de classe mundial, os fabricantes fornecem os valores recomendados e as tolerâncias e o alinhamento é feito com precisão, em todas as máquinas.

4.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item, são apresentados os resultados da pesquisa de campo e realizadas as análises entre os procedimentos utilizados, considerando como indicador o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF).

Os resultados da pesquisa estão resumidos na Tabela 4. A coluna que se refere ao modelo, faz menção à bipartição do compressor, vertical ou horizontal, B ou M, respectivamente. Os modelos B e M, são muito semelhantes, a ponto de não interferir no resultado da comparação entre as empresas.

As empresas A, B, C e D são unidades de processo de uma única grande empresa do ramo químico. Estas quatro unidades de processo foram escolhidas por terem semelhanças em termos de tamanho, número de

empregados, idade e produção. As empresas E e F são setores de serviços de fabricantes internacionais de compressores. Assim, seus dados são relativos a serviços prestados a outras unidades de processo da mesma empresa à qual estão ligadas as empresas A, B, C e D.

Tabela 4. Resultados do uso de técnicas mundiais refletindo no TMEF.

Modelo	Empresa	Prática de manutenção	Fabricante	TMEF (anos)	Causa
Série M	A	Padrão Mundial	1	> 4	Nenhuma
Série M	B	Padrão Mundial	2	> 4	Nenhuma
Série B	C	Convencional	3	< 1	Selo
Série B	D	Convencional	1	< 2	Selo
Vários	E	Padrão Mundial	Próprio	> 4	Revisão. geral
Vários	F	Padrão Mundial	Próprio	> 4	Revisão geral

Como pode ser visto na Tabela 4, o uso de técnicas de manutenção de padrão mundial pode elevar o TMEF. Como a maioria das campanhas de turbomáquinas é de quatro anos, o uso de práticas de padrão mundial indica que as máquinas conseguem cumprir a programação sem perdas de produção. Mesmo indicando um TMEF grande, as máquinas são sujeitas a alguma inspeção visual nas paradas, como em mancais e inspeção de vazamentos.

Os fabricantes também utilizam práticas de nível mundial e confirmam o êxito ao também conseguirem TMEF maior que quatro anos.

Normalmente, todas as máquinas de uma planta de processo têm a medição de vibração feita por algum profissional ou em sistema *on line*. Baseando-se em todas as medições, pode-se chegar à média global de forma da planta. A análise aponta para uma ligação entre a média de vibração global da planta e os custos de manutenção associados às práticas de manutenção adotadas.

Na análise das falhas, foram encontrados problemas em selos, vibração excessiva e, também, falhas de projeto. Duas destas causas podem estar ligadas à qualidade da manutenção, pois os selos são componentes complexos e suscetíveis a falhas de manutenção. A vibração excessiva também, pois vários são os problemas de manutenção que causam vibração elevada.

A Tabela 5 apresenta uma relação clara das práticas adotadas com os níveis de vibração e com os custos envolvidos. É do conhecimento da comunidade de manutenção que quanto menor for a média de vibração, menor será o número de falhas e, por conseqüência, menor o custo de manutenção. Como afirmam Thiago e Valder (2004), vibração, em geral, é uma forma de energia perdida e que, em muitos casos, produz ruído, quebra peças e transmite forças e movimentos indesejáveis aos sistemas.

Tabela 5. Relação das práticas de manutenção com os resultados.

EMPRESA	MÉDIA DE VIBRAÇÃO (mm/s)	CUSTO DE MANUTENÇÃO (R\$)	PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO
A	1,5	4.100.000,00	Padrão Mundial
B	1,74	9.200.000,00	Padrão Mundial
C	2,2	21.240.000,00	Convencional
D	1,9	33.350.000,00	Convencional

Se pode perceber pela Tabela 5 que o uso simples de práticas convencionais de manutenção pode gerar muitos prejuízos. Como nem todas as falhas pesquisadas são frutos de problemas de manutenção, é possível deduzir que a diferença no custo de manutenção, apontado na Tabela 5, não seja somente por causa da falta de melhores práticas, mas, certamente este fator é de extrema relevância.

A Figura 39 mostra um exemplo de média de vibração em uma máquina na empresa B. Na parada para manutenção, no ano de 1999, foi realizada uma manutenção de padrão mundial e a média de vibração caiu praticamente pela metade. A máquina operou continuamente até 2005, quando sofreu nova intervenção para manutenção, também de padrão mundial. A implementação de manutenção de padrão mundial fez com que a máquina alcançasse ótimo TMEF e disponibilidade de 100%, para o tempo de campanha de, aproximadamente, 5 anos.

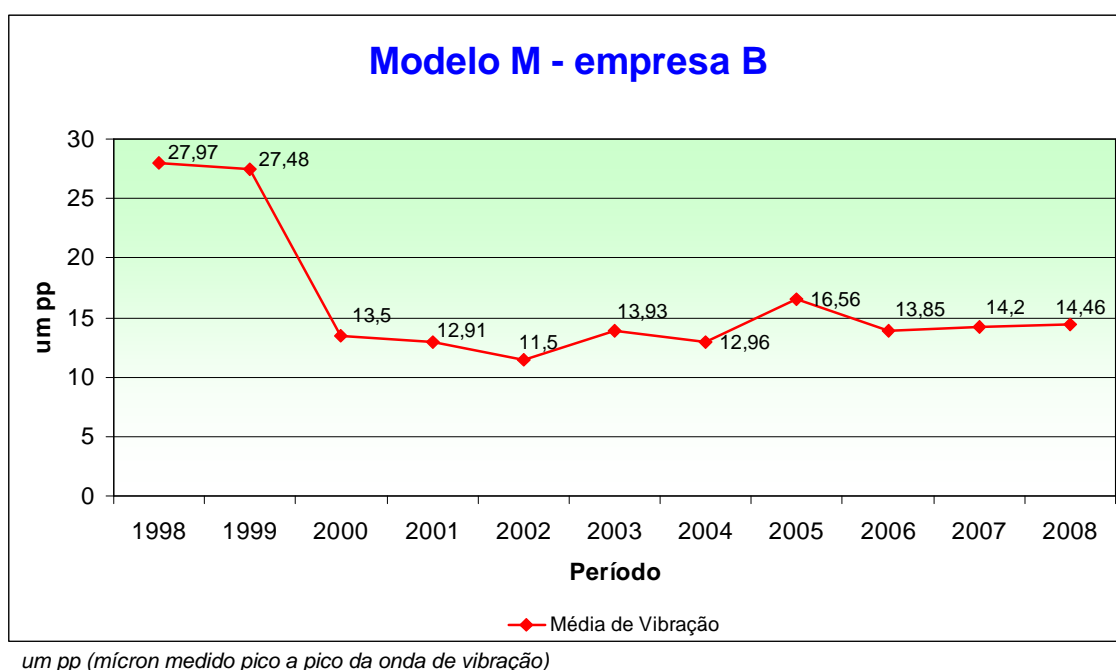


Figura 39. Média de vibração de compressor na empresa B

5. CONCLUSÕES

O que se buscou com esse trabalho não é algo inédito, se considerado o que é feito nos países do primeiro mundo, quando o assunto é manutenção. Devido a vários fatores, não tratados neste trabalho, nesses países, os trabalhos são normalmente realizados seguindo procedimentos rígidos, em termos de qualidade e segurança. Isso garante a realização das tarefas de forma correta, logo na primeira vez. Estas práticas são tão comuns para eles que sequer são citadas nos manuais dos equipamentos. A grande maioria dos profissionais estrangeiros, inclusive os sub-contratados, utilizam as mesmas técnicas. Essa harmonia de procedimentos reflete o quanto essas técnicas já foram ali aprimoradas e divulgadas.

O objetivo geral desse trabalho é definir um caminho para a unificação das melhores práticas de manutenção, como o meio mais seguro para alcançar o nível da manutenção de classe mundial. Também se buscou associar as melhores práticas de manutenção aos resultados conquistados. Essas ações, padronizadas e alinhadas com os objetivos da empresa, poderão auxiliar no sentido de que as máquinas atendam o grau de disponibilidade esperado pelos gestores.

Os objetivos foram alcançados por meio da identificação e da unificação das técnicas citadas no detalhamento dos procedimentos de classe mundial. A pesquisa resultou em um elenco de dez procedimentos técnicos de manutenção, que servirão como o início desta unificação. Estes procedimentos foram escolhidos por sua relevância na obtenção de melhores resultados, tanto

de custos, quanto operacionais. Por meio destes procedimentos, os resultados das manutenções em compressores poderão ser melhorados e o processo pode se tornar contínuo, onde outras técnicas poderão ser incorporadas.

Os objetivos específicos também foram atingidos, sendo identificadas as melhores práticas aplicadas em manutenção de compressores, citadas no Capítulo 3. A preparação dos trabalhadores será atingida à medida que se realizem os treinamentos, com base nos conhecimentos adquiridos.

Mesmo não sendo a única variável relevante, o nível de vibração da máquina é fundamental para garantir um melhor desempenho, implicando que a redução nos níveis de vibração representa maior tempo médio entre falhas e, conseqüentemente, melhor desempenho e menores custos operacionais.

A função manutenção atua como uma poderosa ferramenta para formular estratégias de acompanhamento e manutenção de ativos industriais. Os investimentos em manutenção, provavelmente, serão sempre limitados, pela própria natureza da função, não geradora de lucros. Sendo assim, a otimização dos recursos através da padronização e, focando o uso das melhores práticas de padrão mundial, torna-se um meio interessante para atingir os objetivos da empresa.

Quando se utilizam as práticas adequadas de manutenção, os custos diminuem. Nessa linha de atuação, não se economiza em manutenção, mas se aplicam os recursos de maneira correta. Isso confirma que, a parte cara da manutenção pode ser atribuída aos retrabalhos, aos acidentes, à falta de procedimentos e ao conformismo gerencial.

A tomada de decisão na manutenção de compressores requer embasamento técnico, de qualidade e de segurança. A padronização atua como um caminho seguro, buscando maior sintonia com o que foi planejado e previsto pelos tomadores de decisão. No padrão de manutenção convencional, os gerentes não podem tomar decisões com confiança, pois as perdas de tempo geradas pela manutenção ruim, levam a resultados diferentes daqueles planejados.

A padronização das tarefas de manutenção permite melhores resultados de disponibilidade, pois evita surpresas durante a manutenção e diminui a necessidade de tomada de decisões em todo momento. Pequenas ações que, se tomadas no tempo certo, poderão gerar economia de grandes somas.

À primeira vista, pode parecer oneroso incrementar a qualidade da manutenção por meio do uso das práticas de padrão mundial, mas deve ser considerado que os recursos utilizados são os mesmos, não importando o tipo de manutenção. Quando se paga mais para uma equipe bem qualificada, porém reduzida, deve ser considerado que se pagaria o mesmo para uma grande equipe, porém com pessoas desqualificadas.

O mesmo se aplica aos sobressalentes. A economia conseguida com fornecedores alternativos, geralmente se traduz em despesas ainda maiores com os retrabalhos gerados.

As empresas, ao se empenharem no uso de melhores práticas em manutenção, conseguem mais do que melhorar o TMEF das máquinas. A disseminação destas ações se reflete nas demais áreas da manutenção,

gerando outros ganhos, como redução da média de vibração e redução dos custos globais.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes tópicos podem ser sugeridos para trabalhos futuros, dando continuidade ao trabalho aqui iniciado e que, certamente, poderão incrementar a qualidade dos resultados obtidos:

- Análise dos treinamentos disponíveis para ajuste da qualidade da mão da obra em relação às necessidades dos serviços.
- Identificação dos principais problemas em compressores (*bed actors*) e sua relação com a qualidade da manutenção.
- Desenvolvimento de uma proposta para orientar os fabricantes multinacionais a serem mais claros e específicos nas recomendações de manutenção, visando a um ajuste à realidade cultural latina.

6. Referências Bibliográficas

A GENERAL GUIDE KINGSBURG, Inc. – Hydrodynamics Bearings

AFONSO, L. O. A. Análise de Falhas em Equipamentos Rotativos, 2ª ed., Rio de Janeiro, Qualitymark, 2006

AL-KHOWAITER A., Apply mechanical reliability principles to turbomachinery desing, HYDROCARBON PROCESSING vol. 85 no.8, 2006

ANDERSON, E. J. The management of maintenance. New York, 1999

API 614 – 4th – American Petroleum Institute - Lubrication, Shaft-Sealing, and Control-Oil Systems and Auxiliaries for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services – 1999

API 617 – 7th– American Petroleum Institute - Axial and Centrifugal Compressors and Expander Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services, Seventh Edition, July 2002

API 670 – 4th– American Petroleum Institute - Machinery Protection Systems, 4th ed., December 2000, reaffirmed November 2003

ARTS R.H.P.M., **KNAPP M. G.**; **JR M. L.** Some aspects of measuring maintenance performance in process industry. Journal of Quality in Maintenance Engineering. vol.4, n.1, p. 6-11, 1998.

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

BAXTER, M. Projeto de Produto: guia prático para projeto de novos produtos. 2ª. ed., Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1998.

BORSIGH Pocket-Book - DEUTSCHE BABCOCH BORSIG – AG, 2002

BROWN, R. N. Compressors: Selecting & Sizing. 3rd Ed., New York, Elsevier, 2005, 620 p.

CAMARGO, N. P., RESENDE, L.M., PILATTI, L.A. Planejamento e controle da manutenção: uma ferramenta no processo da gestão de manutenção em uma indústria de fios têxteis. XII SIMPEP, Bauru, 7 a 9 novembro, 2005.

CAMPOS, V. F. TQC – Controle da Qualidade Total. Belo Horizonte MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1992.

CARRETEIRO, P. R.; MOURA, C.R.S. Lubrificantes e lubrificação. Editora Makron Books, São Paulo, 2006.

CARVALHO, A. C.B. D. e JUNIOR, J. B. C. A manutenção como ferramenta estratégica. XII SIMPEP, Bauru –SP, 7 a 9 novembro de 2008.

CERVO, A C., BERVIAN, P. A *Metodologia científica*. 4.ed.. São Paulo : Makron, 1996.

CLAVAREAU, J., LABEAU P. E., Maintenance and replacement policies under technological obsolescence. Reliability Engineering and System Safety, v.94, n.2, fev/2009 (online2008), p.370-381.

DHILLON B. S., LIU Y. Human error in maintenance: a review. Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 12, n. 1, 2006, p.21-36.

DHILLON B. S, Engineering maintenance: a modern approach. CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.

DRESSER-RAND Manual de compressor da Petrobras/RPBC - 1974

- DRESSER-RAND** – CCL-215 Training Guide for Hands on Centrifugal Compressor. Olean/USA – 2001
- DRESSER-RAND** – CCS-105 Training Guide for O&M Seminar on Centrifugal Compressor. Olean/USA – 2001
- DUFFUAA, S.** Planning and control of maintenance system and analysis. Salih O. Duffuaa, A. Raouf, John D. Campbell. New York: Library of Congress, 1998
- DUTKA, A.** Competitive Intelligence for the Competitive Edge. NTC Business Books: cap.1 – 9, 1998.
- ENSPM** - Refinery Operators' Program Manual, Institut Français Du Pétrole, Paris/França, 1998.
- FALCO, R.** Bombas industriais. Rio de Janeiro, JR Editora Técnica, 1989.
- FILHO, G. B.** Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade. Ciência Moderna, 2000
- FILHO, O. F., ARAÚJO, S.I.A., FLÓRIO, A. F. M. R.** Detecção automática do aquecimento em componentes de um sistema industrial, baseada no reconhecimento de imagens térmicas. XXVI ENEGEP, Fortaleza-CE 9 a 11 outubro, 2006.
- FLEMING, P. V., FRANÇA, S. R. R. O.** Considerações sobre a Implementação Conjunta de MCC e TPM na Indústria de Processos. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Manutenção, Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN), São Paulo, 1997.
- FLOWSERVE** – Improving Pump, Seal and System Reliability Maintenance Manual, Dallas/USA, 2003

- GENERAL ELECTRIC** Manual de turbina da Petrobras/ RPBC, GE, 1973
- GONÇALVES, A.C., CUNHA, R. C. e LAGO. D.F.** Maintenance reduced by vibration and wear particles analysis. Journal of Quality in Maintenance Engineering. v.12, n. 2, 2006, p.118- 132.
- HANSEN, R. C.** Overall Equipment Effectiveness, New York, 2001.
- KARDEC, A; NASCIF, J.A.; BARONI, T.** Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas. Rio de Janeiro Editora Qualitymark/ Abraman, 2002.
- KELLY, A., HARRIS, M.J.** Administração da manutenção industrial. Tradução de Mario Amora Ramos, Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, 1980. Título original: Management of Industrial Maintenance.
- LAFRAIA J. T. B.** Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Rio de Janeiro, Ed. Qualitymark: Petrobras, 2001.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A.** Fundamentos de metodologia científica. 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 1991
- LEVITT, J.** The Handbook of Maintenance Management. New York, Industrial Press, 1997, 477p.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.** Técnicas de Pesquisa. 7ª. Ed. - São Paulo, Atlas, 2008.
- MARCORIN, A. J.; ABACKERLI, A. J.** Estudo exploratório sobre áreas potenciais de aplicação de técnicas de confiabilidade. ENEGEP 2001
- MIRSHAWKA, V.** Manutenção Preditiva – Caminho para zero defeitos, Makron Books, São Paulo, 1991.

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES Ltd., Manual de Manutenção e Operação.

jul 1994, 4 – 26. Machine no. T 06745

MOBLEY R. K., An introduction to predictive maintenance: Van Nostrand

Reinhold, New York, 1990.

MITSUBISHI Manual de compressor da Petrobras /RPBC - 2000

MONCHY, François. A função manutenção: formação para a gerência de manutenção industrial. Rio de Janeiro: Durban, 1989.

MOUBRAY, J. Introdução à manutenção centrada na confiabilidade. São Paulo, Aladon, 1996.

MUHAISEN, A.M.; **SANTARISI**,N. Auditing of the maintenance system of Fuhais plant Jordan cement factories Co. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 8, n.1, 2002, p. 62-76,

NAKAJIMA, S. Introdução ao TPM. Tradução de Mario Nishimura, IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., São Paulo, 1989.

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

NEPOMUCENO L. X., Manutenção preditiva em instalações industriais: Procedimentos Técnicos, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1985.

NOBREGA, P. R. L. Manutenção em compressores centrífugos. IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo. Apostila de curso de treinamento, 2005

OLIVER B., **CAPSHAW** D. Are maintenance workers really different than other shiftworkers? Plant Engineering Magazine, Jan 2008. Disponível em <http://www.plantengineering.com/article/CA6519501.html>, Acesso em 08.08.2008.

- PAHL, G.; BEITZ, W.** General Methods for Finding and Evaluating Solutions. In: Engineering design: a systematic approach. New York: Springer-Verlag. 1993.
- PALMER, D.** Maintenance Planning and Scheduling Handbook, MacGraw-Hill, New York, 1999
- PEDRO F. F.** Emissão Acústica na manutenção preditiva e preventiva. Mundo Mecânico, abril 1998, p. 84
- PETROBRAS** Relatório de missão ao exterior – intercâmbio com refinarias européias – quarta turma – 1998.
- PINTELON L.; PINJALA S. K.; VEREECKE, A.** Evaluating the effectiveness of maintenance strategies. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.12,n.1, 2006, p.7-20.
- PINTO, A. K., XAVIER, J.A.N.** Manutenção – Função Estratégica. Rio de Janeiro, Ed. Qualitymark Ltda, 2001.
- PORTER, M.** Competitive strategy. New York, Free, 1980.
- POSSAMAI, O.; NUNES E. N.** Falhas Ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade. Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2001, Salvador/Bahia, v.1,. Rio de Janeiro, Ed. Qualitymark: Abraman, 2002, p.1-8.
- RODRIGUES, P. S. B.** Compressores Industriais. EDC, Rio de Janeiro, 1991 .
- SILVA, C. J.** Confiabilidade, a peça que faltava! 6^o Congresso de turbomáquinas, São Paulo, 2005
- SILVA, C.M.I., CABRITA C.M.P., MATIAS, J.C.O.** Proactive Reliability Maintenance: a case study concerning maintenance service costs.

Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.14, n.4, 2008, p.343-355.

SOUZA, S. S., LIMA, C. R.C. Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Ouro Preto, MG , 2003.

TAVARES, L. Administração Moderna da Manutenção. Rio de Janeiro, Novo Pólo Publicações, 1999.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROODS, D. A. A máquina que mudou o mundo. São Paulo: Campos, 1992.

XAVIER, J. A. N. Manutenção Classe Mundial. Disponível em <http://www.icapdelrei.com.br/biblioteca.asp>, Acesso em 15.10.2008

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. (2Ed.). Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZIO E. Reliability engineering: old problems and new challenges. Reliability Engineering and System Safety, v.94, n.2, fev 2009 (online 2008), p.125-141.

Anexo A – Planilha de folgas do levantamento dimensional do rotor

Posição	Descrição	Dimensão a 0°	Dimensão a 90°
A	Diâmetro do disco de escora		
B	Diâmetro região do mancal LOA		
C	Diâmetro região de selo		
D	Diâmetro do olho do impelidor 1		
E	Diâmetro do impelidor 1		
F	Diâmetro da bucha espaçadora 1		
G	Diâmetro do olho do impelidor 2		
H	Diâmetro do impelidor 2		
I	Diâmetro da bucha espaçadora 2		
J	Diâmetro do olho do impelidor 3		
L	Diâmetro do impelidor 3		
M	Diâmetro da bucha espaçadora 3		
N	Diâmetro do olho do impelidor 4		
O	Diâmetro do impelidor 4		
P	Diâmetro da bucha espaçadora 4		
Q	Diâmetro do olho do impelidor 5		
R	Diâmetro do impelidor 5		

S	Diâmetro da bucha espaçadora 5		
T	Diâmetro do olho do impelidor 6		
U	Diâmetro do impelidor 6		
V	Diâmetro tambor de balanceamento		
X	Diâmetro tambor de balanceamento		
Z	Diâmetro região do labirinto		
A'	Diâmetro região do selo		
B'	Diâmetro região do mancal LA		
C'	Diâmetro na região do acoplamento		
D'	Diâmetro da rosca		
E'	Folga axial com escora		