



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE
SERGIPE – FANESE**

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FRANCISCO GEORGE LIMA DE SANTANA

**APLICABILIDADE DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM
COMPRESSOR DE CO₂: estudo de caso em uma empresa
de produção de uréia.**

**Aracaju
2012.2**

FRANCISCO GEORGE LIMA DE SANTANA

**APLICABILIDADE DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM
COMPRESSOR DE CO₂: estudo de caso em uma empresa
de produção de uréia.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Engenharia de Produção da
Faculdade de Administração e
Negócios de Sergipe – FANESE, como
requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Boer
Grings.**

**Coordenador: Prof. Dr. Jefferson Arlen
Freitas.**

**Aracaju – SE
2012.2**

FICHA CATALOGRÁFICA

Santana, Francisco George Lima de

Aplicabilidade da manutenção preditiva em compressor de CO₂: estudo de caso de uma empresa de produção de uréia/
Francisco George Lima de Santana. – 2012.

41f.

Monografia (Graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, 2012.

Orientação: Dr. Marcelo Boer Grings

1. Manutenção preditiva 2. Compressor de CO₂ I. Título

CDU 658.581(813.7)

FRANCISCO GEORGE LIMA DE SANTANA

**APLICABILIDADE DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM
COMPRESSOR DE CO₂: estudo de caso em uma empresa
de produção de uréia.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito final e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção no período de 2012.

Prof. Dr. Marcelo Boer Grings

Prof. Dr. Andrés Villafuerte

Prof. Esp. Josevaldo Feitosa

Aprovada com média: _____

Aracaju (SE), _____ de _____ de 2012.

Dedico este trabalho em primeiro lugar a meus pais, a minha filha, a minha família e a todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é a essência de tudo que existe, vivente ou não, animado ou inanimado, consciente ou inconsciente, ateu ou crente, nada escapa, pois tudo que existe Dele é parte.

Aos meus pais, a minha filha e aos meus irmãos, pela certeza da identidade que sempre levarei comigo.

A todos os meus amigos pelos incentivos em todos os momentos.

A todos os professores que contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica.

Ao meu orientador Professor Marcelo Boer Grings, que sempre esteve à disposição para tirar minhas dúvidas, com colocações muito pertinentes ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro de Equipamentos Francisco Augusto Ferreira Segundo Neto que desde o início do trabalho me orientou quanto aos caminhos a serem seguidos para uma perfeita coleta de informações referentes aos assuntos tratados.

RESUMO

A manutenção existe desde os tempos mais remotos da humanidade, mas foi a partir da Revolução Industrial no século XVIII que passou a ser implantada no intuito de garantir o prolongamento da vida útil das máquinas e o aumento de sua produtividade. As empresas de grande porte adotaram a prática da manutenção preditiva como ferramenta essencial para aumentos significativos de produção para uma mesma capacidade instalada e passaram a perseguir cada vez mais uma manutenção focada no que vai acontecer e evitar que aconteça, minimizando as perdas financeiras provenientes dessas paradas. O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicação das técnicas preditivas de análises de vibração, temperatura e pressão em um compressor alternativo de pistão, utilizado na compressão de CO₂ que funciona ininterruptamente por meses a fio sem parar para manutenção, requerendo para isso um acompanhamento eficaz das variáveis críticas pela equipe de manutenção preditiva. Com a adoção de uma metodologia de natureza aplicada, utilizando-se de uma abordagem qualitativa e com foco exploratório-descritivo, este trabalho descreve o funcionamento do compressor de CO₂, as técnicas de manutenção preditivas utilizadas no seu acompanhamento e analisa a aplicação dessas técnicas. Com o acompanhamento dos trabalhos da Engenharia de Manutenção da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe foi constatado que apesar do compressor apresentar falhas de projeto e de construção, com a aplicação das técnicas preditivas está sendo possível prolongar sua utilização no processo de produção de uréia.

Palavras-chave: Manutenção. Manutenção Preditiva. Compressor de CO₂

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão geral da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe	12
Figura 2 - Localização da casa do compressor de CO ₂	13
Figura 3 - Classificação das técnicas preditivas	18
Figura 4 - Coletor de análise de vibrações.....	19
Figura 5 - Representação da Curva da Banheira	23
Figura 6 - Classificação dos compressores.....	24
Figura 7 - Ciclo de compressão do compressor de parafuso	26
Figura 8 - Como trabalha o Scroll	27
Figura 9 - Compressor de fluxo radial	28
Figura 10 - Compressor de CO ₂	30
Figura 11 - Estágios do compressor de CO ₂	30
Figura 12 - Dados de operação do compressor de CO ₂	31
Figura 13 - Gráfico de vibrações da bomba B-129410-A na direção axial.....	35
Figura 14 - Valores das temperaturas das válvulas de sucção do 1° estágio ..	36
Figura 15 - Gráfico da temperatura de sucção do 1° estágio	36
Figura 16 - Perda de produção de uréia em dias por ano devido ao compressor C-404	38

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Caracterização da Empresa	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Manutenção	14
2.1.1 Histórico da manutenção	14
2.1.2 Tipos de manutenção	15
2.1.3 Técnicas de manutenção preditiva	17
2.2 Confiabilidade	22
2.2.1 Histórico da confiabilidade	22
2.2.2 Curva típica de falhas (Curva da Banheira)	22
2.2.3 Importância da confiabilidade	23
2.3 Compressores	24
2.3.1 Classificação dos compressores	24
2.3.1.1 Compressores de deslocamento positivo	25
2.3.1.2 Compressores de deslocamento dinâmico	27
2.3.2 Escolha do tipo de compressor	29
2.3.2 Funcionamento do compressor de CO₂	29
3 METODOLOGIA	32
3.1 Caracterização da Pesquisa	32
3.2 Metodologia do Processo	33
3.3 Ambiente de estudo	33
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1 Técnicas Preditivas Utilizadas no Acompanhamento do Compressor	34
4.1.1 Técnica de análise de vibrações	34
4.1.2 Técnica de análise de temperaturas	36
4.2 Principais Problemas do Compressor	37
5 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

As empresas do mundo globalizado buscam a excelência desde os projetos de seus produtos e equipamentos até os processos produtivos fins de suas companhias e a logística de distribuição dos produtos. Para ter excelência na sua produção e atingir níveis satisfatórios de produtividade, as empresas devem buscar a excelência, também, em inovação tecnológica e manutenibilidade.

O gerenciamento da manutenção é necessário para qualquer empresa que queira manter-se competitiva devido aos altos índices de produtividade alcançados por empresas líder de mercado.

A manutenção preditiva visa maximizar o tempo de produção sem paradas inesperadas de equipamentos para manutenção e garantir que o equipamento passe por intervenção no momento certo e planejado.

A manutenção preditiva, quando valorizada pela companhia como meio de diagnosticar a real situação funcional dos equipamentos, garante a produtividade e reduz os custos em manutenção não programada. Com a adoção da manutenção preditiva evita-se ao máximo a manutenção corretiva e a manutenção preventiva, que por vezes elimina peças que poderiam ter sua vida útil estendida, desde que o monitoramento seja muito bem acompanhado desde o início de seu funcionamento.

Para produção de uréia o compressor de CO₂ fornece esse gás sob pressão e devidamente purificado para reagir com a amônia (NH₃).

Os compressores de CO₂ são equipamentos de grande porte e precisam ser de confiabilidade tão alta quanto às demais máquinas que participam diretamente da cadeia produtiva influenciando no produto final e cada parâmetro precisa ser monitorado 24 horas por dia.

O acompanhamento dos parâmetros de processo, tais como temperaturas e pressões, bem como dos parâmetros operacionais como as vibrações de carcaça, posição de haste e temperatura de componentes do compressor de CO₂ no processo produtivo são de fundamental importância para a continuidade operacional.

Este trabalho tem o objetivo de mostrar que quando ocorre o diagnóstico de uma detecção preditiva de potencial ocorrência de falha e esse diagnóstico tem suas orientações de intervenção prontamente atendidas, acaba por evitar parada por falha mecânica e com isso se tem um conseqüente aumento da vida útil do equipamento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade das técnicas de manutenção preditiva utilizadas em um compressor alternativo de pistão, no prolongamento de sua vida útil.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar o princípio e os parâmetros de funcionamento de um compressor alternativo de pistão.
- b) Expor as técnicas preditivas utilizadas no acompanhamento do funcionamento do compressor.
- c) Analisar os dados coletados no acompanhamento preditivo do compressor de CO₂.
- d) Determinar a viabilidade de se manter o compressor de CO₂ em funcionamento.

1.2 Justificativa

Um compressor de CO₂ que tem seu funcionamento requerido de forma continuada por meses a fio, tendo suas peças submetidas a altas rotações, pressões e variadas temperaturas, necessita de um acompanhamento minucioso e dedicado por parte de operadores e mantenedores.

Os compressores de CO₂ são equipamentos importantes para fornecer o CO₂ necessário para produção de uréia atribuindo ao sistema a compressão adequada do gás, nos parâmetros estipulados pela especificação do produto final. A confiabilidade da manutenção preditiva é fundamental para garantir o funcionamento continuado e uma intervenção de manutenção eficaz, reduzindo ao máximo as paradas não programadas, através de inspeções periódicas e análises dos dados obtidos com os parâmetros de funcionamento para diagnosticar as intervenções e o momento mais adequado para realizá-las.

A importância deste trabalho dá-se pelo fato de que se identificando as anomalias que surgem com o funcionamento de um compressor de grande porte, através de técnicas de manutenção preditiva será possível desenvolver metodologias de manutenção programadas que maximizem a continuidade operacional, a confiabilidade industrial e a vida útil do equipamento.

1.3 Caracterização da Empresa

A Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS é uma empresa estatal brasileira, de economia mista, que opera em mais de 30 países, no segmento de energia, prioritariamente nas áreas de exploração, produção, refino, comercialização e transporte de petróleo e seus derivados no Brasil e no exterior, sediada na capital do Estado do Rio de Janeiro.

A Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe - FAFEN-SE foi fundada em 06 de outubro de 1982, está situada a 25 km de Aracaju, no povoado Pedra Branca em Laranjeiras-SE. Por se tratar de uma indústria petroquímica, tem sua produção a partir de diversas reações químicas e seu processo se divide em três unidades: Utilidades, Amônia e Uréia. Na própria unidade fabril há a produção de amônia (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) e uréia (NH_2CONH_2).

Na Figura 1 tem-se a visão aérea da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe destacando a Unidade de Uréia onde se localiza o compressor de CO_2 .

Figura 1 - Visão geral da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2009).

A Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe se divide em três unidades: Utilidades, Amônia e Uréia.

Na área de Utilidades estão os setores de tratamento de água, central elétrica, geração de vapor e resfriamento de água.

Na Unidade de Amônia, obtêm-se o gás amônia através da reação do nitrogênio (N) proveniente do ar com o hidrogênio (H) procedente do gás natural.

Na Unidade de Uréia, obtêm-se a uréia através da reação do gás amônia e do dióxido de carbono. É nessa área que se situa o compressor de CO₂, objeto de estudo deste trabalho, conforme mostra a Figura 2 a localização da Casa do Compressor de CO₂.

Figura 2 - Localização da Casa do Compressor de CO₂



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2012).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Manutenção

2.1.1. Histórico da manutenção

A manutenção tem sua história acompanhada de perto das evoluções da tecnologia e da sociedade em todo o mundo.

O entendimento da manutenção requer o conhecimento das suas diversas fases, desde a Revolução Industrial no século XVIII até a Revolução da Informação nos nossos dias.

A história da manutenção acompanha a evolução tecnológica, econômica e social do mundo. Para entendimento do desenvolvimento da manutenção ao longo do tempo como ciência Linzmayer (2008), sugeriu a sua divisão em sete fases.

Para Linzmayer (2008), a 1ª fase foi a de Pré-Manutenção que perdurou até o século XVIII. Nessa época não existiam equipes formadas de manutenção, pois o operador era quem realizava o conserto da máquina. Na 2ª fase surgem as primeiras equipes de manutenção durante o século XIX. Juntamente as grandes invenções em eletricidade, máquinas e motores a vapor, surgem as primeiras equipes de manutenção. Nesse período, já para o final do século XIX, se inicia a utilização do termo MANUTENÇÃO.

Segundo Linzmayer (2008), a 3ª fase da manutenção a surgir foi a corretiva, perdurando no período de 1900 a 1920. Juntamente com a deflagração da Primeira Grande Guerra Mundial, surgem os primeiros parques industriais e as paradas de máquinas passam a atrasar a produção e a não atender os prazos acordados com os clientes, gerando a partir desse contexto a formação de equipes de manutenção corretiva.

A 4ª fase da manutenção, para Linzmayer (2008), foi a fase preventiva e perdurou de 1920 a 1950. No período da Segunda Guerra Mundial os países desenvolvidos se voltaram para as construções bélicas e, com avanço dessa indústria, tem-se o início da aviação comercial. Esse avanço estende-se para várias áreas, em especial a eletrônica com a criação do transistor e do primeiro computador. Com a evolução tecnológica surge a necessidade de prevenir, tem-se o início da manutenção preventiva.

De 1950 a 1970, segundo Linzmayer (2008), vem a 5ª fase, a da Racionalização. Logo após a Segunda Grande Guerra, em 1956, durante a chamada primeira crise do petróleo, devido aos custos em geral aumentarem demasiadamente em todos os ramos da indústria, não sendo mais o bastante só consertar e prevenir, mais também precisou ser pensado nos custos associados. Nesse período surgem as primeiras experiências da Engenharia de manutenção que contribuirá para revolucionar e preparar o caminho que daí em diante terá um crescimento acelerado das inovações na área de manutenção.

Para Linzmayer (2008), a 6ª fase é denominada de Produtiva Total e vai de 1970 a 1980. Com o crescimento das empresas, dos conglomerados industriais e da concorrência, as companhias passam a adotar, no mundo todo, as técnicas japonesas de produção, desenvolvidas após a Segunda Guerra Mundial. O operador passa a envolver-se diretamente na manutenção das máquinas, se comprometendo na busca pela Falha Zero e as companhias passam a adotar na prática as diretrizes geradas pela produção limpa e assim difunde-se a idéia de que **Produção = operação + manutenção**, surgindo daí a Manutenção Produtiva Total (MPT).

A 7ª e última fase, segundo Linzmayer (2008), é a da Manutenção baseada em confiabilidade que vai de 1980 até os dias de hoje, onde se tem um crescimento considerável da diversidade dos itens físicos e o aumento da complexidade da tecnologia com a popularização e barateamento da informática, da robótica e da eletrônica. Nessa fase as companhias passam a buscar a garantia dos lucros através da confiabilidade industrial, aumentando sua produtividade e garantindo as especificações e a qualidade dos produtos, reduzindo os seus custos de manutenção e adotando em seus objetivos estratégicos a garantia da segurança industrial, preservando a saúde do trabalhador, o funcionamento dos equipamentos e a preservação do meio ambiente.

2.1.2. Tipos de manutenção

a) Manutenção corretiva

Mesmo sendo considerada como a ausência de uma política de manutenção, a manutenção corretiva poderá ser aplicada em alguns casos. Segundo Kelly (2006), *“o problema dessa política não está em se fazer intervenções*

corretivas, mas no fato de que sua aplicação requer enormes estoques de peças para suportar as sucessivas quebras, tornando o trabalho imprevisível...”

A manutenção corretiva pode ser classificada como planejada e não planejada, o que ajuda para a compreensão dos seus fundamentos.

Para Souza (2009), a manutenção corretiva planejada é aquela que deve ser realizada antes da efetiva ocorrência da quebra e da parada indesejada após a constatação de uma falha do equipamento, que fora diagnosticada pela inspeção rotineira ou pelo operador da máquina.

Quando da ocorrência da falha ou quebra do equipamento com parada de produção, essa intervenção pode ser considerada como uma manutenção não planejada, devido a impossibilidade de uma prévia preparação e análise da situação dos componentes defeituosos, geralmente ocorre subitamente e de forma imprevisível, ocasionando uma mobilização emergencial ou de urgência da equipe de manutenção (SOUZA, 2009).

b) Manutenção preventiva

Segundo Kelly (2006), *“a manutenção preventiva está baseada em intervenções periódicas geralmente programadas segundo a frequência definida pelos fabricantes dos equipamentos.”* Somente pelo fato da manutenção preventiva minimizar as possibilidades de paradas não-programadas devido a falhas do equipamento, já é suficiente para considerá-la como sendo uma melhor opção frente a manutenção corretiva. Quando se trata de troca de peças por tempo de uso, geralmente sugerido pelos fabricantes das máquinas, deve ser considerado apenas o tempo de uso sem se importar com nível de desgaste. A adoção dessa política de manutenção, na maioria dos casos, ocasiona desperdícios, devido desconsiderar a condição real em que o equipamento se encontra no momento da intervenção.

c) Manutenção preditiva

Para Kardec & Nascif (2001), *“manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.”*

Segundo Spamer (2009), a manutenção preditiva visa literalmente ‘predizer’. Sendo predizer (ou prevenir) o principal objetivo da manutenção preditiva, busca-se monitorar os diversos parâmetros de funcionamento dos equipamentos,

garantindo a continuidade operacional pelo maior tempo possível. A manutenção preditiva prioriza a disponibilidade dos equipamentos à medida que, por questões de segurança, não se deve realizar intervenções de manutenção em equipamentos em plena operação.

d) Manutenção detectiva

Segundo Gurski (2002), *“Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção, de forma a detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.”* A execução de tarefas de verificação em sistemas de proteção para atestar seu funcionamento, representa a Manutenção Detectiva. Como exemplo prático desse tipo de manutenção, podemos citar o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis.

e) Manutenção autônoma

Para Kelly (2006), *“pode-se entender por manutenção autônoma aquela que é realizada pelos próprios operadores.”* A manutenção autônoma consiste numa ferramenta eficaz da união das manutenções preventiva e preditiva, a um custo muito abaixo do que se observa em outros tipos de manutenção.

f) Engenharia de manutenção

Segundo Kardec & Nascif (2001), *“[...] é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas [...].”* As empresas formam equipes de engenheiros e técnicos da várias disciplinas no intuito de atacarem as causas raízes e evitarem o círculo vicioso de manutenções que corrigem apenas nas conseqüências das falhas.

2.1.3. Técnicas de manutenção preditiva

São diversas as Técnicas de Manutenção Preditiva atualmente em uso e como exemplos temos a análise de vibração, a ferrografia, a termografia, o ultrassom, a emissão acústica, a análise de lubrificantes, que são selecionados de acordo com o equipamento a ser monitorado.

Somente para efeito didático, segundo Kardec & Nascif (2001), pode-se classificar as técnicas preditivas nas categorias indicadas na Figura 3. Algumas das

técnicas de Ensaio Não Destrutivo (END) só podem ser aplicadas com os equipamentos fora de operação, o que invalidaria a condição de que as técnicas preditivas são aplicáveis com o equipamento em funcionamento. Para melhor visualização considera-se que as técnicas preditivas mostradas nos quadros em azul claro podem ser aplicadas com o equipamento em operação enquanto as contidas nos quadros em azul escuro dependem, geralmente, da parada do equipamento para possibilitar sua realização.

Figura 3 - Classificação das técnicas preditivas

Radiações ionizantes Raios X Gamagrafia	Energia Acústica Ultrassom, Emissão Acústica
Energia eletromagnética Partículas magnéticas Correntes parasíticas	Fenômenos de viscosidade (Líquidos penetrantes)
Inspeção visual Endoscopia ou Boroscopia	Análise de Vibrações Nível global, Espectro de vibrações Pulso de choque
Deteção de vazamentos	Análise de temperatura – Termometria Termometria convencional Indicadores de temperatura Pirometria de radiação Termografia
Análise de Óleos lubrificantes ou isolantes Viscosidade, Número de Neutralização Acidez ou Basicidade, Teor de água Insolúveis, Contagem de partículas Metais por Espectrometria por Infravermelho Cromatografia gasosa, Tensão Interfacial, Rigidez Dielétrica, Ponto de Fulgor	Verificações de geometria Metrologia convencional Alinhamento de máquinas rotativas
Ferrografia Ferrografia quantitativa Ferrografia analítica	Forças Células de carga, Teste de pressão, Teste hidrostático, Teste de vácuo, Deteção de trincas
Ensaio Elétricos Corrente, Tensão, Isolação Perdas Dielétricas, Rigidez Dielétrica, Espectro de corrente ou tensão	

Fonte: Kardec & Nascif (2001)

a) Análise de vibração

Com o monitoramento das vibrações causadas pelos equipamentos em funcionamento é possível determinar o estado mecânico em que se encontram. A análise da vibração é um dos conceitos mais utilizados nos sistemas de manutenção preditiva. Pela utilização de filtros e analisadores pode-se traçar o espectro do sinal de vibração e a partir daí determinar as frequências e as amplitudes que apresentam (AMARO, 2006).

Segundo Vieira (2011), “[...] o acompanhamento e a análise de vibração tornaram-se um dos mais antigos métodos de predição na indústria tendo a sua maior aplicação em equipamentos rotativos [...]”. Atualmente o desenvolvimento dos coletores de análise de vibrações, como o equipamento mostrado na Figura 4, tem avançado a passos largos, permitindo que variáveis, além da vibração, também sejam acompanhadas com a utilização dos mesmos instrumentos. Tem-se como exemplos o empenamento de eixos, o desgaste dos dentes de engrenagens, o desbalanceamento de rotores, o desalinhamento de motores etc.

Figura 4 - Coletor de Análise de Vibrações



Fonte: www.prediteceng.com.br

b) Ferrografia

Segundo Baroni (2004), *“a ferrografia pode até ser confundida com a análise de óleo, porém trata-se de uma técnica de análise da máquina no intuito de descobrir de onde e como se originam as partículas.”* A Ferrografia busca determinar a severidade, os modos e os tipos de desgaste presentes nos equipamentos identificando sua composição, o acabamento superficial, a tonalidade das cores, a geometria, o tamanho e a natureza das partículas encontradas nas amostras de lubrificantes, independentemente do seu tempo de uso, de sua viscosidade e do tipo.

c) Termografia

A Termografia, Segundo Costa, Maruyama & Neto (2011), *“[...] permite o acompanhamento de temperatura e a formação de imagens térmicas, é considerada uma técnica de inspeção não destrutiva [...].”* Nos últimos 30 anos a Termografia vem sendo uma das técnicas preditivas mais aplicadas, mais estudadas e conseqüentemente a que mais tem se desenvolvido.

d) Ultrassom

Andreucci (2011), em sua apostila de Ensaio por Ultrassom, resume claramente o que vem a ser o Ultrassom:

“Sons extremamente graves ou agudos, podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infrassom) ou com frequências muito altas acima de 20 kHz (ultrassom), ambas inaudíveis.

Assim como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado.

O ensaio por ultrassom, caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos.”

e) Análise de lubrificantes

Segundo o estudo de análise de lubrificantes da Supreme Lubrificantes (2012), *“O uso da análise de óleo como técnica de manutenção começou a ser*

aplicada na década 50.” Com a crise do petróleo a análise de óleo passou a ser mais utilizada e desde então foi adotada como manutenção preditiva de máquinas que, com o monitoramento das características adquiridas pelo óleo lubrificante ao longo do tempo, tais como a viscosidade, foi possível diagnosticar a ação a ser tomada, se realizava a troca ou se simplesmente completava-se o nível com reposição parcial.

De acordo com Baroni (2004), podemos encarar as informações obtidas com uma análise de óleo através da indicação das suas condições, determinando suas propriedades físico-químicas e garantindo uma boa lubrificação ou através das condições da máquina por meio de uma análise das substâncias estranhas ao óleo tais como partículas em suspensão, limalhas de metais e/ou gases. Na avaliação das condições do lubrificante podem ser utilizados testes de viscosidade, de teor de água, de acidez, de ponto de fulgor, de rigidez dielétrica etc.

f) Líquidos penetrantes

De acordo com Andreucci (2010), *“ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material.”* O método por líquidos penetrantes já era utilizado bem antes da primeira Guerra Mundial para inspecionar eixos de locomotivas pela indústria ferroviária, tendo sua utilização maximizada nos Estados Unidos logo após a Segunda Grande Guerra, quando se desenvolveu o método de penetrantes fluorescentes.

g) Inspeção visual

Segundo Amaro (2006), a inspeção visual auxilia sobremaneira em várias atividades dos mais diversos setores da indústria, possibilitando na maioria dos casos evitar acidentes, nos quais os prejuízos humanos e materiais poderiam ser irreparáveis. Trata-se do método mais antigo de inspeção e é, ainda hoje, o método preferido por inspetores e mantenedores no exercício de suas atividades.

Trata-se de uma técnica em que o principal instrumento de inspeção é o olho humano. A inspeção visual é uma técnica de fácil aplicação, rápida e barata e ainda por cima fornece uma variedade de informações quanto a conformidade de componentes com as especificações pertinentes ao caso (AMARO, 2006).

2.2. Confiabilidade

Segundo Gurski (2002), *“Confiabilidade é a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas.”*

2.2.1. Histórico da confiabilidade

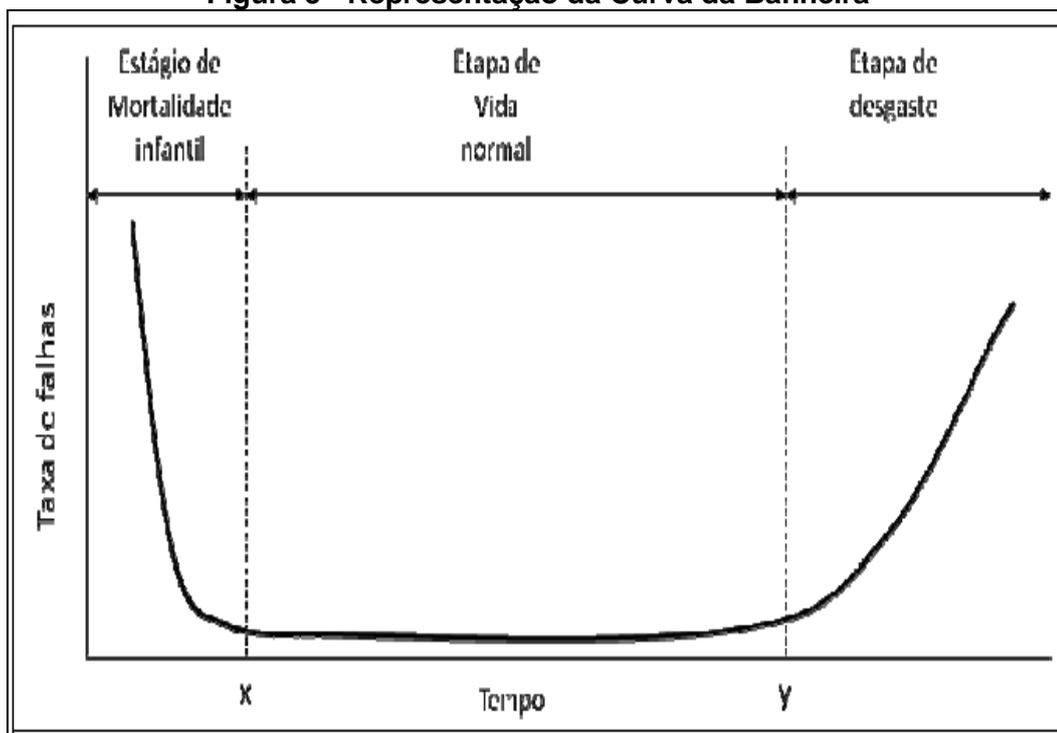
Segundo Lafraia (2001), após a Primeira Guerra Mundial, juntamente com o advento da indústria aeronáutica, Henley e Kumamoto em um estudo conjunto elaboraram uma análise de tempo com a criação de uma análise de confiabilidade.

Na década de 40, houve a evolução de teorias matemáticas voltadas aos problemas, onde o matemático Robert Lusser elaborou uma equação associada à confiabilidade de um sistema em série. Nos anos 50, com o advento das indústrias nuclear, eletrônica e principalmente a aeroespacial, houve um avanço considerável nos métodos de cálculos aplicados a confiabilidade. Na década de 60, a teoria de Análise de Árvore de Falhas, proposta por H. A. Watson, contribuiu para os desenvolvimentos de natureza prática das teorias aplicadas à confiabilidade. A partir do início dos anos de 1970, a indústria nuclear despontou como a principal adepta da confiabilidade e muitas outras áreas da indústria aderiram, consolidando de vez a sua aplicação prática no mundo todo. As técnicas de análise de confiabilidade foram implantadas definitivamente e consolidadas a partir da década de 1980, liderado pelos países do primeiro mundo e detentores de tecnologia de ponta, nessa época tem-se a adesão do setor de geração de energia elétrica e de vários outros setores da engenharia. No Brasil inicialmente a aplicação prática da confiabilidade partiu das empresas dos setores nuclear, de telecomunicações, elétrico e de armamentos (LAFRAIA, 2001).

2.2.2. Curva típica de falhas (Curva da Banheira)

Segundo Mizuno (2010), *“o comportamento da taxa de falha, $\lambda(t)$, em relação ao tempo t é um indicador das causas de falha.”* A Curva da Banheira, mostrada na Figura 5, representa graficamente a relação da taxa de falhas ao longo do tempo e suas três principais etapas.

Figura 5 - Representação da Curva da Banheira



Fonte: Lafraia (2001)

Segundo Slack, Stuart e Johnston (2009), para grande parte das operações de produção, as falhas se devem a relação existente entre a incidência de sua ocorrência e o tempo.

A ocorrência da falha pode ocorrer a qualquer tempo da vida útil do equipamento, pela Curva da Banheira o que muda é apenas a probabilidade dessa ocorrência ao longo do tempo conforme é apresentado pela descrição de suas três etapas, sendo a primeira etapa a da vida inicial ou de mortalidade infantil, em que a ocorrência de falhas iniciais ocorre por causa da existência de peças defeituosas ou devido a operação inadequada. Na segunda etapa, a da vida normal, a ocorrência de falhas é normalmente baixa, razoavelmente constante e causada por fatores aleatórios normais. Para finalizar, a terceira etapa é a de desgaste, quando a ocorrência de falhas aumenta à medida que a peça se aproxima do final de sua vida útil, ocorrendo falhas devido ao desgaste e envelhecimento inerentes ao próprio material e uso (SLACK, STUART E JOHNSTON, 2009).

2.2.3. Importância da confiabilidade

Para Lafraia (2001), de um modo geral, *“problema é uma situação difícil ou duvidosa, e decisão é o processo de resolver tal situação.”* Considerando essa

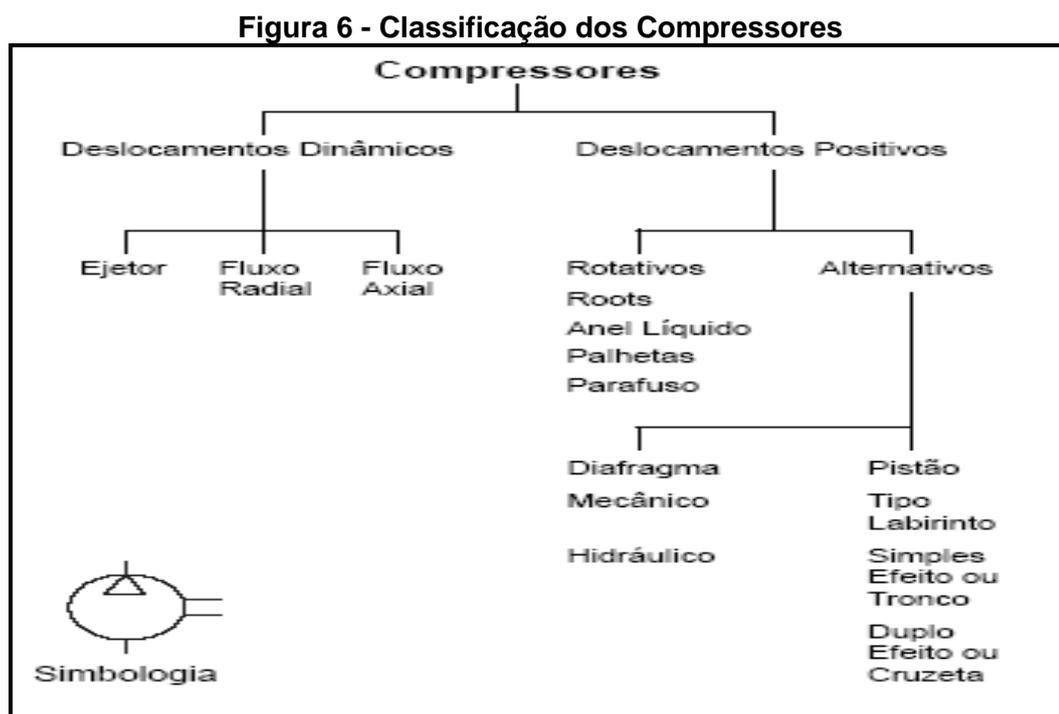
afirmativa pode-se utilizar a confiabilidade como ferramenta para solucionar problemas ligados a continuidade operacional e a manutenção da integridade dos equipamentos por se tratar de uma abordagem matemática que soluciona problemas reais fornecendo parâmetros para tomada de decisões mais coerentes.

2.3. Compressores

Segundo Santos (2009), os compressores são máquinas destinadas a elevar a pressão de certo volume de ar ou gás, utilizando-se de mecanismos robustos e de alta resistência que, sendo admitido nas condições normais de pressão ambiente, até uma determinada pressão desejada, que será exigida na execução dos trabalhos realizados pelo ar ou gás comprimido nas mais diversas atividades do dia a dia, desde o enchimento de balões e pneus até a movimentação de pistões na geração de movimento e energia.

2.3.1. Classificação dos compressores

Os compressores mais utilizados em uso na indústria em geral são os centrífugos, recíprocos e os de parafuso e enquadram-se na classificação em estudo. A Figura 6 apresenta a classificação dos compressores quanto ao deslocamento.



Fonte: Santos(2009)

2.3.1.1. Compressores de deslocamento positivo

Segundo Hahn (2004), os compressores de deslocamento positivo são aqueles nos quais sucessivos volumes de gás são confinados em um espaço fechado. Por meio da redução ou deslocamento desse espaço o gás tem sua pressão elevada, ou seja, é a compressão comumente entendida. Esse tipo de compressor pode também ser classificado como estático.

a) Compressores alternativos

Segundo Hahn (2004), os compressores alternativos ou recíprocos se caracterizam pelo deslocamento e compressão do volume de gás se dar por meio de um êmbolo, sendo o tipo mais conhecido o de pistão que entra em contato direto com o gás a ser comprimido. Consiste num sistema biela-manivela que converte o movimento rotativo de um motor em movimento linear do êmbolo.

b) Compressores de parafuso

Segundo Santos (2009), o compressor de parafuso é dotado de uma carcaça onde giram dois rotores helicoidais em sentidos opostos. Um dos rotores possui lóbulos convexos, o outro uma depressão côncava e são denominados, respectivamente, rotor macho e rotor fêmea. Os rotores são sincronizados por meio de engrenagens, mas existem projetos que fazem com que um rotor acione o outro por contato direto. O processo mais conhecido e utilizado é acionar o rotor macho, obtendo-se uma velocidade menor do rotor fêmea.

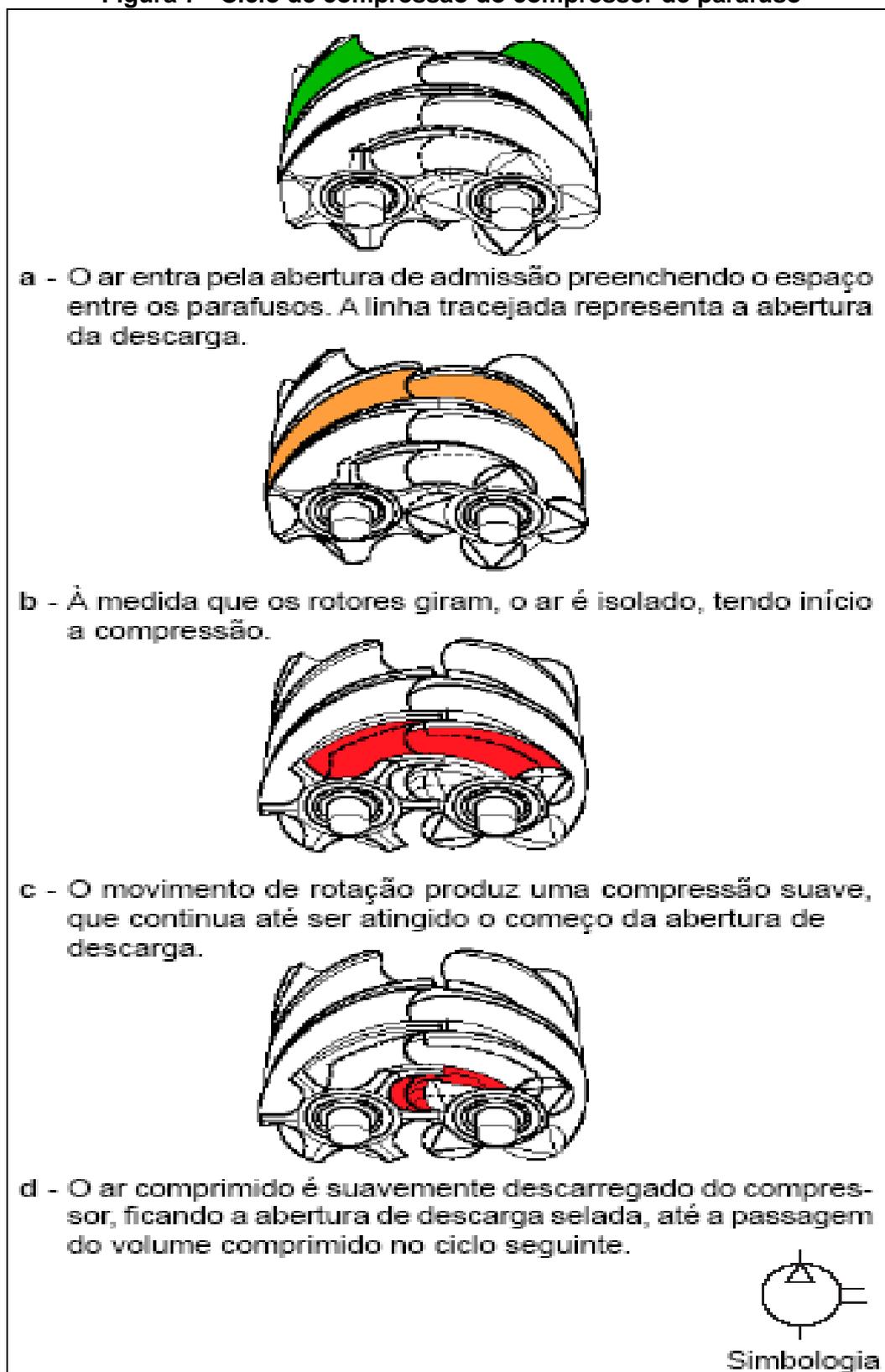
Conforme se observa na Figura 7, nas extremidades da câmara existem aberturas para admissão e descarga do ar. O ciclo de compressão pode ser seguido pela seqüência das letras a, b, c e d na Figura 7.

c) Compressores de palhetas

Segundo Wikipédia (2012), os compressores de palhetas são construídos com um rotor ou tambor central que tem seu giro excêntrico em relação à sua carcaça. Devido ao projeto do tambor ser constituído de rasgos radiais que prolongados por toda à sua extensão e pelos quais são incluídas palhetas retangulares, ao girar o tambor, as palhetas são deslocadas radialmente sob a ação

da força centrífuga e se mantêm em contato com a carcaça, o gás entra pelo orifício de sucção e ocupando os espaços existentes entre as palhetas.

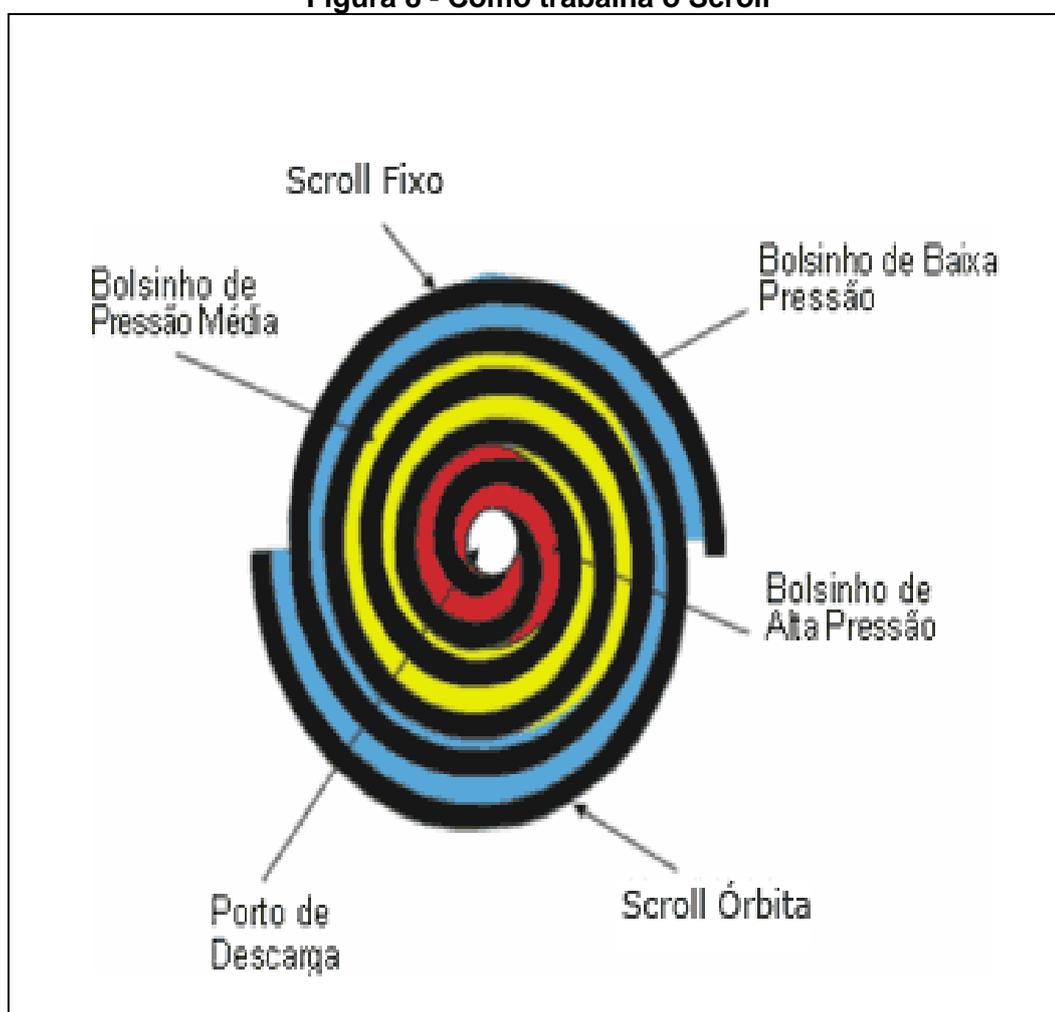
Figura 7 - Ciclo de compressão do compressor de parafuso



d) Compressores por espiral (Scroll)

Os compressores por espiral, conforme vemos na Figura 8, são construídos com uma carcaça na qual foi montada uma espiral fixa e uma espiral com movimento rotativo, porém excêntrico, que devido a essa excentricidade forma-se uma câmara de compressão ao longo da carcaça forçando a compressão do gás. Esse tipo de compressor se destaca por não apresentar lubrificação interna e por isso têm seu produto da compressão isento de óleo (HAHN, 2004).

Figura 8 - Como trabalha o Scroll



Fonte: Ambiente Gelado (2012)

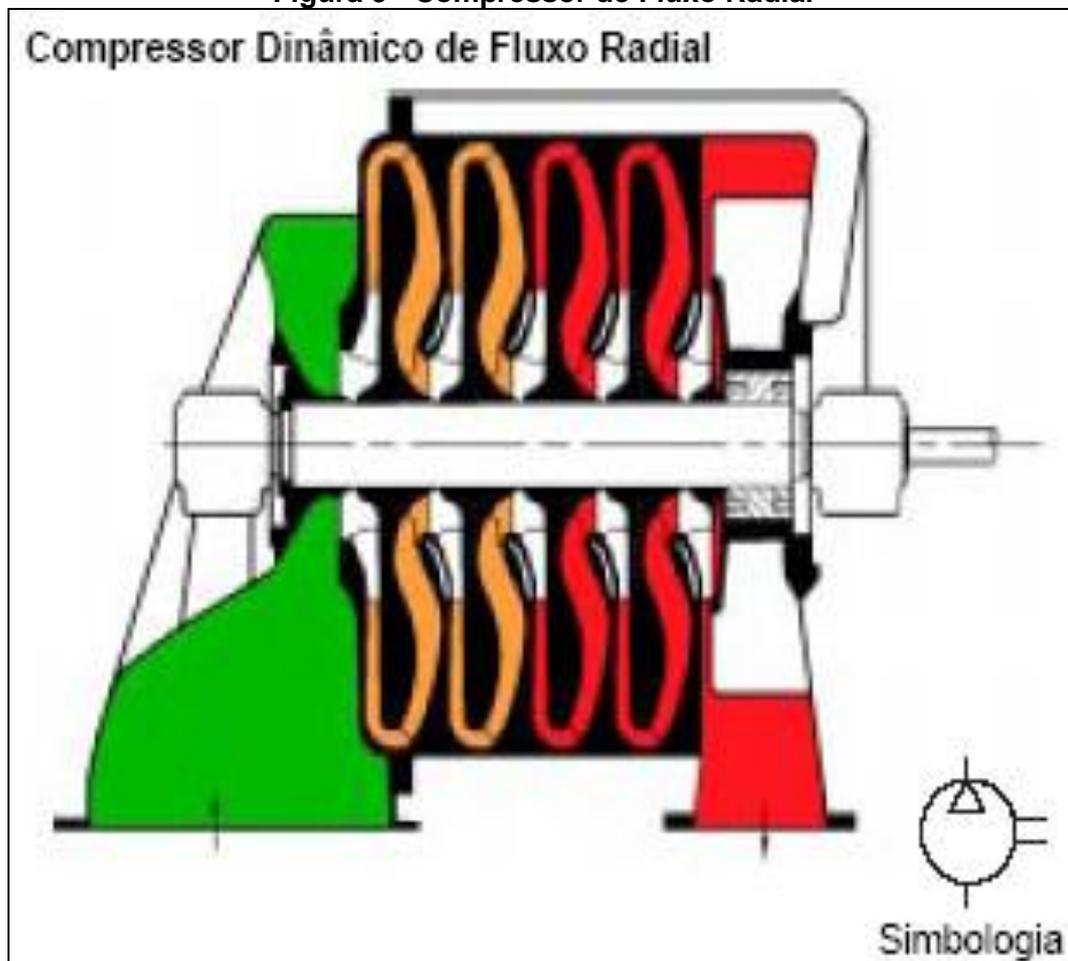
2.3.1.2. Compressores de deslocamento dinâmico

Segundo Hahn (2004), os compressores de deslocamento dinâmico se caracterizam por possuir um elemento rotativo que, quando submetido a altas velocidades, imprime uma aceleração ao gás, convertendo a velocidade em pressão.

a) Compressores alternativos

De acordo com a Figura 9, nos compressores de fluxo radial o gás é acelerado a partir do centro de rotação, em direção à periferia, isto é, a compressão acontece no sentido perpendicular ao eixo do rotor, quando o gás é admitido pela primeira hélice, é acelerado e expulso radialmente. Quando vários estágios estão reunidos em uma única carcaça, o gás passa por um difusor e depois é conduzido ao centro de rotação do estágio seguinte, convertendo a energia cinética do gás em energia de pressão (SANTOS, 2009).

Figura 9 - Compressor de Fluxo Radial



Fonte: Santos (2009)

b) Compressores Axiais

Segundo Hahn (2004), nos compressores axiais a compressão se dá paralelamente ao eixo do motor. Neste tipo de compressor as vazões que o tornam rentável são muito altas (acima de 900 m³/min).

2.3.2. Escolha do tipo de compressor

Em acordo com o que é exposto por Hahn (2004), para se escolher o tipo de compressor não basta calcular e consultar gráficos, pois devem ser levados em consideração aspectos determinantes para a escolha correta e podem ser baseados em:

- Pressão de descarga
- Relação de compressão
- Vazão de ar requerida
- Regime de operação desejada
- Contaminantes do meio ambiente
- Custos previstos de manutenção
- Custo para aquisição
- Consumo específico
- Consumo de energia
- Tipo de energia a ser utilizada (mecânica, química etc)

Aconselha-se, aos adquirentes, consultar vários fabricantes no mercado antes de decidir pelo tipo de compressor a comprar, pois o conhecimento técnico dos engenheiros que convivem no dia a dia com a realidade do funcionamento do compressor pode ser determinante para uma boa escolha, além de envolver o fornecedor no dimensionamento adequado das instalações que receberão o equipamento.

2.3.3. Funcionamento do compressor de CO₂

De acordo com a Neuman e Esser (1998), trata-se de um Compressor Alternativo de CO₂, cujo número de cadastro na Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe - FAFEN-SE é C-129404, sendo do modelo 27B4G5 e seguindo a normalização de construção da API-618. De acordo com a Figura 10, trata-se de um equipamento de grande porte, possuindo desde partes e peças grosseiras em seu casco, até peças de alta precisão em suas partes internas.

O compressor iniciou a operação na Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe em outubro de 1998, para viabilizar o aumento da capacidade de produção de 1400 ton/dia para 1800 ton/dia de uréia.

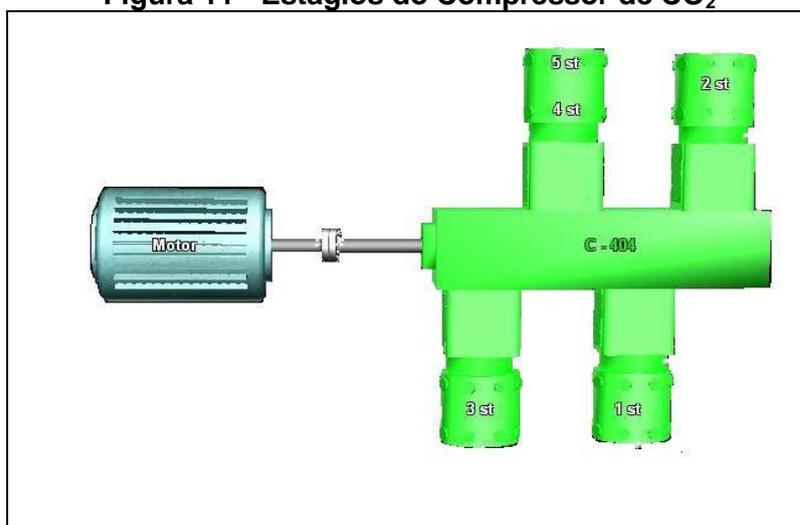
Figura 10 - Compressor de CO₂



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2010)

Conforme demonstra a Figura 11, o compressor possui cinco diferentes estágios que por meio de um sistema acoplamento/redutor/acoplamento é acionado por um motor elétrico.

Figura 11 - Estágios do Compressor de CO₂



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2012)

O CO₂ em forma de gás entra no compressor com uma pressão de aproximadamente 0,41 kg/cm² e uma temperatura de 38° C e sai com uma pressão em torno de 206,29 kg/cm² e uma temperatura de 137° C.

Na Figura 12 vemos os dados de operação atuais conforme a modificação feita na linha de interligação da descarga do 3º estágio e da câmara de equilíbrio entre os estágios 4º e 5º, em janeiro de 2006. A Figura 12 mostra ainda as temperaturas e as pressões de sucção e descarga padrão dos cinco estágios, além da taxa de compressão efetiva de cada estágio.

Figura 12 - Dados de Operação do Compressor de CO₂

DADOS DE OPERAÇÃO DO COMPRESSOR DE CO₂ CONFORME MODIFICAÇÕES REALIZADAS EM JANEIRO DE 2006	
DADOS DE SUCÇÃO E DESCARGA DA MÁQUINA	
SUCÇÃO 1º. ESTÁGIO Temperatura de Projeto: 38° C	Pressão de Projeto: 0,41 Kg\cm²
DESCARGA 1º. ESTÁGIO Temperatura: 136° C	Pressão: 4,60 Kg\cm²
TAXA DE COMPRESSÃO: 3,02	
SUCÇÃO 2º. ESTÁGIO Temperatura: 45° C	Pressão: 3,20 Kg\cm²
DESCARGA 2º. ESTÁGIO Temperatura: 148° C	Pressão: 14,30 Kg\cm²
TAXA DE COMPRESSÃO: 3,18	
SUCÇÃO 3º. ESTÁGIO Temperatura: 45° C	Pressão: 12,54 Kg\cm²
DESCARGA 3º. ESTÁGIO Temperatura: 149° C	Pressão: 46,40 Kg\cm²
TAXA DE COMPRESSÃO: 3,13	
SUCÇÃO 4º. ESTÁGIO Temperatura: 60° C	Pressão: 41,40 Kg\cm²
DESCARGA 4º. ESTÁGIO Temperatura: 152° C	Pressão: 125,90 Kg\cm²
TAXA DE COMPRESSÃO: 2,60	
SUCÇÃO 5º. ESTÁGIO Temperatura: 70° C	Pressão: 109,11 Kg\cm²
DESCARGA 5º. ESTÁGIO Temperatura: 137° C	Pressão: 206,29 Kg\cm²
TAXA DE COMPRESSÃO: 1,88	

Fonte: Neuman e Esser (2006)

3. METODOLOGIA

No intuito de realizar o presente trabalho de forma racional e sistemática, neste capítulo é apresentada a metodologia que norteou o estudo a cerca do tema abordado.

3.1 Caracterização da Pesquisa

Segundo a classificação adotada por Gil (1999), a pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza em básica ou aplicada; quanto a sua abordagem em qualitativa e quantitativa ou quali-quantitativas, quando ambas são combinadas; quanto à realização dos objetivos em descritiva, exploratória ou explicativa; quanto aos procedimentos técnicos em bibliográfica, documental, de levantamento, de estudo de caso, experimental, participante, de ex-postfacto e de pesquisa-ação.

Quanto à natureza este trabalho é aplicado, pois busca gerar questionamentos quanto à aplicabilidade da manutenção preditiva em um equipamento específico no intuito de solucioná-los.

Neste trabalho é adotada uma abordagem qualitativa por buscar relacionar as técnicas preditivas aplicadas no compressor de CO₂ ao seu desempenho operacional e as falhas ocorridas, baseando-se nos relatórios técnicos produzidos.

Para a realização dos objetivos do trabalho foram utilizadas as metodologias descritiva e exploratória. Trata-se de descritiva pelo levantamento de informações das características do compressor de CO₂ e das técnicas preditivas aplicadas para monitorar o seu funcionamento. É exploratória porque visa explicitar os problemas do compressor de CO₂, identificados ao longo de sua vida através dos históricos de manutenção e dos relatórios técnicos elaborados para tentar sanar os defeitos definitivamente.

Quanto aos procedimentos técnicos aplicados o trabalho é bibliográfico por se fundamentar em livros, artigos, relatórios e de informações disponibilizadas na internet relacionadas ao tema. Também é documental por pautar-se em dados, relatórios e de diversos outros documentos disponibilizados pela empresa em estudo. Trata-se de um estudo de caso por analisar especificamente a aplicação de técnicas preditivas a um compressor de CO₂.

3.2 Metodologia do Processo

Neste trabalho é apresentado o modelo existente de manutenção preditiva adotada para monitorar um compressor de CO₂. O enfoque principal é dado às técnicas preditivas de análise de vibrações, de temperatura e de pressão.

Para a verificação do funcionamento do compressor, foram pesquisadas as características de funcionamento geral do equipamento fornecidos pelo fabricante e os documentos existentes no arquivo da Petrobras, referentes ao histórico de operação do equipamento.

A Engenharia de Manutenção da empresa apresentou os equipamentos de coleta e análise dos parâmetros de funcionamento do compressor de CO₂ com a utilização de um sistema *on line* e de outro *off line*.

O sistema de monitoramento *on line* consiste num programa chamado de *Sistem One*, em que os dados são coletados em tempo real através de sensores instalados em pontos estratégicos da máquina e transmitidos para a rede da empresa. Um *software* específico de manutenção preditiva traduz as informações para linguagem digital, compara com os parâmetros de entrada e fornece o diagnóstico do funcionamento real.

O sistema de monitoramento *off line* consiste num equipamento de leitura direta chamado de *Emonitor*, em que o operador realiza o contato dos sensores do coletor em pontos específicos do compressor e os armazena, depois transfere os dados para um computador onde está instalado o *software* responsável pela tradução e análise dos dados.

3.3 Ambiente de Estudo

O estudo foi realizado na Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe, unidade operacional da Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS, expondo a atual situação da utilização das técnicas preditivas no monitoramento do funcionamento do compressor de CO₂ no intuito de analisar a aplicabilidade da manutenção preditiva.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A empresa adota a manutenção preventiva, utilizando-se de parada geral da fábrica para intervenção em todas as suas máquinas, no intuito de garantir a confiabilidade e a continuidade operacional entre essas paradas.

Como nem sempre todos os equipamentos suportam o esforço requerido, pelo período de tempo planejado, ocorrem situações em que a manutenção se utiliza de intervenções rápidas, com o devido planejamento e que são comumente conhecidas como paradas de emergência.

A Engenharia de Manutenção da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe tem adotado as técnicas usuais de manutenção para o acompanhamento do funcionamento e desempenho do compressor de CO₂ da sua Unidade de Uréia, visando minimizar os períodos de paradas não programadas e o conseqüente custo que essas ocorrências causam.

4.1. Técnicas Preditivas Utilizadas no Acompanhamento do Compressor

As técnicas preditivas adotadas pela Engenharia de Manutenção da Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe para o acompanhamento do funcionamento e do desempenho do compressor de CO₂ são as de análise de vibrações e análise de temperaturas.

4.1.1. Técnica de análise de vibrações

A coleta de dados para análise de vibrações do compressor de CO₂ é realizada de duas maneiras, uma realizada semanalmente com a utilização de um coletor portátil, chamado de *Emonitor*, que transfere os dados para um *software* que por sua vez gera relatórios e gráficos, descrevendo a linha resultante das medições de vibrações semanais realizadas em determinado período.

A segunda forma de análise de vibrações é realizada pelo programa chamado de *SISTEM ONE*, sistema supervisor *on line* das máquinas, que fornece os dados de leitura das vibrações do compressor em tempo real.

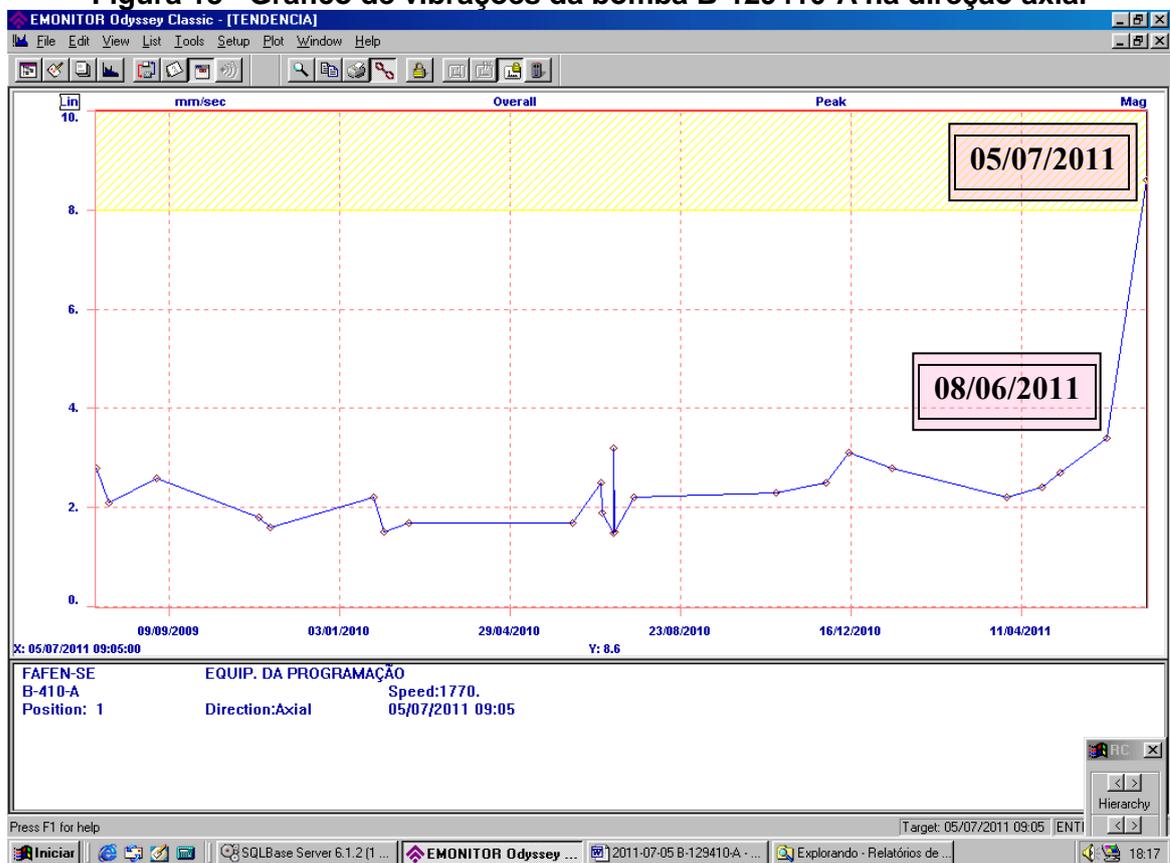
Na Figura 13 se apresenta um gráfico em que são mostradas as leituras de vibração da bomba B-129410-A no período de setembro de 2009 a julho de 2011 e que apresenta um aumento abrupto da vibração do motor, principalmente na direção axial, ocorrendo predominantemente na frequência de três vezes. Foi

constatado um espectro ruidoso na bomba, com presença de pico em alta frequência.

Pela Figura 13 é visto que o valor de tendência da penúltima medição foi de 3,40 mm/s no dia 08/06/2011, já o valor de tendência da última medição foi de 8,60 mm/s no dia 05/07/2011, sugerindo-se a existência de provável desalinhamento. O espectro ruidoso da bomba pode ser induzido pelo carregamento adicional do desalinhamento.

Com base nos dados colhidos a Engenharia de Manutenção recomendou inspecionar o acoplamento do conjunto motor-bomba e medir a vibração do motor girando em vazio, isto é sem carga. Caso a vibração do motor girando em vazio indique baixos valores e não forem encontrados desvios no acoplamento, deverá ser corrigido o alinhamento e medida a vibração do conjunto acoplado novamente. Caso a vibração do motor esteja alta, deverá ser executada a revisão geral da bomba e do motor. Na semana seguinte, aproveitando uma redução na capacidade de produção de uréia, o setor de manutenção mecânica realizou os serviços indicados e o compressor voltou a operar com vibração abaixo de 4,00 mm/s.

Figura 13 - Gráfico de vibrações da bomba B-129410-A na direção axial



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2011)

4.1.2. Técnica de análise de temperaturas

Na Figura 14 uma tabela apresenta as temperaturas de trabalho das válvulas de sucção do 1º estágio do compressor no período de 02/09/2011 a 16/09/2011, em que válvulas CEA e FEA provavelmente se encontram em falha. A variação de temperatura encontra-se muito elevada a 62°C na válvula FEA e a 52°C na válvula CEA, o que já é bastante significativo, devido o valor médio requerido ser de 45°C.

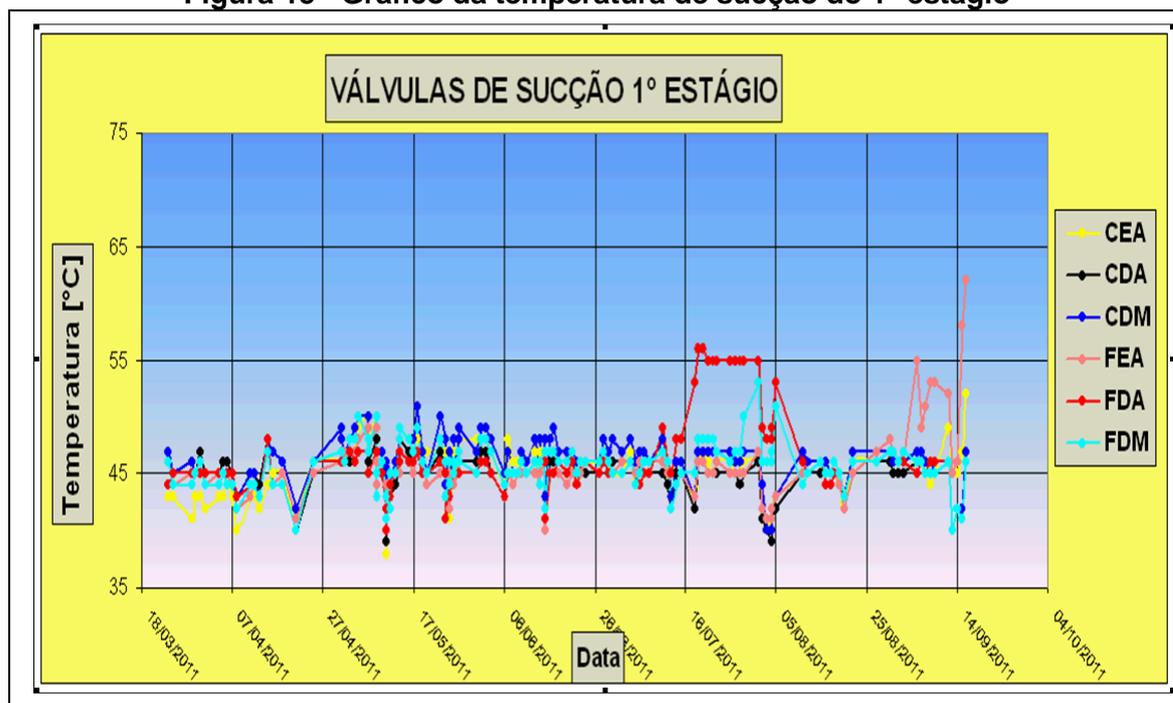
Figura 14 – Valores das temperaturas das válvulas de sucção do 1º estágio

DATA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE	VÁLVULAS DE SUÇÃO					
			CEA	CDA	CDM	FEA	FDA	FD M
02/09/2011	08:07	30 °C	45	45	46	46	46	47
05/09/2011	08:12	30 °C	46	46	47	55	45	46
06/09/2011	08:17	31 °C	46	46	47	49	46	46
07/09/2011	08:22	28 °C	45	45	46	51	45	45
08/09/2011	08:12	28 °C	44	45	46	53	46	45
09/09/2011	08:32	30 °C	45	45	45	53	46	45
12/09/2011	08:02	30 °C	49	46	46	52	46	46
13/09/2011	08:17	32 °C	45	40	40	45	40	40
14/09/2011	08:22	28 °C	45	42	42	46	42	42
15/09/2011	08:02	31 °C	47	42	42	58	41	41
16/09/2011	08:07	31 °C	52	47	47	62	46	46

Fonte: Acervo FAFEN-SE (2011)

O gráfico de temperaturas apresentado na Figura 15 aponta para indícios de que as válvulas de sucção CEA e FEA estão dando passagem e influenciando a baixa eficiência do 1º estágio a partir do dia 05/09/2012.

Figura 15 - Gráfico da temperatura de sucção do 1º estágio



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2011)

Conforme o gráfico da Figura 15, as variações de temperatura ainda não são alarmantes, porém foram emitidas as recomendações para intensificar o acompanhamento das tendências e inspecionar as válvulas CEA e FEA, substituindo-as caso se julgue necessário, durante a remoção para inspeção. Em inspeção realizada pela equipe de manutenção mecânica o problema foi solucionado com a limpeza das válvulas, não necessitando a substituição das mesmas.

4.2. Principais Problemas do Compressor

A Unidade Operacional utiliza a manutenção preditiva para otimizar suas intervenções e direcionar as atividades nos equipamentos com bastante precisão, seja em paradas de emergência, quando o equipamento entra numa zona crítica de funcionamento, seja nas Paradas Gerais Programadas onde todos os equipamentos param para manutenção preventiva propriamente dita.

No ano de 1998, o compressor alternativo de CO₂ foi instalado na Unidade e iniciou sua operação. Desde então o compressor apresentou uma seqüência de falhas, levando a vários eventos de perda de produção, além de apresentar comportamento não conforme.

Foi constatado, a partir da pesquisa do seu histórico, que após a partida do compressor, o mesmo apresentou várias não conformidades e inadequações de projeto ao longo do tempo, tais como o desbalanceamento de massa entre os estágios, danos nos anéis, pistões e camisas dos estágios, falha no sistema lógico, repetidas ocorrências de ruído intenso e de vibração alta, erosões nas sedes das válvulas e montagem inadequada da cabeça do pistão.

O material de construção encontrado do pistão do 5º estágio foi o SAE-4140, enquanto que no projeto do fabricante se recomenda o uso de ferro fundido nodular que é mais resistente à corrosão.

O compressor causou perdas de produção de pouco mais de 84.000 (oitenta e quatro mil) toneladas de uréia até outubro de 2010. Considerando, em valores de hoje, a produção diária de uréia de 1.750 toneladas e cada tonelada sendo vendida a R\$ 768,00, as paradas do compressor causaram uma perda de receita equivalente a 64,5 milhões de reais ao longo de 12 anos.

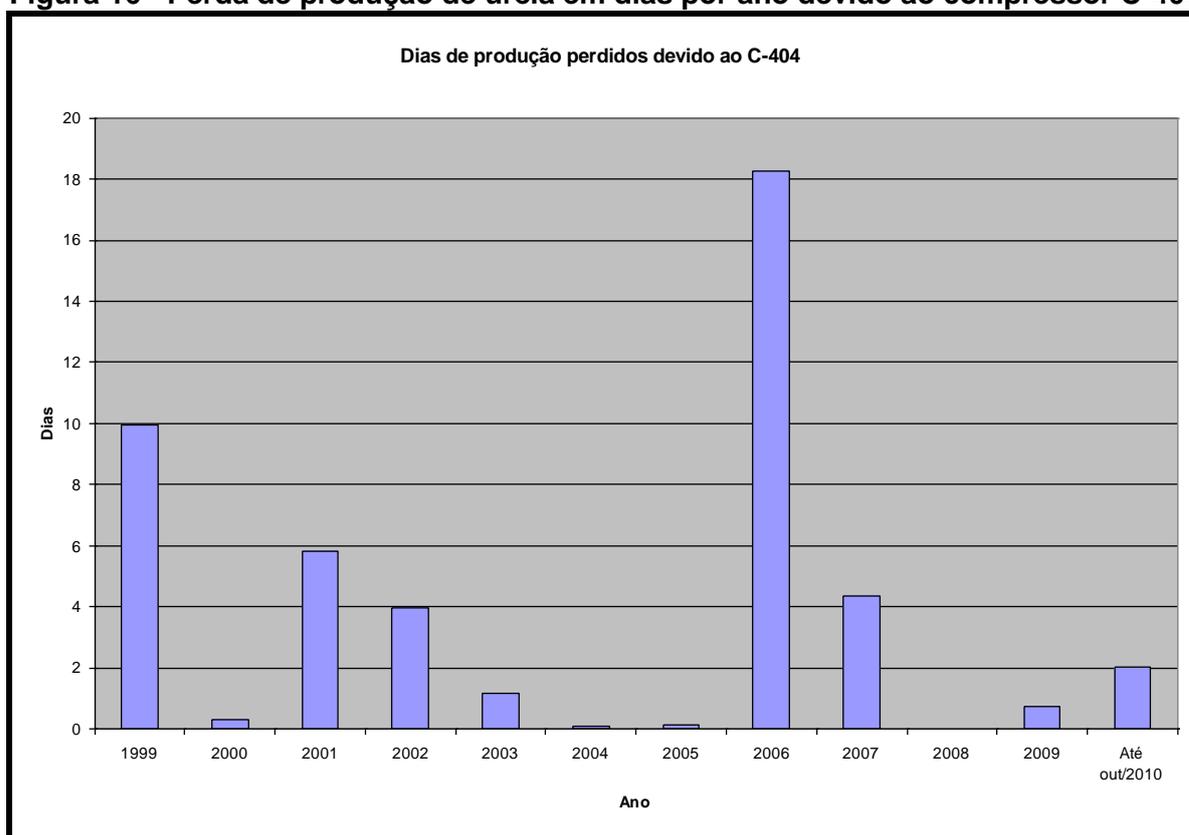
Se a empresa decidisse substituir o compressor hoje por um similar, teria um custo inicial de 20 milhões de reais para os equipamentos mais 27 milhões por perda de produção pelos dias parados para sua substituição, que equivaleria a 20

dias em média. Seria um custo de no mínimo 47 milhões para ser desembolsado em um único ano, o que torna a sua continuidade em operação a melhor opção.

O compressor provocou o equivalente à parada da unidade de produção de uréia por quase 47 (quarenta e sete) dias consecutivos em 12 (doze) anos de funcionamento desta máquina até outubro de 2010, dessa data até o final de 2011 não houve paradas por quebras. Esses valores chegam a 1% do tempo total disponível durante toda a vida útil do compressor, o que nos mostra claramente a viabilidade da utilização das técnicas preditivas para redução significativa das paradas para manutenção por quebras do compressor.

A Figura 16 expõe as perdas em dias de produção de uréia acumulada por ano desde a sua instalação até outubro de 2010.

Figura 16 - Perda de produção de uréia em dias por ano devido ao compressor C-404



Fonte: Acervo FAFEN-SE (2010)

Considerando os fatos abordados neste trabalho verifica-se que ao longo de sua vida útil o compressor teve paradas para manutenção, por quebras inesperadas, consideradas insignificantes, o que nos garante a confiabilidade operacional requerida para a fabricação de uréia até hoje através do acompanhamento preditivo.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa descreveu o funcionamento do compressor de CO₂, as técnicas preditivas adotadas no seu acompanhamento e analisou dados emitidos a partir das análises dessas técnicas.

Conclui-se que a aplicação das técnicas preditivas é comprovadamente eficaz, ficando provado que até hoje o compressor em questão desempenha suas funções mesmo com problemas de projeto e de construção.

REFERÊNCIAS

AMARO, Carlos Magno Gouveia – **Sistema Especialista para Diagnóstico de Máquinas de Plataformas Offshore por Análise de Vibração** – UFRJ – Rio de Janeiro, 2006.

AMBIENTE GELADO. **Compressores.** Disponível em: <http://www.ambientegegado.com.br> - Acesso em 14/04/2012.

ANDREUCCI, Ricardo - **Ensaio por Ultrassom** – ABENDI – São Paulo, 2011.

ANDREUCCI, Ricardo - **Ensaio por líquidos penetrantes** – ABENDI - São Paulo, 2010.

BARONI, Tarcísio Armando D'Aquino Santos. **Preditiva – Análise de Óleo.** Manual TRIBOLAB de Ferrografia - São Paulo, 2004.

COSTA, Augusto Henrique; MARUYAMA, Max Hiroo; NETO, Rubens Roberto Ingraci - **Manutenção Preditiva** – UNESP – São Paulo, 2011.

FAFEN, Fabrica de Fertilizantes Nitrogenados de Sergipe - **Acervo.** - Sergipe, 2009, 2010, 2011, 2012.

GIL, Antônio C. - **Métodos e Técnicas em Pesquisa Social.** - 5ª. Edição, Atlas - São Paulo, 1999.

GURSKI, Carlos Alberto - **Noções de Confiabilidade e Manutenção Industrial** – Unicenp – Curitiba, 2002.

HAHN, Andreas – **Compressores** – PROCEL – Rio de Janeiro, 2004.

KARDEC, Alan & NASCIF, Júlio A. - **Manutenção – Função Estratégica** - 2ª. Edição, Qualitymark - Rio de Janeiro, 2001.

KELLY, Luiz Henrique Farias – **Análise da Implementação da manutenção Produtiva Total: Um Estudo de Caso** - Universidade de Taubaté – Taubaté, 2006.

LAFRAIA, João Ricardo B. - **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade** - Qualitymark – Rio de Janeiro, 2001.

LINZMAYER, Eduardo – **Guia Básico para Manutenção Hoteleira** – Editora Senac – São Paulo, 2008.

MIZUNO, Caroline Sayuri – **Aperfeiçoamento de um Produto Através do Estudo de sua Confiabilidade como um Fator de Valor** – USP – São Paulo, 2010.

NEUMAN & ESSER, Compressor Service Ltda (NEAC) – **Dados de Operação do Compressor de CO₂** – Belo Horizonte, 2006.

NEUMAN & ESSER, Maschinenfabrik WerkstraBe (NEA) – **Operation and Maintenance Manual** - Ubach-Palenberg, 1998. NEAC Compressor Service Ltda.

PREDITEC. **Engenharia de Manutenção**. Disponível em: <http://www.prediteceng.com.br> – Acesso em 03/02/2012.

SANTOS, Ricardo Adriano dos - **Apostila de Pneumática** – IFET – Santa Catarina, 2009.

SLACK, Nigel; CHARNBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert - **Administração da produção** - 3ª Edição – Atlas - São Paulo, 2009.

SOUZA, Valdir Cardoso - **Organização e Gerência da Manutenção – Planejamento, Programação e Controle da Manutenção**. 3ª Edição revisada, All Print - São Paulo, 2009.

SPAMER, Fernanda Rosa – **Técnicas Preditivas de Manutenção de Máquinas Rotativas** – UFRJ – Rio de Janeiro, 2009.

SUPREME. **Lubrificantes**. Disponível em: <http://www.supremelub.com.br> - Acesso em 07/02/2012.

VIEIRA, Marcos Vinícius – **Sistemática para Manutenção Preditiva: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE FUNDIÇÃO** – UESC - Joinville, 2011.

WIKIPEDIA. **Compressor**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Compressor> - Acesso em 14/04/2012.