

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

ALEXANDRE FERNANDES SANTOS

**CONFIABILIDADE APLICADA À TOMADA DE DECISÃO PARA
COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS DE
REFRIGERAÇÃO COMERCIAL**

MONOGRAFIA – ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2012**

ALEXANDRE FERNANDES SANTOS

**CONFIABILIDADE APLICADA À TOMADA DE DECISÃO PARA
COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS DE
REFRIGERAÇÃO COMERCIAL**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Linha de Pesquisa – Tecnologia e Desenvolvimento, como requisito para o grau de Especialista em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

Co-orientador: Prof. Msc. Carlos Henrique Mariano

**CURITIBA
2012**

TERMO DE APROVAÇÃO

**CONFIABILIDADE APLICADA À TOMADA DE DECISÃO PARA
COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS DE
REFRIGERAÇÃO COMERCIAL**

ALEXANDRE FERNANDES SANTOS

Esta monografia foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de Especialista no Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Confiabilidade Aplicada a Manutenção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, Dezembro de 2012.

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

Banca Examinadora:

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Orientador

Prof. Msc. Carlos Henrique Mariano
Co-orientador

Prof. Eng. Cid Augusto Costa
Banca

A minha esposa, Marcia, pela dedicação e esforço permanente.

As minhas filhas, Kantsy e Melanie, pela maravilhosa companhia nesta vida e por toda a eternidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Emerson Rigoni e ao co-orientador Prof. Msc. Carlos Henrique Mariano, pelo conhecimento, sabedoria e arte na transmissão dos conteúdos.

Aos meus alunos que, em se dedicando aos estudos, apropriando-se dos conhecimentos e ao trabalho de refrigeração de ar condicionado, investem na certeza de uma carreira sólida, vislumbrando um futuro promissor.

Aos meus clientes que, com espírito empreendedor investem capital, arriscam talento, tempo e arte comercial, permitindo que contribuam socialmente para tornar o mundo melhor, movimentando as diversas cadeias do mercado, razão de existência de meu trabalho, inclusive, o de refrigeração de ambientes ou produtos. Assim, que os resultados deste estudo possam efetivamente auxiliar na tomada de decisão para a melhor seleção dos compressores ou quaisquer outros equipamentos que venham necessitar nas suas atividades ou processos de trabalho.

Aos leitores, na expectativa de que esse arcabouço científico possa motivá-los ao desenvolvimento de novos estudos e assim confirmar tais resultados, elaborando uma nova visão sobre a confiabilidade dos compressores, coadjuvante na tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por iluminar minha mente e permitir que todos os procedimentos se realizassem, até a completa execução deste estudo.

Ao orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni, pela grande amizade, mas acima de tudo, pelo profissional competente.

Ao co-orientador: Prof. Msc. Carlos Henrique Mariano, que com ânimo e positivismo sempre esteve junto nesta jornada, com seus conselhos, orientações e auxílio.

A minha esposa, Marcia, por estar ao meu lado todas as horas, todos os momentos e em todas as coisas e pelo que tanto realiza.

As minhas filhas, Kantsy e Melanie, pela oportunidade em compartilhar nossas vidas.

Aos alunos do Curso de Mecânico de Refrigeração e Ar Condicionado que apropriados de conhecimentos específicos os tornam técnicos dedicados ao trabalho de refrigeração frigorífica.

Para estar à altura do desafio gigantesco que temos diante de nós, contudo, é preciso aumentar em 70% a produção agrícola mundial, se quisermos alimentar os 9 bilhões de pessoas que habitarão o planeta em 2050.

*Nicolas Sarkozy
em entrevista à revista Veja de
Março de 2011.*

Como controlar a volatilidade de preços e aumentar a produção sem conservar?

“O que falta ao homem não é talento, mas sim vontade, não é capacidade de realizar, mas sim vontade de trabalhar”.

Pres. Heber G. Grant

SANTOS, Alexandre Fernandes. Confiabilidade aplicada à tomada de decisão para compressores herméticos e semi-herméticos de refrigeração comercial. 2012. 120f. Monografia. Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Confiabilidade. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

Esta monografia compara a relação entre confiabilidade e custo-benefício de compressores (semi-hermético, hermético) para obter as métricas de disponibilidade almejadas para o sistema. Como objetivos específicos porura analisar o tipo de compressor mais utilizado na refrigeração em supermercados e as diferenças entre compressores herméticos e semi-herméticos, mensurando as falhas e métricas de confiabilidade dos equipamentos; realiza testes de aderência para identificar as melhores curvas e custos ao longo do ciclo de vida de ambos os tipos, contemplando os fatores disponibilidade, custo-benefício e relação entre confiabilidade e disponibilidade e eficiência energética, contrastando os resultados das análises com a literatura, gerando indicadores de confiabilidade. Para isso, utilizou uma amostra de 2402 equipamentos (sendo 50% herméticos e 50% semi-herméticos) e assim obteve os índices de confiabilidade para auxiliar no processo de tomada de decisão na aquisição do produto por supermercados, empresas da indústria e comércio, pesquisadores e desenvolvedores de tecnologias da área, com a utilização do *Software* Weibull. Entre os principais resultados obtidos concluiu-se que em relação à confiabilidade, apesar de o compressor hermético ser interessante nos primeiros onze meses, o semi-hermético mostrou desempenho superior no restante do período. Na relação taxa de falhas, por ser inversamente proporcional a confiabilidade, essa taxa, com o passar dos anos foi muito maior nos compressores herméticos e menor para semi-herméticos. Em relação à questão disponibilidade, de acordo com os resultados é possível afirmar que o fator disponibilidade foi maior nos compressores semi-herméticos, pelo menor tempo médio para reparo e maior tempo médio entre falhas.

Palavras-chave: Compressores. Refrigeração. Índices de confiabilidade. Tomada de decisão. Rede de Supermercados.

SANTOS, Alexandre Fernandes. Reliability to apply for decision making and semi-hermetic compressor hermetic refrigeration commercial. 2012. 120f. Monografia. Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Confiabilidade. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ABSTRACT

This monograph compares the relationship between reliability and cost-effectiveness of compressors (semi-hermetic, airtight) for the availability metrics sought for the system. Specific objectives porura analyze the type of compressor used in most refrigeration in supermarkets and differences between hermetic and semi-hermetic, measuring faults and equipment reliability metrics; performs compliance tests to identify the best curves and costs over life cycle of both types, considering the factors availability, and cost-benefit relationship between reliability and availability, and energy efficiency, contrasting the analysis results with the literature, generating indicators of reliability. For this, we used a sample of 2402 equipment (50% being hermetic and semi-hermetic 50%) and thus obtained the reliability indices to assist in the decision-making process in acquiring the product for supermarkets, companies from industry and commerce, researchers and technology developers in the area, using the Weibull Software. Among the main results we concluded that with regard to reliability, although the hermetic compressor be interesting in the first eleven months, the semi-hermetic showed superior performance in the remainder of the period. In relation failure rate, being inversely proportional to reliability, that rate, over the years has been much higher in hermetic and semi-hermetic compressors for less. Regarding the availability issue, according to the results we can say that the availability factor was higher in semi-hermetic compressors, the lower mean time to repair and increased mean time between failures.

Keywords: Compressors. Refrigeration. Reliability indices. Decision-making. Supermarket Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Componentes básicos do ciclo frigorífico	22
Figura 2- Compressores herméticos	23
Figura 3– Compressor hermético	24
Figura 4- Compressor semi-hermético	26
Figura 5- Compressores abertos a pistão	27
Figura 6– Curva de banheira indicando as taxas de falha	38
Figura 7– Planilha Padrão do <i>software</i>	64
Figura 8 – Teste de aderência - compressores herméticos	65
Figura 9 – Teste de aderência – compressores herméticos.....	72
Figura 10 – Tempo Médio para Falhar – compressores herméticos	73
Figura 11 – Dados da Planilha Excel no <i>software</i> da Planilha Padrão Weibull – semi-herméticos.....	74
Figura 12 – Teste de aderência - compressor semi-hermético	74
Figura 13 – Teste de aderência com desvio padrão e média – semi-herméticos.....	75
Figura 14 – Tempo de garantia em horas – semi-herméticos	80
Figura 15 – Disponibilidade – semi-herméticos.....	81
Figura 16 – Tempo Médio para falhar – semi-herméticos	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - A evolução dos tipos de compressores.....	16
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conclusões da análise	84
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Probabilidade de falha pelo tempo – compressores herméticos.....	65
Gráfico 2 – Falhas com os limites de confiança bilaterais e BETA – compressores herméticos.....	66
Gráfico 3 – Variação de confiabilidade no espaço de tempo – compressores herméticos.....	67
Gráfico 4 – Probabilidade de falha pelo tempo em anos – compressores herméticos	68
Gráfico 5 – PDF (Função, Densidade e Probabilidade) em anos – compressores herméticos.....	69
Gráfico 6 – Taxa de falha versus tempo – compressores herméticos.....	70
Gráfico 7 – Histograma – compressores herméticos.....	71
Gráfico 8 – Linha do tempo por falha – compressores herméticos	71
Gráfico 9 – Probabilidade de falha – semi-herméticos	76
Gráfico 10 – Confiabilidade versus tempo – semi-herméticos	76
Gráfico 11 – Probabilidade de falha vs tempo – semi-herméticos.....	77
Gráfico 12 – PDF Função Densidade Probabilidade – semi-herméticos.....	77
Gráfico 13 – Taxa de falha versus tempo – semi-herméticos.....	78
Gráfico 14 – Função Densidade Probabilidade (PDF) – semi-herméticos	79
Gráfico 15 – Linha de tempo F/S – semi-herméticos	79
Gráfico 16 – Comparativo de confiabilidade.....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA	14
1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.4 OBJETIVOS	17
1.4.1 Objetivo geral	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 JUSTIFICATIVA	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 CONFIABILIDADE DE COMPRESSORES DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	21
2.1 COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS.....	21
2.1.1 Compressor hermético	23
2.1.2 Compressor semi-hermético	25
2.2 FALHA.....	28
2.2.1 Principais falhas	31
2.2.2 Taxa de falhas	36
2.2.3 MTBF.....	37
2.2.4 MTTF	37
2.2.5 Curva da banheira	37
2.2.6 Disponibilidade	38
2.2.7 Custos das falhas internas	38
2.2.8 Custos das falhas externas	39
2.3 MANUTENÇÃO.....	39
2.3.1 Corretiva.....	40
2.3.2 Preventiva	41
2.3.3 Preditiva	42
2.3.4 Pró-ativa	44
2.3.5 Manutenibilidade	45
2.4 CONFIABILIDADE	45
2.4.1 Histórico	46

2.4.2 Conceito	49
2.4.3 Funções de confiabilidade e falha	50
2.5 ANÁLISE SOBRE CONFIABILIDADE DE COMPRESSORES DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO.....	50
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
3.1 MÉTODO.....	55
3.2 MÉTODO ESTATÍSTICO	57
3.3 OBJETO DE PESQUISA E AMOSTRA.....	58
3.4 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO.....	58
3.5 ADERÊNCIA AO CURSO DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	59
4 ANÁLISES.....	62
4.1 COMPRESSORES HERMÉTICOS.....	64
4.2 COMPRESSORES SEMI-HERMÉTICOS	73
5 CONCLUSÃO.....	85
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	89
5.2 RECOMENDAÇÕES	89
ANEXOS	99
APÊNDICES.....	101

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contempla o tema e delimitação de estudo, o problema de pesquisa, premissas, objetivo geral e objetivos específicos, justificativa e estrutura do trabalho.

1.1 TEMA

Este estudo tem como finalidade trazer o conceito dos compressores (herméticos e semi-herméticos) e respectivos índices de confiabilidade para auxiliar na tomada de decisão quando da aquisição de compressores, segundo métricas de disponibilidade almejadas para o sistema.

A indisponibilidade de índices de confiabilidade na indústria e comércio de compressores não apenas no Brasil, mas em muitos países, para a seleção, substituição ou aquisição de novo equipamento em caso de falha do antigo /disponível na empresa, para refrigerar certo produto tem contribuído para que o empresário escolha um equipamento que sempre atenda as reais necessidades de produto a ser mantido sob constante refrigeração, invalidando investimentos que, além de elevados, não atenderá as necessidades (SILVA, 2007).

Os conceitos de confiabilidade servem como instrumento de medição e são utilizados para que a empresa que vá adquirir certifique-se que está fazendo a escolha do melhor equipamento existente no mercado, para refrigerar os produtos que comercializa em redes de supermercados, gerando confiabilidade e segurança ao empresário acerca do sistema, na relação com o consumidor e do próprio negócio, minimizando responsabilizações e prejuízos (BASSETTO, 2007).

A confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida em condições específicas, durante um intervalo de tempo, esse tipo de conhecimento serve como instrumento de medição. A Norma NBR 5462, editada pela Associação de Normas Técnicas, em 1994, define os termos relacionados à confiabilidade e manutenibilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 1994) e preconiza que o termo é usado como “medida de desempenho de confiabilidade”.

Ao levar em conta tais pressupostos, percebeu-se a necessidade de desenvolver este estudo, no sentido de fornecer ao mercado consumidor desse produto índices de confiabilidade, pois se trata de um insumo que por falta de índices de confiabilidade, pode não atender as necessidades de refrigeração de determinado produto. Porém, de acordo com Bassetto (2007), ao dispor de índices de confiabilidade, custo-benefício e eficiência energética o empresário assegura-se da aquisição de um produto compatível e que está investindo corretamente o capital destinado ao desenvolvimento do negócio.

No Brasil, o crescimento econômico produziu maior renda e fez com que redes de supermercados se expandissem progressivamente e, ao instalar uma filial em nova cidade movimentava a localidade, gerando crescimento social e riqueza, que resultam em benefícios ao empresário e à comunidade (ANDRADE, 1987). O maior investimento feito nessas redes está nos sistemas de refrigeração, pela grande necessidade em manter um grande número de produtos alimentícios em permanente refrigeração (BASSETTO, 2007).

Em diálogo com o gerente técnico de supermercado, o engenheiro Luiz Hamilton Peplow, foi verificado que os sistemas de refrigeração podem apresentar falhas, comprometendo o produto e o capital da empresa, causando grandes prejuízos não apenas ao proprietário, em perdas de alimentos perecíveis, mas ao consumidor, que corre o risco de consumir alimentos deteriorados pela falta de refrigeração adequada do produto, sem contar o volume de alimentos que se perdem caso haja qualquer falha nesse sistema.

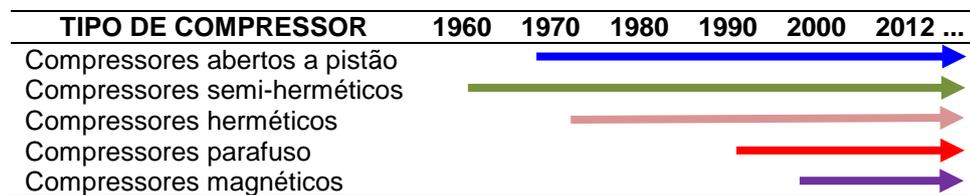
Segundo Peplow, a Engenharia da Confiabilidade é uma ferramenta extremamente útil para as empresas, porém, até o momento mostra-se pouco presente nas tomadas de decisões, especialmente, nas grandes redes de Supermercados, requerendo um maior entendimento sobre sua importância e necessidade de uso desta ferramenta de medição.

Os sistemas de refrigeração podem apresentar falhas, comprometendo o produto e o empresário, causando grandes prejuízos não apenas ao proprietário, em perdas de alimentos perecíveis e ao consumidor, que corre o risco de consumir alimentos estragados pela falta de refrigeração adequada do produto, sem contar o volume de alimentos que se perdem caso haja qualquer falha nesse sistema.

O enfoque deste estudo é trazer os conceitos da confiabilidade para a tomada de decisões da empresa no momento da seleção de qual sistema irá utilizar na refrigeração comercial de supermercados.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

De todo o sistema de refrigeração o compressor é o “coração” do sistema. Esse componente é responsável pelo movimento do fluido refrigerante e também é a peça mais cara do sistema. Os compressores de refrigeração, segundo a Apostila de Mecânico de Refrigeração (2011) são divididos em: Compressores abertos a pistão; Compressores semi-herméticos; Compressores herméticos; Compressores parafuso; Compressores magnéticos. No Quadro 1 observa-se o período de surgimento e evolução dos tipos de compressores, entre 1960-2012.



Quadro 1 - A evolução dos tipos de compressores

Fonte: Apostila Escola Técnica Profissional (2007, p. 35).

No desenvolvimento desta monografia será abordada a relação entre tomada de decisão, confiabilidade e disponibilidade, quando da seleção do melhor compressor a ser utilizado em sistemas de refrigeração comercial (supermercados), utilizando como fonte de pesquisa e coleta de dados da empresa ETP Processos Tecnológicos, sediada em Curitiba.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Atualmente, o maior problema sobre o assunto tratado é a falta de dados concernente à confiabilidade dos compressores disponíveis no mercado,

sendo que o único dado disponível para os clientes (empresários) no momento da aquisição é a garantia dos compressores, fornecida pelo fabricante, que varia entre 12 e 36 meses, no máximo. Os demais dados referem-se à eficiência energética e rendimento termodinâmico. Entretanto, dados ou gráficos/estatísticos sobre confiabilidade, para consulta do empresário no momento da tomada de decisão de qual compressor deve adquirir, praticamente inexistem.

A partir da concessão dos dados pela ETP Processos Tecnológicos que tem convênio com a Eletrofrío e outras empresas ligadas a área de refrigeração (a autorização constará em Anexos), que dispõe de arquivo com registro de pedidos de troca de compressores (pelos clientes) e registro histórico desses dados, não apenas dos modelos que serão analisados, mas de outros tipos, parte-se da premissa que é possível gerar índices de confiabilidade dos compressores citados, mensurando, por meio de dados estatísticos, tanto se o cliente optou por um novo compressor ou quais foram outras condições de troca, com histórico do período remanescente.

A partir dos resultados obtidos busca-se demonstrar aos empresários que comercializam/fabricam compressores, comunidade científica e técnicos de refrigeração, os principais tipos de falhas que ocorrem nos compressores herméticos e semi-herméticos, que resultam em troca, devolução ou reparo, nível de confiabilidade e disponibilidade do produto, contribuindo assim na aquisição mais acertada por parte dos donos de supermercados segundo especificações de produto a ser mantido sob refrigeração.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Obter indicadores de confiabilidade dos compressores (hermético e semi-hermético) para auxiliar no processo de tomada de decisão das empresas/indústrias na escolha/aquisição do compressor, tendo as métricas de disponibilidade almejadas para o sistema.

1.4.2 Objetivos específicos

Analisar quais os compressores mais utilizados (atualmente) no mercado e quais as diferenças existentes;

Mensurar qualitativamente a falha dos compressores analisados e suas métricas de confiabilidade, a partir dos dados selecionados;

Realizar testes de aderência para identificar quais as melhores curvas para os tipos mais importantes de compressores;

Analisar os custos (investimento inicial e custos operacionais) ao longo do ciclo de vida dos compressores analisados, contemplando fatores como disponibilidade, custo benefício dos modelos submetidos à análise, relação entre confiabilidade-disponibilidade-eficiência energética;

Comparar os resultados das análises com os resultados da literatura, confrontando os dados;

Gerar indicadores de confiabilidade.

1.5 JUSTIFICATIVA

Para que um produto perecível comercializável ou não possa guardar seu estado de conservação e permanecer em condições de ser consumido o sistema de refrigeração (compressor) deve atender necessidades específicas para cada produto. Nesse contexto, é possível afirmar que: “as divisões da refrigeração estão baseadas no tipo de ambiente a ser refrigerado, de produto a ser conservado, da temperatura que deve atingir e do tempo para que o produto atinja a temperatura desejada” (APOSTILA DE MECÂNICA DE REFRIGERAÇÃO, 2011, p. 4).

Trazer o conceito de confiabilidade do compressor no momento de sua aquisição ou troca, em redes de Supermercados, visando uma melhor conservação dos alimentos, incluindo material genético, laboratorial, água, carnes, derivados do leite e outros componentes, contribui para a redução do desperdício consequente da má conservação de produtos perecíveis. Desta forma, a obtenção de índices de confiabilidade sobre o tipo de compressor a ser utilizado permite auxiliar o gestor na

tomada de decisão no ambiente organizacional, realizando, assim, um investimento mais seguro e rentável.

Conhecer os índices de confiabilidade do compressor permite reduzir riscos em investimentos, disputas judiciais para reposição do bem, incômodos no pós-venda com consequentes devoluções e desperdício do produto por falhas¹ na refrigeração do alimento (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1994). A tendência do futuro é buscar tecnologias e mão de obra eficazes a ponto de se tornarem capazes de reduzir falhas nos equipamentos. Nesse processo, identificar falha nos equipamentos e implantar ações que reduzam ou previnam erros é o grande desafio da indústria moderna.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco partes e fundamentalmente divide-se em seis capítulos, composto por introdução, fundamentação teórica, procedimentos metodológicos, análises, conclusões e referências.

A primeira parte, denominada introdução desta monografia mostrará o tema de estudo, ponderando sobre as opções de compressores, dados que se encontram disponíveis na literatura/mercado, objetivos de estudo propostos, a justificativa que motivou o desenvolvimento do tema/título da monografia, a metodologia de pesquisa empregada na execução da pesquisa e a estrutura do trabalho. A segunda parte apresenta o desenvolvimento da fundamentação teórica e introduz aos conceitos gerais de confiabilidade, disponibilidade e resultados alcançados ao longo da história dos compressores, tanto por parte das empresas que produzem, como também alguns resultados concernentes as vantagens/desvantagens percebidas por empresas/pessoas que utilizam esses componentes em nível mundial. A terceira parte aborda a metodologia de pesquisa adotada no estudo, como, os tipos de pesquisa segundo a fonte de dados, que pode ser de natureza documental, bibliográfica, de campo ou outras, incluindo as

¹ É o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina, de desempenhar sua função durante um período de tempo, quando o item deverá ser reparado ou substituído. É a inabilidade de um sistema/componente em cumprir uma de suas funções de projeto (PESSOA, 2009).

entrevistas a serem realizadas. A quarta parte irá discutir os resultados e contracenar com os achados da revisão da literatura. A quinta parte irá tratar das conclusões obtidas com o desenvolvimento do estudo e seus resultados atingidos. A sexta irá apresentar as referências utilizadas no estudo, segundo a norma.

2 CONFIABILIDADE DE COMPRESSORES DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

O compressor em conjunto com outras peças e dispositivos integram o motor de um sistema de refrigeração, é selecionado pelo critério de resfriamento segundo características específicas dos produtos que serão comercializados no estabelecimento. Alimentos armazenados em sistemas isentos de refrigeração ou ainda que disponível, mas que apresente falhas tornam-se inviáveis de serem comercializados ou consumidos, sem contar o enorme prejuízo à organização.

A indústria de compressores enquanto organização e técnicos que nela trabalham devem priorizar conhecimentos sobre índices estatísticos de confiabilidade de temperatura e ausência de falhas nos sistemas de refrigeração, para todos os tipos de compressores e sobre falhas que possam ocorrer nesses equipamentos, envolvendo custos de falha, efeitos de manutenção, confiabilidade, custos de inspeção e troca. Um enfoque sistemático e criterioso leva em conta a confiabilidade e esta sustenta a estabilidade do produto no mercado, por longos períodos (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1994).

No contexto industrial contemporâneo, segundo Tamagna (2008), em que a máxima disponibilidade dos equipamentos ligados ao processo produtivo representa fator crítico para o sucesso do mercado, a confiabilidade do equipamento passa a desempenhar função estratégica, uma vez que se faz necessário trabalhar na prevenção e detecção antecipada das possíveis falhas, especificamente, tratando dos compressores utilizados na rede de supermercados para refrigeração de alimentos, indispensável à preservação do produto e sucesso ao negócio.

2.1 COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS

Os sistemas de refrigeração de ar destinam-se em otimizar a temperatura do ambiente, umidade relativa, renovação e qualidade do ar, processo que deve ser realizado mediante a presença de ruído mínimo e ocupação do menor espaço físico possível (APOST. REFRIGER AR, 2010).

O compressor desempenha papel fundamental nos ciclos de refrigeração e representa “o coração” do sistema, deste equipamento depende um bom ou mau funcionamento do sistema. Dentre os papéis do ciclo de refrigeração do compressor é possível afirmar que reduz a pressão da saída do evaporador, até a correspondente temperatura de evaporação requerida pela instalação; aumenta a pressão do refrigerante, até a temperatura de condensação requerida pela instalação; movimenta o fluido refrigerante por meio da tubulação e dos componentes individuais (APOST. REFRIGER. AR, 2007).

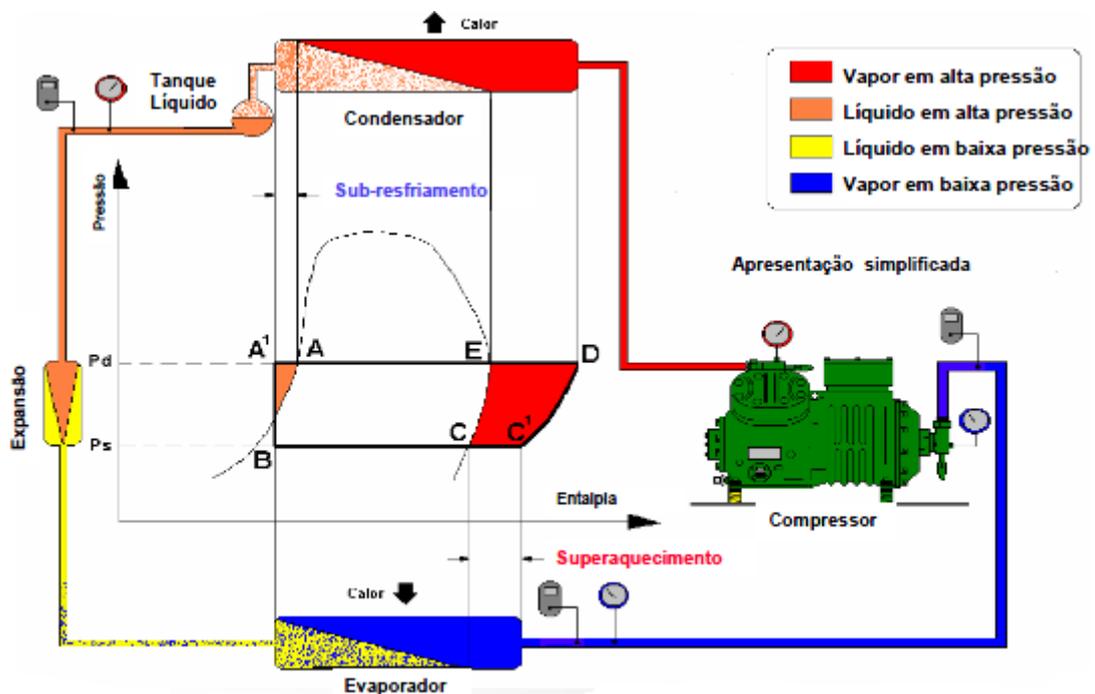


Figura 1– Componentes básicos do ciclo frigorífico
 FONTE: Bitzer (2012, p. 14).

Atualmente, a indústria de compressores disponibiliza cinco modelos no mercado, para uso na indústria de refrigeração e de ar condicionado, incluindo: alternativo, *scroll*, rotativo, parafuso e centrífugo (APOST. REFRIGER. AR, 2007).

O compressor utilizado em uma aplicação é dependente, entre outros, do tamanho do sistema frigorífico, da carga térmica requerida pelo planejamento, instalação do projeto, custo envolvido no investimento, gasto com manutenção, consumo de energia e nível de ruído. Ressalta-se que cada instalação frigorífica apresenta características próprias, por isso, exige um tipo peculiar de compressor, dependente exclusivamente das exigências específicas de cada projeto (APOST. REFRIGER. AR, 2007).

No âmbito funcional e operacional os compressores alternativos pertencem a três importantes grupos dentro da cadeia de equipamentos do gênero: compressor aberto, semi-hermético e hermético, porém, a este estudo em específico interessam apenas os últimos (APOST. REFRIGER. AR, 2007).

2.1.1 Compressor hermético

Historicamente, segundo a ETP (2007, p. 21), em 1905 patenteou-se o compressor *scroll* pela primeira vez. Inicialmente era de concepção muito simples, amplamente empregado em instalações comerciais de pequeno porte, principalmente, no Brasil, em unidades condensadoras.

De acordo com a Reconsul (2010, 2), p compressor *scroll*,

é composto por um sistema de compressão do tipo caracol com movimento excêntrico, onde a grande vantagem em relação ao sistema tradicional de pistão é ter menor número de peças móveis, conseqüentemente menor nível de ruído, consumo de energia e um funcionamento mais suave.

Semelhante aos compressores alternativos herméticos é acoplado a um motor elétrico, preso a um suporte soldado e hermético ao fluido refrigerante. Por ser totalmente fechado e soldado não permite manutenção interna, por isso, é descartável quando apresenta defeitos operacionais (Figura 2).



Figura 2- Compressores herméticos

FONTE: Apostila de Escola Técnica Profissional (2007).

Por definição o compressor *scroll*, de acordo com a literatura,

é um espiral que tem uma série de bolsas ou cavidades para succionar e comprimir o fluido refrigerante entre os dois elementos. Durante o processo de compressão um elemento permanece estacionado (espiral ou *scroll* fixo), conquanto que outro elemento (espiral ou *scroll* orbitante) pode orbitar (mas não girar) ao redor do primeiro. Quando ocorre este movimento as bolsas ou cavidades que se formam entre os dois elementos se vê empurrado lentamente o fluido refrigerante até o centro do *scroll*. O fluido refrigerante eu se encontra em alta pressão é descarregado através de uma força localizada no centro (ETP, 2007, p. 21).

De acordo com a Apostila de Mecânico de Refrigeração e Ar Condicionado (2010), o compressor hermético dispõe de um motor elétrico e um compressor, ambos acoplados dentro de um invólucro e hermeticamente lacrados, que impedem que um profissional que trabalhe no setor de refrigeração possa ter acesso aos componentes internos (Figura 3).

De acordo com ETP (2007, p. 20), o compressor hermético,

se encontra diretamente acoplado a um motor elétrico e está preso a um suporte soldado que é hermético aos gases, é totalmente fechado, soldado, não sendo possível a manutenção interna e, portanto, é do tipo descartável quando apresenta problemas operacionais. São muito utilizados em unidades condensadoras e em unidades *plug-in* para câmaras frigoríficas na área de refrigeração comercial.



Figura 3– Compressor hermético

FONTE: Apostila de Mecânico de Refrigeração e Ar Condicionado (2010, p. 45).

O motor hermético localiza-se dentro da passagem do gás de sucção do compressor, resfriado pelo fluxo do gás de sucção em volta dos enrolamentos de campo (estator), através da folga que existe entre rotor e estator. Nota-se que o motor tem finalidade específica determinada logo que é projetado para ajustar-se na carcaça do compressor, sendo o rotor montado na extensão do bloco do compressor (APOSTILA ETP, 2010).

Os compressores herméticos apresentam vantagens na sua instalação, porém, decorrente da queima do motor elétrico ou quebra mecânica o profissional de

refrigeração terá que substituí-lo por um compressor novo. É um tipo amplamente usado em instalações frigoríficas, comparativamente ao compressor aberto, apresenta algumas vantagens, ocupa menor espaço físico que permite instalação facilitada e menor custo de manutenção, justamente por não dispor selo mecânico e correias (APOSTILA ETP, 2010).

O compressor é construído hermeticamente, na forma de um conjunto de peças em formato caracol, um fixo e um rotativo que sincronizados formam harmônico mecanismo mecânico. Em baixas velocidades se conseguem a entrada do fluído com baixa pressão, pelo perímetro externo do caracol, comprimido e descarregado na parte central do compressor, mas que ao ser modificado o sentido de giro do motor as pressões existentes, de alta e baixa se equalizam, resultando em danos para o motor pela falta de lubrificação (APOSTILA ETP, 2010).

2.1.2 Compressor semi-hermético

Estruturalmente, o compressor compõe-se de unidade condensadora hermética e unidade compressora aberta. “Tem como finalidade aumentar a pressão de evaporação para pressão do gás refrigerante da pressão de evaporação para pressão de condensação” (TRANE, 1979, p. 12), cuja “função [...] é entregar o refrigerante ao condensador a uma pressão e a uma temperatura que permitam obter, com rapidez, o processo de condensação” (TRANE, 1979, p. 12).

Ainda no entendimento de Trane (1979, p. 12):

O compressor e o motor de transmissão deste encontram-se encerrados em uma carcaça comum. O motor está localizado no fluxo de gás aspirado que produz a necessária refrigeração. O termo semi-hermético significa que a carcaça hermética pode ser aberta para permitir reparos no compressor ou motor.

No interior de um compressor semi-hermético encontra-se instalado um motor elétrico, semelhante ao existente no compressor hermético, porém, a principal característica desse modelo está na facilidade para o profissional refrigerista abri-lo, permitindo que algumas peças de seus componentes sejam substituídas, sem que haja a necessidade de troca do compressor por completo (Figura 4). Outra

vantagem é em relação aos custos, que podem se tornar ainda menor, justamente por permitir que somente algumas partes sejam trocadas (APOSTILA ETP, 2010).

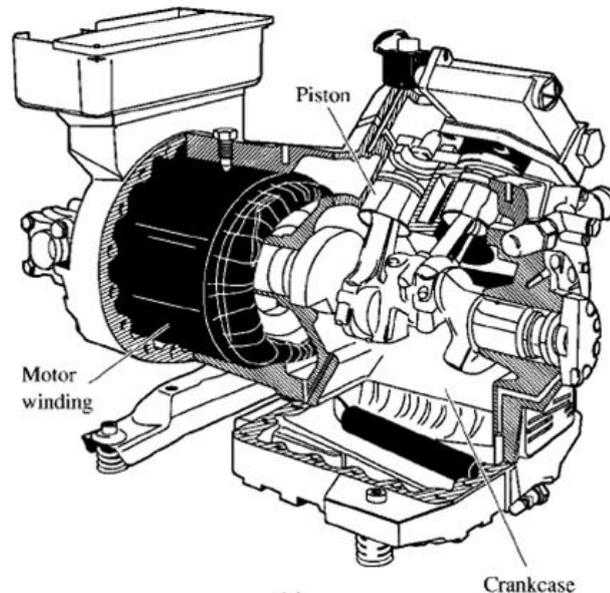


Figura 4- Compressor semi-hermético
 FONTE: TRANE (1979, p. 12).

No conceito de Trane (1979, p. 25): “os compressores modernos semi-herméticos ou abertos podem ser colocados virtualmente em qualquer local [...] alguns fatores devem ser examinados ao finalizar o projeto de instalação”.

No entendimento da ETP (2007, p. 20), o compressor semi-hermético,

se encontra diretamente acoplado a um motor elétrico e está preso a um suporte parafusado que é hermético aos gases, também pode ser desmontado par eventuais operações de manutenção. No setor de refrigeração comercial, atualmente, os compressores semi-herméticos são muito empregados em instalações frigoríficas de supermercados onde são montados em paralelo, em unidades chamadas de *racks*.

Com base no critério “tipo de compressor” o mercado disponibiliza compressores nos modelos: recíproco (alternativo), semi-hermético, hermético, rotativo, *scroll*, parafuso e centrífugo. O compressor alternativo é do tipo pistão (Figura 5), um cilindro é carregado de fluido refrigerante quando o pistão atinge o ponto morto inferior. Nesse tipo, o fluido passa a ser comprimido no deslocamento do pistão até o morto superior onde, as válvulas internas de sucção e descarga permanecem fechadas, gerando aumento de pressão e redução de volume (APOSTILA ETP, 2010).



Figura 5- Compressores abertos a pistão

FONTE: Apostila de Escola Técnica Profissional (2007).

No momento que a pressão atinge valores projetados pelo fabricante do compressor a válvula de descarga se abre e descarrega o fluido refrigerante no sistema, em alta pressão e fecha a válvula de descarregamento. Partindo do ponto morto superior o pistão se desloca do resíduo de fluido refrigerante no cilindro. A pressão é ligeiramente reduzida abaixo da pressão de sucção e a válvula de sucção se abre, entrando no fluido refrigerante do cilindro até atingir o ponto morto inferior, momento que a válvula se fecha. Ao permanecerem fechadas as válvulas de sucção de descarga no ponto morto inferior, recomeça o processo de compressão (APOSTILA ETP, 2010).

O compressor integra o motor de um sistema de refrigeração e todos os motores geram calor e energia que, por deficiência do projeto, problemas decorrentes de instalação ou uso podem apresentar falhas, conforme mostra na sequência (TRANE, 1979).

Assim, conclui-se que cada tipo de compressor apresenta particularidades diferentes, no momento que é lançado novo modelo os demais não necessariamente são retirados do mercado, mantidos os serviços de manutenção, mas para certos tipos de compressor não existe manutenção. Os compressores abertos são mais antigos, mas como vantagem têm a possibilidade de manutenção. Já os modelos herméticos são descartáveis por não admitir manutenção.

2.2 FALHA

Compreender o significado de “falha” na acepção do termo é o primeiro passo que o pesquisador deve percorrer em pesquisas que se voltem à análise de confiabilidade de equipamentos ou compressores de refrigeração. Normalmente, a presença de falha em um equipamento pode ser resultante de erro de projeto, desgaste, corrosão ou envelhecimento das propriedades presentes no elemento que compõe o produto.

Conceitualmente, na acepção do termo, “falha” vem ser: “a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto” (PINTO e XAVIER, 2005). Em sentido idêntico Mirshawka (1991) define falha como um fenômeno que surge em determinado equipamento ou situação, que resulta no comprometimento ou ainda no desempenho que inviabiliza a correta “interpretação de um item” qualquer no todo do componente.

Já Halm-Owoo (2002) vê uma falha como: “uma variação não permitida das propriedades características que impedem que um sistema cumpra seu propósito definido”; ou ainda: “uma mudança indesejável que tende mudar todo desempenho do conjunto”.

Um compressor de refrigeração enquanto sistema mecânico pode apresentar uma falha ou diversas falhas, normalmente, aleatória(s), que pode ocorrer a qualquer momento (MYREFELT, 2004), isoladamente ou não, segundo diferentes grupos, a começar pelo projeto que pode conter erro, tipo/uso do sistema, local de ocorrência, natureza e tipo específico de falha.

Breuker et al. (1998) desenvolveu um trabalho sobre compressores alternativos herméticos e embora não tenha fornecido dados quantitativos, mostrou-se muito abrangente por fundamentar-se em relatório feito dentro de uma companhia americana especializada em manutenção de sistemas de refrigeração, que também está servindo como base para este trabalho.

Ao final, o autor conclui que grande maioria das falhas diagnosticadas nos compressores alternativos herméticos submetidos à análise apresentava falhas no motor, geralmente, relacionadas a problemas mecânicos, resultando em sobrecarga no motor do equipamento. Relatou também que as principais causas de falhas mecânicas se concentravam no fluido refrigerante, no estado líquido, presente no

compressor. Na forma de construção do compressor, quando presente algum líquido na câmara deste, invariavelmente, pode danificar bielas, pistões ou válvulas. Veja-se que quando o fluido refrigerante, em estado líquido, estiver dentro do compressor, durante a partida o óleo é conduzido para fora do equipamento, em enorme quantidade e ocorrer perda de lubrificação por tempo indeterminado, ou até o momento que o óleo retorne ao compressor, posterior ao percurso do sistema de refrigeração.

De acordo com a ETP (2007), o trabalho realizado por uma máquina/câmara frigorífica desenvolve-se mediante um ciclo térmico fechado no curso do qual uma carga de gás de refrigerante volta periodicamente a assumir os valores iniciais de energia interna.

Quando as temperaturas são muito baixas, especialmente, em manhãs de inverno, primavera ou outono, o fluido refrigerante no bloco do compressor pode condensar-se e resultar no tipo conhecido pela literatura como “partida inundada”.

Desta forma, o retorno contínuo do fluido refrigerante em seu estado líquido, pela ausência de superaquecimento nestes dias, resulta no resfriamento do bloco do compressor. Porém, no momento em que o sistema é desligado, o fluido refrigerante, em seu estado líquido, retido no bloco resfriado do compressor, torna-se responsável por promover uma espécie de “golpe de líquido”, quando o compressor for religado.

Na atualidade, grande maioria dos sistemas de refrigeração de produtos opera com o tipo liga/desliga e esse modelo pode ter inúmeros “golpes de líquido” ao longo de um dia apenas, justamente por ocorrer retorno do fluido refrigerante. Diante desse fato, como causas prováveis do retorno no estado líquido pode incluir a sobrecarga de fluido refrigerante, falha dos ventiladores do evaporador/ condensador e também falha no dispositivo de expansão. No entanto, pode haver também falha no compressor pela alta temperatura de descarga do mesmo, problemas relacionados à alimentação elétrica, incluindo baixa voltagem e picos de tensão. Para o problema de altas temperaturas de descarga, a causa principal pode ser falha no condensador, restrição de líquido ou ausência de fluido refrigerante.

Um estudo desenvolvido por Bassetto (2007) identifica seis problemas que podem estar relacionadas às falhas abordadas anteriormente, que são: retorno de fluido refrigerante no seu estado líquido, a denominada partida inundada, o

problema relacionado às altas temperaturas de descarga, perda de óleo, retorno de fluido refrigerante no seu estado líquido e, finalmente, problemas relacionados à alimentação elétrica.

O entendimento de Prasad (2002) aponta o “retorno de líquido no compressor” como fator principal do problema de falhas, por atingir o equipamento, fundamentando-se no ensaio realizado que determinou a gravidade desse tipo de falha, em face às características da mesma. O autor comenta sobre a possibilidade de o líquido entrar no compressor juntamente com o vapor de alimentação superaquecido (o óleo), que este seja impuro, ou que entre no equipamento sob a forma condensada, semelhante como ocorre na linha de fluido refrigerante de baixa pressão ou processos que relacionem pontos baixos de ebulição de fluidos, durante uma partida fria, podendo ainda ocorrer internamente, na medida em que o compressor trabalhe com menor temperatura, comparado à temperatura do evaporador.

Convém ressaltar que para compressores alternativos, na medida em que um volume líquido considerável surgir dentro do cilindro e o pistão não consiga expelir este líquido pela válvula de descarga, ainda que por pequeno período de tempo, quando aberto, cria excessiva pressão no interior deste (cilindro). Ocorre que a pressão gerada impõe cargas excessivas no pistão, que são transmitidas pelo virabrequim ou biela, indo até o mancal principal, fatores estes que resultam em um não aglutamento e falha no equipamento.

Embora represente um evento transitório entre às falhas que possam ocorrer, deve ser encarado com seriedade por depender do projeto de execução do cilindro, volume da câmara, taxa de compressão e natureza do líquido retido na câmara. De igual forma, o líquido retido dentro do cilindro é mais denso comparado ao gás que tende a acumular-se próximo da válvula de descarga, permitindo formar além de grande, assimétrica carga no período de compressão nas laterais do pistão, resultando em falha nos elementos biela e pistão.

A empresa Copeland, da Emerson *Climate Technologies*, exponencial fabricante de compressores desenvolveu um estudo que abordou o assunto, procurando esclarecer em que se fundamentam as falhas geradas em diversos tipos de compressores e concluiu que grande maioria se deve a deficiência de projeto ou no próprio sistema (COPELAND, 2004). Porém, quando a falha não é encontrada o compressor simplesmente é substituído, mas o problema pode ser recorrente.

Registros encontrados na literatura afirmam que grande maioria das falhas elétricas se deve a falhas mecânicas, justamente por ser de natureza mecânica. Ao passo que falhas elétricas não costumam ser descritas em equipamentos eletromecânicos.

O trabalho desenvolvido por Bassetto (2007) analisou uma amostra de compressores semi-herméticos, com refrigeração a ar, pelo fluido refrigerante, com peso no resultado final. Diante dos achados o autor relata que entre os principais problemas que apresentaram esse tipo específico de compressor e mais conhecidos pela literatura, inclui o retorno de fluido refrigerante líquido, partida inundada, golpe de líquido, superaquecimento excessivo, perda ou ausência de lubrificação. Os achados de Breuker et al. (1998) e Prasad (2002) vem ao encontro do que Bassetto (2007) deduziu ao final do estudo.

2.2.1 Principais falhas

Conceitualmente, Bassetto (2007) identificou seis principais falhas que podem surgir no compressor eletromecânico de refrigeração, sendo o retorno de fluido refrigerante líquido, a partida inundada, golpe de líquido, superaquecimento excessivo, perda de lubrificação e falta de lubrificação.

1. O retorno de fluido refrigerante líquido, de acordo com a literatura, ocorre com o compressor em operação no qual o fluido refrigerante se mistura com o lubrificante, alterando sua capacidade de lubrificação. Este problema se apresenta tanto em compressores resfriados a ar como em compressores que usam o fluido refrigerante com arrefecimento.

No primeiro caso, devido sua forma construtiva ocorre o desgaste, podendo até mesmo gerar o denominado golpe de líquido, cujo problema não ocorre no segundo tipo de compressor, onde o fluido refrigerante que retorna ao compressor se aloja no fundo do cárter do compressor. A bomba de óleo é responsável por succionar uma mistura de óleo rica em fluido refrigerante e bombear para as buchas dos mancais do virabrequim que se encontram aquecidas. O calor vaporiza o fluido refrigerante presente na mistura e elimina o filme de óleo lubrificante, acarretando no contato metal-metal, conseqüente gerando o desgaste,

que se manifestará de forma progressiva, tornando-se mais pronunciado nas buchas dos mancais próximas ao estator, as quais estão mais aquecidas (BASSETTO, 2007, p. 24).

2. A partida inundada é como se fosse uma migração de fluido refrigerante na fase vapor com o cárter do compressor desligado por tempo prolongado, de modo que esse fluido em estado de vapor torna-se capaz de migrar de forma natural para o cárter do compressor, independente da existência de pressão, ao passo que o compressor estará operando em temperatura abaixo do evaporador. Assim, o vapor superaquecido irá se misturar juntamente com o lubrificante até sua saturação. Na partida uma redução brusca da pressão no cárter irá provocar evaporação súbita e pode alterar as condições normais de lubrificação. Os componentes não podem ser lubrificados adequadamente na partida, somente quando a turbulência causada pela evaporação do fluido refrigerante for desaparecendo gradativamente (BASSETTO, 2007, p. 24).

3. O golpe de líquido, originalmente,

ocorre quando um compressor tenta comprimir fluido refrigerante no estado líquido, óleo ou uma mistura de ambos. A causa desta falha se deve a presença de líquido (óleo, fluido refrigerante), durante a fase de compressão (BASSETTO, 2007, p. 24).

4. O fato é que o superaquecimento excessivo costuma ocorrer devido elevada temperatura na descarga do compressor e podem afetar a viscosidade do óleo, podendo carbonizá-lo. A redução na viscosidade do óleo resulta na diminuição da resistência da película lubrificante podendo romper-se e entrar em contato de metal contra metal resultando em maior desgaste ainda (BASSETTO, 2007, p. 24).

5. A perda de lubrificação mostra-se como um problema que,

ocorre quando o lubrificante não retorna ao cárter do compressor. A causa desta falha pode ser originada por uma má disposição dos sifões de óleo na saída dos evaporadores ou no início de tubulações ascendentes da linha de sucção, falta de inclinação da linha de sucção em direção ao compressor ou inclinação no sentido oposto em tubulações horizontais, desenhos ou seleção errônea do diâmetro da linha de sucção, perdas de fluido lubrificante, operação em ciclos curtos de partida (BASSETTO, 2007, p. 25).

6. A falta de lubrificação deve-se ao fato de que o lubrificante está no cárter do compressor e não lubrifica devido o óleo encontrar-se misturado com o fluido refrigerante no estado líquido no cárter pelo retorno de fluido refrigerante em

estado líquido ou pela migração de fluido refrigerante na fase de vapor. Pode manifestar-se quando a viscosidade do lubrificante estiver afetada pelo aumento da temperatura e possível superaquecimento do fluido refrigerante (BASSETO, 2007, p. 25).

Alguns artigos apresentados no trabalho da Emerson *Climate Technologies* (Copeland) incluíram pesquisadores como Jourdan (2004), Gauge (2003), Checket-Hanks (2003a), Tomezyk (2003b), Tomezyk (2003a), *Ar Conditioning Heating e Refrigeration News* (2000) e Nohle (1999). Por exemplo, o de Checks-Hanks (2003a) tratou dos tipos de falhas de um modo geral, o trabalho de Schaub (2001) e o periódico *Ar Conditioning, Heating e Refrigeration News*, dos efeitos de perda de óleo (apud BASSETTO, 2007). O de Gauge Tomezyk (2003b) tratou do retorno de refrigerante líquido e, finalmente, o de Tomezyk (2003a) comentou sobre os danos que podem ocorrer através do golpe líquido.

O estudo desenvolvido por Nohle (1999) aborda a análise da queima do motor elétrico por excesso de superaquecimento. O autor conclui que a partir do momento que o fluido refrigerante chega a temperaturas elevadíssimas o ponto de quebra poderá ser atingido e resultar em mudanças nas propriedades do fluido refrigerante. O autor explica que o fluido refrigerante utilizado (HCFC – 22) é elementarmente composto de cloro e flúor que, exposto em temperaturas elevadas pode resultar na formação de ácidos hidrofúorídrico e hidrocloreídrico, de natureza corrosiva e atacar a parte do isolamento do enrolamento do motor do equipamento.

O resultado desse evento produz aumento na corrente elétrica do motor e no aterramento conjunto, conseqüentemente, ocorre aumento na corrente total consumida pelo motor do equipamento. Desta forma, quanto mais aumenta a acidez no ambiente maior será a corrente total consumida que, ocorrendo continuamente, resulta na queima do motor.

No entendimento da Reconsul (2010, p. 3), as principais causas de queima do compressor motivam-se na ausência de fase, sobrecarga no motor elétrico, travamento e contaminação, conforme relacionado na sequência.

1. **Falta de fase:** causada por desbalanceamento ou problemas na rede de alimentação, variações na tensão, ligação elétrica errada, partidas repetitivas em curto espaço de tempo, fiação mal dimensionada ou chave contatora com contatos desgastados.

2. **Sobrecarga no motor elétrico:** operação incorreta ou fora da faixa de aplicação e temperatura ambiente alta, gerando aquecimento no motor e atuação pelo protetor térmico.
3. **Travamento:** - Ocorre quando o compressor está localizado acima do evaporador sem o uso de sifões na sua saída e sem o uso do separador de óleo, não permitindo o retorno de óleo para o compressor. A alta temperatura de descarga: provoca a carbonização do óleo, causando deficiência de lubrificação, travamento do conjunto mecânico e finalmente a queima do motor.
4. **Contaminação:** instalação sem cuidados, como evacuação do sistema sem o uso ou funcionamento irregular da bomba de vácuo, sujeira retida nas tubulações e uso de anticongelantes reagindo com o óleo, prejudicando a lubrificação, gerando acidez e atacando o verniz de proteção do motor elétrico, causando queima do compressor.

Silva (2004) apresentou um estudo que teve como finalidade analisar o aperfeiçoamento da técnica diagnóstica e corretiva dos problemas relacionados aos sistemas de refrigeração e sua aplicabilidade. O resultado do trabalho possibilitou concluir que em sistemas que apresentem falhas, raramente estes problemas estão relacionados ao compressor.

De acordo com Bassetto (2007), os principais problemas relacionados aos compressores alternativos são nove: retorno líquido, golpe de líquido, problemas de lubrificação, temperatura de descarga elevada e problemas elétricos, conceitualmente, encontram-se dispostos conforme abordagem na sequência.

Retorno de líquido,

Surge, principalmente, quando o superaquecimento (que é admitido como a diferença entre a temperatura do refrigerante na sucção do compressor e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante) do fluido refrigerante está muito baixo (indicando, desta forma, que o fluido não evaporou totalmente antes de adentrar o compressor). Nestas condições, o compressor pode succionar não só fluido refrigerante no estado de vapor superaquecido, mas também no estado líquido. Sendo assim, devido ao efeito detergente do fluido refrigerante, ocorre à remoção de toda a película de lubrificação das partes móveis do compressor, como consequência provocará sua quebra mecânica (BASSETTO, 2007, p. 26).

Outro elemento é o golpe de líquido, refere-se ao “dano causado pela pressão hidrostática quando o compressor tenta comprimir fluido no estado líquido, que pode ser fluido refrigerante, óleo ou uma mistura de ambos”.

Normalmente, problemas de lubrificação estão relacionados “ao desgaste excessivo causado pela falta de quantidade suficiente de óleo lubrificante nas partes móveis do compressor” (BIASSETTO, 2007, p. 26).

A contaminação por umidade durante o processo de instalação do sistema refrigerado resulta na formação de ácidos, corrosão, borra de óleo e *cooperplanting*. Quando presente o calor e umidade o fluido refrigerante e o óleo lubrificante, que possuem cloro e flúor em sua fórmula podem se desassociar e criar ácidos, sendo os principais motivos que justificam a queima do motor elétrico do compressor, pela presença dos ácidos que acometem o isolamento do enrolamento do sistema de refrigeração.

A umidade na instalação produz,

formação do *Cooper planting* nas partes móveis ocasionado pela ocorrência de temperaturas altas no compressor, em conjunto com a presença da mistura de umidade, fluido refrigerante e óleo que produzem reações capazes de atacar quimicamente tubulações de cobre e, principalmente, os motores elétricos dos compressores herméticos e semi-herméticos. Isso ocorre, principalmente, nas instalações onde não foi realizada uma boa desidratação do sistema (BASSETTO, 2007, p. 26).

A sujeira ou o pó são materiais particulados e incluem óxidos metálicos e outras partículas, também metálicas, como resto de fluxo de solda e borra de óleo, elementos residuais responsáveis pelo desgaste de alguns dos componentes do compressor, que fatalmente irão obstruir o dispositivo de expansão do mesmo. No momento em que o Técnico realiza a instalação do sistema de refrigeração, de forma imprudente permite que resíduos como óxidos de cobre, restos de solda e o cobre propriamente permaneçam no ambiente do motor que na ação vibratória entram no compressor. Outro fator é a borra de óleo que se origina durante a decomposição do óleo em conjunto com demais contaminantes, incluindo pó carbonoso e verniz que se depositam pela tubulação restringindo o fluxo de fluido refrigerante com entupimento do expensor.

A sujeira da instalação é decorrente da,

falta de cuidado durante a instalação do sistema, ou de qualquer outra intervenção que ocorre. Estas sujeiras são, principalmente, limalhas e óxidos de cobre e ferro, provenientes da instalação onde não foram utilizados cortadores de tubos adequados e gás de proteção durante a soldagem (BASSETTO, 2007, p. 26).

A temperatura de descarga elevada ocorre,

principalmente, quando se trabalha com um valor elevado de superaquecimento do vapor superaquecido na seção de sucção do

compressor, resultando-se na carbonização do óleo lubrificante e consequente a quebra mecânica do compressor (BASSETTO, 2007, p. 27).

Os problemas elétricos, normalmente, podem ser,

de origem exclusivamente elétrica que podem gerar falhas, com falta de fase da rede, sobre tensão, ou problemas elétricos causados por danos mecânicos, como travamento, rompimento do enrolamento do motor por choque com restos de outros danos (BASSETTO, 2007, p. 27).

Um boletim técnico divulgado por Sporlan (2006), que tratou dos efeitos contaminantes do sistema de refrigeração e como afetam o elemento de expansão, afirmou que embora tenha sido um trabalho diretamente ligado aos compressores revelou importantes aspectos sobre a contaminação dos sistemas de refrigeração, permitindo ser utilizado para investigar as falhas para as quais este estudo se dedica. O estudo de Sporlan revelou que a contaminação pode ocorrer durante a fase de instalação, manutenção e devido condições operacionais inadequadas.

2.2.2 Taxa de falhas

Por definição, a falha ocorre por dois importantes motivos, sendo eles,

- 1) A impossibilidade de um produto em todo o seu conjunto poder realizar a função exigida.
- 2) A impossibilidade de qualquer componente individual poder realizar a função exigida, sem estar afetado o funcionamento do produto no conjunto (TORREL e AVELAR, 2004, p. 3).

A taxa de falha, por sua vez é,

frequência com a qual uma engenharia de sistema ou componente falhar, expresso, por exemplo em falhas por hora. É muitas vezes designado pela letra grega λ (lambda) e é importante na Engenharia de Confiabilidade. O índice de falha de um sistema geralmente depende do tempo, com a taxa variando ao longo do ciclo de vida do sistema. (<http://www.answers.com/topic/failure-rate#ixzz21Unnta00>)².

² O MTBF é um parâmetro importante do sistema em sistemas onde a taxa de falha precisa ser gerenciado, em particular para sistemas de segurança. O MTBF aparece com frequência nos de engenharia requisitos de projeto, e governa frequência de manutenção do sistema desejado e inspecções. Nos processos especiais chamados processos de renovação, onde o tempo para se

2.2.3 MTBF

O MTBF (*Mean Time Between Failures*) ou Tempo Médio Entre Falhas é o tempo esperado entre duas falhas sucessivas de um sistema. Portanto, o MTBF é uma métrica de confiabilidade importante para sistemas que podem ser reparados ou recuperados o MTBF afeta tanto a confiabilidade como a disponibilidade. Antes de explicar os métodos de calcular o MTBF, é importante ter uma sólida compreensão destes conceitos. Frequentemente se desconhece ou não se entende bem a diferença entre a confiabilidade e a disponibilidade. Muitas vezes a alta disponibilidade e a alta confiabilidade coexistem, mas os termos não podem ser usados indistintamente.

2.2.4 MTTF

O MTTF (*Mean Time to Failure*), ou ainda MTTF (tempo médio de falha) é o tempo esperado para a falha de um sistema não reparável, ou seja, sistemas podem falhar apenas uma vez. Portanto, para um sistema não-reparáveis o MTTF é equivalente à média da sua distribuição de tempo de falha

2.2.5 Curva da banheira

De acordo com Luciano de Oliveira Almeida (2009, p. 4),

na maioria dos casos as falhas são uma função do tempo. Onde a probabilidade de ocorrência vai diferir entre as etapas do ciclo de vida, seja do equipamento ou de uma operação. A curva que demonstra essa probabilidade de falhas no decorrer do tempo é conhecida como curva da banheira (Figura 6).

recuperar a partir de falha pode ser negligenciada e a probabilidade de falha permanece constante em relação ao tempo, a taxa de falha é simplesmente o inverso multiplicativo da MTBF ($1/\lambda$). Disponível em <http://www.answers.com/topic/failure-rate#ixzz21UpBYr7P>. Acesso em 23 jul 2012.

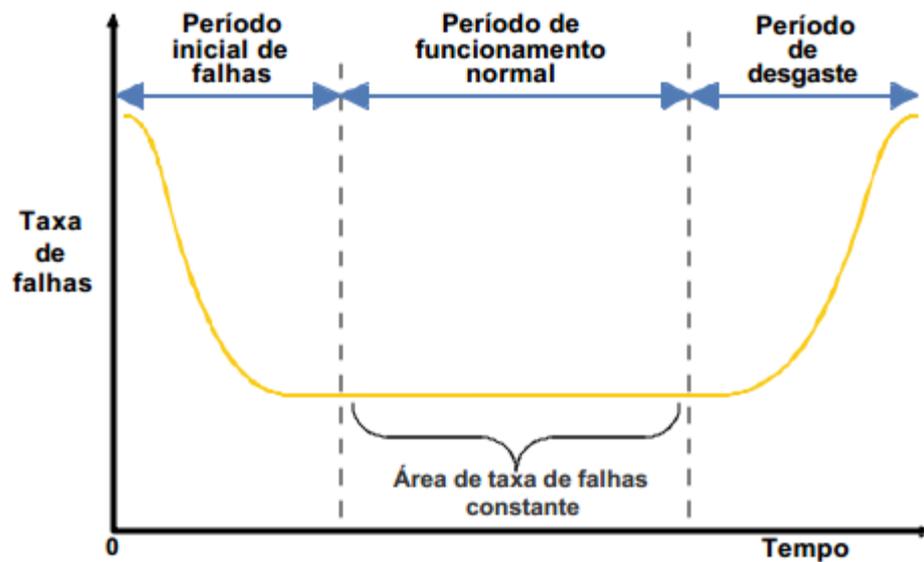


Figura 6– Curva de banheira indicando as taxas de falha
 FONTE: TORREL e AVELAR (2004, p. 8).

2.2.6 Disponibilidade

A “disponibilidade é o grau de funcionalidade e acessibilidade que o sistema ou componente apresenta quando se requer a sua utilização” (IEEE 90 apud TORREL e AVELAR, 2004, p. 5).

O termo “disponibilidade”, também considerado “probabilidade” de determinado sistema dispor-se em desempenhar determinada função que lhe é requerida, em circunstâncias determinadas em um dado momento. No entanto, equipamentos que funcionam sem paradas e sem manutenção a presença de falhas é inevitável, tornando-o indisponível definitivamente ou durante o período de reparo ou manutenção apenas.

2.2.7 Custos das falhas internas

O custo de falhas internas ocorre quando erros operacionais internos são detectados, envolve problemas com peças e materiais refugados ou retrabalhos,

inclui a perda de tempo no processo de produção e ausência de concentração dos agentes envolvidos na solução de erros (SLACK, 2002).

Podem ser identificados erros internos a partir do controle rígido dos fatores de produção e do tempo de desempenho (PESSOA, 2008). A especialização e qualificação tornam-se importantes, na medida que o controle de qualidade, anteriormente voltado somente à questão dos materiais e produtos, passa a envolver a qualificação da mão de obra (SLACK, 2002).

2.2.8 Custos das falhas externas

Os custos por falhas externas ocorrem quando um produto ou serviço defeituoso chega ao consumidor final na entrega do produto no mercado e que este passa a ser consumido pelo cliente (PESSOA, 2008).

Os consumidores são afetados em relação à confiança que depositam no produto/serviço, conseqüentemente, na empresa. Pode ocorrer quando a própria empresa disponibiliza um produto sem características ideais ou prometidas quanto ao aspecto confiabilidade, envolvendo peso, tamanho, desempenho, funcionalidade, durabilidade, entre outros fatores, que conduzem a necessidade de substituí-lo por um que não apresente defeitos, gerando enorme prejuízo à companhia produtora (CROSBY, 1979).

2.3 MANUTENÇÃO

O contexto industrial contemporâneo, segundo Tamagna (2008) exige a máxima disponibilidade dos equipamentos no processo produtivo, um fator crítico de sucesso e concebe a manutenção industrial como uma função estratégica, pela necessidade de trabalhar com prevenção e detecção de falhas antecipadamente. O desenvolvimento de técnicas de análise é um diferencial na manutenção preditiva de equipamentos rotativos.

Estudos apontam a viabilidade técnica e econômica de um modelo otimizado de monitoramento preditivo do motor do compressor a partir da medição combinada (TAMAGNA, 2008). Pois que a detecção de defeitos, em número cada vez menor, possibilita a equipe de manutenção planejar ações preditivas.

2.3.1 Corretiva

De acordo com Kardec (1998c), a manutenção corretiva divide-se em manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada. Na manutenção corretiva não planejada corrige-se uma falha inesperada. Nesse modelo o Técnico atua após a ocorrência de certa falha ou defeito, o reparo ocorre somente após a avaria gerada ou percebida, resultando em parada do equipamento para manutenção em momentos aleatórios e inoportunos.

A intervenção não é preparada e a qualidade do produto pode ser comprometida, resultando em consequências e danos ao equipamento e prejuízos na linha de produção.

A manutenção corretiva realiza-se mediante intervenção e acompanhamento do equipamento, ocorre seguindo onde uma falha está na eminência de acontecer. Na manutenção corretiva programada a empresa pode dispor de uma organização prévia para decidir o momento adequado de parar (IMAI, 2005).

No entanto, a empresa deve dispor de mão de obra necessária, material sobressalente e ferramentas adequadas para realizar a intervenção. Com isso, há casos que por decisão gerencial a manutenção somente ocorre após uma falha identificada (KARDEC, 1998c).

É difícil eliminar completamente este tipo de manutenção, porém, em muitos casos é possível prever o momento em que acontecerá o defeito, evitando a manutenção corretiva de emergência ou manutenção corretiva não planejada.

2.3.2 Preventiva

A manutenção preventiva atua para prevenir, reduzir ou evitar falhas, ou ainda evitar queda no desempenho (rendimento) do equipamento. É gerada por meio de eventos lançados em bancos de dados (Sistema MANTEC), rotas de inspeção ou de lubrificação, dados fornecidos pelo fabricante, estudos estatísticos ou estado do equipamento (IMAI, 2005).

A manutenção preventiva é realizada obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos normalmente definidos pelo tempo (KARDEC, 1998c).

Mirshawka e Olmedo (1994) afirmam que em torno de 85% das empresas não estão satisfeitas na forma como o Programa de Manutenção Preventiva (PMP) encontra-se estabelecido. Nesse caso, a insatisfação com falhas se deve a incompreensão e apoio recebido pela alta administração, ao Programa, requerendo incremento nos projetos, mas que assegurem eficácia duradoura.

A queda na produtividade gera prejuízos incalculáveis à organização e quando não responsabiliza, em longo prazo, pela liquidação do negócio se medidas preventivas não forem adotadas em tempo hábil, que estabeleçam ritmo preventivo e anteceda previsão de riscos, falhas geradas no sistema ou novos processos e métodos de trabalho (VIANA, s/d).

Um equipamento sem revisões periódicas e permanentes pode apresentar falhas pelo desgaste de curva, requerendo troca ou conserto do equipamento de período em período de tempo, sendo que este tempo para montar e desmontar denomina-se “oportunidade”, em que a empresa deve aproveitar para revisar o maquinário (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1994).

A revisão geral em um equipamento proporciona maior confiabilidade e economia. Na atualidade, técnicos desavisados nem sempre consideram o aspecto econômico da manutenção, que resulta em considerável prejuízo à organização por haver queda na produtividade pela quebra do equipamento devido ao desgaste por falta de manutenção (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1994).

O técnico deve conhecer bem os efeitos de todos os tipos de falhas, custos da falha, efeito da manutenção no contexto da confiabilidade e custos de

inspeção. Um enfoque de análise sistemática leva em conta o fator a confiabilidade (MIRSHAWKA e OLMEDO, 1994).

2.3.3 Preditiva

De acordo com Lima & Salles (2009), o conceito de manutenção preditiva está inserido no âmbito da manutenção há aproximadamente oito décadas. Porém, tal como outras modalidades de manutenção, se efetivou como ferramenta de produtividade a partir de 1970, tendo evoluído de lá para cá.

Quando uma máquina trabalha produz vibrações naturais de um corpo em movimento. De acordo com Carlotto (2009, p. 3-4) a “vibração é o movimento alternativo de um corpo ao redor de uma posição de equilíbrio, causado por uma força indesejável”. Esse mesmo autor define que,

[...] o movimento vibratório de uma máquina é o resultado das forças dinâmicas que a excitam. Essa vibração se propaga por todas as partes da máquina, bem como para as estruturas ligadas a ela. [...] uma máquina vibra em várias frequências diferentes. Cada elemento de máquina induz uma excitação própria, gerando uma perturbação específica. Geralmente, esses elementos são rotores, engrenamentos, mancais, etc. [...].

O comportamento dinâmico da máquina compõe-se de perturbações em todos os componentes, defeitos e excitações originam-se dos movimentos realizados pelo equipamento (CARLOTTO, 2009).

De acordo com a NSK (2010, p. 12):

A manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informa o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado.

Embora a manutenção preditiva não seja um programa completo de manutenção, adiciona indispensável contribuição na gestão de manutenção. A proposta da manutenção preditiva é monitorar regularmente as condições mecânicas, eletroeletrônicas, eletropneumáticas, eletro-hidráulicas e elétricas dos equipamentos e instalações, monitorando o rendimento operacional dos processos

mecânicos que o equipamento realiza e respectivas instalações. O monitoramento dos equipamentos tem mostrado resultados que maximizam os intervalos entre reparos por quebras (manutenção corretiva) e reparos programados (manutenção preventiva), maximizando o rendimento no processo produtivo, visto que os equipamentos e instalações poderão permanecer em bom estado por muito mais tempo, disponível às operações, daí o surgimento do termo disponibilidade (LIMA e SALLES, 2009).

De acordo com Tahira (2010);

A manutenção preditiva é um conjunto de atividades que acompanham as variáveis indicativas do desempenho das máquinas. Isso é feito revisando a performance do passado para prever quando um componente específico irá falhar. Ela visa definir a necessidade ou não de intervenção e tem como resultado a maximização dos intervalos entre reparos por quebras (manutenção corretiva) e reparos programados (manutenção preventiva).

O campo de atuação da manutenção preditiva é amplo, em cada equipamento ou instalação é possível encaixar, pelo menos, um tipo de aplicação conhecida e usual, como: análise vibracional, ferrografia, termografia, ultrassonografia e análise de pressões (LIMA e SALLES, 2009).

De acordo com Michalak (2008, p. 1),

para entender com maior facilidade a manutenção preditiva devemos saber sobre os tipos de manutenção existentes [...] são: corretiva, preventiva e preditiva, ainda podem-se aplicar a manutenção sensitiva durante uma inspeção de máquina usando os sentidos humanos para avaliar ou somar alguma informação importante sobre o equipamento, auxiliando assim no diagnóstico.

A manutenção preditiva é uma importante ferramenta de apoio em modernos programas de manutenção, como *Total Productive Maintenance* (TPM), fundamental ao pilar de manutenção planejada (LIMA e SALLES, 2009).

Ainda segundo Michalack (2008),

[...] a manutenção preditiva baseia-se na aquisição de sinais do equipamento que possam permitir uma análise de sua condição. Pode-se ter qualquer valor de desgaste emitido de alguma forma pela máquina, como um valor mensurável para avaliar sua condição. Vibração, temperatura, ruído, análise de óleo e partículas, ultrassom, etc.

Outra importante contribuição advinda da manutenção preditiva se refere às características de produto e processos, que podem ser monitorados por meio de parâmetros específicos de equipamentos ou instalações, vinculados à frequência da manutenção preditiva (LIMA e SALLES, 2009).

Na manutenção preditiva a intervenção é realizada somente quando os parâmetros indicam que deve ser feita e ao serem monitorados sistematicamente definem se há necessidade ou não, de intervenção preditiva (KARDEC, 2002a).

O objetivo da manutenção preditiva é prevenir falhas no equipamento por meio de um sistema que prediz o momento de ocorrência da falha, feita por meio do acompanhamento do equipamento ou peça, sendo realizado monitoramento, medições, coleta, análise e diagnóstico para controle estatístico sobre as reais condições e vida útil do equipamento (KARDEC, 2002a).

A manutenção preditiva permite a operação contínua do equipamento, por maior tempo possível, evitando intervenções desnecessárias (IMAI, 2005). A análise preditiva como recurso analítico proporciona diferencial competitivo e sustentável às empresas fabricantes de compressores.

2.3.4 Pró-ativa

James Flitch (2009, p. 1) entende que,

A manutenção proativa tem recebido atenção mundial como o meio mais importante de alcançar economias inalcançáveis pelas técnicas de manutenção convencionais. A abordagem substitui a filosofia de manutenção de “falha reativa” pela de “falha proativa” evitando as condições subjacentes que levam a falhas e degradação da máquina. Ao contrário da manutenção preditiva/preventiva, a manutenção proativa cria ações conetivas que objetivam as causas da falha-raiz, não apenas sintomas. Seu objeto central é aumentar a vida da máquina mecânica ao invés de:

- (1) fazer reparos quando em geral nada está quebrado;
- (2) aceitar a falha como rotina e normal;
- (3) substituindo a manutenção de falha de crise pela manutenção de falha programada.

2.3.5 Manutenibilidade

De acordo com Denilson Pires da Silva (2012, s/p), a manutenibilidade é uma condição contínua dada a um equipamento para permanecer em condições de operação e que execute suas funções nas condições especificadas.

2.4 CONFIABILIDADE

A tecnologia tem sido acrescida por rápidas e constantes mudanças provocadas pelo desenvolvimento de novos conhecimentos, celeridade na difusão e expansão que, aliada às demandas de produção, produtividade e qualidade, resulta em uma competição de escala global, acarretando em novo paradigma de consumo que exige segurança e elevado índice de confiabilidade ao produto.

Para acompanhar todo o processo organizações contemporâneas, em nível mundial, têm desenvolvido métodos, técnicas e tecnologias de gestão amplamente eficazes a ponto de produzir grande número de itens, em menor tempo, com muito mais qualidade, melhor desempenho de performance, mas mantenha os mesmos padrões de custos.

Nesse novo cenário mercadológico o conceito de confiabilidade foi se remodelado e o mais recente entendimento das organizações está centrado em um modelo de gestão flexível, porém, forte no seu desempenho, que permita produzir, vender e consumir o maior número de itens possível.

A confiabilidade de um produto deve ser vista sob a ótica da satisfação do consumidor, envolve impactos inconscientes do cliente, como percepção de durabilidade, potencial de desempenho, capacidade de resistência e outros fatores que influenciam significativamente na aquisição e retorno deste durante seu uso.

No caso dos sistemas de refrigeração tal fato não é diferente, além de ser um meio altamente competitivo, as organizações não trabalham com produtos substitutos, o mesmo deve preencher requisitos de operacionalidade e desempenho imediatamente, daí porque a literatura registra que paradas inesperadas resultam em enormes perdas e prejuízos para a empresa e retrabalho para o funcionário, pelo

desconforto térmico, sem contar as paradas de produção, especialmente, porque equipamentos eletromecânicos fazem parte da linha de produção, resultando em insegurança para os funcionários e demais usuários.

2.4.1 Histórico

Ao revisar a literatura de Marais et al. (2006), este autor afirma que o primeiro homem a utilizar o termo confiabilidade no mundo foi Samuel T. Coleridge, em 1816, quando escreveu uma carta para um antigo amigo. Nesse documento relata o seguinte: “ele inspira confiança em todos a sua volta, que estão ligados a ele e com perfeita consciência (se tal palavra pode ser usada) com absoluta confiabilidade”.

Passados mais alguns anos, em 1930, quando ainda não era usado o termo confiabilidade na produção ou nos processos operacionais das organizações da época, as primeiras publicações sobre o emprego de ferramentas estatísticas para o incremento da qualidade nos processos produtivos foram creditadas a Walter Shewhart, engenheiro filiado aos Laboratórios Bell, mas na época não foi dada a importância merecida (BASSETTO, 2007).

Algum tempo antes da Primeira Grande Guerra Mundial se exigia qualidade e redução de falhas na produção em massa, de forma que conceitos de qualidade e produção em massa gradativamente foram se estabelecendo no meio produtivo, justamente pelo emprego de uma válvula ou tubo de vácuo, precursor(a) dos equipamentos eletrônicos na época, criado(a) em 1906, por Lee Forest. A partir de então houve a necessidade de mudanças. Durante o período da Primeira Guerra foi observado que os tubos/válvulas falhavam quatro quintos (4/5) a mais, comparadas(os) aos demais equipamentos eletrônicos, motivo que incentivou o desenvolvimento de múltiplos estudos na área, mas que continuaram com o término da Primeira Guerra que assolou o mundo, registrando aí o começo de pesquisas enveredando para confiabilidade (BASSETTO, 2007).

A AGREE, uma Associação do Exército dos Estados Unidos, criada em 1952, em conjunto com fabricantes de equipamentos eletrônicos, publicaram um relatório em 1957, em que especificaram o uso, aplicabilidade e demonstração do

conceito de confiabilidade, passando o termo de simples conceito para um método de emprego eficaz (BASSETTO, 2007).

No início de 1950 tanto no Exército como na Marinha, dos Estados Unidos, estudos se tornaram cada vez mais intensos e profundos para solucionar, de vez, problemas que envolviam a confiabilidade dos tubos/válvulas. Nesse período a Marinha contratara a ARINC (*Aeronautical Radio Inc.*) com o objetivo de analisar a situação de campo de sua equipe e dos materiais pertinentes à organização. Com esse mesmo fim, o Exército contratara a Universidade de Cornell (pdf, s/d).

A Primeira Conferência de Controle de Qualidade e Confiabilidade foi realizada em 1954. Nesse mesmo ano o Jornal IEEE *Transactions on Reliability* passa a ser publicado, apresentando técnicas, cases e projetos para incremento do método “confiabilidade” (BASSETTO, 2007)..

A maior produtora de válvulas/tubos, a *Radio Corporation of America* publica em 1965 um relatório denominado TR-1100 para apresentar modelos analíticos e estimar taxas de falhas de equipamentos. Em 1961 se torna precursor da *Military Standard MH-217* (BASSETTO, 2007).

No decorrer de 1960 esforços foram enveredados para desenvolver sistemas mais complexos, incluindo armamento para a Aeronáutica dos Estados Unidos e para programas espaciais, como Mercury, Apollo e Gemini. No início dessa mesma década a *Federal Aviation Administration* foi criada, um grupo cuja finalidade foi estudar o desenvolvimento de programas de confiabilidade, destinados à indústria aeronáutica (PINTO e XAVIER, 2005). Desse encontro concluíram novas orientações para procedimentos que envolviam confiabilidade,

se um item não possui um modo de falha predominante e característica de falham revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade; Para muitos itens a prática da manutenção preditiva não é eficaz (BASSETTO, 2007, p. 31).

Mediante as hipóteses levantadas pelo grupo de estudos o resultado foi que ao final dessa mesma década válvulas/tubos foram gradativamente substituídos(as) pelo transistor, um componente pertencente à classe de eletrônicos, que na época deu certo e atualmente seu projeto evoluiu significativamente (BASSETTO, 2007).

Em período mais recente (1970), estudos relacionados à confiabilidade procuram abordar a segurança dos sistemas que apresentavam risco elevado, como e *softwares* (confiabilidade), usinas nucleares ou contratos de garantia de produtos experimentados no sistema de compras do governo americano (BASSETO, 2007).

Análise de risco e segurança – a análise de confiabilidade é essencial em estudos de risco e segurança. A parte causal de uma análise de risco, por exemplo, é normalmente, realizada usando técnicas de confiabilidade como a análise de modos e efeitos de falhas (FMEA – *failure mode and effects analysis*) e a análise da árvore de falhas;

Proteção ambiental – estudos de confiabilidade podem ser usados na melhoria do projeto e regularidade operacional de sistemas antipoluentes, como sistemas de limpeza de dejetos líquidos e de emissões gasosas.

Qualidade – a crescente adoção das normas ISO-9000 por empresas fez com que técnicas de gestão e garantia da qualidade crescessem em importância. Os conceitos de qualidade e confiabilidade estão intimamente conectados. A confiabilidade pode ser considerada em diversas situações, como uma característica de qualidade a ser considerada no projeto e otimização de produtos e processos, talvez, a mais importante [...];

Otimização da manutenção – a manutenção é realizada em sistemas com o objetivo de prevenir falhas ou de restaurar o sistema a seu estado operante, no caso de ocorrência de uma falha. O objetivo principal da manutenção é [...] manter e melhorar a confiabilidade e regularidade de operação do sistema produtivo. [...] - (pdf, s/d, p. 4);

Projeto de produtos – a confiabilidade é considerada uma das mais importantes características de qualidade em produtos técnicos. A garantia da confiabilidade deve [...] ser um dos mais importantes aspectos a serem considerados na Engenharia de Desenvolvimento de Produtos. [...] - (pdf, s/d, p. 3-4).

Os conceitos e definições sobre confiabilidade têm sido aplicados por aproximadamente 50 anos, mas adquiriram significados tecnológicos depois da Primeira Guerra Mundial ao serem utilizados em estudos comparativos de aviões mono e bimotor, especialmente, pois nesse período os acidentes com aeronaves eram medidos por hora de voo (pdf, s/d).

Atualmente, os conceitos que envolvem confiabilidade são utilizados para medir continuidade, confiança, durabilidade, segurança, prontidão de operacionalidade, isenção de falhas e produtividade.

2.4.2 Conceito

Existem conceitos que embora antigos seu emprego ainda é prevalente em estudos contemporâneos, como neste trabalho, que trata de analisar comparativamente falhas existentes em compressores herméticos e semi-herméticos e respectiva confiabilidade no desempenho.

De acordo com a *European Organization for Quality Control* (1965), o termo confiabilidade representa a “medida de capacidade de um produto funcionar corretamente, por um período determinado, em ambientes definidos, é avaliada como uma probabilidade” (CARTER, 1986).

Para a definição anterior a *Military Handbook* (1970) defende que: “a probabilidade [refere-se à capacidade] que um item [apresenta quando] irá executar sua função sobre determinadas condições e durante um determinado período de tempo” (CARTER, 1986).

A *UK Ministry of Defense* (1979) entende por confiabilidade,

[...] a aptidão de um item em executar, ou ser capaz de executar, uma determinada função sobre determinadas condições sem falhar, por um período de tempo estabelecido ou de operação, é também expressa como uma probabilidade (apud CARTER, 1986).

As diversas Engenharias necessitam de definição quantitativa para confiabilidade em relação à probabilidade. Nesse ponto, indica-se que o termo confiabilidade está associado a uma operação bem sucedida, relacionada a um produto, sistema, tarefa, objeto, equipamento, material ou sujeito, mediante ausência completa ou mínima de falhas/quebras, durante certo período de tempo para o qual foi designado. Sendo assim, “a confiabilidade de um item corresponde à probabilidade de desempenhar adequadamente seu propósito especificado, por determinado período de tempo e sob as condições ambientais pré-determinadas” (pdf, s/d).

O termo confiabilidade pode ser definido como uma probabilidade, vindo ao encontro do conceito fornecido anteriormente pela *European Organization for Quality Control* (1965) apud CARTER (1986). A probabilidade pode ser amplamente quantificada com a aplicação de ferramentas estatísticas.

Conforme já mencionado, na literatura, confiabilidade pode ser definida como uma probabilidade, porém, confiabilidades devem apresentar valores entre 0-1 e permitir que nomenclaturas clássicas de probabilidade possam ser aplicadas em cálculos que envolvam confiabilidade.

2.4.3 Funções de confiabilidade e falha

A probabilidade integra a confiabilidade. Na relação entre confiabilidade e falha Carter (1986) destaca que: “um desempenho especificado se é esperado; mas apenas em determinadas condições de uso; durante um período de tempo determinado”, porém, nesse período a confiabilidade é expressa representando uma probabilidade dentro do contexto.

Compreender o supraexposto favorece o tratamento de dados, pois cada um individualmente envolve enorme variedade de interpretações e para obter uma estimativa da proporção global de itens que apresentam falhas deve ser utilizada a fórmula de distribuição acumulada $F(t)$, onde $F(t) = 1 - R(T)$, do primeiro ao último item. Neste padrão $R(t)$ representa a função provável acumulada sobre a ocorrência de sobreviventes, equipamentos que não falharam e probabilidade de êxito ou confiabilidade.

2.5 ANÁLISE SOBRE CONFIABILIDADE DE COMPRESSORES DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Estudos que se voltam em analisar a confiabilidade de equipamentos eletromecânicos oriundos de indústria de refrigeração, até o presente momento, ainda não são muitos, em face da enorme complexidade na obtenção de fonte dados que, além de disponível, deve ser confiável, bem como separar e organizar tais dados. Para exemplificar tal fato, convém ressaltar que o modelo de trabalho proposto, de análise de compressores herméticos e semi-herméticos de sistemas de refrigeração não foi encontrado, de forma semelhante, em nenhum outro estudo,

sendo, desta forma, uma inovação em termos de pesquisa acadêmico-científica. Estudos de natureza simplificada foram encontrados obviamente, porém, complexos, somente de equipamentos de outras finalidades, reafirmando a necessidade de se desenvolver este trabalho.

A literatura nacional e internacional registra inúmeros trabalhos que abordam a confiabilidade de equipamentos eletrônicos e mecânicos. Nelson et al. (1989) apud BIASSETTO (2007, p. 17) relata que esses tipos de equipamentos são: “extremamente complicados e difíceis de serem modelados segundo este conceito, por isso, possui-se pouca informação disponível e organizada para a metodologia de análise”.

Atualmente, os sistemas de refrigeração ainda não dispõem de um aporte de ferramentas eficazes para examinar a questão “confiabilidade” em equipamentos eletromecânicos, praticamente inexitem estudos desenvolvidos nesta área, porém alguns, embora raros, abrangem o tema e são muito expressivos na literatura pertinente.

O tema da proposta deste estudo, que procura avaliar as principais ocorrências e reportar a existência de falhas em equipamentos de refrigeração, com ênfase em compressores (herméticos e semi-herméticos), pode ser encontrado no trabalho de pesquisadores como Nelson et al. (1989).

O estudo desses pesquisadores inclui uma metodologia que auxilia desenvolvimentistas de projetos eletromecânicos, por meio da utilização de ferramentas de confiabilidade. Inicialmente, a composição metodológica do trabalho de Nelson et al. (1998) introduz uma definição sobre o equipamento, divide e subdivide as classes funcionais, com aprofundamento detalhado dos equipamentos submetidos à análise e método utilizado.

O passo seguinte da metodologia de Nelson et al. (1989) relaciona a ferramenta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) – análise dos modos, causas e efeitos da falha, empregada para melhorar a criação do produto, uma abordagem simplificada de causa e efeito que permite definir mecanismos primários e secundários de falha. Na sequência, o trabalho aborda uma literatura que contempla dados sobre falhas e recomenda que o agente acesse determinada base de dados para ser aplicada a análise da fonte em questão. Para quem pretender estudar esse tipo de equipamento os autores sugerem o uso de um banco de dados de propriedade de uma empresa da área, incluindo dados sobre garantia do

equipamento. Tais procedimentos favorecer maior confiabilidade nas variáveis que o investigador pretende analisar. No entanto, devem ser considerados os graus de dificuldades na definição de falhas, podendo ocorrer de forma bastante semelhante e simultaneamente, entre equipamentos submetidos à análise.

Ressalta-se que estudo que trata do FMEA completo, para análise de falhas, para fins de manutenção também não foi encontrado, apenas trabalhos que tratam da confiabilidade, que abordam falhas, causas, efeitos e modos. No entanto, estudos em que utilizam o Diagrama de Pareto foram encontrados mais facilmente, porém, não para análise de compressores semi-herméticos ou herméticos e isso confirma a veemente necessidade de se elaborar este trabalho, sobre análise de confiabilidade dos compressores eletromecânicos (BAZZETTO, 2007).

O próximo passo descreve a aplicação dos dados, representada por expressão desenvolvida justamente para esta finalidade, encontrada em outro estudo desenvolvido por Nelson et al. (1988), para análise de equipamentos mecânicos, porém, equacionada mediante a utilização de um banco de dados que utiliza o método de regressão linear para obter o grau de confiabilidade em termos quantitativos.

O estudo de Nelson foi desenvolvido para demonstrar a ferramenta FMEA, justificando a inexistência de todos os passos, aborda poucos problemas para simplificar a análise, considerando um grande número de tipos diferentes de compressores, incluindo o alternativo.

Normalmente, a análise que envolve aplicações de confiabilidade em refrigeração pode ser encontrada em trabalhos com diversidade desse tipo específico de equipamento. No entanto, de acordo com Biassetto (2007), estudos relacionados à confiabilidade, que abordem diferentes distribuições estatísticas praticamente inexistem, tendo sido encontrado apenas um trabalho, e nos estudos analisados, tanto tratamento como o posterior análise utilizaram a regressão linear, que serviu como parâmetro na seleção e distribuição adequada.

Um importante estudo desenvolvido por Yan-Qoao et al. (1996), denominado *Statistical analysis of reliability of container refrigeration units*, publicado no *Jornal Internacional de Refrigeração*, europeu, também em 1996, abordou a análise da confiabilidade de contêineres frigoríficos de diversos modelos, reunindo observações de um período mínimo de quatro anos, que no final, a totalidade de

itens extrapolou o pretense relatório e assegurou maior confiabilidade nos resultados finais.

O trabalho permitiu aos pesquisadores observarem atentamente, em detalhe, os diversos comportamentos dos equipamentos de refrigeração frigorífica, registrados em relatórios e planilhas, informação esta que recebeu posterior tratamento de dados por parâmetros estatísticos e distribuição de Weibull, para compreender o comportamento dos compressores utilizados nos frigoríficos dos contêineres. No estudo e análise dos fabricantes o autor denominou “fabricante A, B, C e D”, visando identificar adequadamente, no momento da análise e tratamento de dados.

Nutter et al. (2002) também desenvolveram uma pesquisa para analisar carretas frigoríficas, partindo de dados de empresas que trabalhavam com a manutenção de equipamentos de refrigeração, porém, aplicaram testes censurados, um tipo de teste que não necessariamente deve incluir apenas equipamentos que tenham falhado em algum momento, cujo método permitiu incluir um grande número de itens para análise, porém, com pretensão diferente.

Os supermercados, no dia a dia operacional e de armazenagem, além das câmaras frigoríficas utilizam balcões frigoríficos que segundo a ETP (2007, p. 113), conceitualmente, em âmbito de supermercados, o binômio vem a ser,

equipamentos projetados para expor produtos alimentícios perecíveis, mantendo-os, por um período de tempo específico, as qualidades necessárias para consumo. A temperatura de conservação, neste caso, é determinada de acordo com o tipo de produto. Geralmente, produtos em exposição nos balcões são denominados pré-congelados ou pré-resfriados [...] os balcões somente irão manter as temperaturas estabelecidas dos produtos que já foram congelados ou resfriados. De modo que o processo de resfriamento e congelamento não é de responsabilidade dos balcões, mas daqueles equipamentos apropriados para tal aplicação que, com capacidade frigorífica necessária, em curto período de tempo ira fazer o congelamento ou resfriamento do produto, equipamentos esse que denominados de túneis ou câmaras de congelamento ou resfriamento.

Os trabalhos de Yan-Qiao et al. (1996) e Nutter et al. (2002) são amplos e servem para pesquisadores dedicados a estudos que se voltam à confiabilidade de equipamentos de refrigeração. A literatura sugere que pesquisadores com tendência a esse tipo de análise devem consultar tais trabalhos, pois ambos partem de banco de dados de indústrias que fabricam e comercializam esses equipamentos e estão espalhados em empresas ao redor do mundo.

Por outro lado, o trabalho de Amoako-Gyampah et al. (1999) apud BASSETTO (2007) procurou avaliar o tempo de ocorrência de falhas e as condições operacionais de funcionamento dos equipamentos, assumindo como hipótese que operassem com 80% da capacidade do tempo operacional máximo possível, porém, fundamentado em dados cujas informações não estavam bem definidas, incluindo tempo de operação, ações de manutenção, entre outros valores. Na coleta de dados o autor assume a distribuição de Weibull por considerar como o método mais adequado, seguindo o mesmo utilizado por Yan-Qiao et al. (1996), aplicado para estudo de equipamentos mecânicos. Para complementar a pesquisa os autores fizeram distribuição logonormal usando testes anteriormente à adequação dos dados, feito na abordagem de múltiplas de falhas e respectivos efeitos e tempo de reparo dos equipamentos estudados.

Embora a literatura contemporânea disponha de poucos estudos correspondentes à análise de equipamentos eletromecânicos, Metwalli et al. (1998) e Adelmir et al. (1994) também abordam a análise de distribuição de Weibull para modelar a manutenção de equipamentos e grau de confiabilidade de tubulações de plantas nucleares, servindo como fonte de pesquisa para trabalhos relacionados, tal como se refere esta monografia, com ênfase para equipamentos eletroeletrônicos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são mostrados os métodos, identificado o objeto de estudo, o número amostral e os motivos que desencadearam a necessidade de se obter indicadores de falha, disponibilidade e confiabilidade dos compressores herméticos e semi-herméticos e sua relação com a aderência do tema ao Curso de Especialização em Engenharia de Confiabilidade.

3.1 MÉTODO

A metodologia desta pesquisa está classificada como quantitativa-exploratória e de análise das causas fundamentais para a obtenção dos índices de falha e confiabilidade dos compressores.

A pesquisa quantitativa considerou elementos quantificáveis, traduzindo em números informações oriundas de dados históricos registrados, classificou e analisou dados coletados presentes em relatórios de organizações para a mensuração de dados, requerendo a utilização de recursos e técnicas estatísticas para mensurar dados, incluindo o *software* Weibull++ da ReliaSoft.

A pesquisa explicativa auxiliou na identificação de fatores determinantes que contribuíram para a ocorrência dos fenômenos e conhecimento sobre a realidade em busca de se explicar a razão de sua ocorrência, com base no registro de relatórios que assumiu caráter científico (YIN, 2005).

A análise das causas fundamentais das falhas foi utilizada para obter parâmetros sobre índices de confiabilidade dos compressores, obtidos nos registros históricos dos clientes da empresa ETP Processos Tecnológicos, que tratavam das falhas, troca dos compressores, principais tipos de falhas que justificaram sua troca e índices de confiabilidade dos equipamentos, mensurando estatisticamente se diante do problema que foi apresentado pelo compressor o cliente optou por novo equipamento e quais outras condições que justificaram a troca, um modelo de registro histórico do período remanescente empregado de controle realizado pela empresa que cedeu os dados para a análise (TERBECK PINTO, 2004).

No método de análise de causas fundamentais a razão básica para investigar o registro de ocorrências de falha é os índices de confiabilidade dos equipamentos, resultados que visam auxiliar aos supermercados, indústrias e pesquisadores na criação ou proposta de ações corretivas, adequadas e eficientes para prevenir a recorrência (TERBECK PINTO, 2004).

O processo de análise das causas fundamentais buscou apoio no cumprimento de cinco etapas importantes, incluindo coleta de dados, avaliação, detalhamento de ações de contenção, documentação, aplicação prática das ações, acompanhamento e correção de desvios (TERBECK PINTO, 2004).

Inicialmente, este trabalho abordou os sistemas de refrigeração com ênfase ao estudo dos compressores herméticos e semi-herméticos voltando-se às falhas, principais falhas, taxas de falhas, MTTF (*“Mean Time To Fail”*, como no caso dos compressores herméticos), MTBF (*“Mean Time Between Fail”*), curva da banheira, tipos de manutenção, disponibilidade, incluindo manutenção corretiva, preventiva, preditiva, pró-ativa e manutenibilidade. Na continuidade, procurou-se compreender o tempo operacional de um sistema de refrigeração em pleno funcionamento, entender conceitos de confiabilidade e sua relação com a falha que pode ocorrer em compressores herméticos e semi-herméticos.

Foram consultadas literaturas técnicas, incluindo apostilas de censos de refrigeração, apostila de mecânico de refrigeração da ETP Processos Tecnológicos, manuais de termodinâmica e compressores Bitzer, livros de referência comercial, dados obtidos por meio da ETP Processos Tecnológicos para análise estatística com a utilização do *software* Weibull.

O trabalho utilizou embasamento teórico com abordagem dos princípios da termo-fluído-dinâmica, disponíveis em acervos que tratam da refrigeração industrial e comercial, conceitos inerentes a Engenharia da Confiabilidade, vasta literatura encontrada nas disciplinas de Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção.

Para subsidiar a pesquisa de investigação dos índices de confiabilidade dos compressores da marca Eletrofrío, em paralelo, foram coletadas particularidades de marcas como: Tecumseh, Embraco, Bitzer e Copeland.

Neste trabalho foram usadas pesquisas de marcas disponíveis em sites, revistas e entrevistas com técnicos por meio de questionário na forma de entrevistas, para identificar o tempo de manutenção dos compressores abertos e

semi-herméticos, comparando os resultados com o tempo de reposição dos compressores herméticos. Em conjunto com os dados fornecidos pela empresa ETP Processos Tecnológicos foi coletado o histórico de falhas dos compressores, subsidiando as análises com a ajuda dos *softwares Weibull++*. O correto gerenciamento dos recursos e dados coletados em uma das fases foi fundamental ao sucesso da análise e pós-gerenciamento.

De posse da totalidade de dados sobre os compressores em questão, oriundos da literatura, de manuais de compressores produzidos por empresas nacionais e do exterior, de entrevistas e questionários desenvolveu-se um estudo sobre o ciclo de vida dos equipamentos.

O trabalho de coleta teve início em março de 2012, perpassando pelas fases de arquivamento dos dados, discussão e entrevista com o proprietário da empresa, instalação e manuseio do Programa Weibull, discussão final de seleção dos itens a serem pesquisados e checagem dos resultados encontrados, com a fase de conclusão final em julho de 2012.

3.2 MÉTODO ESTATÍSTICO

Segundo Portnoi (2010), probabilidade “é o número que indica a chance (possibilidade) de determinada situação acontecer”. Para o cálculo das probabilidades de falha nos compressores herméticos e semi-herméticos utilizou-se o *Software Weibull* para testar o nível de confiabilidade dos sistemas de refrigeração destinados ao uso em supermercados, pelo método comparativo, entre os dois tipos.

O sistema de distribuição estatística do *Software Weibull*, “é um modelo matemático que relaciona valores da variável em estudo e a probabilidade de ocorrência, permite realizar análise da confiabilidade em sistemas, avaliar o modo de falha por componente ou por equipamento” (SILVA et al., 2010, p. 3).

O estudo de confiabilidade de um produto é fundamental na área de Engenharia, bem como em outras áreas do conhecimento, é um método que procura otimizar a confiabilidade no desempenho de determinado produto, por meio da utilização de redundâncias (SILVA et al., 2010).

3.3 OBJETO DE PESQUISA E AMOSTRA

Este trabalho dedicou-se em analisar os compressores que integram o motor dos sistemas de refrigeração, utilizando uma amostra de 2.402 compressores, que se dividiu em 1.201 compressores herméticos e 1.201 compressores semi-herméticos, entre os anos 2004-2012, devidamente registrados e arquivados nos arquivos eletrônicos da empresa Eletrofrío.

3.4 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

O desenvolvimento deste estudo, seleção do objeto (compressores herméticos e semi-herméticos), amostra e procedimentos de coleta motivou-se nas demandas dos supermercados, em possuírem sistemas de refrigeração com maior confiabilidade possível, frente aos tipos de produtos que comercializam (perecíveis).

Atualmente, enorme gama de produtos é fabricado e disponibilizado para comercialização em redes de supermercados, qualquer falha que ocorra no sistema de refrigeração representa enorme prejuízo para a empresa, sem contar o retrabalho executado pela equipe do operacional, gerando transtornos incalculáveis a todos os envolvidos.

Para Luiz Hamilton Peplow, engenheiro, hoje, um supermercado de porte médio como a Casa Fiesta dispõe de três compressores de resfriamento (semi-herméticos) e dois para armazenar congelados, capacidade que permite conservar mais de 20 toneladas de carne (20.000 quilos), representando um patrimônio superior a R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais). Um erro mínimo que ocorra em um dos compressores, durante uma noite apenas ou em um único final de semana, quando normalmente a equipe de trabalho está ausente, resulta em enorme perda financeira ao proprietário.

No período de desenvolvimento deste trabalho, mediante pesquisa realizada para mensurar valores e auferir possíveis prejuízos ao proprietário de supermercados, o preço médio da carne foi cotado em R\$ 20,00 (vinte reais), por quilo do produto. Neste caso em específico, uma falha em um dos compressores

utilizados no sistema de refrigeração é amplamente significativa, com enormes consequências que se não forem administradas em tempo hábil, pode conduzir à empresa ao fechamento das portas, em curto lapso de tempo.

Diante da importância e significado que o compressor representa para uma organização que atua no setor de supermercados, por trabalhar com produtos perecíveis, como carnes, iogurtes, queijos, presunto, mortadela, manteiga, leite, sucos, frutas, verduras, legumes e seus derivados, que exigem refrigeração permanente em grau segundo especificações do produto, estudos devem ser desenvolvidos por pesquisadores para que se identifique a real importância desse equipamento em termos de confiabilidade para atender as demandas do negócio.

Estudos que mensuram dados envolvendo falhas, possíveis falhas e motivos geradores destas, em compressores que integram o motor dos sistemas de refrigeração, auxiliam o fabricante na correção do projeto de produto, normatizar procedimentos de instalação e manutenção quando em funcionamento o equipamento.

O relacionamento de contato que permitiu a conceção dos dados para a obtenção dos indicadores deveu-se ao vínculo profissional entre a ETP Processos Tecnológicos e a Eletrofrio, resultando na possibilidade de se analisar os tipos de falhas ocorridas nos compressores com base nos registros históricos disponibilizados pela empresa.

Inicialmente, houve prévio contato para a concessão dos registros, seguido de visitas esporádicas e aleatórias no sentido de obter os registros das principais ocorrências de falhas e trocas dos compressores quando o motivo justificasse possível troca, reparo ou devolução do produto.

3.5 ADERÊNCIA AO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

A aderência do tema deste trabalho com o curso de Engenharia de Confiabilidade, que foi construído para servir como requisito de aprovação, situa-se justamente na necessidade das diversas Engenharias, paralelamente com os cursos de Engenharia de Produto, Engenharia Eletrônica, Engenharia Mecânica, entre

outras engenharias estar presente, visando o desenvolvimento, mais correto possível, no desempenho funcional quando instalado em supermercados.

Segundo Evaldo Kather (2009, p. 22),

O uso de técnicas de Engenharia da Confiabilidade fornece ferramentas teóricas e práticas que permitam especificar, projetar, testar e demonstrar a probabilidade e a capacidade, segundo a qual, componentes, produtos e sistemas desempenharão suas funções, por períodos determinados de tempo, em ambientes específicos e sem apresentar falhas.

Acrescenta ainda o autor que frente ao elevado custo dos modernos sistemas industriais, sejam refrigerantes ou não, a confiabilidade enquanto parâmetro de eficiência para mensurar falhas, segundo Lafraia (2001) apud KATHER (2009, p. 22), dentre os benefícios estão,

- Redução de paradas não programadas;
- Menores custos de manutenção/operação;
- Redução das possibilidades de acidentes.

Dentro destas Engenharias existem disciplinas de Estatística e Probabilística que trabalham com mensurações de dados, cálculos aleatórios, além de fornecer a análise de falhas, possíveis causas de sua ocorrência, taxas de falhas, frequência de ocorrência e mensuração do nível de confiabilidade do equipamento, com identificação das necessidades ou não, manutenção, reparo ou troca do equipamento, minimizando assim o efeito de paradas inesperadas, com consequentes prejuízos financeiros no setor operacional.

De acordo com Carter (1986), confiabilidade representa uma medida de capacidade de um produto, neste trabalho representado pelo compressor, funcionar corretamente, por um período determinado de tempo, em um ambiente definido, sendo a confiabilidade avaliada como uma probabilidade.

Nesse mesmo sentido, a *Military Handbook* (1970) entende que probabilidade se refere à capacidade que o compressor desempenha quando em funcionamento em determinadas condições, durante determinado período de tempo (apud CARTER, 1986).

A aderência do sujeito de estudo (compressor) e do objeto (falhas) ao curso de Engenharia de Confiabilidade é reafirmada mediante o entendimento da UK *Ministry of Defense* (1979), que alude à confiabilidade como sendo a aptidão de um

item executar, em ser capaz de executar determinada função sobre determinadas condições sem falhar, por um tempo estabelecido ou de operação, é expresso como uma probabilidade (apud CARTER, 1986).

4 ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises que versam sobre os índices de confiabilidade dos compressores do tipo hermético e semi-hermético, servindo como fonte de consulta nos processos decisórios para supermercados, para a seleção, aquisição e instalação funcional, com mensuração das métricas de disponibilidade almejadas para o sistema.

Os dados foram obtidos por intermédio e com a assessoria da ETP Processos Tecnológicos Ltda, que solicitou autorização, em favor do pesquisador, para a concessão de dados e permissão para divulgação dos resultados finais, na íntegra (Anexo I). O relato completo dos itens analisados consta na Tabela 1 e Tabela 2, conforme Anexo II.

Durante a análise foram selecionadas as falhas de 1.201 compressores herméticos e 1201 semi-herméticos, que totalizaram 2402 unidades e a capacidade usada para as comparações, que foi de 10HP para congelados à temperatura de evaporação de -30 graus Celsius e para resfriados à uma temperatura de evaporação de -10 graus Celsius.

Os dados obtidos se referem à primeira falha em um dado espaço de tempo. É importante frisar que o compressor hermético não permite manutenção quando apresenta eventual falha, ao passo que o semi-hermético permite reparo.

Para a análise das 1.201 amostras de compressores herméticos foram colocados em ordem crescente por de “tempo de falha”, quando ainda dispostos no Programa Excel e transferidos deste para a Planilha Padrão Weibull, do *software* Weibull ++ versão 8, da ReliaSoft, proprietária do *software*, com reserva exclusiva de direitos autorais. Posteriormente, foram analisados 1201 amostras de compressores semi-herméticos, procedendo-se da mesma forma como mencionado.

Além do estudo de análise desenvolvido manteve-se contato com o proprietário da empresa SuperÚtil Refrigeração, o empresário Mauro Calegari no sentido de informar-se sobre os preços de mercado dos compressores. Da entrevista realizada, como resultado obteve-se que o valor aproximado de um compressor hermético, de 10 HP é de R\$ 3.500,00 (três mil e quinhentos reais) e semi-hermético, também de 10 HP, R\$ 4.000,00 (quatro mil reais), sendo o tempo de garantia para ambos de doze meses.

Nessa mesma entrevista, observou-se que o preço de todos os itens de manutenção do compressor semi-hermético, no total, estima-se que custe R\$ 2.900,00. Para o compressor, o que custa mais é a carcaça, justificando menores custos com manutenção. O item mais usado durante a manutenção do compressor, caso exija troca, é o conjunto de placa de válvula completa, cotada pelo engenheiro em R\$ 400,00 (quatrocentos reais). Segundo a literatura o compressor hermético – do tipo *scroll* possui poucas peças móveis.

Conforme a Tabela 3 que se encontra disposta ao final deste capítulo, os compressores herméticos apresentam menores custos, ainda assim, nenhum falhou em um período de doze meses de uso (Anexo II), tornando difícil mencionar qual tipo de compressor seria a melhor opção para o cliente, requerendo a utilização de recursos presentes na Engenharia da Confiabilidade para responder ao questionamento, por serem mais sofisticados.

No Brasil, o setor de refrigeração comercial cresce assustadoramente, porém, ainda apresenta dificuldades na tomada de decisão das empresas, especialmente, os supermercados, por ser complexo do desembolso.

Na amostra de 1.201 verificou-se que peças para compressor hermético são de menores custos, contracenando com um desembolso mínimo em relação ao semi-hermético que seria 30 vezes R\$ 400,00 (trinta vezes quatrocentos reais) somente a placa de válvula, com um custo de R\$ 400,00 (quatrocentos reais) a mão de obra (SUPERÚTIL, 2012). No caso do semi-hermético, faz com que haja desembolso mínimo de R\$ 24.000,00 por parte do fabricante. Atualmente, o *software* Weibull ++ permite mensurar uma situação comparativa entre os dois tipos e auferir uma valoração que serve na tomada de decisão.

Sequencialmente, a partir deste ponto apresentam-se primeiro os resultados das análises dos compressores herméticos e, posteriormente, os resultados das análises dos compressores semi-herméticos. **Ressalta-se ainda que os compressores herméticos e semi-herméticos trabalham em regime 24 horas ininterruptos.**

4.1 COMPRESSORES HERMÉTICOS

Inicialmente, foram colocadas 1.201 amostras dos compressores herméticos em ordem crescente de tempo de falha no Programa Excel, conforme Figura 7, transferidos do Excel para a Planilha Padrão do *software* Weibull ++ versão 8 da ReliaSoft.

B1 Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração		Subconjunto ID 1
	Tempo Falha (h)	
1	8640	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
2	8640	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
3	8640	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
4	9360	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
5	10080	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
6	10080	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
7	10800	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
8	10800	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
9	10800	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
10	10800	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
11	12240	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
12	12240	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
13	12240	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
14	12240	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
15	13680	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
16	14400	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
17	15120	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
18	16560	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
19	16560	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
20	18000	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
21	18000	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
22	20160	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
23	20160	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
24	20160	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
25	20880	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração
26	20880	Compressor Tipo Hermético Scroll para Refrigeração

Figura 7– Planilha Padrão do *software*

FONTE: Utilização do *Software* Weibull, desenvolvido pelo autor (2012).

Posteriormente à inserção das amostras dos compressores herméticos foi solicitado ao *software* a execução de um teste de aderência para ver qual é o tipo de função matemática mais se adequaria aos acontecimentos que se seguiram. O *software* possui funções que segundo a ordem constam as seguintes: Exponencial 1P, Exponencial 2P, Normal, Lognormal, Weibull 2P e Weibull 2P, Gama, Gama G, Logística, Loglogística e Gumbel (Figura 8).

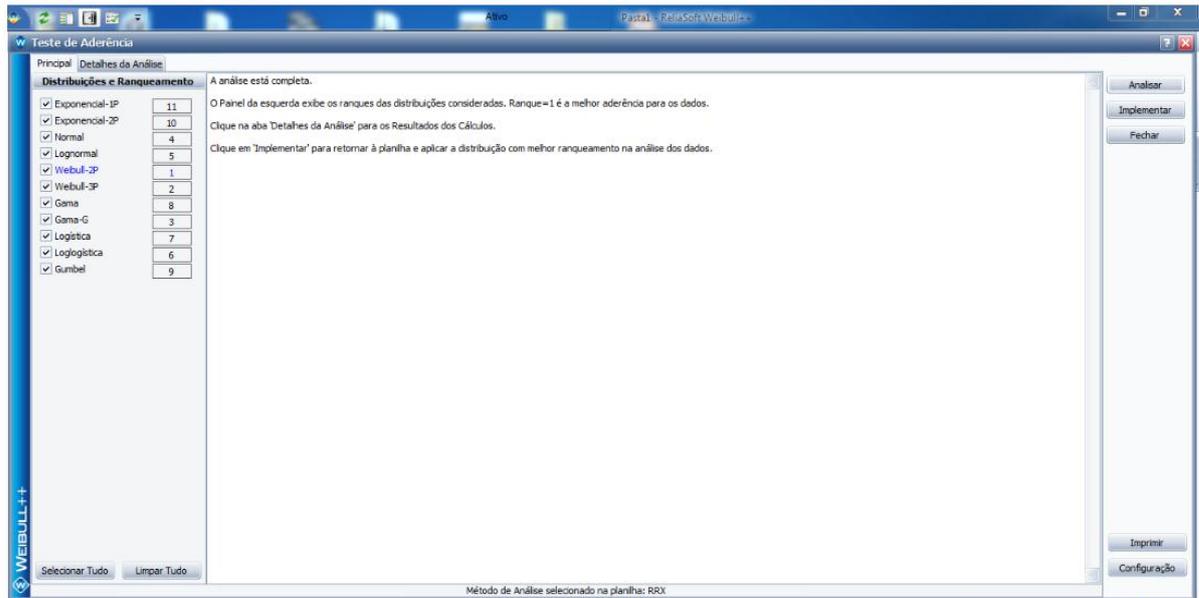


Figura 8 – Teste de aderência - compressores herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

Após a fase de teste de aderência existe uma etapa de implementação da função matemática requerida como sendo a mais adequada. O Gráfico 1 demonstra a probabilidade de falha pelo tempo, pode-se observar que a partir de 21.549 horas a taxa de falhas cresce em ritmo maior.

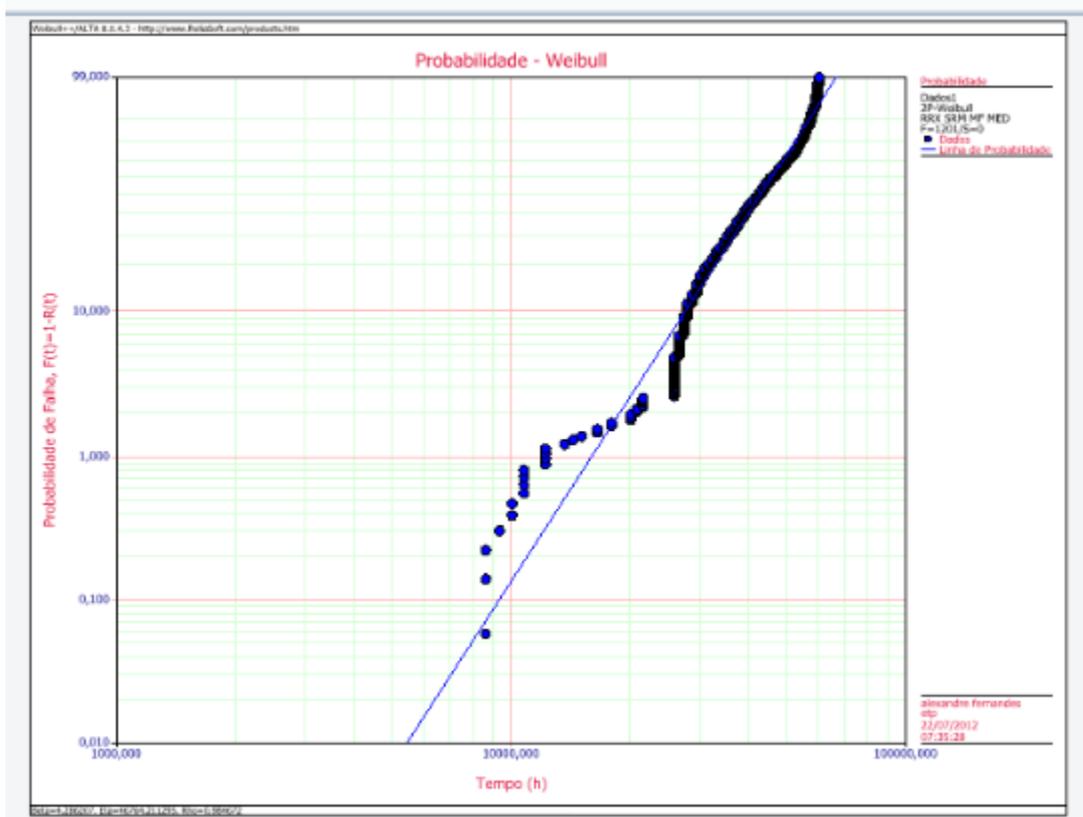


Gráfico 1– Probabilidade de falha pelo tempo – compressores herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 2 mostra a taxa de falhas com os limites de confiança bilaterais de 90%, Parâmetro de Forma (Beta = 4,2862) e Parâmetro de Escala (Eta = 46764 horas).

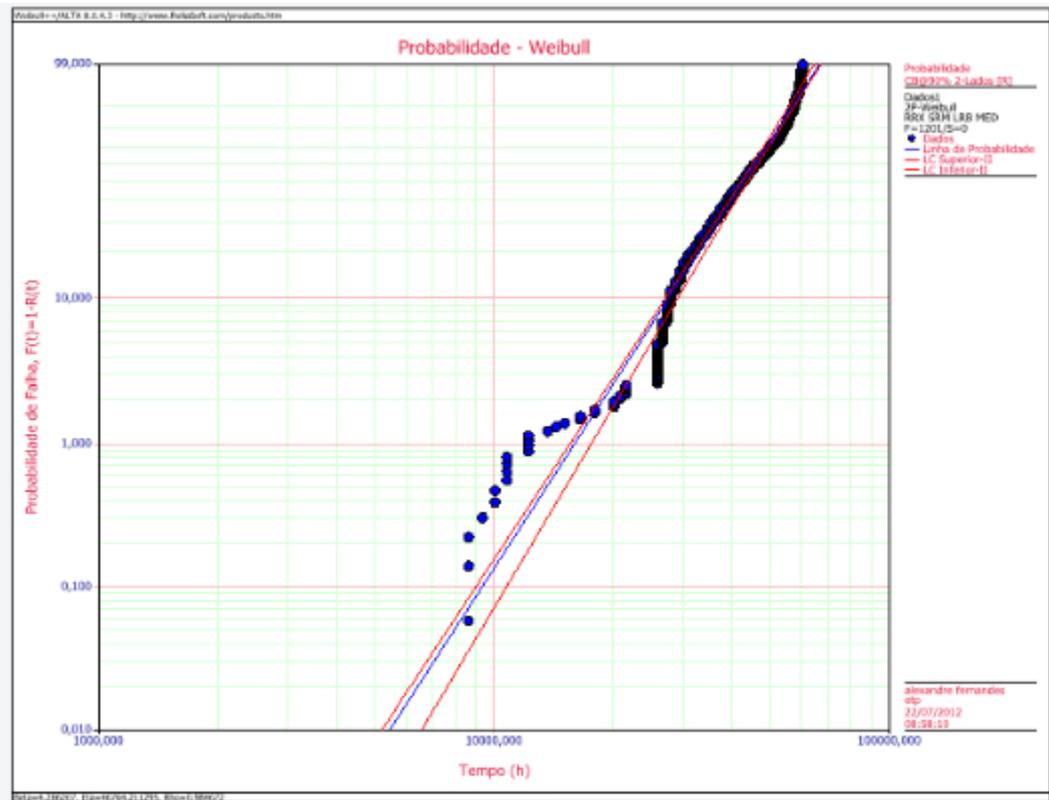


Gráfico 2 – Falhas com os limites de confiança bilaterais e BETA – compressores herméticos

FORTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

Semelhante ao anterior, no Gráfico 3 pode-se visualizar a variação de confiabilidade no espaço do tempo.

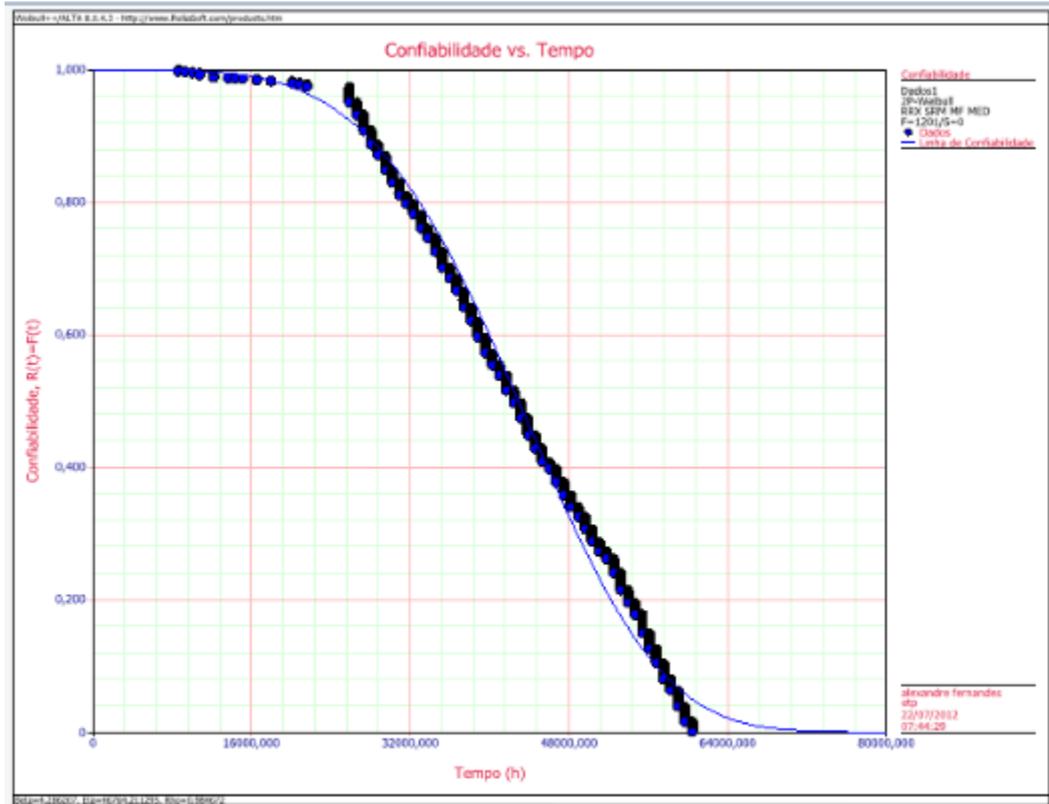


Gráfico 3 – Variação de confiabilidade no espaço de tempo – compressores herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 4 mostra a probabilidade de falha pelo tempo em anos, a partir de 2,46 anos a taxa de falhas passa a evoluir mais significativamente, para o investidor o Gráfico em anos é mais fácil de visualizar.

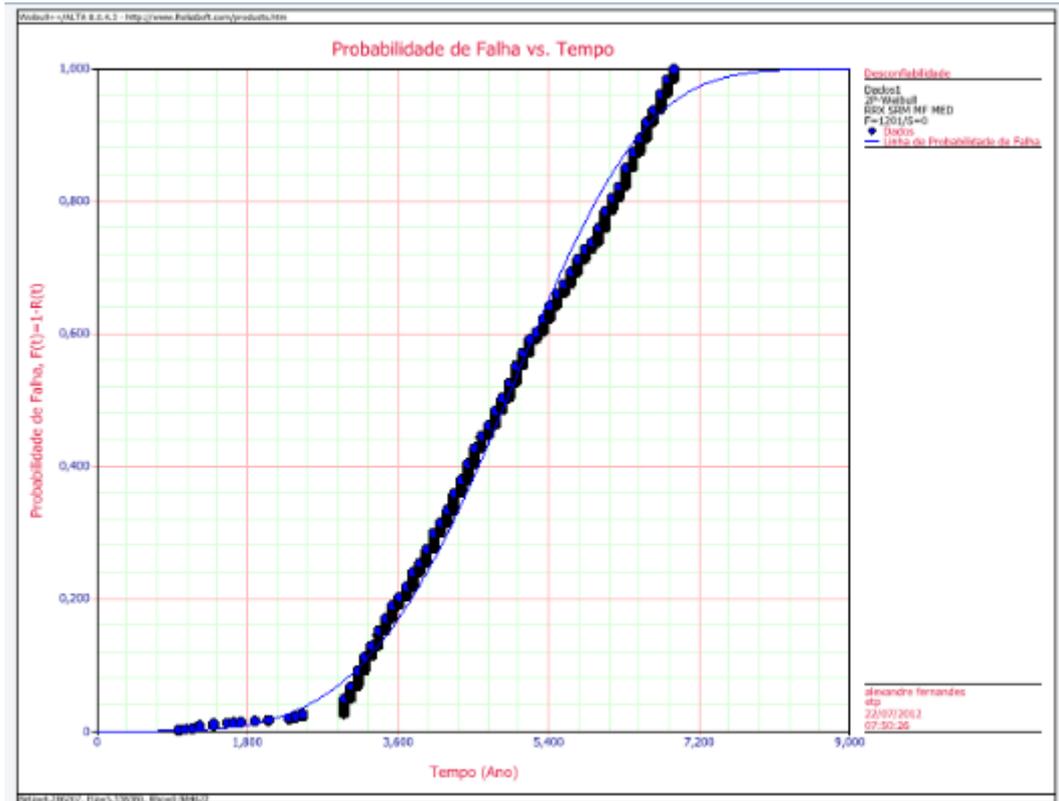


Gráfico 4 – Probabilidade de falha pelo tempo em anos – compressores herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 5 elaborou a Função, Densidade de Probabilidade (FDF) ou *Probability Density Function*, chamada de função de distribuição, em anos.

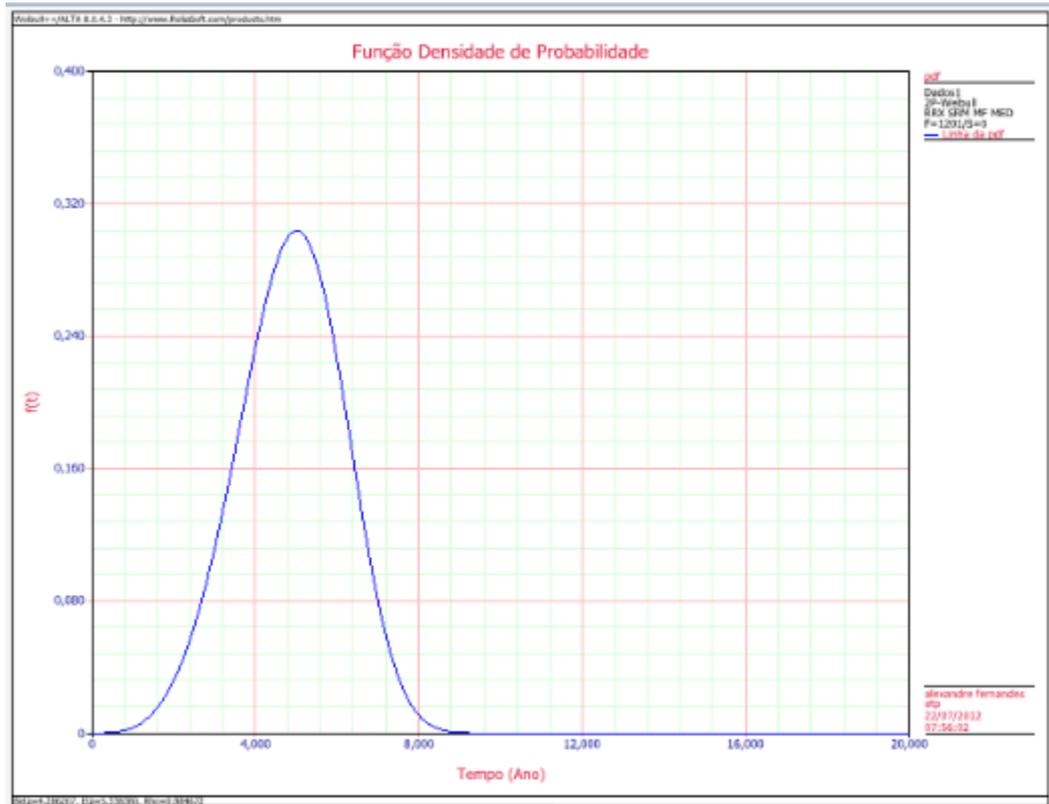


Gráfico 5 – PDF (Função, Densidade e Probabilidade) em anos – compressores herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 6 mostra o cálculo estatístico da taxa de falha versus tempo, conforme segue, pode-se observar que as falhas têm início depois de dois anos e se acentuam a partir dos quatro anos.

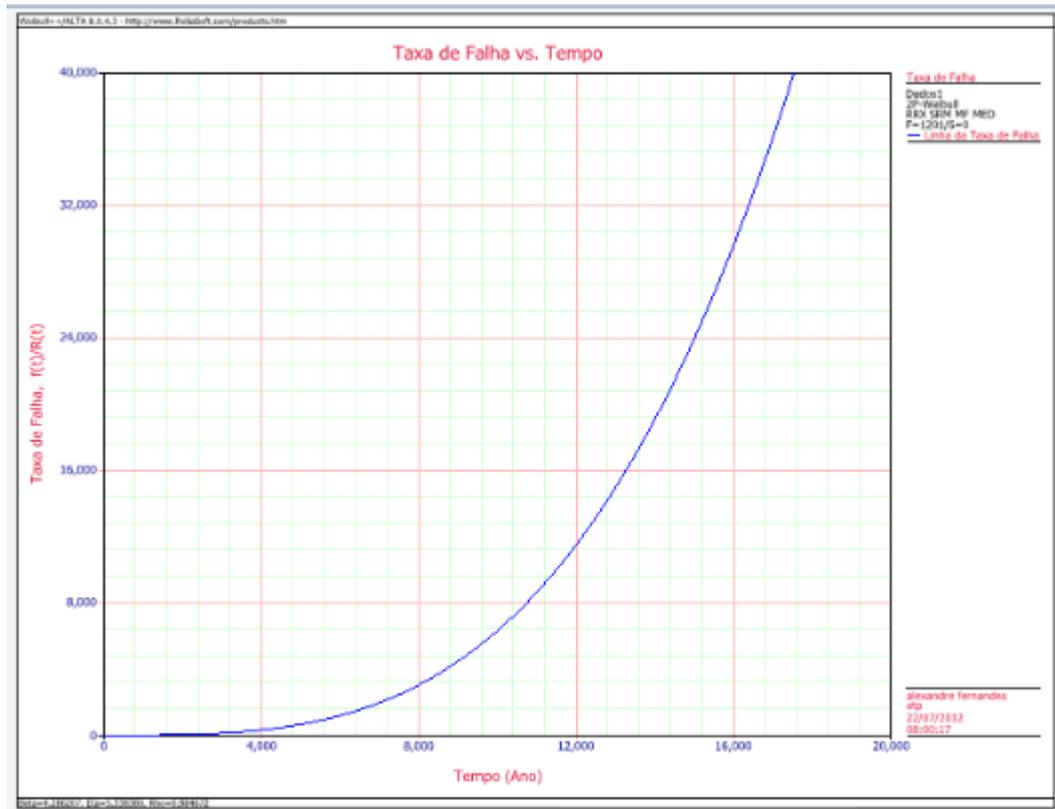


Gráfico 6 – Taxa de falha versus tempo – compressores herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

De acordo com o Gráfico 7, o histograma é uma representação gráfica sobre a distribuição de frequências de uma amostra de medições, cuja base é o intervalo de classe e sua altura a frequência, por período. Já no Gráfico 8 pode ser visualizada a linha do tempo dos compressores, por falha, novamente, pode-se verificar que a partir de meados de dois anos é que as falhas se iniciam e que a partir de quatro anos se acentuam.

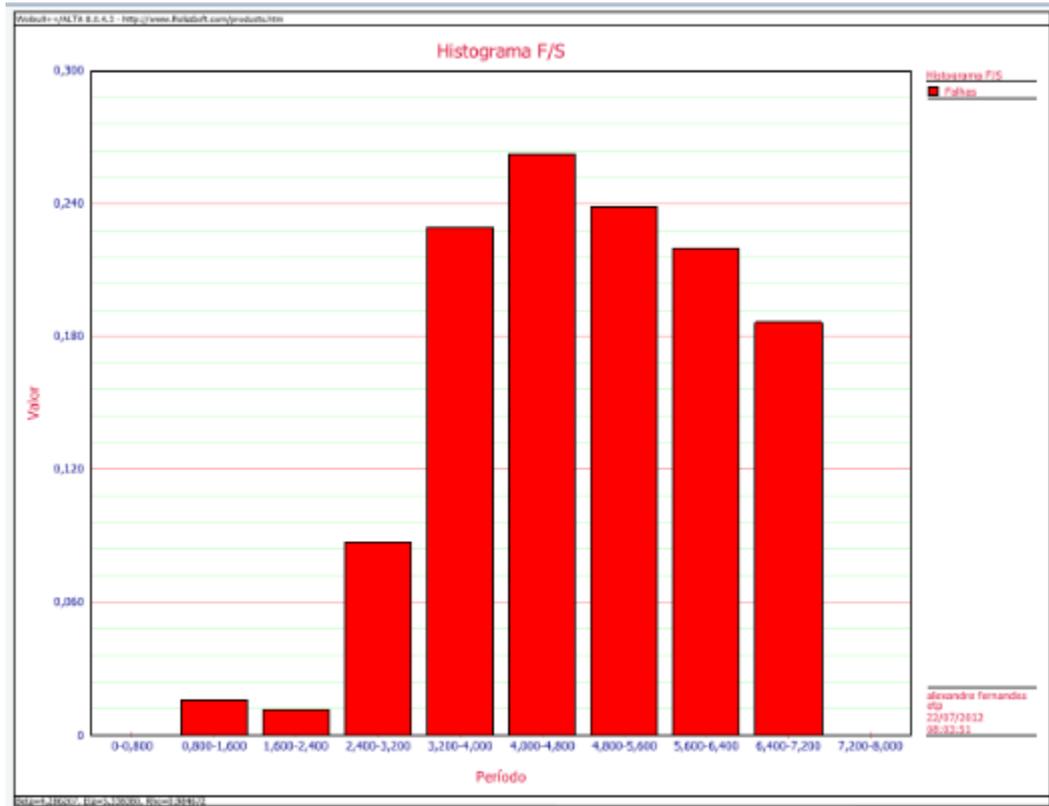


Gráfico 7 – Histograma – compressores herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

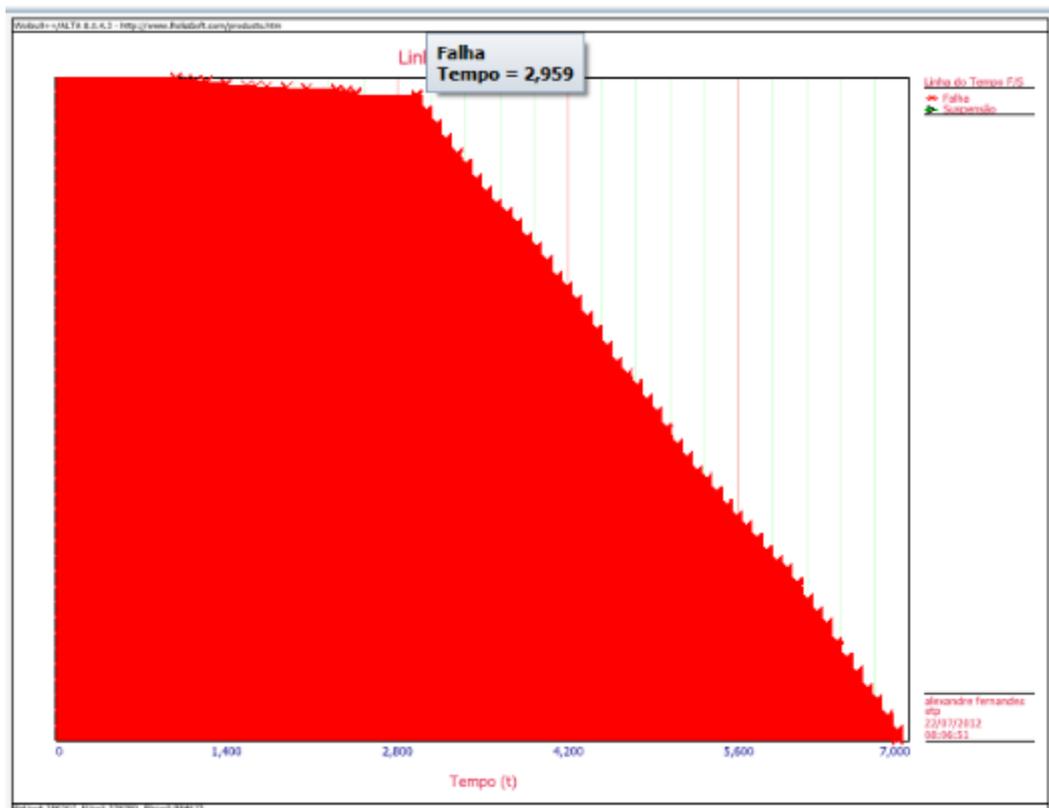


Gráfico 8 – Linha do tempo por falha – compressores herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

De acordo com a Figura 9, a calculadora do *software* Weibull QCP foi amplamente útil para a análise de dados, por permitir efetuar simulações diversas e segundo necessidades do cliente. Por ex., procurou-se saber qual foi o tempo de garantia, em horas, e obteve-se uma confiabilidade igual ou superior a 0,85. O resultado do “tempo” da calculadora foi 30.606,40 horas, um equivalente há praticamente 3,5 anos.

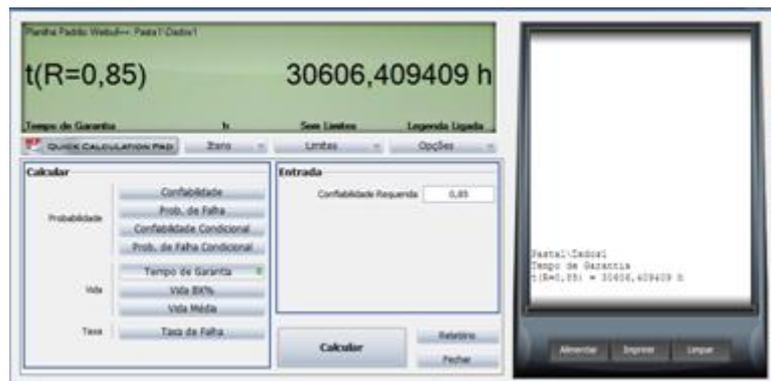


Figura 9 – Teste de aderência – compressores herméticos

FONTE: Utilização do *Software* Weibull, desenvolvido pelo autor (2012).

Outra ferramenta da calculadora, que otimizou o trabalho de análise está relacionada a visualização do fator “confiabilidade por vários espaços de tempo” estipulados pelo usuário. Por ex., foi estipulado qual foi a confiabilidade exata dos primeiros 8 (oito) anos, ano após ano, concluindo, respectivamente que:

Confiabilidade Primeiro Ano

$$R(t=8760) = 0,999238$$

Confiabilidade Segundo Ano

$$R(t=17520) = 0,985235$$

Confiabilidade Terceiro Ano

$$R(t=26280) = 0,918908$$

Confiabilidade Quarto Ano

$$R(t=35040) = 0,748100$$

Confiabilidade Quinto Ano

$$R(t=43800) = 0,469884$$

Confiabilidade Sexto Ano

$$R(t=52560) = 0,192046$$

Confiabilidade Sétimo Ano

$$R(t=61320) = 0,040977$$

Confiabilidade Oitavo Ano

$$R(t=70080) = 0,003474$$

Outro dado importante obtido por meio das ferramentas da calculadora do *software* foi o Tempo Médio para Falhar (MTF - *Mean Time to Fail*), como não existe manutenção para o compressor hermético chamou-se de “Tempo Médio para Falhar” e não “Tempo Medio entre Falhas ou (MTBF - *Mean Time Between Fail*)”. Neste caso, o valor obtido foi 42.555,50 horas, ou seja, 4,85 anos (Figura 10).

Sabendo que disponibilidade representa a razão do tempo médio para falhar, pela soma do tempo médio para falhar e o tempo médio para substituir o compressor, sabendo que o prazo de entrega de um compressor destes pode ser de 60 dias (1440 horas), a disponibilidade será, então $D = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{Tempo Médio Para Reparo de Falhas} + \text{TMPS Tempo Médio para Substituição})$: $42555,50 / (42555,50 + 1440) = \mathbf{0,9672}$.

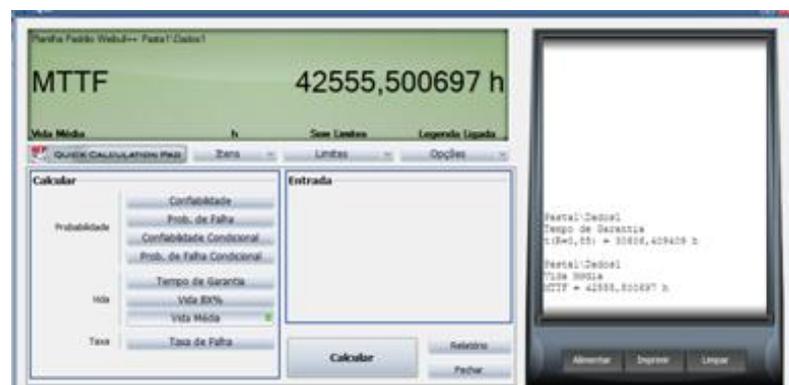


Figura 10 – Tempo Médio para Falhar – compressores herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

4.2 COMPRESSORES SEMI-HERMÉTICOS

Semelhante aos procedimentos adotados para a análise do compressor hermético, para os cálculos das falhas dos compressores semi-herméticos, a primeira ação adotada no *software Weibull ++* foi a transferência de dados da Planilha Excel ao *software* da Planilha Padrão Weibull, conforme segue (Figura 11).

B40		Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
	Tempo Falha (h)	Subconjunto ID 1	
1	1440	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
2	1440	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
3	1442	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
4	2160	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
5	2880	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
6	2880	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
7	2880	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
8	3600	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
9	4320	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
10	5040	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
11	5040	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
12	5040	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
13	5760	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
14	5760	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
15	5760	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
16	5760	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
17	6480	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
18	6480	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
19	6480	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
20	7200	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
21	7200	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
22	7200	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
23	7200	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
24	7200	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
25	7920	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	
26	7920	Compressor do tipo semi-hermético alternativo com pistão	

Figura 11 – Dados da Planilha Excel no software da Planilha Padrão Weibull – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do Software Weibull, desenvolvido pelo autor (2012).

A Figura 12 ilustra o teste de aderência do compressor semi-hermético, selecionadas as funções no programa: Exponencial, Normal, Lognormal e Weibull 2P, onde, a que apresentou a melhor aderência foi a função “Normal”.

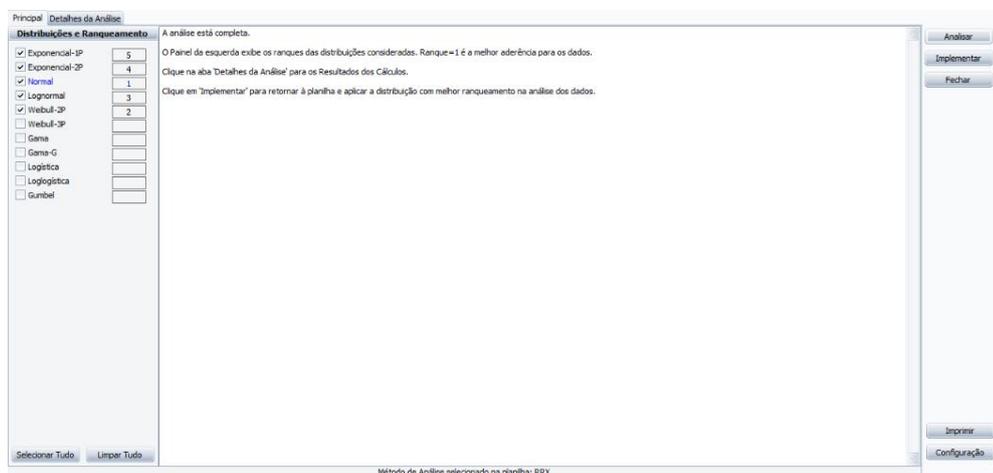


Figura 12 – Teste de aderência - compressor semi-hermético
 FONTE: Utilização do Software Weibull, desenvolvido pelo autor (2012).

Por ser uma “Normal” ao invés de “Beta” e “Eta”, o software Weibull calculou a média e o desvio padrão, conforme Figura 13, onde mostra a média e o desvio padrão calculado pelo software.



Figura 13 – Teste de aderência com desvio padrão e média – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 9 mostra a probabilidade de falha por tempo, em ano, com a linha de limite de confiança de 90%. O Gráfico 10 mostra o cálculo de confiabilidade versus tempo. O Gráfico 11 ilustra o cálculo da probabilidade de falha versus tempo e pode-se verificar em todos esses que a confiabilidade começa a cair a partir dos sessenta meses e que a taxa de falha passa a aumentar a partir desse ponto.

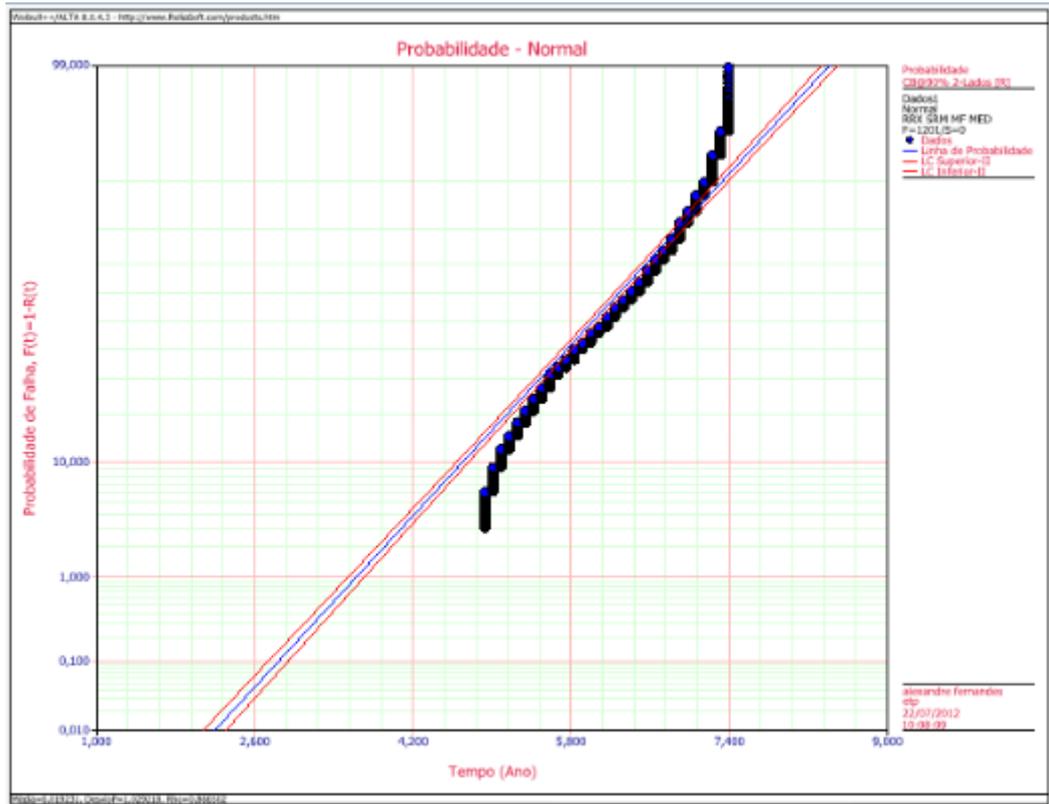


Gráfico 9 – Probabilidade de falha – semi-herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

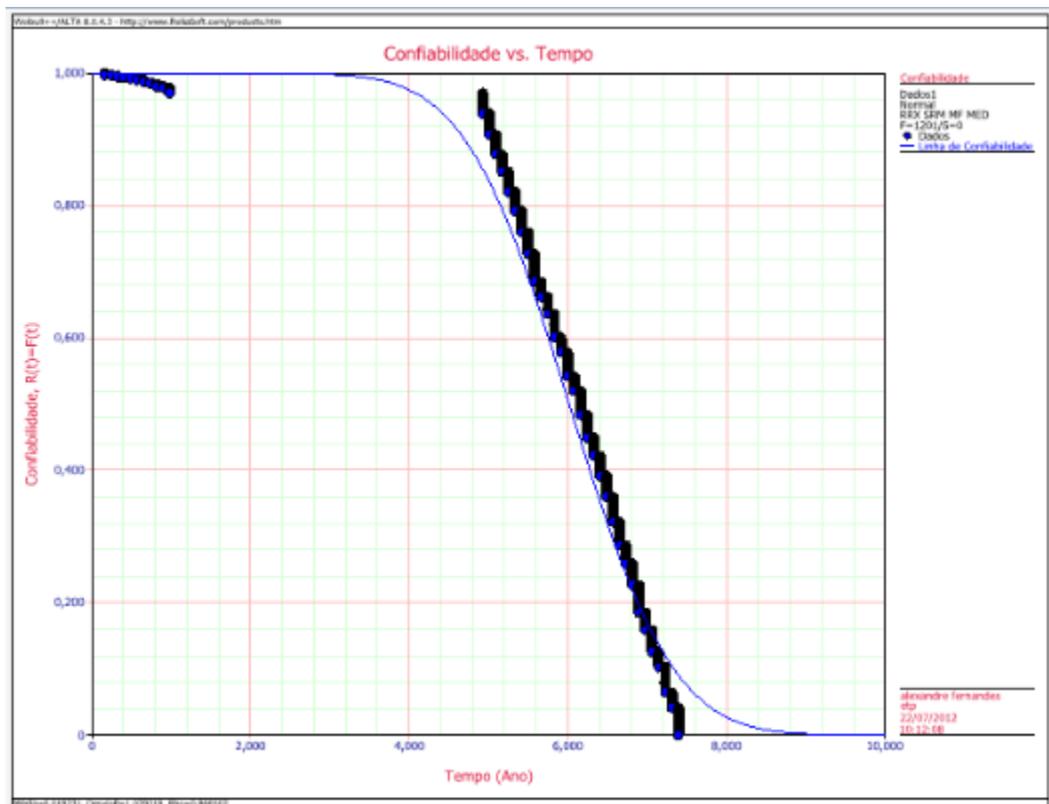


Gráfico 10 – Confiabilidade versus tempo – semi-herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

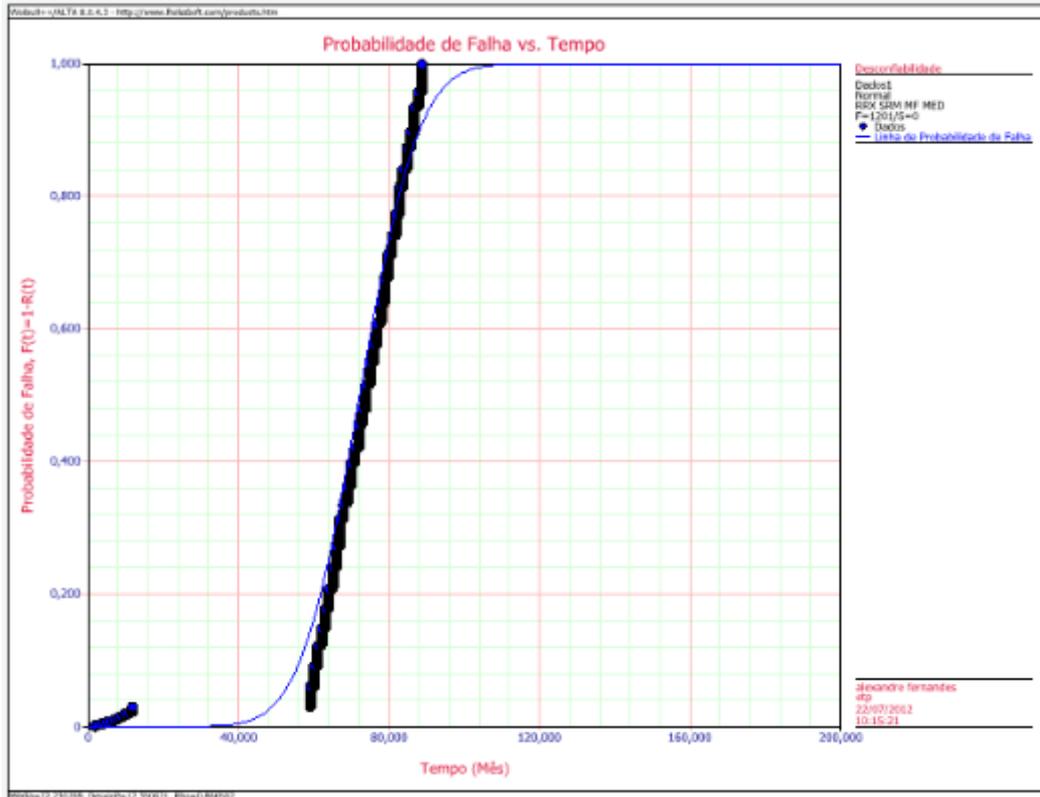


Gráfico 11 – Probabilidade de falha vs tempo – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

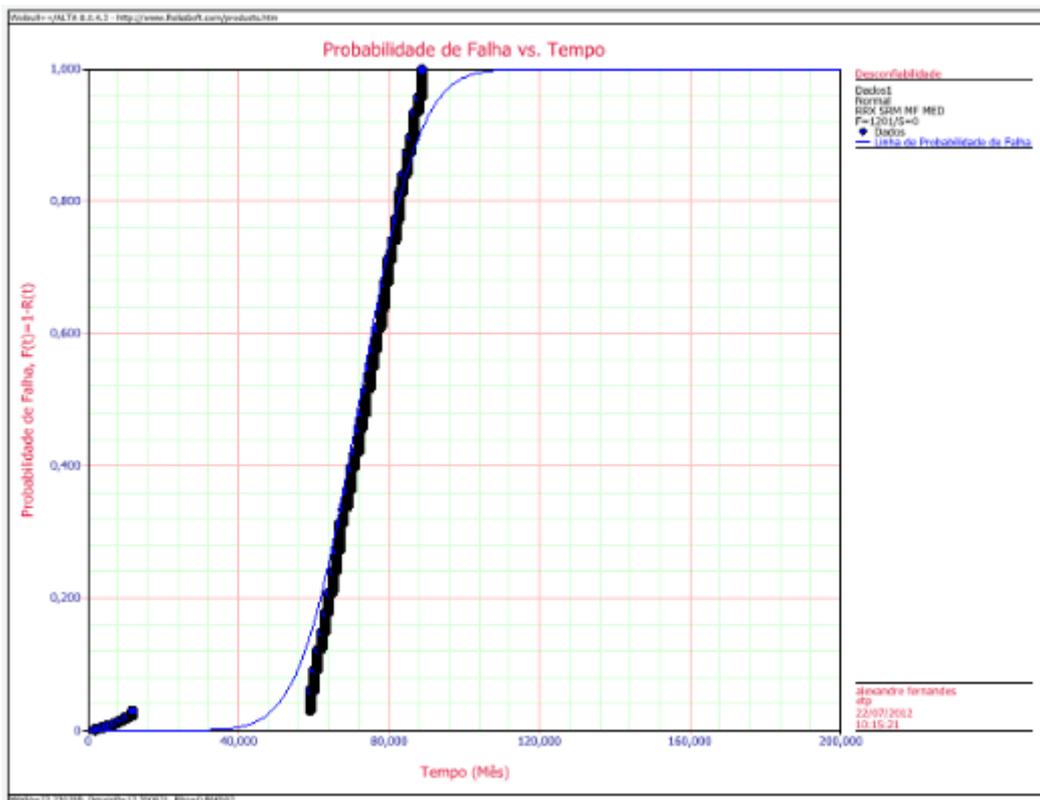


Gráfico 12 – PDF Função Densidade Probabilidade – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 12 mostra a Função Densidade Probabilidade (PDF) dos compressores semi-herméticos. O Gráfico 13 ilustra as taxas de falha versus tempo. Esses Gráficos ressaltam que até quatro anos a taxa de falhas é muito baixa, diferente dos herméticos, que esse fato ocorre a partir de 2.46 anos

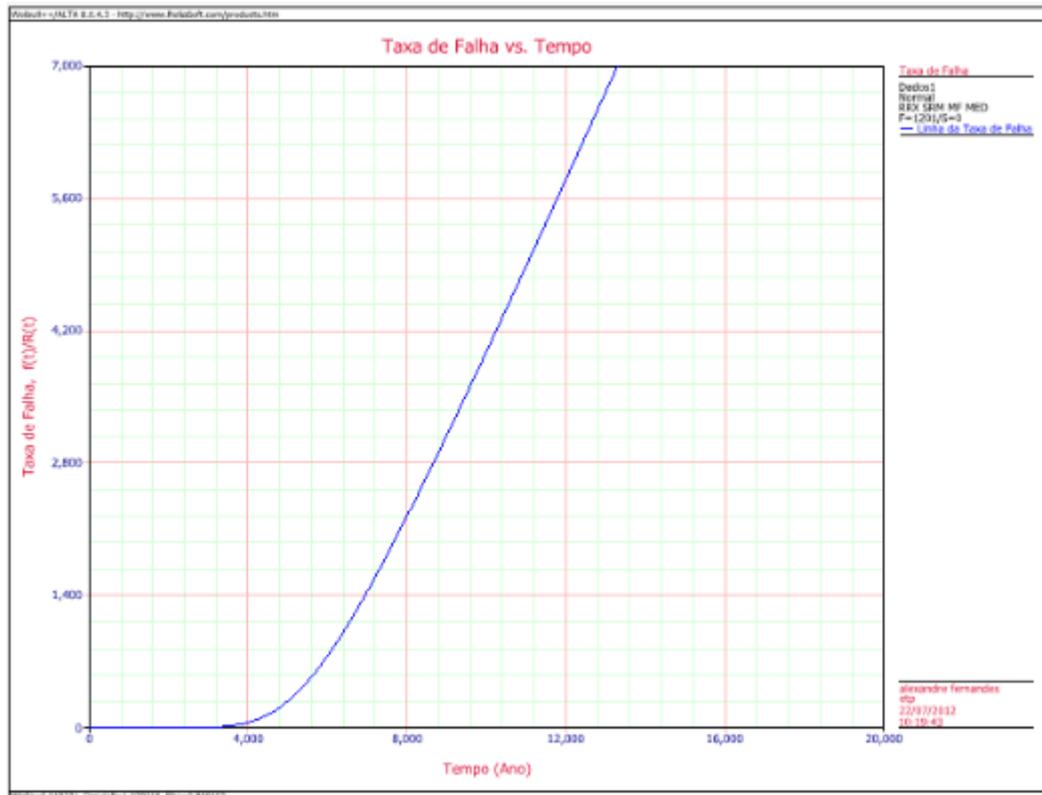


Gráfico 13 – Taxa de falha versus tempo – semi-herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

O Gráfico 14 ilustra a Função Densidade Probabilidade (PDF) do compressor semi-hermético. Essa construção foi amplamente significativa por mostrar que no período de instalação existia maior quantidade de falhas pelo fato de o compressor semi-hermético possuir muito mais peças móveis juntas que ao ser transportado o compressor pode mover-se durante o transporte, resultando em falhas, inclusive, pelo fator “confiabilidade humana”.

Quando uma empresa dispõe de compressor semi-hermético o instalador conhece que os custos de manutenção são menores por não fazer brasagens tão qualificadas e também pela tubulação com nitrogênio não pressurizar tão bem, gerando maior possibilidade de falha já no início de vida útil do equipamento, seguindo a PDF do compressor semi-hermético.

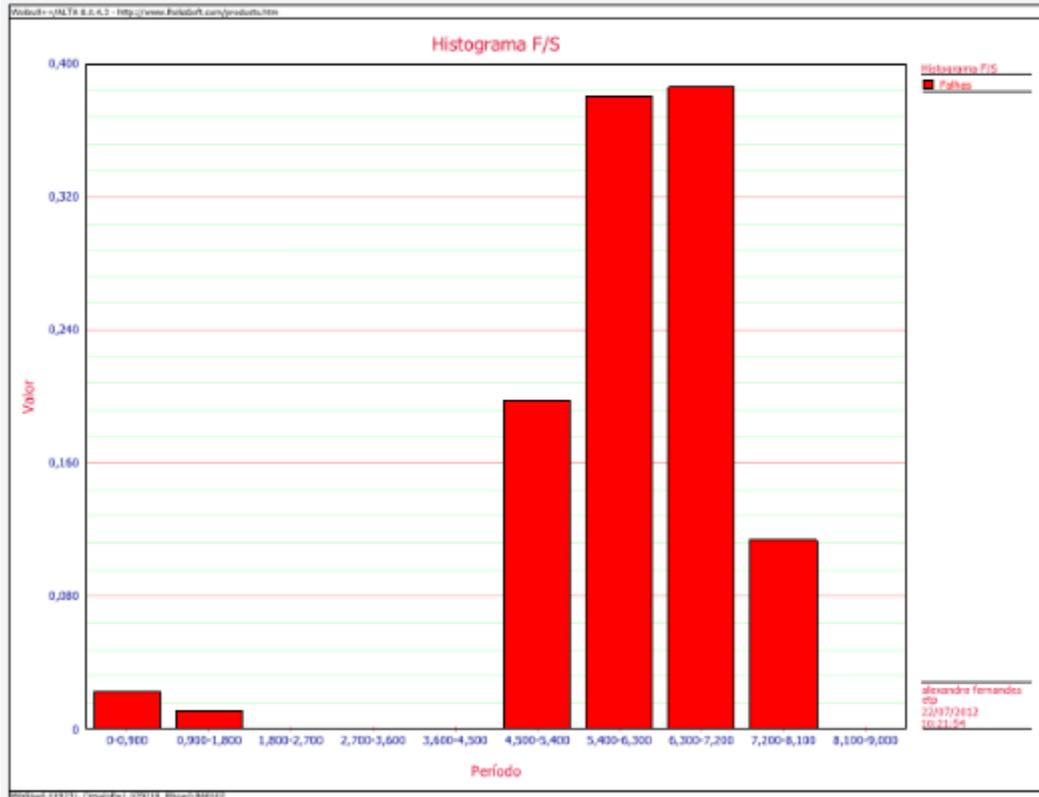


Gráfico 14 – Função Densidade Probabilidade (PDF) – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

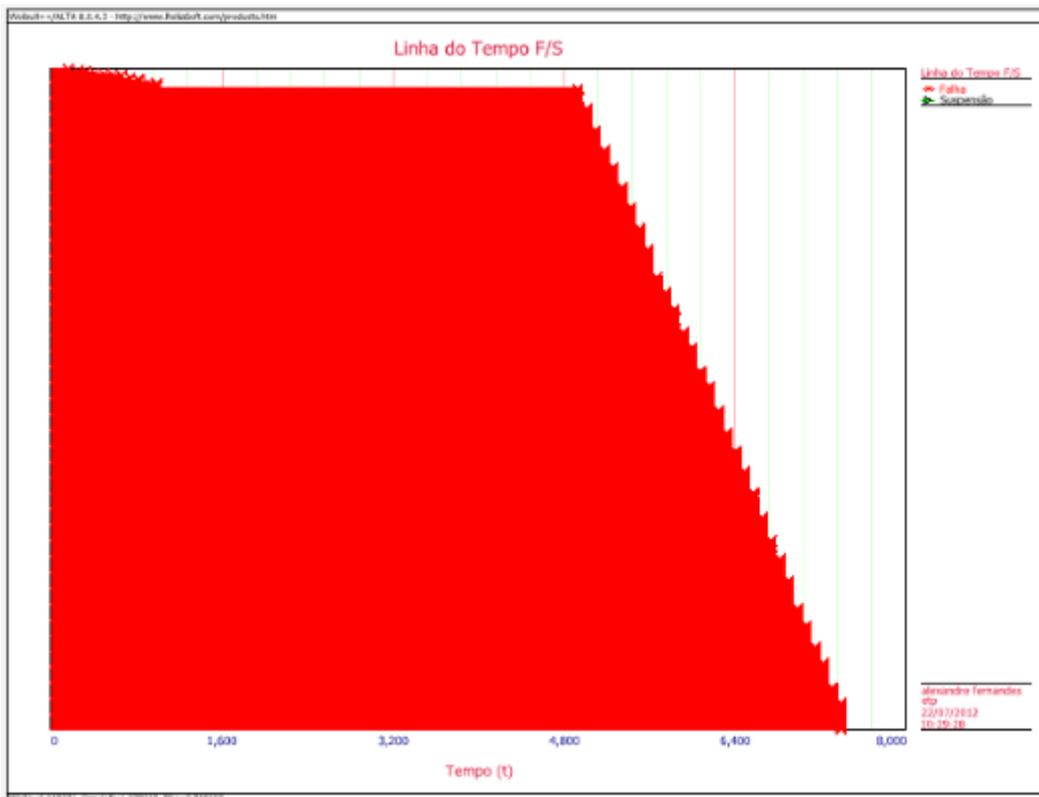


Gráfico 15 – Linha de tempo F/S – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

Em análise ao Gráfico 15 é possível perceber o cálculo estatístico da “linha do tempo F/S” dos compressores semi-herméticos, tanto o Gráfico 14 como o 15 mostram que a taxa de falhas somente cresce a partir dos quatro anos, mas acenta-se apenas a partir dos sete anos.

Novamente, semelhante ao cálculo dos compressores herméticos, a calculadora do *software* Weibull QCP foi amplamente útil ao fazer simulações de acordo com as necessidades do cliente. A título de exemplo, fez-se a simulação para se conhecer o “tempo de garantia em horas” e ter uma confiabilidade igual ou superior a 0,85, o tempo de resultado calculado foi 43.384,02 horas, um equivalente a praticamente 4,95 anos de garantia (Figura 14).

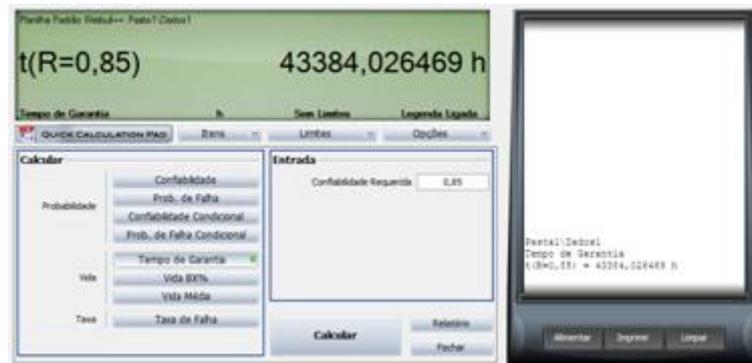


Figura 14 – Tempo de garantia em horas – semi-herméticos
 FONTE: Utilização do *Software* Weibull, desenvolvido pelo autor (2012).

A calculadora enquanto ferramenta permite visualizar a confiabilidade por vários “espaços de tempo” estipulados pelo usuário, por ex., foi estipulado qual o nível de confiabilidade exata dos primeiros oito anos, ano após ano.

Confiabilidade Primeiro Ano

$$R(t=8760) = 0,999999$$

Confiabilidade Segundo Ano

$$R(t=17520) = 0,999953$$

Confiabilidade Terceiro Ano

$$R(t=26280) = 0,998324$$

Confiabilidade Quarto Ano

$$R(t=35040) = 0,975113$$

Confiabilidade Quinto Ano

$$R(t=43800) = 0,838985$$

Confiabilidade Sexto Ano

$$R(t=52560) = 0,507454$$

Confiabilidade Sétimo Ano

$$R(t=61320) = 0,170314$$

Confiabilidade Oitavo Ano

$$R(t=70080) = 0,027144$$

Outro dado importante extraído das ferramentas da calculadora foi o Tempo Médio entre Falhas (*Mean Time Between Fail*), justificando a importância dos serviços de manutenção para o compressor semi-hermético, diferente do compressor hermético, denominado “Tempo Médio para Falhar “ ou MTTF (*Mean Time To Fail*). Neste caso o valor foi 52.728,46 horas ou um equivalente a 6,01 anos de garantia isento de falhas.

Ao conhecer que a disponibilidade, neste caso específico é a razão do tempo médio entre falhas, pela soma do tempo médio entre falhas e o tempo médio para reparo e, ao saber que o tempo para troca de uma placa de válvula (material que tem o maior índice de necessidade troca no equipamento) é de 4 horas, mas contando com o deslocamento do técnico e outros, resulta em uma somatória global de 48 horas de prazo a disponibilidade será de (Figura 15),

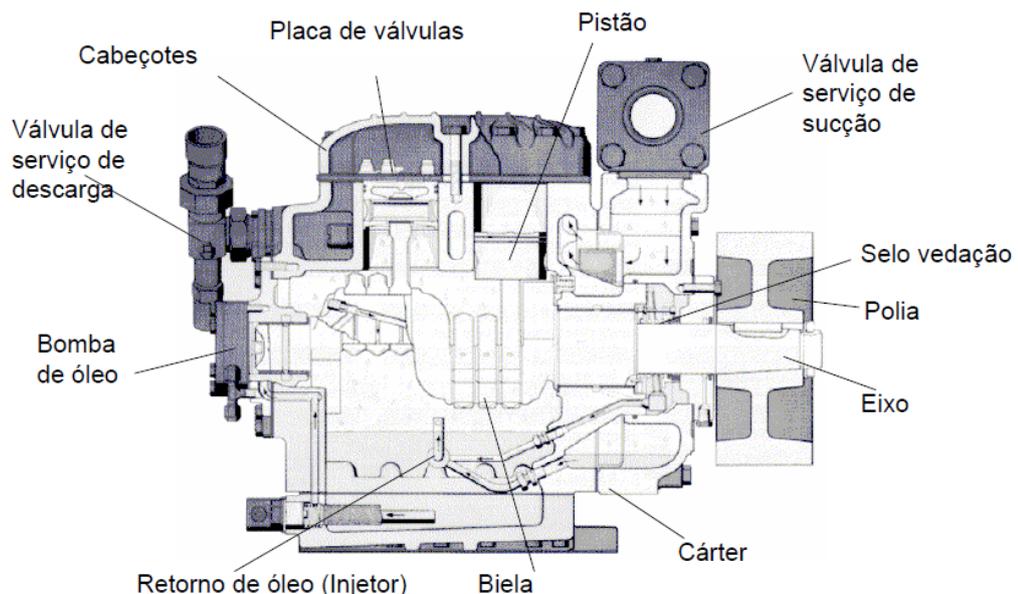


Figura 15 – Disponibilidade – semi-herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

É importante frisar que as animações internas Bitzer das peças podem ser substituídas.

$D = \text{MTTF} / (\text{MTTF} + \text{TMPS})$ (Tempo Médio para Substituição):
 $52728,46 / (52728,46 + 48) = 0,9991$ (Figura 16),

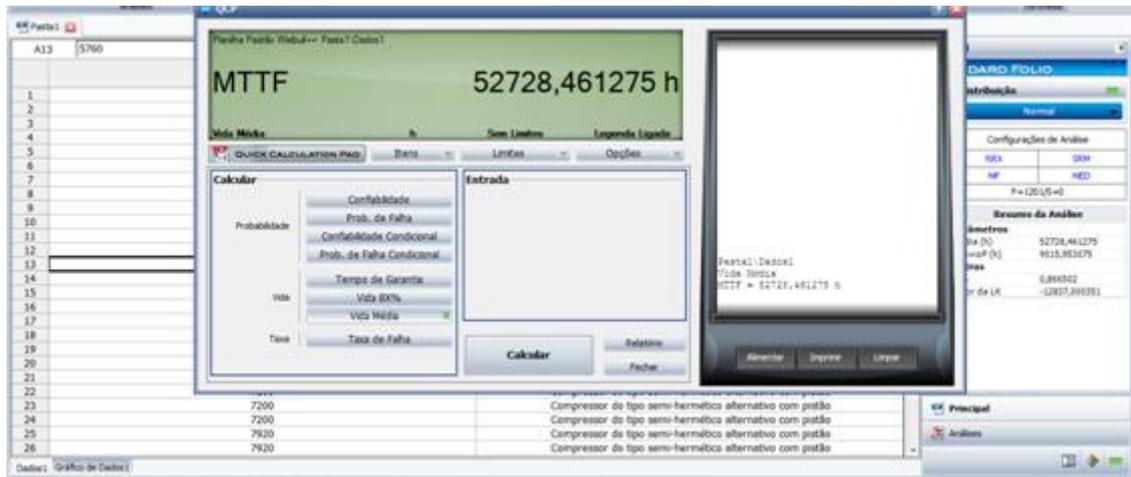


Figura 16 – Tempo Médio para falhar – semi-herméticos

FONTE: Utilização do *Software Weibull*, desenvolvido pelo autor (2012).

De acordo com a Tabela 1, para as 1201 unidades do compressor hermético avaliadas, com capacidade 10HP, para o qual não existiu manutenção, conseqüentemente, não houve custo, respectivamente, por ter que substituir o equipamento na falha, sendo o custo de um novo o valor de R\$ 3.500,00, não houve falha no período de 11 meses, com garantia da fábrica de 12 meses, a função utilizada no teste de aderência Weibull 2P, o custo para um ano foi zero e em cinco anos foram trocadas 601 novas peças, totalizando R\$ 2.103.500,00. No caso dos compressores semi-herméticos, para a mesma quantidade de unidades e capacidade semelhante de 10HP, sem possibilidade de manutenção, porém, quando houve chamadas de atendimento foi a um custo estimado de R\$ 2.900,00 para todas as peças sobressalentes possíveis, o item mais usado na manutenção foi a placa de válvula a um custo de R\$ 400,00, sendo o custo do compressor de R\$ 4.000, houve 30 peças que falharam em 11 meses, com garantia de fábrica de 12 meses, a função utilizada no teste de aderência foi de “melhor a normal”, o custo para um ano foi de aproximadamente R\$ 24.000,00, para o conserto de 30 peças com placa de válvula e mão de obra.

Em análise aos dados lançados na Tabela 1 (comparativa entre herméticos e semi-herméticos), a melhor opção mostra-se como sendo o compressor semi-hermético.

Tabela 1 – Conclusões da análise

DADOS DE FALHA	COMPRESSOR HERMÉTICO SCROLL	COMPRESSOR SEMI-HERMÉTICO
	1201 UNIDADES AVALIADAS	1201 UNIDADES AVALIADAS
Capacidade	10 HP	10 HP
Manutenção	Não existe, substituir o equipamento na falha	Existe
Custo da manutenção	Não existe, substituir na falha	Máximo R\$ 2.900,00 todas as peças sobressalentes possíveis
Item mais usado na manutenção	Não existe, substituir na falha	Placa de Válvula R\$ 400,00
Custo do compressor	R\$ 3.500,00	R\$ 4.000,00
Peças que falharam em 11 meses	Nenhuma	30 peças
Garantia de fábrica	12 meses	12 meses
Função utilizada no teste de aderência	Melhor Weibull 2 P	Melhor a Normal
Custo em 01 ano	Zero	Aproximadamente R\$ 24.000,00 (conserto de 30 peças com placa de válvula e mão de obra)
Custo em cinco anos	601 novas peças R\$ 2.103.500,00	R\$ 140.000,00

FONTE: Utilização do *Software* Weibull, desenvolvido pelo autor (2012).

5 CONCLUSÃO

O estudo sobre **CONFIABILIDADE APLICADA À TOMADA DE DECISÃO PARA COMPRESSORES HERMÉTICOS E SEMI-HERMÉTICOS DE REFRIGERAÇÃO COMERCIAL**, que teve como finalidade obter os índices de confiabilidade para auxiliar nos processos de tomada de decisão durante a escolha ou aquisição do compressor e métricas de disponibilidade almejadas para o sistema levou a concluir que:

Com base na tabela 1 pode-se concluir que a melhor opção é o compressor semi-hermético.

Na atualidade existe enorme dificuldade para o profissional da área de refrigeração descobrir qual a melhor opção entre os compressores hermético e semi-herméticos, pela questão do preço e da garantia. Para tal fato, reportando-se aos valores e princípios fundamentais para a tomada de decisão, abordados neste trabalho, questionamento alçado no capítulo introdutório, cujos princípios e valores por si só afirmam o seguinte:

Confiabilidade: apesar de o compressor hermético ser interessante nos primeiros onze meses, o semi-hermético mostrou desempenho muito superior no restante do período do estudo.

Dentro do curso de Pós-graduação há uma cadeira de Confiabilidade Humana e com base em entrevistas com Engenheiros da área, através da ETP Processos Tecnológicos tal questão foi muito enfatizada, pois quando a Engenharia sabe que um cliente solicita um trabalho em obra que exige a instalação de compressor hermético e de conhecimento que o mesmo não tem manutenção, solicita aos profissionais que dobrem a atenção na qualidade das brasagens e pressurizarem porque a tubulação com nitrogênio, no decorrer das brasagens, para que a pressão positiva não permita a presença de umidade e impurezas no sistema, deve ser dada atenção na partida, aos filtros de óleo e secadores, testes de estanqueidade que, em muitos casos fornece bons resultados no primeiro ano, talvez, pelo temor do fabricante perder o compressor.

Porém, infelizmente, não existe tamanha precaução com o compressor semi-hermético, pelo conserto ser de menor custo. Além disso, há maior número de peças móveis, incluindo juntas, entre outras, que possuem a mais no compressor

semi-hermético, que também colaboram, mas, apesar de todos esses fatos o compressor semi-hermético, por sua robustez, possui muito mais confiabilidade, conforme o Gráfico comparativo (Gráfico 16);

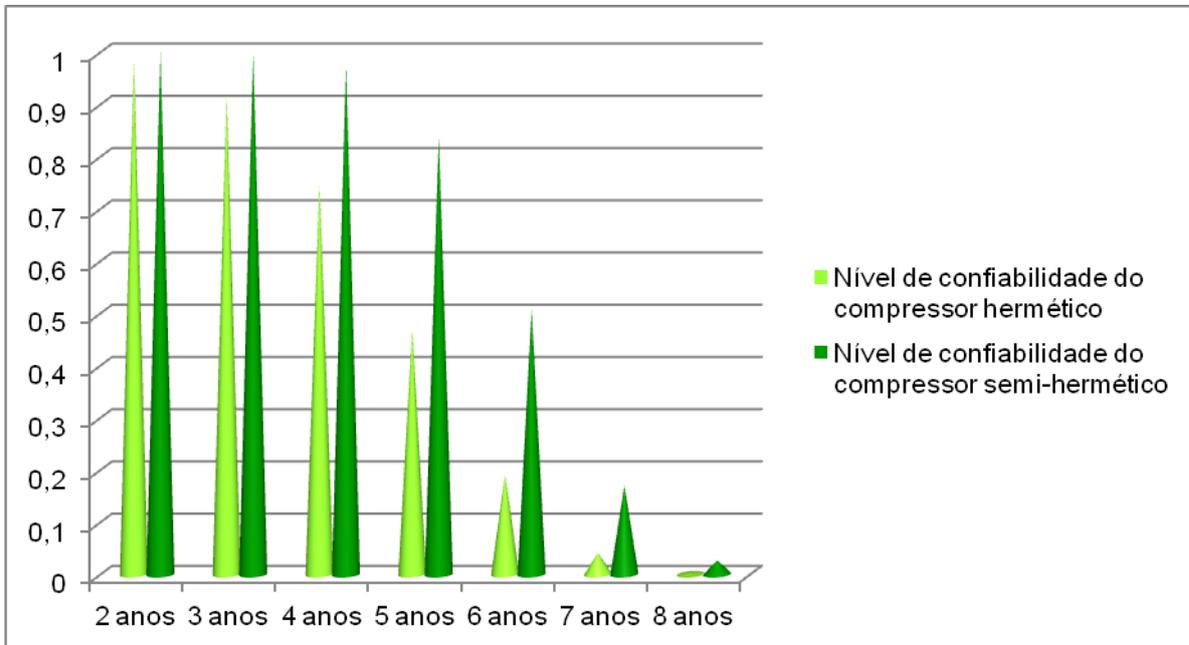


Gráfico 16 – Comparativo de confiabilidade

FONTE: Elaboração do autor (2012).

De acordo com o Gráfico 16, na medida que os anos avançaram o nível de confiabilidade/disponibilidade de uso dos compressores herméticos e semi-herméticos se afastou. Na graduação 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 (anos) o compressor semi-hermético apresentou maior confiabilidade quando os anos se afastavam, comparativamente ao compressor hermético, mostrando-se sempre inferior e dentro de oito anos o índice de confiabilidade/disponibilidade foi praticamente zero entre as 2402 amostras.

Taxa de falhas: como a taxa de falhas é inversamente proporcional a confiabilidade pode-se dizer que a taxa de falhas com o passar dos anos é muito maior nos compressores herméticos.

Mantenabilidade: segundo o Dicionário Metal Mecânico (CIMM), a manutenibilidade é a aptidão de um componente, produto, equipamento ou sistema receber manutenção, dentro de um período de tempo determinado, a um custo pré-estabelecido, ou seja, pode-se também definir como grau de facilidade para fazer manutenção. No caso do compressor semi-hermético em o cliente tendo uma placa

de válvula sobressalente, facilita fazer manutenção no compressor semi-hermético. Porém, se investidor tiver um compressor sobressalente também ficará muito fácil para se fazer a manutenção no compressor hermético, cuja diferença reside no fato que um compressor sobressalente custa R\$ 3.500,00, e uma placa de válvula R\$ 400,00, todas as peças sobressalentes de um compressor semi-hermético custam R\$ 2.900,00, mais barato que o compressor hermético. Além dos fatos já apresentados, apesar de muito debatido na mídia o fator sustentabilidade atualmente, relacionado à gestão de resíduos, cada compressor hermético, literalmente, ao final de sua vida útil é conduzido para o ferro velho, requerendo que a natureza disponibilize mais energia e recursos para fabricar outro compressor.

Disponibilidade: de acordo com os resultados é possível afirmar que o fator disponibilidade foi maior nos compressores semi-herméticos, por duas razões básicas:

Menor tempo médio para reparo, um compressor importado com uma logística complicada e burocracia interna no país, para importar pode-se ter no mercado uma demora de até 60 dias para obter um compressor hermético do tipo Scroll, especial para trabalhar em baixas temperaturas. Desse fato, é importante ressaltar que esse prazo se refere a compressores herméticos, para médias e baixas temperaturas de evaporação. Porém, é muito mais fácil conseguir em um prazo de até 10 dias compressores herméticos Scroll para ar condicionado, comparativo ao compressor para refrigeração de congelados. Enquanto o semi-hermético possui facilidade muito maior para se conseguir as peças para fazer a manutenção. Assim, com as peças em mãos e a aviação é possível deslocar-se para qualquer lugar do Brasil e substituir, por exemplo, uma placa de válvula em até 48 (quarenta e oito) horas;

Maior tempo médio entre falhas, o compressor semi hermético, por sua robustez, possui maior tempo médio entre falhas, comparativamente ao compressor hermético, enquanto o semi possui em torno de 52728,46 horas, o hermético possui 42555,40 horas, diferença superior a 25%.

No entanto, é importante ressaltar que os conceitos de manutenção apresentados chegam em resultados financeiros consideráveis para o fabricante, a diferença em cinco anos chega a um montante de R\$ 2.103.500,00 (dois milhões, cento e três mil e quinhentos reais), mais de US\$ 1.000.000,00 (um milhão de dólares americanos) de desembolso dos compressores herméticos. No caso dos

compressores semi-herméticos o desembolso é R\$ 140.000,00 (cento e quarenta mil reais).

Diante das conclusões e análises obtidas, ainda que intuitivamente, por tentativa ou erro assegura-se que certamente, em longo prazo, a melhor opção serão os compressores semi-herméticos para refrigeração comercial de baixa temperatura para empreendimentos de médio e grande porte; lembrando que inicialmente havia dúvida entre as opções, pelo hermético ser mais barato e apresentar menor índice de falhas nos primeiros onze meses. Embora se possa pensar que decisões sejam tomadas de forma racional, na prática, não é o que ocorre.

Geralmente, dentro das empresas as decisões são tomadas com base em intuição e experiência anterior, utilizando métodos ou técnicas racionais. Por isso, entende-se que decisões possuem racionalidade limitada. Segundo o conceito de racionalidade limitada o processo de decisão se ocupa da seleção de alternativas que mais se encaixem em algum sistema de valores dos tomadores de decisão, sendo até certo ponto uma aceitação razoável.

Os conceitos relacionados à Engenharia de Manutenção ainda não estão totalmente enraizados na Engenharia de Refrigeração, provavelmente, pelo forte crescimento da área, onde profissionais acabam não tendo “tempo” para refletir sobre tais posicionamentos, mas auxiliar e remodelar a própria questão financeira ou pela questão “sustentabilidade”. A época do quebrou-trocou muito provavelmente está se extinguindo, é um período de sustentabilidade.

Os equipamentos com possibilidade de manutenção são cada vez mais repensados em seus projetos, inclusive um dos objetivos nesta monografia é que os profissionais da área possam usar estas bases de reflexão para pensar, em longo prazo. Outra questão a ser refletida é a confiabilidade humana, muitas dessas falhas, seja no compressor hermético ou semi-hermético originam-se nas más práticas de instalação ou manutenção, incluindo brasagem mal executada, com sujidades e humidade no sistema e balanceamentos frigoríficos incertos.

No entanto, a manutenção centrada em confiabilidade (RCM) é uma ferramenta essencial para minimizar tais prejuízos. É importante ressaltar que ferramentas como o software Weibull++, da ReliaSoft, são essenciais para minimizar o tempo de cálculo, planilhas e gráficos precisos e claros auxiliam na quantificação dos princípios de manutenção, como confiabilidade, taxa de falhas, tempo médio

entre falhas, gráficos, função densidade, probabilidade e inúmeros outros conforme demonstrados no capítulo de análises.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se utilizar o princípio do diagrama de blocos (BlockSim, da ReliaSoft) para mensurar internamente quais componentes falham, incluindo bielas, pistões, árvores de manivelas, sistema de lubrificação, sistema de identificação de pressões, parte elétrica, como relés, enrolamento do motor, parte eletrônica de controles e identificar a frequência das falhas, associando o fator confiabilidade no processo de compressão como um todo. No entanto, como o tema limitou-se em estudar comparativamente os compressores herméticos e semi-herméticos não foi possível realizar estes cálculos.

Outra sugestão para a organização é propor um programa de “RCM”, manutenção centrada em confiabilidade, por meio dos dados do Blocksim e Weibull, para planejar quais componentes exigem maior prioridade de manutenção, quais erros cruciais de instalação podem acarretar problemas futuros na manutenção.

o emprego de métodos eficazes pode complementar o estudo comparativo desenvolvido nesta monografia de forma inteligente, quantificando, conforme Lord Kelvin mencionou: “uma grandeza física só pode ser verdadeira se for comprovada matematicamente”. Por fim, ferramentas da Engenharia da Manutenção representam acentuado progresso nestes tempos e mudam conceitos, porém, não mudam princípios e de simples conceitos intuitivos tornaram-se certezas matemáticas.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que novos estudos sejam desenvolvidos para confirmar os resultados deste trabalho, embora as ferramentas utilizadas tenham sido as mais recomendadas, precisas e eficazes possível, portanto, com reputação suficiente

para mensurar probabilidades estatísticas de taxas e índices de falhas de sistemas de refrigeração.

Ainda assim, contrapor-se os resultados com outros trabalhos somente irá contribuir para confirmar as conclusões aqui registradas, obtendo assim um maior direcionamento no momento de escolher o compressor segundo sua aplicabilidade, com maior certeza, menor probabilidade de prejuízos resultantes de falhas em âmbito do setor de refrigeração comercial.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5462 TB116:** Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ANDRADE, Manuel Correia de. **Espaço, polarização & desenvolvimento.** Uma introdução à economia regional. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1987.

ALMEIDA, Luciano de Oliveira. **A importância da análise da curva da banheira na função estratégica da manutenção.** Disponível em < http://pt.scribd.com/doc/70155129/Artigo-Curva-Da-Banheira#outer_page_1

AMOAKO-GYAMPANH, K.; VINEYARD, M.; MEREDITH, J. R. Failure rate distribution for flexible manufacturing systems: an empirical study. **European Journal of Operational Research**, 116 (1999), 130-155. Elsevier Science B. V. 1999.

BREUKER, M. S. BRAUN, J. E. Common faults and their impacts for rooftop air conditioners. **HVAC e Research**, EUA, 1998;4(3):10.

BASSETTO, Izeds Felipe Facchini. **Estudo de confiabilidade de compressores alternativos semi-herméticos de sistemas de refrigeração.** [Dissertação]. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Mestrado em Engenharia, São Paulo, 2007.

BATISTA, Joel. **Análise preditiva:** como otimizar o processo de decisão (2010). Disponível em < <http://jbatistafilho.blogspot.com/2010/02/analise-preditiva-como-otimizar-o.html>>. Acesso em 2 jul 2012.

Bitzer termodinâmica básica. **Teoria da refrigeração.** PowerPoint com 28 slides, 2012.

CARTER, A. D. S. **Mechanical reability.** 2. Ed. 492p. Editora MacMilan, London, 1986.

CARLOTTO, Marco Aurélio. **Análise de vibrações.** PUCWeb. Slides do Curso de Especialização em Engenharia de Manutenção. Disponível em <[analisedevibracoes.pdf](#)>. Acesso em 8 jul 2012.

Conceitos básicos de confiabilidade. <pdf, s/d>. Acesso em 23 jun 2012.

Coperland. Emerson Climate Technologies. **Manuel de compressores Copeland**. 2004.

ESCOLA TÉCNICA PROFISSIONAL. **Apostila de mecânico de refrigeração e ar condicionado**. Curso avançado. Disponível em <www.escolaprofissional.com.br>. 2007.

FLITCH, James C. **Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditiva/preventiva convencionais**. <http://www.pessoal.utfpr.edu.br/jmario/arquivos/proativa.pdf>

FERNANDES, José. **Climatização, cálculo e equipamentos**. 6. ed. Lisboa. Portugal: Amigó, 1995.

Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). **Application of reliability centred maintenance to optimize operation and maintenance in nuclear power plants**. Viena/Áustria, 2008.

IMAI, Masaaki. **Kaisen: a estratégia para o sucesso competitivo**. 6. ed. São Paulo. Instituto Imam, 2005.

KATHER, Evaldo. **Confiabilidade aplicada à manutenção**. [Monografia]. Aperfeiçoamento Profissional. Engenharia de Manutenção. 2009.

KARDEC, Alan(a). **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. São Paulo: Qualitymark, 2002.

KARDEC, Alan; ZEN, Milton(b). **Gestão estratégica e fator humano**. São Paulo: Qualitymark, 2002.

KARDEC, ALAN(c). **Manutenção: função estratégica**. São Paulo: Qualitymark, 1998.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

KRUGLIANSKAS, I.; TERRA, J. **Gestão do conhecimento em pequenas e médias empresas**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

LAFRAIA, João Ricardo. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. São Paulo: Qualitimark, s/d.

LIMA, Walter da Costa; SALLES, Jose Antonio Arantes. **Manutenção preditiva: caminho para a excelência e vantagem competitiva**. Disponível em <<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/4mostra/pdfs/616.pdf>>. Acesso em 6 jul 2012.

Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos. Universidade Federal do Paraná, Reitoria, 2008.

MYREFELT, S. The reliability and availability of heating ventilation and air conditioning systems. **Energy and Buildings 36**. Stockholm, Sweden, 2004.

MICHALAK, Edson Jaime. **Manutenção preditiva: análise de vibrações**. Casos, aplicações de diagnóstico, dicas e cuidados no monitoramento e montagem de rolamentos de super precisão (2008). Disponível em <<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/270>>. Acesso em 2 fev 2012.

_____. Detecção de falha em compressor de parafuso através da análise de vibrações. **Preditec Engenharia de Manutenção** (2010). Disponível em <http://www.prediteceng.com.br/admin/pdf_artigos/515693302compressor.pdf>. Acesso em 6 mar 2012.

MIT. PeakVue: uma mais-valia na análise de vibrações. Disponível em <<http://83.240.136.253/Miit/Portals/0/inspecao/artigos/A%20analise%20de%20Peakvue.pdf>>. Acesso em 7 jun 2012.

Manual de instruções de instalação. São Paulo: Danfoss, 2007.

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão L. **TPM à moda brasileira**. São Paulo: Makron Books, 1994.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção preditiva: caminho para zero defeitos**. São Paulo: Makron Books, 1991.

MARÇAL, R. F. **Gestão da manutenção**. [Dissertação]. Engenharia da Produção (PPGEP). Notas de aula, 2004.

MARAIS, K.; SALEH, J. H. Highligths from the early (and pré-) history of reability engineering. **Reability Engineering and System Safety**, 2006;91(2).

METWALLI, S. M.; SALAMA, M. S.; TAHER, R. A. Computer aided reability for optium maintenance planing. **Computers Industry Engineering**. Elsevir Science Ltd. Great Britain, 1998.

NELSON, J. J.; RAZE, J. D.; BOWMAN, J.; PERKINS, G. Reability models for mechanical equipaments. **Proceedings annual reability and Maintainability Symposium**, IEEE. EUA, 1989.

NELSON, J. J.; RHODES, S.; RAZE, J. D.; BRADLEY, M. Reability models for mechanical equipaments. **Proceedings Annual Reability and Manitainability Symposium**, EEEE, 1988.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. **Criação de conhecimento na empresa**. 13 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997.

NSK. Vibrações mecânicas aplicadas à manutenção. Módulo 1 - Fundamentos da Vibração. (2010). Disponível em <http://www1.br.nsk.com/etreinar/conteudo/24/Curso_Vibracoes.pdf>. Acesso em 1 jun 2011.

NOHLE, M.; HANDLING hermetic compressor bounouts. **Ar conditioning, heating e refrigeration news**, ABI/INFORM Global, 1999.

NUTTER, D. W.; CASSADY, C. R.; TAYLOR, G. D.; WONG, C. T. Maintence-cost modeling for a refrigerated-trailer fleet. **Proceedings of the Annual Reability and Maintainability Symposium**, Seattle, WA, 2002.

OLIVEIRA, Djalma de Pinto Rebouças de. **Planejamento estratégico** 16. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção**: função estratégica. 2. ed. São Paulo, Qualitymark, 2005.

Proposta de novos indicadores para gestão em setores de manutenção. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT)** (2010). Disponível em <http://www.aedb.br/seget/artigos09/166_seget_ind_mnt_r.pdf>. Acesso em 13 jul 2012.

PRASAD, B. G. S. Effect of liquido n a reciprocating compressor. **Journal of Energy Resources Technology**, ASME, 2002.

PESSOA, Gerisvaldo. **Gestão da qualidade**. Custos da (não) qualidade. Faculdade Atenas Maranhense – FAMA (CREAMA), 2008.

PORTNOI, Marcos. **Probabilidade, variáveis aleatórias, distribuição de probabilidades e geração aleatória**. Ed. 26 jun 2010. Universidade Salvador – UNIFACS, 2005.

REFRIGERAÇÃO COMERCIAL. **Coleção Técnica**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2007.

RECONSUL Refrigeração. **Perguntas e respostas**: esclarecendo as dúvidas mais freqüentes de técnicos e instaladores. (2009). Disponível em pdf.

Relex Software Corporation (2009). Disponível em <<http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-R&langpair=en%7Cpt&u=http://manoel.pesqueira.ifpe.edu.br/cefet/anterior/2009.1/manutencao/MTTF%2520Versus%2520MTBF.pdf>>. acesso em 23 jul 2012.

Relex Software Corporation. **MTTF Versus MTBF**. 2009. <http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en%7Cpt&u=http://manoel.pesqueira.ifpe.edu.br/cefet/anterior/2009.1/manutencao/MTTF%2520Versus%2520MTBF.pdf>. Acesso em 23 julh 2012.

SCHAUB, J. **Oil's singular purpose in refrigerant systems**. Ar conditioning, heating e refrigeration news, ABI/INFORM Global, 2001;212(14):22.

SLACK, Nigel; STUART Chambers; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. Trad. Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher; Revisão técnica Henrique Luiz Corrêa. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002, 472p.

SLACK, N. et. Al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

SILVA, Denilson Pires. **Mantenabilidade**. Disponível em <<http://www.achando.info/significado/46562/Mantenabilidade.html>>.

SILVA, A. Manual: análise de irregularidades nos compressores alternativos. **Bitzer Internacional**, 2004. 49p.

SILVA, Alessandro da. **Refrigeração comercial**. 1. ed. São Paulo: Nova Técnica, 2007.

SILVA, Alexandre. **CO₂ – Dióxido de carbono em sistemas de refrigeração comercial**. 1. ed. São Paulo: Editora Nova Técnica, 2009.

SILVA, Bruno Delaida; BEGNINI, Bruno Horácio; VERNILLO JÚNIOR, Edimar; GRESPAN, Giovani Luiz; SILVA, Leonardo Cristofoli; KANTOR, Nicholas da Silva et al. **Análise de Weibull e análise da confiabilidade de sistemas**. 2010. Engenharia Mecânica. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu.

TAMAGNA, Alberto. **Detecção de falhas em mancais de rolamento por análise de vibrações em banda larga**: um caso prático de aplicação em uma população de equipamentos rotativos (2008). UFRGS. [Dissertação]. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11959?show=full>>. Acesso em 14 mar 2012.

TORREL, Wendy; AVELAR, Victor. Tempo médio entre falhas: explicação e padrões. **Relatório interno N° 78**. 2004.

TERBECK PINTO, Luis Henrique. **Análise de falhas tópicos de engenharia de confiabilidade**. Engenharia de manutenção central. 2004.

TAHIRA, Luiz. **Manutenção corretiva, preventiva e preditiva**. Disponível em <http://globalerrolamentos.blogspot.com/2010/02/manutencao-corretiva-preventiva-e.html>>. Acesso em 3 fev 2012.

TERRA, J. **Poder e compartilhamento de conhecimento**. <pdf>. Disponível em <www.terraforum.com.br> Acesso em 22 jun 2012.

Taxa de reprovação. Disponível em <<http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en%7Cpt&u=http://www.answers.com/topic/failure-rate>>.

Sporlan. **Boletim Técnico 40-10**. 2006.

TAVARES, L. A. **Administração moderna de manutenção**. New York: Novo Pólo, 1999.

TAVARES, L. A. Desenvolvimento da organização da manutenção. **Revista Nova Manutenção y Qualidade**, n. 30.

VIANA, Herbet Ricardo Garcia. **PCM: planejamento e controle da manutenção**. São Paulo: Qualitymark, 2002.

YAN-QIAO, J.; SHI-LIANG, W. Statistical analysis of reability of container refrigerationunits. **Internactional Journal Refrigeration**, 1996;19(6):407-413.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2006.

Sites

Disponível em <<http://www.answers.com/topic/failure-rate#ixzz21Unnta00>>. Acesso em 20 jun 2012.

Disponível em <<http://www.answers.com/topic/failure-rate#ixzz21UpBYr7P>>. Acesso em 23 jul 2012.

ANEXOS

ANEXO I

AUTORIZAÇÃO DA ELETROFRIO

APÊNDICES

hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	hermético	bitzer/cop	84	60480	manutenção de placa de Válvula com mão de obra R\$ 800,00 e 40 completas de R\$ 2900,00.: o valor total será de R\$ 140000,00
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	hermético	bitzer/cop	84	60480	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	Compressor semi hermético			52728,46 horas	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	1201			48 horas	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	10 HP			0,991	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	Existe			0,999953	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	Máximo R\$ 2900,00 todas as peças sobressalentes possíveis			0,998324	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	Placa de Válvula R\$ 400,00			0,975113	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	R\$ 4.000,00			0,838985	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	30 peças			0,507454	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	12 meses			0,170314	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	Melhor a Normal			0,027144	
hermético	bitzer/cop	83	59760	hermético	bitzer/cop	84	60480	Aprox.R\$ 24.000,00(conserto de 30 pçs com placa de valv. E mdo).			43384 horas	
hermético	bitzer/cop	84	60480	hermético	bitzer/cop	84	60480		mdo é mão de obra.			
hermético	bitzer/cop	84	60480	hermético	bitzer/cop	84	60480	70 manutenções, algumas podem ser complicadas ou seja 30 X a			Mais necessário pois se trata de reparo	

COMPRESSORES SEMI-HERMÉTICOS

FABRICA NTE	TEMPO QUEBRA APÓS START UP [MESES]	HORAS	Bitzer	6	4320	Bitzer	10	7200	Bitzer	12	7920	Bitzer	60	43200
Bitzer	2	1442	Bitzer	7	5040	Emerson	10	7200	Bitzer	60	8640	Bitzer	60	43200
Bitzer	2	1440	Bitzer	7	5040	Emerson	10	7200	Bitzer	60	8640	Bitzer	60	43200
Bitzer	2	1440	Bitzer	7	5040	Bitzer	11	7920	Bitzer	60	43200	Bitzer	60	43200
Danfoss	3	2160	Bitzer	8	5760	Bitzer	12	8640	Bitzer	60	43200	Bitzer	60	43200
Bitzer	4	2880	Bitzer	8	5760	Bitzer	12	8640	Bitzer	60	8640	Bitzer	60	43200
Bitzer	4	2880	Bitzer	8	5760	Bitzer	12	8640	Bitzer	60	8640	Bitzer	60	43200
Emerson	4	2880	Bitzer	9	6480	Bitzer	12	8640	Bitzer	60	43200	Bitzer	60	43200
Bitzer	5	3600	Bitzer	9	6480	Bitzer	12	7200	Bitzer	60	43200	Bitzer	60	43200
Bitzer	5	3600	Bitzer	9	6480	Bitzer	12	7200	Bitzer	60	43200	Bitzer	60	43200

Bitzer	88	63360	Bitzer	89	63360	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800	bitzer	90	64800
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800	bitzer	90	64800
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			compressor hermético Scroll
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64080	Bitzer	90	64800			10 HP
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			Não existe,substituir na falha
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			Não existe,substituir na falha
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			Nenhuma
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			Melhor Weibull 2 P
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			42.555,40 horas
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			60 dias
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,985235
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,918908
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,7481
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,469884
Bitzer	88	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,192046
Bitzer	89	64080	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,040977
Bitzer	89	64080	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			0,003474
Bitzer	89	64080	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			30.606,40 horas
Bitzer	89	64080	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			Curto Prazo
Bitzer	89	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			Menos necessário pois é substituição
Bitzer	89	63360	Bitzer	89	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			
Bitzer	89	63360	Bitzer	90	64080	Bitzer	90	64800	Bitzer	90	64800			