



Produto & Produção, vol. 18, n.2, p. 1-12. 2017

RECEBIDO EM 07/04/2017. ACEITO EM 04/07/2017.

Moisés Santos

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

moisessantos@live.com

Jairo José de Oliveira Andrade

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

Aplicação da Confiabilidade para o Direcionamento das Atividades de Manutenção para Equipamentos Rotativos em uma Indústria de Refino de Petróleo

Resumo

Este artigo apresenta a análise de confiabilidade de equipamentos de uma planta de destilação em uma empresa de refino de petróleo, aonde foram coletados e analisados dados de falha desde 1992. Foi possível notar quais as falhas mais impactantes e perceber que as falhas de selagem ocorrem com uma frequência superior à esperada, bem como notar que este modo de falha se encontra na fase de desgaste da curva da banheira. Em posse destes dados foi possível sugerir uma modificação no plano de selagem, no que se refere às atividades de manutenção. Foi possível também sugerir uma mudança na frequência de avaliações preditivas a fim de otimizar a utilização dos recursos de manutenção.

Palavras Chave: Confiabilidade, manutenção, análise de falhas

Abstract

This paper presents the reliability analysis of equipment in a distillation plant at an oil refining company, where they were collected and analyzed failure data since 1992. Were observed that the most striking failures and realize that the sealing failures occur more frequently than expected, and noted that this failure mode is in wear phase in bathtub curve. With these data it was possible to suggest a modification to the sealing plan, considering the maintenance activities. It was also possible to suggest a change in the frequency of predictive assessments in order to optimize the maintenance resources.

Keywords: Reliability, maintenance, failure analysis

1. Introdução

A articulação e estratégia na execução da função manutenção têm sido cada vez mais exigidas pelo crescimento da manufatura na estratégia empresarial, devido principalmente à maior necessidade de disponibilidade de máquinas ao longo do tempo (RAMOS FILHO et al., 2010). Como tais ativos demandam elevados investimentos, sua utilização deve ser maximizada para maximizar retornos financeiros (RAPOSO, 2010). Portanto, as empresas devem, no contexto de competitividade, garantir confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos por métodos de gestão estratégica da manutenção (TSANG, 2002; RAPOSO, 2010).

A utilização de técnicas e métodos quantitativos pode orientar as especificações de estratégias de manutenção nos diferentes setores da indústria ou da prestação de serviços. Várias técnicas e

métodos baseados em abordagens quantitativas foram estudados e aplicados à manutenção nos últimos anos. A RCM (*Reliability-Centered Maintenance* - Manutenção Centrada na Confiabilidade) é um destes métodos (SELLITTO, 2007). As metas da RCM são a identificação dos modos de falha e suas consequências; a escolha da técnica de manutenção de melhor custo-benefício; e o acompanhamento da aplicação com intuito de minimizar o risco e o impacto da falha. Garante-se dessa forma a funcionalidade do equipamento com confiabilidade, disponibilidade e segurança, a baixo custo (MACCHI et al., 2012). A RCM é adequada para empresas de processamento contínuo, tais como refinarias de petróleo já que o produto é sempre o mesmo, com eventuais variações de matérias-primas e o impacto do resultado da manutenção no resultado do processo usualmente é grande (SELLITTO, 2007). Os desafios e as preocupações referentes aos reparos e paradas no âmbito de indústrias do ramo petroquímico são explicados pela alta tecnologia envolvida, pelas grandes escalas de produção, pelo processo dinâmico e contínuo e pelo processamento de um bem de alto valor agregado.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo principal avaliar a confiabilidade de um conjunto de bombas localizadas em uma empresa da área do refino de petróleo. Como objetivos secundários podem ser citados (i) identificar os principais modos de falha incidentes nos equipamentos; (ii) realizar uma análise de confiabilidade nos equipamentos avaliados e (iii) sugerir uma estratégia de manutenção baseada nos resultados obtidos.

2. Confiabilidade de componentes

Para Lafraia (2001), a análise de confiabilidade é a avaliação probabilística de um sistema ou produto funcionar dentro de limites estabelecidos, não falhando durante determinado período de tempo em certas condições ambientais, visando proporcionar um bom desempenho funcional com baixo índice de falhas de um produto. Já a NBR 5462 (ABNT, 1994) define confiabilidade como sendo a capacidade de um item exercer uma função requerida sob condições especificadas durante certo período de tempo. A função confiabilidade varia entre 0 e 1 e pode ser usada como uma medida parcial do sucesso de um projeto industrial (SELLITTO, 2005).

Tradicionalmente um equipamento industrial vai apresentar um comportamento de falhas durante sua vida útil conhecido como curva da banheira, que representa de maneira geral as fases de um componente, como pode ser observado na Figura 1. A curva da banheira retrata a taxa de falha de um conjunto de itens e não apenas de um único. Dessa maneira, espera-se dentro de um sistema que alguns itens individualmente falhem mais cedo (mortalidade infantil) enquanto outros falham durante a fase de maturidade (ou vida útil) ou no período de desgaste do equipamento. Os tempos de cada fase não seguem um padrão e podem variar muito, sendo de dias até anos, dependendo do produto (WILKINS, 2002).

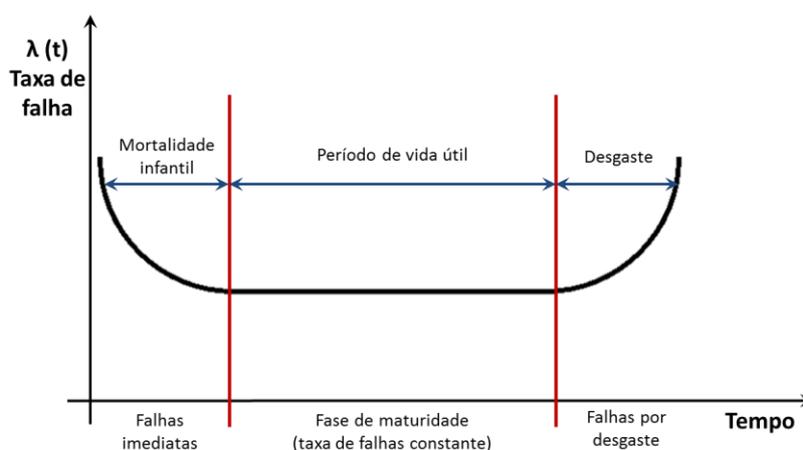


Figura 1 – Ciclo de vida de um equipamento industrial (Adaptado de LAFRAIA, 2001)

A fase caracterizada como mortalidade infantil representa o período pelo qual ocorrem falhas imediatas geralmente ocasionadas por falhas no projeto ou de montagem, cuja taxa de falhas de um item apresenta um comportamento decrescente. A estratégia de manutenção mais adequada para essa etapa é a manutenção corretiva, a qual não apenas repara o sistema, mas corrige o erro de projeto e/ou instalação do equipamento que permitiu que a falha acontecesse. Já na fase denominada de

maturidade, as falhas ocorridas apresentam um padrão constante e aleatório e acontecem devido a incidentes imprevisíveis, como variações nas condições de operação, por exemplo. Para este caso, o mais recomendado é a manutenção preditiva, onde monitoram-se alguns parâmetros significativos que se desviarão assim que entrarem para a próxima fase, denominada de desgaste. Quando o equipamento entra na fase de desgaste, inicia-se o término de vida útil do equipamento, ou seja, a taxa de falhas cresce continuamente. A melhor estratégia de manutenção para esta fase é a manutenção preventiva, pois é a fase em que é mais interessante a troca antecipada dos componentes frágeis antes que os mesmos venham a falhar (MARTINS e SELITTO, 2006; LAFRAIA, 2001).

Vários modelos matemáticos podem representar o comportamento até a falha de um equipamento ou sistema. Conhecendo-se a distribuição de probabilidade que mais se adequa aos tempos coletados é possível estimar a probabilidade de sobrevivência de um item e determinar todas as medidas utilizadas para a análise de confiabilidade. A Tabela 1 apresenta de forma resumida as principais distribuições aplicadas à confiabilidade, bem como suas principais expressões empregadas para modelar o comportamento da distribuição (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; LAFRAIA, 2001; ANDRADE, 2011).

Tabela 1 – Resumo das principais distribuições aplicadas à confiabilidade e suas medidas (Adaptado de LAFRAIA, 2001; FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; ANDRADE, 2011)

Tipo de distribuição	Característica principal	R(t) - Confiabilidade no tempo t	MTTF - tempo médio até a falha	h(t) - taxa de falhas em um tempo t
Exponencial	Descreve sistemas com taxa de falhas constantes.	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$MTTF = 1/\lambda$	$h(t) = \lambda$
Weibull	Mais importante das distribuições devido à flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até falha com comportamentos distintos.	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma}$	$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$	$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1}$
Lognormal	Distribuição mais versátil que a normal pois, tem uma forma mais variada, possibilitando melhor ajuste da população.	$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$	$MTTF = e^{\left(\frac{\mu + \sigma^2}{2}\right)}$	$h(t) = \frac{\phi[(\mu - \ln t)/\sigma]/\sigma t}{\Phi[(\mu - \ln t)/\sigma]}$

Segundo Arts *et al.* (1997), as estimativas de confiabilidade em casos onde se tem diferentes modos de falha pode ser uma tarefa difícil. Para os autores, os dados de falha são uma mistura de tempos até a falha que resultam de muitos modos de falha simultâneos e que recebem o nome de modos de falha concorrentes (*competing failure mode*). Os autores argumentam ainda que para modelagem conjunta destes diferentes modos de falha a distribuição de Weibull é a mais indicada, exatamente por ser flexível podendo se adequar às diferentes distribuições contidas na amostra dos dados.

A versatilidade da distribuição de Weibull está relacionada basicamente com o valor de γ (parâmetro de forma), pois permite que a distribuição assuma uma variedade de formas. Quando $\gamma < 1$, $h(t)$ é decrescente, indicando a fase de mortalidade infantil na curva da banheira; já quando $\gamma \approx 1$, $h(t)$ tende a apresentar um comportamento constante, indicando a fase de maturidade. Neste caso, a distribuição de Weibull transforma-se na distribuição exponencial. Por fim, quando $\gamma > 1$, $h(t)$ tem uma tendência crescente, indicando a fase de desgaste (ANDRADE, 2011).

Muitos trabalhos já foram realizados mostrando a aplicabilidade da análise de confiabilidade aplicadas à manutenção em ativos industriais. Reis e Andrade (2009) verificaram que a distribuição de Weibull melhor se ajustava ao comportamento de falhas da ferramenta em análise e após aplicação da análise de confiabilidade puderam apresentar à empresa estudada o comportamento ao longo do tempo de moldes empregados em equipamentos de injeção. Machado e Andrade (2013) implementaram uma estratégia de manutenção para diferentes grupos de equipamentos em uma empresa do ramo automotivo, empregando o conceito de RCM, utilizando como embasamento a confiabilidade, disponibilidade, MTTF e MTBF. Gregol e Andrade (2014) empregaram a análise de confiabilidade em conjunto com a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) visando o estabelecimento de estratégias de manutenção produtiva total (TPM – *Total Productive Maintenance*) em um equipamento empregado na fabricação de latas de alumínio. Em uma pesquisa recente Silva e Andrade (2016)

propuseram, através da análise de confiabilidade, sugestões de melhorias em um equipamento empregado na fabricação de peças e acessórios para a indústria automobilística.

3. Procedimentos metodológicos

3.1 Método de pesquisa

Quanto à natureza, esta pesquisa classifica-se como aplicada, pois os dados coletados e o embasamento teórico permitem gerar conhecimento para aplicação prática, voltada à solução de problemas específicos. Quanto a forma de abordagem do problema, esta pesquisa classifica-se como quantitativa, pois se utiliza do tratamento de dados através de técnicas estatísticas, gerando informações para a tomada de decisão. Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é considerada exploratória, pois visa proporcionar maior aproximação e entendimento de um tema, criando familiaridade em relação a um fato específico. Sob o ponto de vista de seus procedimentos técnicos, o presente trabalho tem caráter de pesquisa conhecido como estudo de caso, e visa uma situação construída para o teste da ideia (SILVA & MENEZES, 2001, BOAVENTURA, 2007).

3.2 Método de trabalho

As etapas executadas para o desenvolvimento deste estudo estão descritas de forma simplificada no fluxograma apresentado na Figura 2.

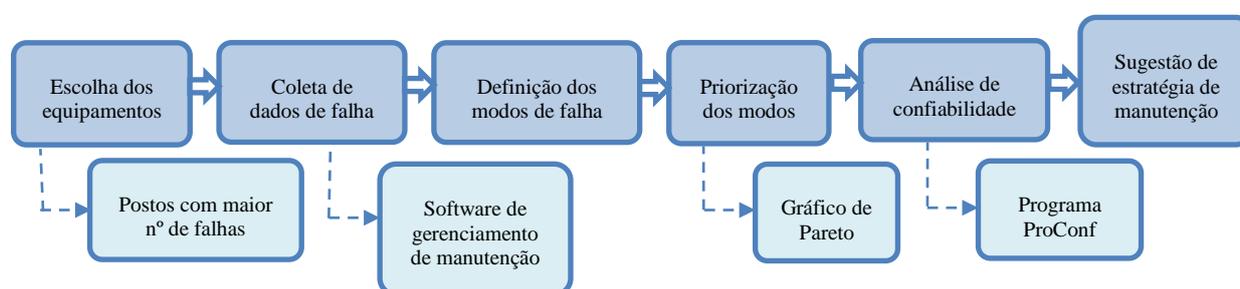


Figura 2 – Método de trabalho empregado (Adaptado de SPADER e ANDRADE, 2015; SILVA e ANDRADE, 2016)

3.2.1 Escolha dos equipamentos

A empresa em estudo é da área de petróleo, trabalha com refino e possui mais de 1000 funcionários diretos e mais de 2000 indiretos na sua sede de Canoas (RS). Para o processo de refino se utiliza de diversos equipamentos, como compressores, reatores, permutadores, torres de destilação, mas seus principais equipamentos são bombas e seus acionadores. Tais ativos representam cerca de 75% dos equipamentos de uma refinaria, consequentemente os principais motivos de perdas de produção estão associados as falhas destes equipamentos.

A escolha foi por uma unidade de destilação com idade média de 46 anos, que possui um número de falhas superior às outras unidades (cerca de 20% a mais). Na escolha dos equipamentos a serem analisados foram agrupados equipamentos idênticos, ou seja, que possuem as mesmas características estruturais e que trabalham em regimes exatamente iguais. Os equipamentos escolhidos foram o posto A, que é composto por dois conjuntos de motor elétrico e bomba centrífuga que trabalham com o bombeio de nafta pesada, e o posto B, que é composto por dois conjuntos de motor elétrico e bomba centrífuga que trabalham com o bombeio de salmoura. Estes equipamentos trabalham aos pares em regime de redundância, onde um trabalha e o outro fica na reserva, alternando semanalmente. Foi possível encontrar todas as falhas ocorridas depois de 1992, com suas respectivas datas e o tempo que ficaram em manutenção, através do *software* de gestão SAP, combinado com um *software* de manutenção.

3.2.2 Coleta dos dados de falha

É importante para uma adequada análise de confiabilidade que o sistema de armazenamento de dados seja confiável, cujas empresas de maior porte empregam *softwares* para auxiliar na gestão de manutenção. Estes *softwares* armazenam dados de indisponibilidade de cada equipamento através dos tempos de produção. Desta forma, foi possível encontrar todas as falhas ocorridas depois de 1992, com suas respectivas datas e o tempo em que ficaram em manutenção.

O processo de registro das falhas se deu por meio de um *software* de gestão de manutenção combinado com o SAP. Os dados de manutenção, como modo e número de falhas foram agrupados em um gráfico de Pareto, e desta forma foi possível escolher quais os modos de falha que devem ser priorizados, como pode ser visto na Figura 3 e na Figura 4.

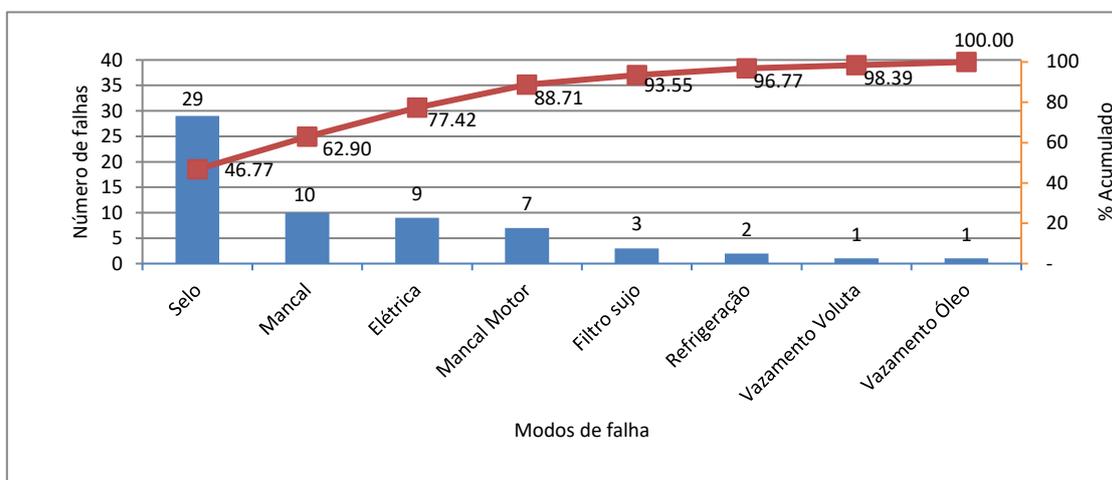


Figura 3 – Gráfico de Pareto dos modos de falha do Posto A

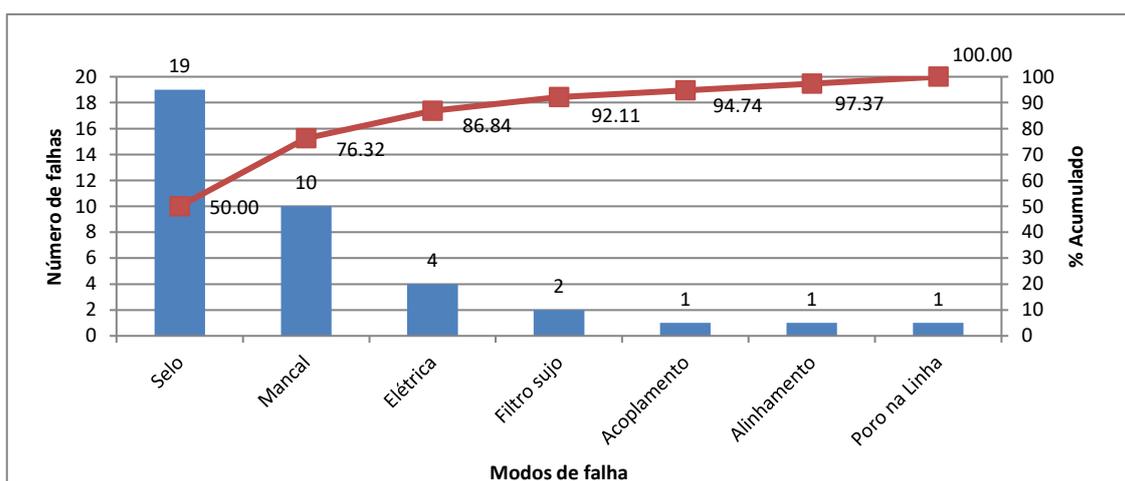


Figura 4 – Gráfico de Pareto dos modos de falha do Posto B

Foi possível observar que o modo de falha correspondente à falha de selo foi o problema mais incidente, em um dos casos até mesmo superando um percentual de 50% das falhas do posto. Desta forma obteve-se a definição dos modos prioritários, que foram iguais para ambos os postos, sendo o modo mais importante o de falha de selo, seguido por falha de mancais e problemas elétricos no motor.

Os postos analisados sofrem manutenção preventiva, preditiva e, quando necessário, corretiva. O motor possui uma rotina de lubrificação mensal dos mancais com graxa. Tanto motor quanto bomba possuem uma rotina preditiva mensal de medição de vibração, que quando indica alterações serve para

solicitar a intervenção no melhor momento antes da quebra do equipamento. Quando ocorre uma falha imprevista ocorre a manutenção corretiva, aonde um exemplo deste tipo de falha é a falha do selo, que não possui um método de preditiva ou preventiva, e normalmente é uma falha abrupta sem indícios antecipados.

3.2.3 Definição dos modos de falha

O *software* de gerenciamento de manutenção armazena as informações de momento da falha, tempo para o reparo e modo de falha, possibilitando a extração de todos os modos de falha já ocorridos com ambos os equipamentos em estudo. Os modos foram listados na Tabela 1, juntamente com uma descrição do impacto que este modo causa ao posto e o tempo médio de indisponibilidade do equipamento. O tempo médio de parada leva em conta não somente a manutenção em si, mas todo o aparato necessário entre a parada do equipamento e o momento de retorno ao funcionamento. Por estes modos serem comuns a muitos conjuntos de motor-bomba da empresa, os tempos de parada foram coletados como a média de toda a empresa e não somente dos equipamentos analisados. A Tabela 2 apresenta os modos de falha e os impactos causados por tais falhas.

Tabela 2 – Características dos principais modos de falha

Modo de falha	Descrição	Impacto	Tempo médio de parada
Falha no selo	Falha no sistema de selagem, apresentado por vazamento, impedindo a operação do equipamento.	Parada do equipamento, remoção para manutenção, e fragilidade do posto.	7 dias
Falha de mancal	Vibração elevada; ruído; contaminação do óleo; trancamento.	Parada do equipamento, remoção para manutenção, e fragilidade do posto.	7 dias
Falha elétrica	Problemas elétricos variados no motor elétrico (botoeiras, cabos, corrente elevada, aquecimento, ligação invertida).	Parada do equipamento e fragilidade do posto.	1 dia, mas se precisar remover 7 dias
Falha de mancal no motor	Vibração elevada; ruído; trancamento.	Parada do equipamento, remoção para manutenção, e fragilidade do posto.	7 dias
Filtro sujo	Filtro da sucção da bomba com sujeira.	Parada para limpeza do filtro.	1 dia
Problema na refrigeração	Sujeira no sistema de refrigeração.	Parada para limpeza do sistema.	1 dia

3.2.4 Priorização dos modos de falha e análise de confiabilidade

Foram escolhidos os três principais modos de falha de cada conjunto de equipamentos, ou seja, os modos de falha que ocorreram com maior frequência no período estudado, implicaram em um maior tempo de indisponibilidade, e cujos impactos decorrentes destes modos de falha causam um maior problema para a operação.

Para realizar a análise de confiabilidade foram determinados os modelos estatísticos através do *software* de modelos estatísticos *Proconf*. Tal *software* foi desenvolvido no Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da UFRGS, cuja aplicação do mesmo foi realizada com sucesso por outros autores (SELLITTO, 2005; REIS E ANDRADE, 2009; ANDRADE, 2011). Com os dados de TTF verificou-se qual a distribuição que modelava mais adequadamente o comportamento das falhas dos equipamentos, realizando-se a partir daí uma análise de confiabilidade para subsidiar a adequada escolha da estratégia de manutenção a ser adotada.

4. Resultados e discussões

4.1 Análise de confiabilidade dos equipamentos

Após a definição dos modos de falha realizou-se o teste de aderência para verificar qual das distribuições de probabilidade representaria mais adequadamente o conjunto dos tempos até a falha. Através do teste de aderência realizado no *software ProConf*, verificou-se que a distribuição de Weibull se ajusta adequadamente aos dados de falha para os dois postos de trabalho analisados, cujos

parâmetros associados aos modos de falha estudados para cada tipo de equipamento (considerando as estimativas da verossimilhança máxima) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de dados – Fonte: ProConf 98

Posto de trabalho	Modo de Falha	Quantidade de Falhas	γ	θ	MTBF (dias)
Posto A	Falha de Selo	29	1,44	285	257
	Falha nos Mancais	10	0,97	803,5	831
Posto B	Falha de Selo	19	1,25	463,1	427
	Falha nos Mancais	10	1,02	802,3	809

Para todos os casos analisados, os valores de MTBF estão condizentes com os valores práticos vivenciados pela equipe de manutenção da empresa. Tal fato reforça a qualidade dos dados coletados, e indica que o registro dos mesmos pela equipe técnica vem sendo feito de forma eficiente. Observou-se que o modo de falha de selos é o mais representativo, sendo responsável por aproximadamente 50% das falhas em ambos os postos de trabalhos.

Para o Posto A o comportamento da taxa de falhas está apresentado na Figura 5, considerando a falha no selo, cujo papel da probabilidade ajustado pela distribuição de Weibull está apresentado na Figura 6.

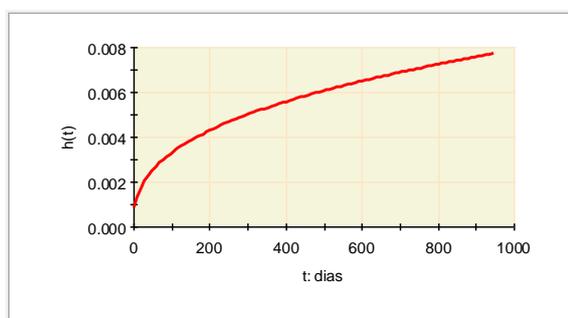


Figura 5 – Taxa de falhas para falha de selo no Posto A - Fonte: ProConf 98

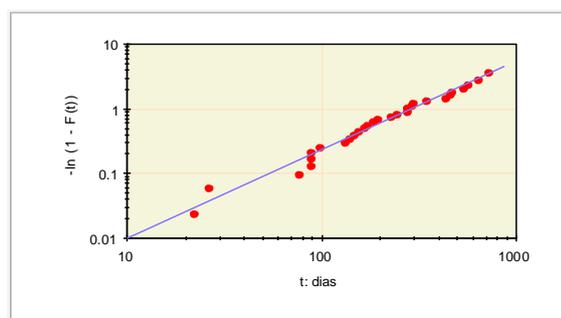


Figura 6 – Papel da probabilidade para falha de selos no Posto A – Fonte: ProConf 98

Com MTBF de 257 dias e um valor do parâmetro de forma (γ) igual a 1,44, pode-se situar o modo de falha na fase de desgaste do equipamento, conforme já apresentado por outros autores (MAHMOOD ET AL. 2011; SELLITTO, 2005). Nesta fase ocorre aumento gradual na taxa de falhas, causado por envelhecimento dos componentes, fadiga, degradação ou vida de projeto muito curta. As estratégias de manutenção normalmente aplicadas a esta fase são vinculadas a manutenção preventiva. Atualmente as intervenções neste tipo de falha ocorrem de forma corretiva, ou seja, depois da falha ocorrida. Tentativas de verificação preditiva não obtiveram sucesso, pois não foi possível relacionar nenhum evento ocorrido com o selo à sua falha.

Os conceitos da engenharia de manutenção da empresa, baseados em Mayer (1930), dizem que o tempo de operação de um selo mecânico deve ser de no mínimo 3 anos, e os dados levantados mostram um MTBF de 257 dias para o posto A e de 427 dias para o posto B, que é muito abaixo dos 1095 dias esperados. Uma estratégia de manutenção preventiva com um intervalo de tempo seguro faria com que as intervenções ocorressem com uma frequência muito maior do que a esperada. Portanto, para estes casos sugeriu-se uma alteração no plano de selagem, que já mostrou eficiência em outros casos parecidos dentro da empresa.

Já as falhas de mancal para este mesmo Posto A possuem um MTBF de 831 dias e um parâmetro de forma $\gamma = 0,97$, que é muito próximo de 1 e permite a inferência de que a taxa de falhas é praticamente constante, e que os problemas são predominantemente de origem aleatória. Neste caso

pode-se considerar que o modo de falha encontra-se na fase de maturidade da curva da banheira, pois $\gamma \approx 1$. A Figura 7 mostra a taxa de falhas e a aderência à distribuição, através do papel da probabilidade, encontra-se apresentada na Figura 8.

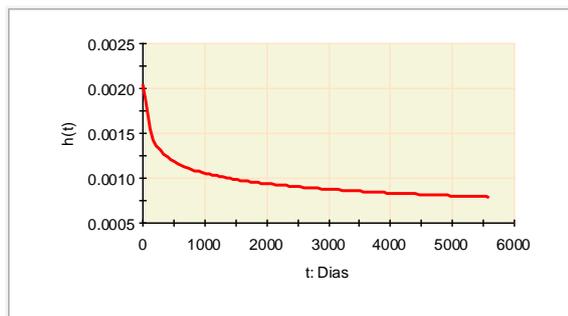


Figura 7 – Taxa de falhas para falha de mancais no Posto A - Fonte: ProConf 98

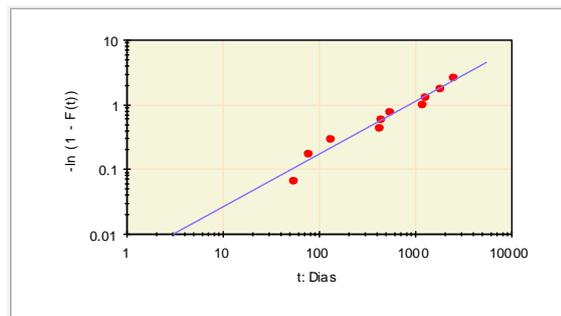


Figura 8 – Papel da probabilidade para falha de mancais no Posto A - Fonte: ProConf 98

Selitto (2005) relaciona a esta fase à estratégia de manutenção preditiva, conhecida por medições em intervalos periódicos, fornecendo a tendência evolutiva das falhas, como já vem sendo utilizada para análise das falhas de mancal. Para o Posto B, o comportamento da taxa de falhas está apresentado na Figura 9, para o modo de falha de falha no selo, e o papel da probabilidade ajustado pela distribuição de Weibull está apresentado na Figura 10.

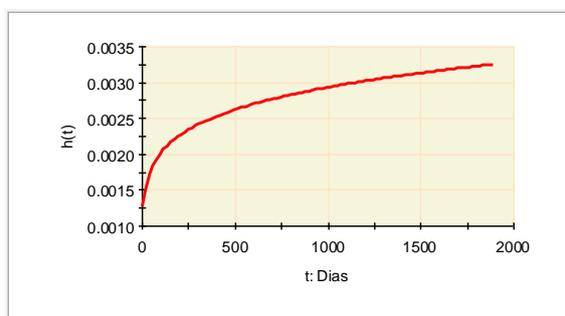


Figura 9 – Taxa de falhas para falha de selo no Posto B - Fonte: ProConf 98

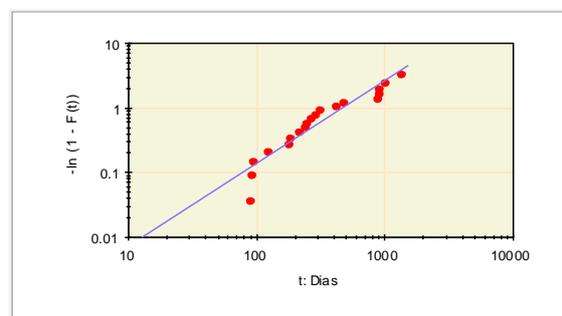


Figura 10 – Papel da probabilidade para falha de selos no Posto B – Fonte: ProConf 98.

Com MTBF de 427 dias e um valor de parâmetro de forma $\gamma = 1,25$ pode-se inferir, como no caso anterior, que o equipamento encontra-se na fase de desgaste. Isto se dá pelo fato dos componentes do selo se desgastarem rapidamente, em função das condições a que são submetidos. Nesse caso, a sugestão de alteração de plano de selagem deve reduzir significativamente essas condições, como já foi observado em outros postos parecidos, onde a mudança de plano de selagem já foi implantada.

As falhas de mancal para este mesmo Posto B possuem um MTBF de 809 dias e um parâmetro de forma $\gamma = 1,02$ que, como no caso do posto A, é muito próximo de 1 e permite a inferência de que a taxa de falhas é praticamente constante, e que os problemas são de origem aleatória. Neste caso pode-se considerar que o modo de falha encontra-se na fase de maturidade da curva da banheira, pois $\gamma \approx 1$ (Figura 11). A aderência à distribuição, através do papel da probabilidade, é mostrada na Figura 12.

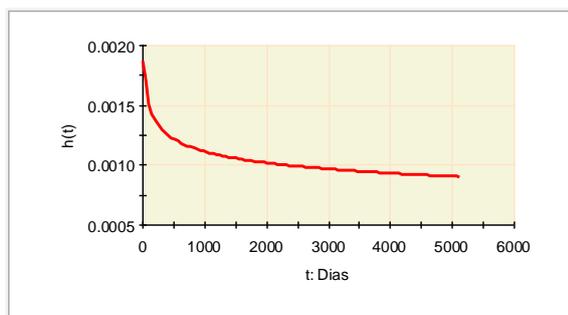


Figura 11 - Taxa de falhas para falha de mancais no Posto B - Fonte: ProConf 98

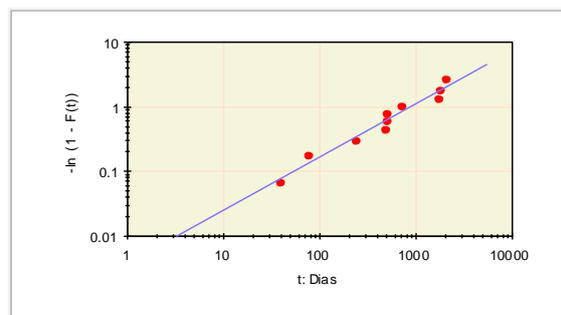


Figura 12 – Papel da probabilidade para falha de mancais no Posto B - Fonte: ProConf 98

Em virtude da baixa ocorrência de falhas será possível verificar a frequência de medições de vibração e sugerir algumas mudanças para as estratégias de ambos os postos.

4.2 Estratégias de manutenção propostas

Através das análises realizadas foi possível sugerir algumas alterações na estratégia de manutenção vigente, cujas sugestões foram definidas em conjunto com a equipe de Engenharia de Manutenção da empresa. Todas as análises realizadas foram apresentadas para o Engenheiro responsável pela unidade onde o estudo foi feito, e as sugestões de alteração, tanto do plano de preditiva como dos planos de selagem, foram feitas levando em consideração a situação financeira da empresa e os impactos que as falhas causam na produção. A gerência setorial participou das sugestões, visando garantir que nenhuma delas estaria fugindo da estratégia de melhoria que vem sendo implantada no setor e que também não excederiam os valores estipulados para tais melhorias.

4.2.1 Falhas nos mancais

O MTBF associado à falha nos mancais, para ambos os postos, bem como a taxa de falhas, representa a realidade e também se assemelha com outros equipamentos com a mesma faixa etária e regimes de trabalho parecidos. Nesse caso, a estratégia sugerida é que se continue com as análises de vibração, mas que o espaço de tempo entre uma e outra medição seja maior. Normalmente as medições são realizadas mensalmente, mas levando em consideração o fato de terem ocorrido apenas 10 falhas em um período de 22 anos, a sugestão é de que a frequência de medição passe a ser trimestral baseado nos tempos de MTBF e também nos dados referentes ao intervalo P-F de cada equipamento.

Sugeriu-se também que após 5 anos seja feita uma verificação da efetividade do método aplicado. Esta sugestão também será aplicada a outros equipamentos, que passarão por estudos parecidos com este. A intenção da gerência do setor de manutenção de equipamentos dinâmicos é que cada equipamento possua uma estratégia individual, baseada no seu MTBF, combinado com o intervalo P-F dos mesmos.

4.2.2 Falhas nos selos

Os dados encontrados neste estudo refletem a realidade de manutenção para sistemas de selagem que trabalham com este mesmo plano, utilizado em ambos os postos analisados. Realizando uma análise mais aprofundada nos relatórios de manutenção, foi possível observar que as falhas nos selos são basicamente por dois motivos distintos:

- Por superaquecimento, que danifica os anéis de elastômero e as faces das sedes dos selos;
- Por riscos nas faces de selagem, causadas por partículas duras que o fluido carrega e acabam chegando às faces das sedes dos selos.

Moubray (1991) comenta que o reprojeto é uma ação que deve ser tomada quando há a ocorrência de falhas e uma ação pró-ativa não pode ser aplicada. O caso apresentado pela falha de selo

se encaixa nesta situação, já que ocorre com uma taxa de falhas característica da fase de mortalidade infantil, mas para um intervalo de confiabilidade de 85%, as intervenções preventivas deveriam ocorrer próximas aos 100 dias, inviabilizando este tipo de ação.

A sugestão proposta foi a de alterar o plano de selagem utilizado nestes dois equipamentos. As definições técnicas foram desenvolvidas durante a execução deste projeto em conjunto com uma empresa parceira, fornecedora especializada em sistemas de selagem. O plano utilizado nestes equipamentos faz parte de um conceito antigo e quando apresenta tais características de falha a recomendação da fornecedora é de que se troque o plano.

O plano de selagem utilizado nos dois postos é o plano A (Figura 13) que usa o fluido bombeado para fazer a refrigeração. Ele capta o fluido da descarga da bomba e injeta no selo, permitindo a passagem de pequenas partículas duras, que acabam danificando o selo. Também ocorre frequentemente a obstrução das linhas de selagem em função do particulado, o que gera o superaquecimento da selagem.

O plano de selagem sugerido como melhoria é o plano B, que tem um sistema de captação do fluido diferente do plano utilizado atualmente, cujo mesmo está apresentado na Figura 14.

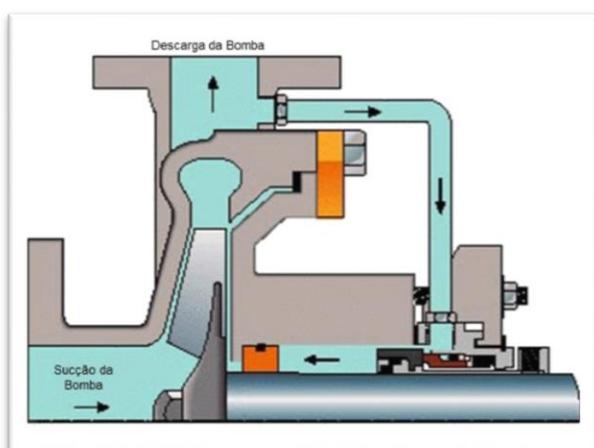


Figura 13 – Plano de selagem A

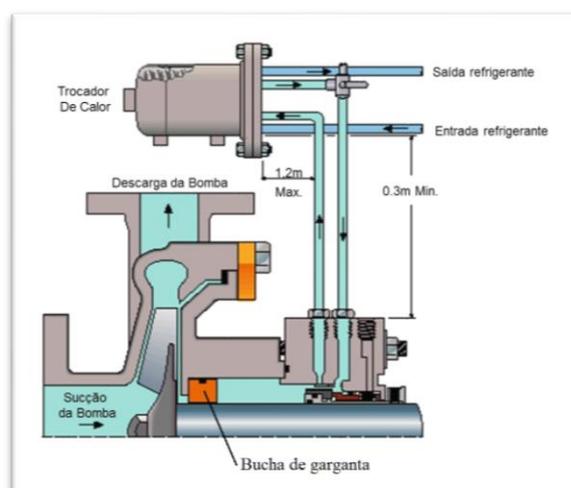


Figura 14 – Plano de selagem B

As vantagens apresentadas pelo plano de selagem sugerido são:

- A limpeza do fluido: A bucha de garganta nada mais é do que um anel, com uma folga controlada, que não permite que partículas, que possam danificar o selo, passem por ela. Também não ocorre obstrução das linhas, já que o fluido que passa por elas é limpo.
- A remoção da temperatura do fluido: Como o fluido passa por um trocador de calor, ele vai sofrer uma redução maior de temperatura, garantindo uma maior durabilidade dos anéis de elastômero utilizados nas vedações do selo.

5. Considerações finais

Através dos resultados obtidos no estudo realizado pode-se observar que os conceitos de curva da banheira condizem com a realidade da manutenção. As falhas ocorridas em mancais de bombas dos postos de bombeio foram abordadas para que fosse possível sugerir uma alteração na frequência de avaliação, visto que já fazia parte das estratégias de gerenciamento de recursos do setor de manutenção a aplicação de um projeto piloto. No futuro este projeto será ampliado para todos os equipamentos da refinaria, gerando uma estratégia de análise preditiva para cada equipamento, baseada em confiabilidade.

A falha mais impactante foi a de falha no selo da bomba que, com ações tangíveis alinhadas com a estratégia do setor de manutenção, pode ser reduzida a níveis aceitáveis e ajustar as

intervenções em virtude desta falha a ocorrerem em conjunto com a manutenção de mancais, otimizando custos com matéria prima e mão de obra.

Referências

- ANDRADE, J. J. O. **Emprego da confiabilidade na gestão estratégica da manutenção: estudos de caso**. In: 9º Simpósio Internacional de Confiabilidade – SIC, Reliasoft, Fortaleza, 2011.
- ARTS, R. H. P. M.; SAXENA, A.; KNAPP, G. M. **Estimation of distribution parameters of mixed failure mode data**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 3, n.2, p. 120-135, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462, Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia**, 37p. Rio de Janeiro. 1994.
- GREGOL, L. B.; ANDRADE, J. J. O. **Análise de falhas como subsídio para o estabelecimento de procedimentos de manutenção produtiva total (MPT): estudo de caso em máquina gargalo na fabricação de latas de alumínio**. In: XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Anais... Curitiba, 2014.
- MACCHI, M.; GARETTI, M.; CENTRONE, D.; FUMAGALLI, L.; PAVIRANI, G. **Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis**. Reliability Engineering & Systems Safety, v.104, n.1, p.71-83, 2012.
- MACHADO, F.; ANDRADE, J. J. O. **Emprego da confiabilidade para o estabelecimento de estratégias de manutenção na indústria metal-mecânica**. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Anais... Salvador, 2013.
- MARTINS, J. C. SELBITTO, M. A. **Análise da estratégia de manutenção de uma concessionária de energia elétrica com base em estudos de confiabilidade**. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Fortaleza, 2006.
- MAYER, E. **Selos Mecânicos Axiais**. 1.ed. Düsseldorf – Alemanha. p. 15-30, 1930
- MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2.Ed., Lutterworth-Inglaterra, p.144-169, 1991.
- PROCONF. **Confiabilidade de componentes**. Porto Alegre: Maxxi Gestão Empresarial, 1998.
- RAMOS FILHO, J.; ATAMANCZUK, M.; MARÇAL, R. **Seleção de técnicas de manutenção para processo de armazenagem pelo método de análise hierárquica**. Produção Online, v.10, n.1, p.142-166, 2010.
- RAPOSO, C. **Overall Equipment Effectiveness: aplicação em uma empresa do setor de bebidas do polo industrial de Manaus**. Produção Online, v.11, n.3, p.648-667, 2010.
- SELBITTO, M. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos**, GEPROS, v.2, n.1, p.97-108, 2007.
- SELBITTO, M. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Revista Produção, v.15, n.1, p. 44-59, 2005.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M.. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. 3. ed. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.
- SILVA, F. G.; ANDRADE, J. J. O. **Análise de falhas de equipamentos da indústria metal-mecânica como subsídio para estabelecimento das atividades de manutenção**. Espacios, n. 12, v. 37, p. 17-27, 2016.
- SPADER, A. L. R.; ANDRADE, J. J. O. **Emprego da análise de falhas para direcionamento das atividades de manutenção em equipamentos na indústria do remo de higiene e cuidados pessoais**. Espacios, n. 12, v. 36, p. 4-16, 2015.

TSANG, A. **Strategic dimensions of maintenance management.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v.8, n.1, p.7-39, 2002.

WILKINS, D. J. **The bathtub curve and product failure behavior – part one: the bathtub curve, infant mortality and burn-in.** Reliability HotWire. Tucson, v.21, Novembro, 2002.