

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

PEDRO PAIVA SANTANA

**ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DE UM CONJUNTO DE FILTROS
MICRÔNICOS**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2016

PEDRO PAIVA SANTANA

**ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DE UM CONJUNTO DE FILTROS
MICRÔNICOS**

Trabalho de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade, da Diretoria de Pesquisa e Pós Graduação - DIRPPG, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

CURITIBA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós Graduação - DIRPPG
Especialização em Engenharia de Confiabilidade



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DE UM CONJUNTO DE FILTROS MICRÔNICOS

por

PEDRO PAIVA SANTANA

Esta Monografia foi apresentada em quinze de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
UTFPR

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha noiva Elisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu colega e amigo Ulysses que me indicou este curso e me abriu as portas para o mundo da Confiabilidade. À minha noiva Elisa, que me incentivou e ajudou em cada vírgula desse trabalho, as mal colocadas certamente foram por culpa dela. Aos meus pais, porque são meus pais e devemos agradecê-los sempre. À minha avó, porque é uma velhinha muito simpática e eu a amo demais.

RESUMO

PAIVA SANTANA, Pedro. **Análise de dados de vida de um conjunto de filtros micrônicos**. 2016. 49 f. Trabalho de Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

A qualidade do combustível entregue ao consumidor final depende de um rigoroso processo de filtragem efetuado em várias etapas desde a produção até o envio final. Em um processo de entrega de combustível por oleoduto, a filtragem ocorre em um tramo específico contendo filtros separadores de água e de partículas. O objetivo deste trabalho era encontrar um tempo ótimo para realizar manutenção preventiva dos filtros micrônicos de um oleoduto de querosene de aviação. A vida dos filtros foi modelada por duas distribuições estatísticas de Weibull, possibilitando relacionar a confiabilidade dos equipamentos com a quantidade de horas de operação, e com a quantidade de dias corridos desde a instalação dos elementos filtrantes após uma manutenção, gerando sugestões de tempos de substituição. Outro resultado relevante foi a descoberta de que dois fabricantes poderiam estar fornecendo produtos com vida útil muito díspares.

Palavras-chave: Querosene de aviação. Filtro micrônico. Análise de dados de vida. Oleoduto. Manutenção.

ABSTRACT

PAIVA SANTANA, Pedro. **Life data analysis of a set of micronic filters**. 2016. 49 p. Trabalho de Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

The quality of the fuel delivered to the final consumer depends on a rigorous filtering process carried out in several stages from production to final shipment. In a pipeline fuel delivery process, filtration occurs in a specific section containing water and particulate separator filters. The objective of this work was to find an optimal time to carry out preventive maintenance of the micronic filters of an aviation kerosene pipeline. The life of the filters was modeled by two statistical distributions of Weibull, allowing to relate the reliability of the equipment with the number of hours of operation, and with the number of days since the installation of the filter elements after a maintenance, generating suggestions of replacement times. Another relevant finding was the discovery that two manufacturers could be supplying products with very disparate life cycle.

Keywords: Aviation Kerosene. Micronic filter. Analysis of life data. Pipeline. Maintenance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva da banheira.....	19
Figura 2 – Distribuições de vida mais utilizadas	20
Figura 3 – Influência dos parâmetros na Função Densidade de Probabilidade de Weibull.....	22
Figura 4 – Típico sistema de distribuição para o QAV.....	27
Figura 5 – Esquema de envio do QAV	31
Fotografia 1 – Filtro micrônico.....	30
Fotografia 2 – Cartucho do filtro micrônico.....	30
Gráfico 1 – Falha nos filtros micrônicos dos tramos A e B	32
Gráfico 2 – Troca dos filtros micrônicos dos tramos A e B	33
Gráfico 3 – Filtros micrônicos funcionando de maneira correta	33
Gráfico 4 – Filtro comportando-se de maneira irregular	34
Gráfico 5 – Aderência dos dados às distribuições de Weibull	37
Gráfico 6 – Funções densidade de probabilidade	37
Gráfico 7 – Funções de confiabilidade	38
Gráfico 8 – Funções de probabilidade de falha	39
Gráfico 9 – Gráficos de taxa de falha	39
Gráfico 10 – Correlação entre os valores de β para aos dois conjuntos de dados ...	40
Gráfico 11 – Função densidade de probabilidade por conjunto de dados	42
Gráfico 12 – Curva de contorno para os três conjuntos com 90% de confiança	43
Gráfico 13 – Taxa de falha versus tempo para os três conjuntos	44
Quadro 1 – Comportamento da função de taxa de falha	23
Quadro 2 – Relação das falhas e dos parâmetros beta e gama.....	24
Quadro 3 – Relação de beta e tipo de manutenção	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de especificação do QAV-1	28
Tabela 2 – Dados de falha dos filtros em dias corridos e horas operadas	35
Tabela 3 – Resultados das distribuições de probabilidade	36
Tabela 4 – Confiabilidade x tempo	40
Tabela 5 – Parâmetros Weibull em função do fabricante do filtro	41
Tabela 6 – Parâmetros Weibull em função do fabricante do filtro	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
1.4 OBJETIVOS.....	12
1.4.1 Objetivo Geral	12
1.4.2 Objetivos Específicos	12
1.5 METODOLOGIA	13
1.6 ESTRUTURA DO ESTUDO	13
2 DESENVOLVIMENTO	15
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	15
2.2 CONCEITOS DE CONFIABILIDADE	16
2.3 CONCEITOS BÁSICOS DA TEORIA DA CONFIABILIDADE.....	17
2.4 ANÁLISE DE TEMPO DE FALHA.....	18
2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS DE VIDA	19
2.6 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL	20
2.7 TIPOS DE DADOS.....	25
3 METODOLOGIA	27
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E PROCESSO.....	27
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	35
4.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	41
5 CONCLUSÕES	45
6 POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial passou por algumas modificações ao longo dos anos. Começou como uma manutenção corretiva, que era baseada em reparar os equipamentos danificados. Com o tempo, técnicas preventivas foram sendo incorporadas e os equipamentos passaram a ter planos de manutenção em intervalos regulares de tempo (KARDEC, 2009). Aos poucos, técnicas preditivas que visam determinar o tempo correto da necessidade de intervenção, foram sendo incorporadas no repertório das oficinas de manutenção (VIANA, 2013, p.12).

A confiabilidade é uma nova fase iniciada na história da manutenção industrial. Ferramentas qualitativas e quantitativas foram desenvolvidas para determinar a melhor forma de combinar todas as técnicas de manutenção e operação das plantas de forma a maximizar o retorno dos ativos de uma empresa, e não apenas focar em equipamentos de forma solitária.

Neste capítulo será apresentado o tema estudado, suas premissas e como ele pode impactar nos resultados da companhia, além da estrutura do documento.

1.1 TEMA

A companhia opera um duto de transferência de derivado de petróleo que passa por um processo de filtragem para garantir a qualidade do produto. Estes filtros vão saturando em operação normal, causando perda de carga no duto e dificultando a manutenção da vazão nos limites operacionais. Após um tempo, rompem dando passagem a impurezas comprometendo a qualidade do produto entregue.

Os dados de vida de um conjunto de filtros responsáveis pela filtragem de particulados serão analisados para identificar a vida característica destes elementos.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Há na companhia, atualmente, uma limitação no trabalho de manutenção causado pela imprevisibilidade das falhas. A determinação da característica de vida dos filtros poderia proporcionar uma melhoria na prática de manutenção de forma que as substituições e o gerenciamento de sobressalentes poderiam ser melhor planejados.

1.3 JUSTIFICATIVA

A identificação de um período adequado de troca dos filtros permitirá à Companhia programar a troca dos filtros de forma otimizada, melhorando a qualidade do produto entregue e empenhando de forma otimizada os recursos de manutenção, bem como aprimorando sua política de sobressalentes.

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram separados em geral e específicos, conforme exposto a seguir:

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é encontrar um tempo ótimo para realizar manutenção preventiva dos filtros que substitua a prática atual de trocá-los de forma corretiva, por exigência operacional, utilizando a técnica de análise de dados de vida.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os seguintes passos foram traçados para atingir ao objetivo geral proposto:

- Identificar nos dados colhidos os momentos em que ocorreram as falhas nos filtros;
- Identificar, nos mesmos dados, os momentos em que ocorreram as trocas dos filtros;
- Traçar as curvas de confiabilidade;
- Avaliar o tempo adequado para substituição dos filtros com base nas curvas de confiabilidade;
- Procurar oportunidades de avanço no tema.

1.5 METODOLOGIA

O presente estudo privilegiou a pesquisa quantitativa, onde os dados são originados dos registros de histórico operacionais armazenados nos servidores da Companhia. Será utilizada a técnica de análise de dados de vida, traçando curvas de confiabilidade pela distribuição estatística Weibull.

1.6 ESTRUTURA DO ESTUDO

A estrutura do presente estudo está dividida basicamente capítulos, cujo detalhamento poderá ser encontrado nas próximas linhas.

O Capítulo 1, aqui apresentado, é o da Introdução, que resume de forma breve a apresentação do tema, sua relevância, problema, objetivo e metodologia do estudo.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica ou referencial teórico, onde o objeto de estudo pode ser melhor compreendido através da abordagem dos conceitos relativos à confiabilidade e técnicas para análises de dados de vida útil.

O Capítulo 3, por sua vez, refere-se a Metodologia, onde se concentra em descrever a abordagem e os métodos utilizados para a coleta de dados para o desenvolvimento deste trabalho.

Já o Quarto Capítulo refere-se a Análise dos Resultados, onde é realizada a apresentação, análise e interpretação dos dados da pesquisa realizados.

O Capítulo 5 refere-se as conclusões, sendo que são apresentadas as conclusões em relação ao objetivo traçado, as considerações finais, assim como uma análise da questão de estudo proposta.

O Capítulo 6 refere-se a possíveis desdobramentos: momento em que são indicadas outras possibilidades de desdobramento do tema e sugestões para futuros trabalhos científicos.

2 DESENVOLVIMENTO

Há uma vasta bibliografia para o tema manutenção e confiabilidade. Uma pequena parte dela será exposta aqui para a compreensão deste trabalho.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A indisponibilidade operacional de equipamentos e/ou sistemas pode afetar a capacidade produtiva, aumentando custos e interferindo na qualidade do produto. Além disso, as falhas podem acarretar comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas, principalmente se estiverem envolvidos aspectos de SMS (segurança, meio ambiente e saúde). Assim, tem crescido a importância estratégica da função manutenção industrial. (WUTTKE, 2008, p.2).

As atividades de Manutenção Industrial podem ser classificadas basicamente em três grandes grupos: Preventiva, Preditiva e Corretiva (dividida em duas fases), sendo:

- **Manutenção corretiva:**

É a correção da falha ou do desempenho que está menor que o requerido após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção geralmente está associado a altos custos, uma vez que podem acarretar perdas de produção. (OTANI, 2008, p. 3).

- **Manutenção corretiva planejada:**

Nesse caso, a manutenção realizada é para a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo pela decisão dos gestores de se operar até ocorrer à falha. Por ser planejada, os custos tendem a ser mais baratos. (OTANI, 2008, p. 4).

- **Manutenção preventiva:**

Pode ser definida como todo serviço de manutenção realizado em equipamentos e sistemas em condições operacionais (não estão em falha). São serviços realizados em intervalos pré-definidos ou de

acordo com critérios prescritos, destinados a reduzir a probabilidade de falha. (VIANA, 2013, p. 10).

- **Manutenção preditiva:**

É um conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam o desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando a definir a necessidade ou não de intervenção. (OTANI, 2008, p. 3).

A função manutenção industrial dentro da organização deve ser considerada um ponto crítico, pois é ela quem garante a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, se for conduzida de forma eficaz e eficiente. (PASCHOAL, 2009, p. 2).

2.2 CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

A confiabilidade pode ser definida como uma das formas de se estudar a durabilidade de produtos, dentro de um conceito probabilístico. A função de confiabilidade, é uma das principais funções probabilísticas usadas para descrever dados provenientes de testes de vida. (PINHEIRO, 1999, p.2).

Atualmente o termo confiabilidade vem sendo amplamente empregado. Segundo a ABNT-NBR 5462 (1994), confiabilidade de um ativo é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

A confiabilidade possui um papel fundamental no estudo de equipamentos, levando em conta que há uma grande dificuldade de se obter com exatidão seus tempos de vida. Para realização da aplicação da confiabilidade é necessário um conhecimento do produto ou equipamento, pois é através deste conhecimento que será possível determinar os modos e as causas de falhas. Além disso, a confiabilidade tem como característica a versatilidade, pois através de determinado número de dados é possível fazer uma abrangência para outros equipamentos. (SILVA, et al; 2015).

O estudo de confiabilidade se baseia em modelos estatísticos de probabilidade, aplicados a dados de tempo decorrido até a falha, sendo que os dados de tempo até a falha podem ser coletados por meio de ensaios ou registro de

ocorrências de falhas em produto funcionando em clientes. (MARCORIN, 2003, p. 1).

A confiabilidade está diretamente relacionada com a confiança que temos em um produto, equipamento ou sistema, ou seja, que estes não apresentem falhas. Desta forma uma das finalidades da confiabilidade seria a definir a margem de segurança a ser utilizada, uma vez que no projeto tradicional o coeficiente de segurança é de uma escolha um tanto arbitrária por não conhecermos todas as variáveis do projeto. (LAFRAIA, 2001, p.2).

2.3 CONCEITOS BÁSICOS DA TEORIA DA CONFIABILIDADE

Segundo LAFRAIA (2001), os principais conceitos da confiabilidade são:

- Falha: consiste na perda de uma função;
- Falha Funcional: está associada a incapacidade do equipamento em atingir o padrão de desempenho requerido;
- Causa de Falha: circunstância que induz ou ativa um mecanismo de falha
- Modo de Falha: conjunto de efeitos pelos quais uma falha é observada;
- Vida Útil: intervalo de tempo durante o qual um item desempenha sua função com a taxa de falha especificada, ou até a ocorrência de uma falha não reparável;
- Tempo médio para falha (TMPF): é o tempo médio para falha de componentes que não podem ser reparados, sendo aplicável a componentes cuja vida termina na primeira falha:

$$TMPF = \frac{\sum_{i=1}^N TPF_i}{N}$$

- Tempo médio para reparo (TMPR): é o tempo para reparo de equipamentos; obtido de uma amostra nas mesmas condições de uso de componente desejado:

$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^N TPR_i}{N}$$

- Disponibilidade: é a probabilidade de que um componente que sofreu manutenção exerça sua função satisfatoriamente para um dado tempo t . De acordo com a ABNT-NBR 5462 (1994), a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

$$D = \frac{TMPF}{TMPF + TMPR}$$

- Disponível: estado de um equipamento, o qual permite a execução das funções especificadas de uso e de manutenção.

Para se realizar um estudo de confiabilidade tem-se os seguintes requisitos mínimos (ANDRADE; 2007):

- Aplicação de um modelo matemático apropriado para o estudo em questão; e
- Obtenção de dados estatísticos de falha e operação dos componentes e sistemas para possibilitar a estimação da confiabilidade preditiva.

2.4 ANÁLISE DE TEMPO DE FALHA

Muitos modelos matemáticos podem representar o comportamento até a falha de um equipamento, sendo que se a distribuição de probabilidade que mais se adequa aos tempos até a falha for conhecida, é possível estimar a probabilidade de sobrevivência de um item e determinar todas as medidas utilizadas para a análise de confiabilidade (BRAILE, 2013, P.3).

A taxa de falha pode ser crescente, decrescente, constante, em forma de “banheira” ou nenhum destes citados. A taxa de falha crescente, é relacionada ao desgaste e velhice do equipamento. Já a taxa de falha decrescente, é aquela que

possui grande quantidade de falhas no início do uso do produto (mortalidade infantil).

A Figura 1 ilustra a Curva da Banheira. (MATOS, 2010, p.5).

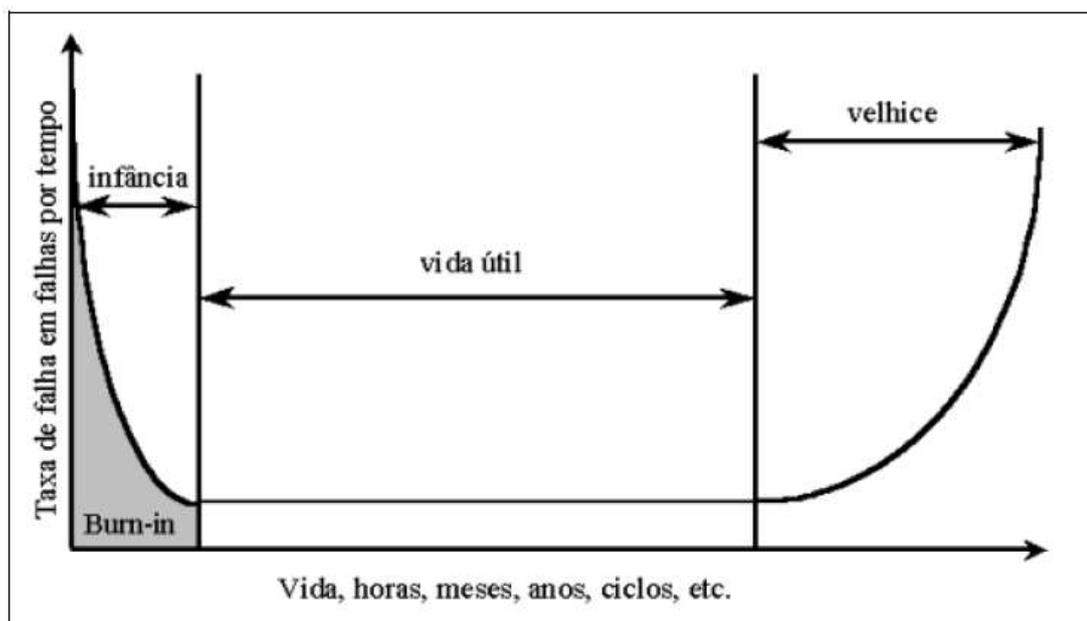


Figura 1 – Curva da banheira

Fonte: MATOS (2010, p.6)

A Curva da Banheira descreve a ocorrência de falhas que se iniciam com um alto índice de falha, seguidas de desgaste por uso (falhas precoces seguidas de falhas por desgaste). (MATOS, 2010, p.5).

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS DE VIDA

Para uma maior efetividade na análise de confiabilidade de dados de vida ou análise dos tempos de falha é definido um conjunto de funções de confiabilidade (Figura 2). (MATOS, 2010, p.6).

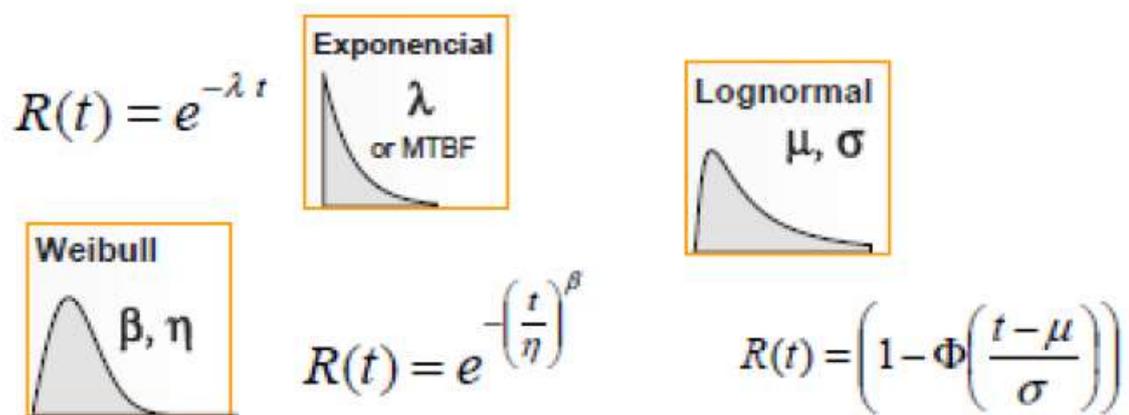


Figura 2 – Distribuições de vida mais utilizadas
Fonte: MATOS (2010, p.6)

As funções são modelos, os quais fornecem a estimativa de taxa de falha do equipamento em função do tempo estimam a probabilidade de falha do produto para uma dada idade, ou para um dado período de tempo. Estes modelos probabilísticos são baseados em distribuições estatísticas. As mais utilizadas são denominadas de Distribuições de Vida.

2.6 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull é um modelo de probabilidade para variáveis contínuas que pode ser utilizada em estudos do tempo de vida e na estimativa de falhas. Esta distribuição pode assumir as características de outras distribuições a partir de seu parâmetro de forma, chamado beta (β). Esta distribuição permite ainda analisar as falhas ocorridas em todas as fases da vida do equipamento. (RIGONI, 2013).

A função Densidade de Probabilidade de Weibull é dada por:

$$f(x|\beta, \eta, \gamma) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < +\infty, x \geq \gamma$$

Na engenharia de confiabilidade, os Parâmetros da Distribuição de Weibull possuem os seguintes significados:

- x é o valor assumido pela Variável Aleatória (RIGONI, 2013).
- Gama (γ) é o parâmetro de locação. Representa o tempo em que o sistema não apresenta falha e, portanto, gama será sempre menor do que o valor mais baixo dos dados coletados. A distribuição é definida para ser zero quando $x < \gamma$ (RIGONI, 2013);
- Eta (η) é o parâmetro de escala ou vida característica. Equivale ao período de vida entre o início da operação até a ocorrência de aproximadamente 63% das falhas do equipamento. Neste ponto $\eta = (x - \gamma)$; (RIGONI, 2013).
- Beta (β) é o parâmetro de forma. Este parâmetro é responsável pelo formato da distribuição. (RIGONI, 2013). Está associado a um modo de falha estudado.

A forma biparamétrica da Função Densidade de Probabilidade de Weibull ocorre quando o parâmetro de locação (γ) é zero. Este modelo pressupõe que não existe tempo livre de falha e, então, o equipamento pode falhar a partir do instante em que começa a operar. (RIGONI, 2013). A forma biparamétrica é dada pela equação a seguir:

$$f(x|\beta, \eta) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad \beta > 0, \eta > 0, x \geq 0$$

A forma monoparamétrica da Função Densidade de Probabilidade de Weibull ocorre quando se considera o parâmetro de locação (γ) é nulo e o parâmetro de forma (β) é suposto constante ($\beta = C$), definido a partir de conhecimento a priori. (RIGONI, 2013). A forma monoparamétrica é dada pela equação a seguir:

$$f(x|\eta) = \frac{C}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{C-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^C} \quad \eta > 0, x \geq 0$$

A Figura 3 ilustra a influência dos três parâmetros de Weibull na função densidade de probabilidade:

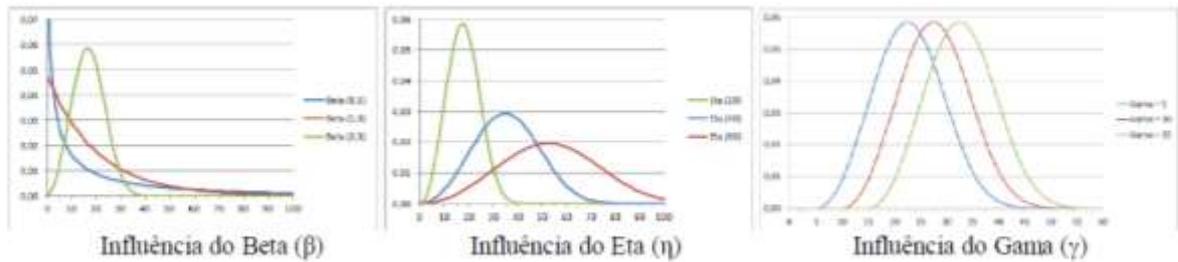


Figura 3 – Influência dos parâmetros na Função Densidade de Probabilidade de Weibull
Fonte: RIGONI (2013)

A Densidade de Probabilidade Acumulada $F(x)$ e a Confiabilidade $R(x)$ são determinadas respectivamente por:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

A Taxa Instantânea de Falhas (λ), que pode ser entendida como a probabilidade de que um sistema venha a falhar durante o intervalo $(x; x + \delta x)$, sabendo-se que o mesmo está funcionando em x é dada por: (RIGONI, 2013)

$$\lambda(x) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

A Média (μ), a Mediana (Me), a Moda (Mo) e o Desvio Padrão (σ) da distribuição de Weibull são dados respectivamente por:

$$\mu (TMPF) = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

$$Me = \gamma + \eta \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$M_o = \gamma + \eta \cdot [\ln(2)]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\sigma = \eta \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)^2}$$

Os valores dos parâmetros da distribuição Weibull podem indicar o tipo de falha e a melhor estratégia de manutenção para um determinado equipamento ou sistema. Os próximos quadros apresentam algumas inferências que são feitas a partir destes parâmetros.

β	Comportamento da Taxa de Falhas
< 1	Taxa de falha decrescente com o tempo - fase de mortalidade infantil
= 1	Taxa de falha constante - falhas aleatórias - função exponencial
> 1	Taxa de falha crescente com o tempo
= 2	Taxa de falha linearmente crescente
> 2	Taxa de falha cresce a uma taxa proporcional à potência (-1); distribuição de frequência tornando-se mais simétrica à potência que β cresce
= 3,2	Distribuição de frequência aproxima-se da distribuição normal, tornando-se menos dispersa à medida que β cresce

Quadro 1 – Comportamento da função de taxa de falha

Fonte: Adaptado de LAFRAIA (2001, p.38)

As três primeiras linhas do Quadro 1 indicam as três fases da curva da banheira.

γ	β	Significado
= 0		Não há confiabilidade intrínseca. Significa que em $t = 0$ a probabilidade de falha é 0
	< 1	Taxa de falhas decrescente, possivelmente devida à baixos coeficientes de segurança na carga
	= 1	Taxa de falhas constante, falhas de origem aleatórias
	> 1	Taxa de falhas crescente, desgaste iniciando logo que o componente entra em serviço
> 0		Há período de garantia, durante o qual não ocorre falha. O componente possui confiabilidade intrínseca
	< 1	Desgaste do tipo fadiga ou similar
	$\cong 0,5$	Fadiga de baixo ciclo
	$\cong 0,8$	Fadiga de alto ciclo
	> 1	Desgaste do tipo erosão
< 0		Há vida de prateleira, o componente pode falhar antes de ser usado
	< 1	Desgaste do tipo fadiga, iniciado antes do componente entrar em serviço
	> 1	Desgaste devido à contínua redução da resistência

Quadro 2 – Relação das falhas e dos parâmetros beta e gama
Fonte: Adaptado de LAFRAIA (2001, p.39)

O Quadro 2 mostra que o parâmetro gama é um deslocamento da função na abscissa, determinando a característica de vida inicial do equipamento, mas não altera a análise do parâmetro beta.

Valor de β	Tendência da Taxa de Falhas	Tipo de Manutenção
< 1	Taxa de falha decrescente	Corretiva
= 1	Taxa de falha constante	Preditiva / Corretiva planejada
> 1	Taxa de falha crescente	Preventiva

Quadro 3 – Relação de beta e tipo de manutenção
Fonte: Adaptado de LAFRAIA (2001, p.52)

O Quadro 3 relaciona o beta com o tipo de manutenção adequada para cada fase da vida de um componente. Componentes mecânicos sujeitos a desgaste, corrosão, fadiga, entre outros, devem ser considerados para sofrerem manutenção preventiva. Nestes casos, porém, deve-se conhecer a curva de desgaste para determinar o tempo ótimo. (LAFRAIA, 2001, p.177). Conhecendo-se o valor de beta, sabe-se a região em que estamos na curva da banheira. Esta relação é válida apenas para componentes, nunca para equipamentos, pois estes são compostos por muitos componentes e sempre estará na fase de vida útil da curva. (LAFRAIA, 2001, p.178).

2.7 TIPOS DE DADOS

A preparação dos dados é de extrema importância para uma análise bem-feita, sendo que a próxima etapa é a classificação do tipo de dados que será aplicado nesse estudo (MATOS, 2010), sendo que se resumem basicamente em:

- **Dados Completos:**

São dados em que são conhecidos os valores de cada item da amostra. Todos os itens testados apresentaram falha. (MATOS, 2010).

- **Dados Censurados à Direita:**

São dados em que há itens da amostra em que não são conhecidos os valores. Alguns itens foram retirados do teste antes de conhecermos os seus tempos para falha. (MATOS, 2010).

- **Dados em Intervalos Censurados:**

São dados em que itens são testados dentro de um período determinado, e apenas tem-se o conhecimento de que o item falhou dentro do intervalo, mas não o tempo exato. (MATOS, 2010).

A aplicação da análise dos Dados de vida basicamente. (RELIASOFT, 2016).

- Rastrear a confiabilidade de um equipamento ou produto e direcionar as ações corretivas apropriadas
- Prever a quantidade de falhas/retornos
- Especificar a confiabilidade
- Determinar o período ótimo para trocas preventivas
- Determinar estoques de reposição
- Determinar metas de confiabilidade e estratégias para alcançá-la
- Identificar problemas com fornecedores
- Avaliação do comportamento da falha e detecção de modos de falha
- Determinação do tempo de garantia

- Projeções de orçamento para falhas em garantia
- Analisar diferentes modos de falha
- Curva da Banheira
- Projeto probabilístico utilizando a interferência da relação tensão vs resistência
- Analisar sistemas reparáveis
- Comparar projetos, fornecedores e conjunto de dados

Dessa forma, pode-se considerar que se forem utilizados meios adequados para aquisição de dados de falha dos equipamentos e técnicas estatísticas adequadas para sua avaliação, a engenharia de confiabilidade buscará responder a uma questão crucial para o ambiente competitivo atual, qual seja: por quanto tempo um determinado produto vai funcionar continuamente, sem falhas (dados de vida). (MARCORIN; 2003).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão descritos os métodos utilizados para a coleta de dados para o desenvolvimento desse trabalho. Utilizou-se uma metodologia de pesquisa quantitativa.

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E PROCESSO

O estudo foi realizado em uma empresa que atua no ramo petroquímico, como distribuidora de combustíveis derivados de petróleo.

A Figura 4 ilustra todo processo do querosene de aviação – QAV –, partindo da destilação ao abastecimento da aeronave. A companhia em questão está inserida na estocagem, filtragem e bombeamento indicados na elipse em vermelho. Este estudo trata da análise da vida do filtro do tipo micrônico que antecede o envio do produto ao aeroporto.

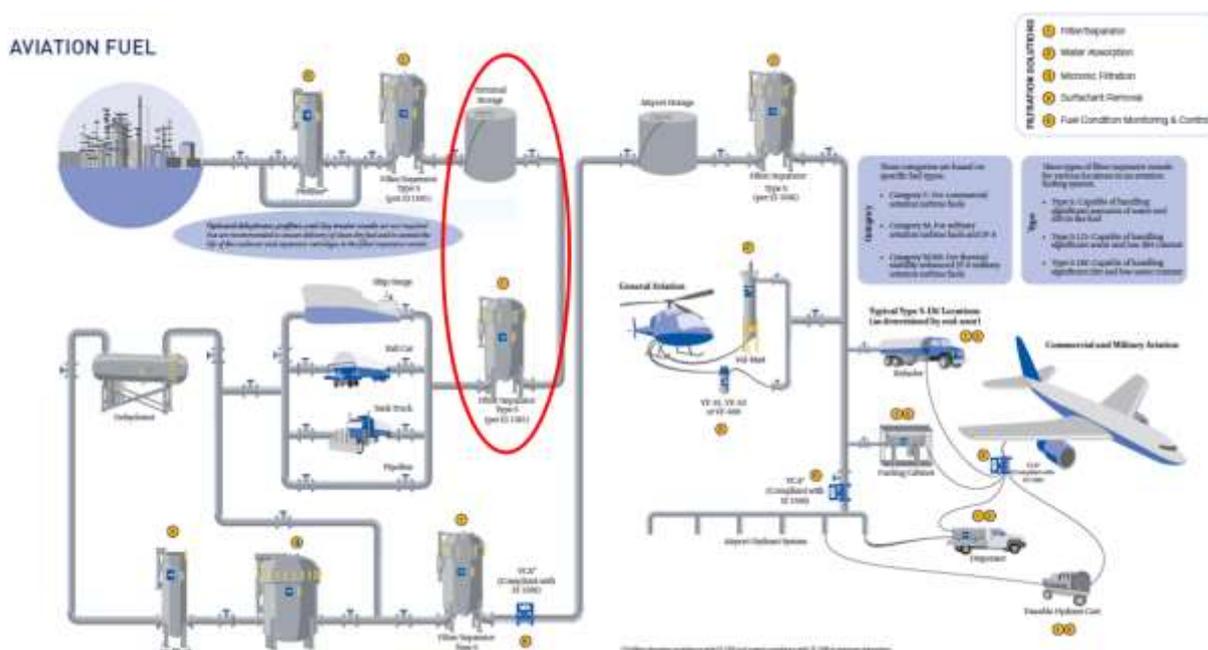


Figura 4 – Típico sistema de distribuição para o QAV
Fonte: Parker (2016, p.2)

O combustível querosene de aviação (QAV) é um derivado de petróleo obtido por destilação direta com faixa de temperatura de 150 a 300°C. São dois tipos de querosene de aviação produzido e comercializado no Brasil: o de uso para

aviação civil, conhecido pela sigla QAV-1, e o de uso militar, conhecido pela sigla QAV-5. A especificação brasileira do QAV-1 é determinada pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), sendo compatível com o Aviation Fuel Quality Requirements for Operated Systems (AFQRJOS) for JET A-1. O JET A-1 tem como requisitos: permanecer líquido e homogêneo até a zona de combustão das aeronaves, ter poder calorífico o mais elevado possível, apresentar resistência química e física às variações de temperatura e pressão e ter boas características lubrificantes. (PETROBRAS, 2014). Dessa forma, é imprescindível que a qualidade do QAV seja mantida durante todo o seu processo até a entrega ao consumidor final.

A Tabela 1 relaciona os limites de especificação do QAV-1, onde pode-se observar que o limite máximo admissível para os contaminantes particulados é de 1 mg/l, em atendimento a norma ASTM ASTM D5452-06: Standard Test Method for Particulate Contamination in Aviation Fuels by Laboratory Filtration. (PETROBRAS, 2014).

Tabela 1 – Limites de especificação do QAV-1

(continua)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	METODOS	
			ABNT NBR	ASTM
APARENCIA				
Aspecto	-	claro, límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temperatura ambiente	Visual	Visual D4176 (Procedimento 1)
Cor (2)	-	Anotar	14921	D156, D6045
Partículas contaminantes, máx. (3)	mg/L	1,0	-	D5452
COMPOSIÇÃO				
Acidez total, máx.	mg KOH/g	0,015	-	D3242
Aromáticos, máx. ou	% volume	25,0	14932	D1319
Aromáticos totais, máx. (4)	% volume	26,5	-	D6379
Enxofre total, máx.	% massa	0,30	6563 14533	D1266, D2622 D4294, D5453
Enxofre mercaptídico, máx. ou, Ensaio Doctor (5)	% massa -	0,0030 negativo	6298 14642	D3227 D4952
COMPONENTES NA EXPEDIÇÃO DA REFINARIA PRODUTORA (6)				
Fração hidroprocessada	% volume	anotar	-	-
Fração severamente hidroprocessada	% volume	anotar	-	-
VOLATILIDADE				
Destilação (7)	°C		9619	D86
P.I.E. (Ponto Inicial de Ebulição)		anotar		
10% vol. recuperados, máx.		205,0		
50% vol. recuperados		anotar		
90% vol. recuperados		anotar		
P.F.E. (Ponto Final de Ebulição), máx.		300,0		
Resíduo, máx.	% volume	1,5		
Perda, máx.	% volume	1,5		
Ponto de fulgor, mín.	°C	40,0 ou 38,0	7974	D56, D3828

Tabela 1 – Limites de especificação do QAV-1

				(conclusão)
Massa específica a 20°C (8)	kg/m ³	771,3 - 836,6	7148 14065	D1298 D4052
FLUIDEZ				
Ponto de congelamento, máx	°C	- 47	7975	D2386 (9), D5972, D7153, D7154
Viscosidade a -20°C, máx.	mm ² /s	8,0	10441	D445
COMBUSTÃO				
Poder calorífico inferior, mín.	MJ/kg	42,80	-	D4529, D3338 D4809
Ponto de fuligem, mín. ou	mm	25,0	11909	D1322
Ponto de fuligem, mín. e	mm	19,0		
Naftalenos, máx.	% volume	3,00	-	D1840
CORROSÃO				
Corrosividade ao cobre (2h a 100°C), máx.		1	14359	D130
ESTABILIDADE				
Estabilidade térmica a 260°C (10)			-	D3241
queda de pressão no filtro, máx.	mm Hg	25,0	-	-
depósito no tubo (visual)	-	< 3 (não poderá ter depósito de cor anormal ou de pavão)	-	-
CONTAMINANTES				
Goma atual, máx. (11)	mg/100 mL	7	14525	D381
Índice de separação de água, MSEP (12)			-	D3948
com dissipador de cargas estáticas, mín.	-	70		

Fonte: PETROBRAS (2014)

A planta recebe QAV importado ou refinado no Brasil através de oleoduto. O produto passa por um processo de estocagem em tanque em outra unidade da companhia antes de ser destinado para os tanques da referida unidade. O destino final do produto é o aeroporto internacional de São Paulo, que recebe o produto também via oleoduto.

Durante todo o processo, do refino ao destino final, o QAV incorpora particulados. Nas fases de estocagem o produto repousa nos tanques para reduzir a contaminação por gravitação. No entanto, para atingir a qualidade final exigida por norma, o produto deve ser filtrado antes da transferência para o destino final, e uma vez mais no processo interno do cliente.

A filtragem ocorre em três etapas por três filtros distintos. Um elemento filtrante metálico tipo cesto com grau de filtração 250 mesh, um filtro micrônico (Fotografia 1) com cartuchos em celulose tratada (Fotografia 2) e grau de filtração de 0,5 micron e um filtro com elementos coalescedores e separadores com grau de filtração de 0,5 micron. Os dois primeiros têm por objetivo reter partículas sólidas e o terceiro é aplicado para retirar água do produto.



Fotografia 1 – Filtro micrônico
Fonte: Acervo da companhia



Fotografia 2 – Cartucho do filtro micrônico
Fonte: Acervo da companhia

O sistema de filtragem foi originalmente construído em dois tramos para operar com redundância. Posteriormente o oleoduto passou por um aumento de vazão que exigiu que os dois tramos operassem simultaneamente. Sendo assim, a saturação dos filtros passou a exigir completa parada do oleoduto. Este oleoduto, atualmente, opera por cerca de 17 horas por dia e a demanda não apresenta regularidade.

O diagnóstico do momento de falha destes filtros é um problema para a companhia, pois o método mais tradicional que seria a verificação da pressão diferencial dos filtros em comparação com o valor de referência dos fabricantes não se mostrou útil. Este trabalho irá se ater no diagnóstico dos filtros micrônicos através dos dados históricos da pressão diferencial. A Figura 5 mostra os tramos dos filtros inseridos no processo de bombeamento. Após a descarga das bombas, o fluido passa pelos filtros micrônicos, destacados pela elipse vermelha e pelos filtros coalescentes. Os filtros cestos foram retirados do processo e, por isso, estão na cor branca.

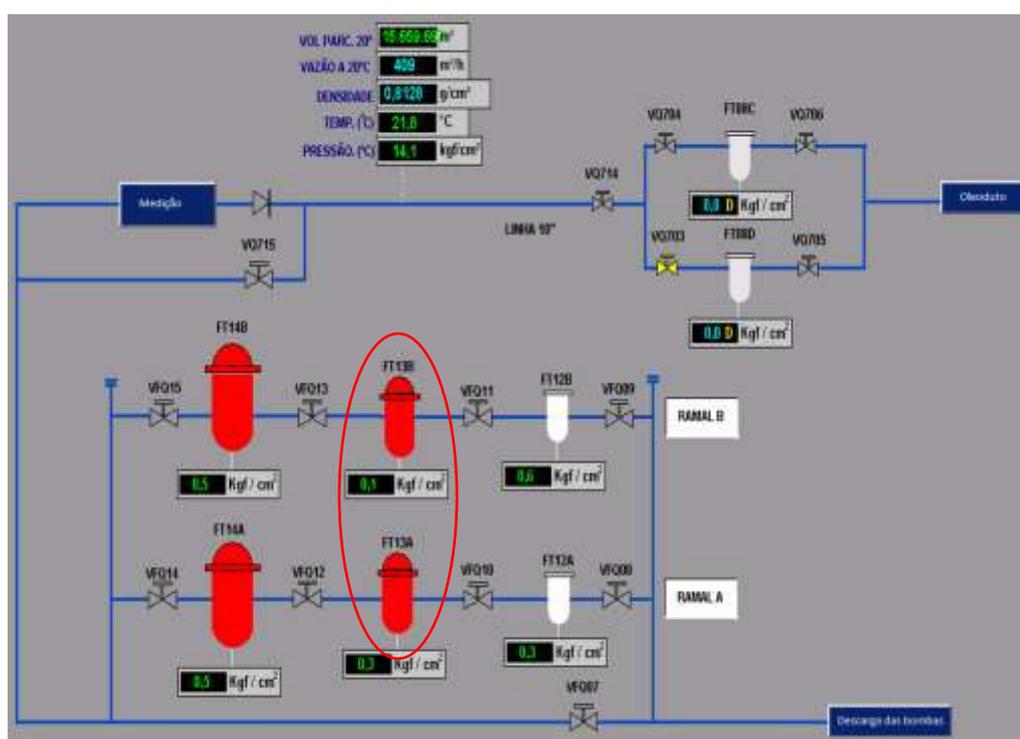


Figura 5 – Esquema de envio do QAV
Fonte: Tela do sistema supervisório do terminal

O método de trabalho foi realizar o levantamento de dados históricos de tempos até a falha, modelagem pelo software Weibull++ da Reliasoft, obtenção dos parâmetros da distribuição de Weibull para os tempos até a falha. Foram coletados, do sistema de informação da empresa, dados de operação no período de 04/09/2014 a 19/08/2016.

Para a equipe de manutenção, os filtros micrônicos deveriam ser trocados sempre que atingissem a pressão diferencial indicada pelos fabricantes de 5,17 kgf/cm². Porém, o aumento da perda de carga nos filtros dificulta a correta

regulagem da vazão do oleoduto pela equipe de operação muito antes de atingir o limite supracitado e uma troca é requisitada.

Os dados foram coletados analisando os valores da pressão diferencial dos filtros no histórico do sistema supervisório e definindo o momento de falha como sendo o momento em que o filtro, em operação, apresentava uma súbita redução de sua pressão diferencial sem que isto pudesse ser explicado pela redução de pressão ou vazão do duto (Gráfico 1). Uma segunda condição estabelecida para definir uma falha é que, nas horas seguintes à súbita redução de sua pressão diferencial, os filtros apresentassem um comportamento não estável, como a pressão diferencial variando de forma significativa em conjunto com variações de vazão (Gráfico 4). A quantidade de horas de operação e de dias corridos entre uma troca de filtro e a primeira falha foram computados.

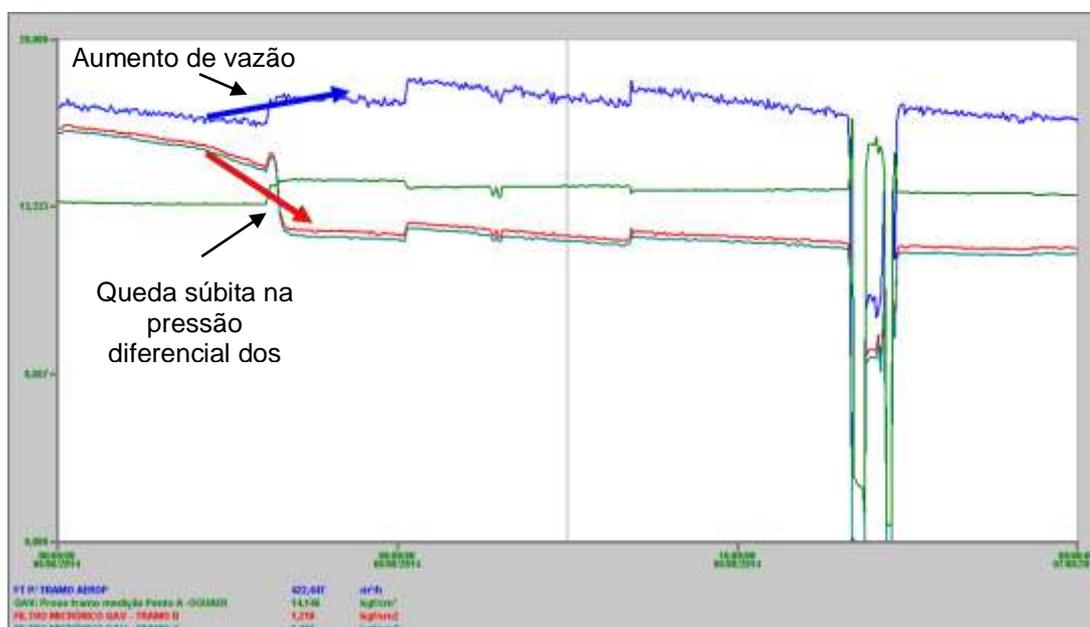
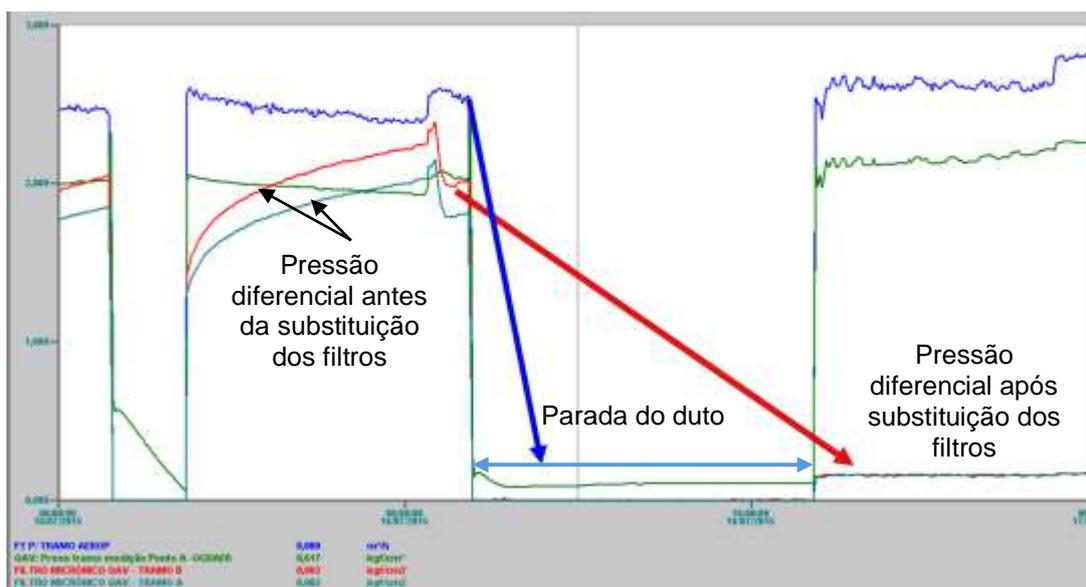
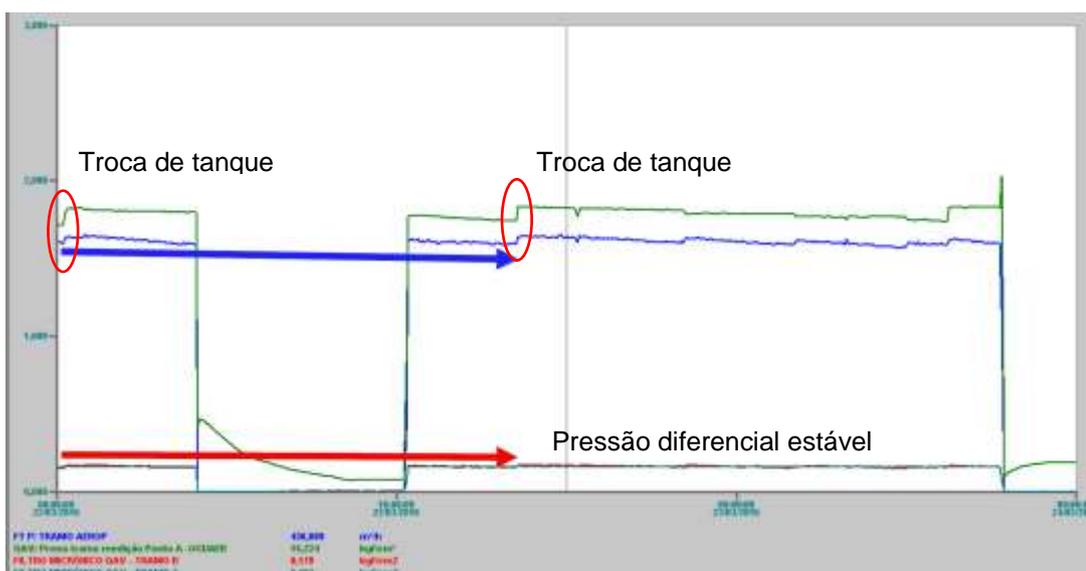


Gráfico 1 – Falha nos filtros micrônicos dos tramos A e B
Fonte: Tela do sistema supervisório do terminal

No Gráfico 1, observa-se uma imagem característica de falha de filtro. Percebe-se um aumento de vazão, enquanto a pressão diferencial dos dois filtros cai de maneira súbita.



No Gráfico 2, observa-se uma imagem característica de troca de filtros. Observa-se um período de parada do oleoduto através da redução da vazão a zero, e no retorno à operação a queda significativa na pressão diferencial nos filtros, indicando a troca dos elementos filtrantes.



No Gráfico 3, vê-se o comportamento típico do sistema com o uso de filtros novos, durante uma operação de bombeio. Durante o processo ao ser alinhado um novo tanque com nível maior há um ganho de altura manométrica no sistema.

Observa-se que a vazão (curva azul) tem um leve declínio até a entrada do novo tanque, e a pressão diferencial nos dois filtros permanece praticamente estável.

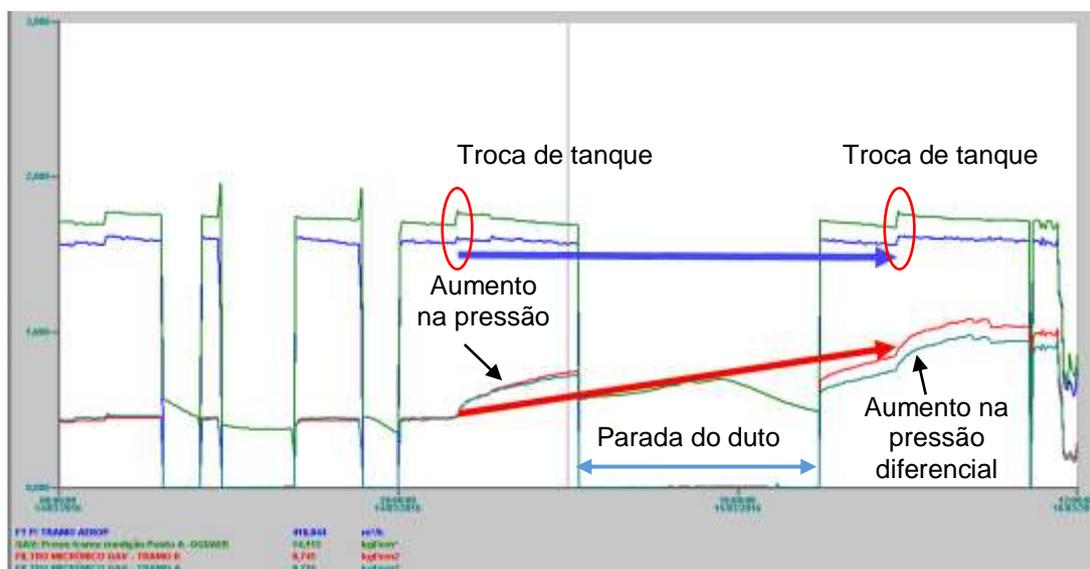


Gráfico 4 – Filtro comportando-se de maneira irregular
Fonte: Tela do sistema supervisório do terminal

No Gráfico 4 é ilustrada a mesma situação, porém com filtros usados, após uma falha observada. Observa-se que a pressão diferencial dos filtros, que já vinha subindo, sofre influência significativa do aumento de altura manométrica provocado pela entrada de um novo tanque. Nesses casos, a operação tem dificuldade de ajustar a válvula controladora para manter a vazão dentro dos limites do oleoduto.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Durante o período compreendido entre 04/09/2014 a 19/08/2016 foram coletados os dados para o estudo analisando os gráficos do sistema supervisorio que registra dados continuamente com a finalidade de identificar os momentos de falha e de troca dos filtros.

Para fins de cálculo de horas operadas, os dados foram extraídos do sistema supervisorio em intervalos de 15 minutos para garantir que todas as partidas e paradas do sistema foram identificadas. Os dados em dias corridos e horas operadas entre uma falha e uma troca foram tabelados (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados de falha dos filtros em dias corridos e horas operadas

Troca	Falha	Dias corridos	Horas operadas
04/09/2014	01/10/2014	27	468,75
30/10/2014	13/11/2014	14	250,5
13/12/2014	25/12/2014	12	251,5
05/02/2015	23/03/2015	46	779,75
27/03/2015	01/04/2015	5	91,25
02/04/2015	07/04/2015	5	67,5
22/04/2015	22/05/2015	30	531
09/06/2015	21/06/2015	12	211,5
29/06/2015	09/07/2015	10	241,75
16/07/2015	29/07/2015	13	224
18/09/2015	29/09/2015	11	207,25
29/12/2015	09/01/2016	11	213,25
27/01/2016	06/02/2016	10	177,75
12/02/2016	27/02/2016	15	233
07/03/2016	12/03/2016	5	89,75
21/03/2016	17/04/2016	27	472
22/04/2016	08/05/2016	16	270
12/05/2016	21/05/2016	9	147,5
24/05/2016	27/05/2016	3	60,5
01/06/2016	06/06/2016	5	101
24/06/2016	06/07/2016	12	203,25
08/07/2016	14/07/2016	6	114,25
20/07/2016	01/08/2016	12	200,75
05/08/2016	19/08/2016	14	265,5

Fonte: Autoria própria

Durante a coleta de dados, não foram identificadas trocas do filtro antes da ocorrência de falhas, conforme pode ser observado pelas colunas Troca e Falha da Tabela 2, portanto, todas as trocas ocorreram de forma corretiva. Sendo assim, todas as vezes que a operação solicitou uma troca devido a problemas de ajuste de vazão se deu após um evento classificado, neste trabalho, como rompimento do filtro. Como não houve casos de troca de filtros antes da ocorrência de falhas, os dados trabalhados são do tipo completos.

Os dados foram processados utilizando o software Weibull++ da Reliasoft. A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros das distribuições Weibull biparamétrica obtidos para os dados apresentados em horas operadas e em dias corridos.

Tabela 3 – Resultados das distribuições de probabilidade

Tipo de Relatório	Resultados Weibull++	
Parâmetros	Horas operadas	Dias corridos
Distribuição:	Weibull-2P	Weibull-2P
Análises:	RRX	RRX
Método do IC:	FM	FM
Ranqueando:	MED	MED
Beta	1,934187	1,907051
Eta	267,767585	15,164786
Valor da LK	-152,899776	-84,958104
Rho	0,96152	0,953589
F \ S	24 \ 0	24 \ 0
LOCAL VAR/COV MATRIX		
	Var-Beta=0,072860	Var-Beta=0,069425
	Var-Eta=936,507782	Var-Eta=3,131988
	CV Eta Beta=4,717198	CV Eta Beta=0,279435

Fonte: Autoria própria

Para ambos os casos foram escolhidas a distribuição de Weibull biparamétrica pois os valores de Rho estão adequados, demonstrando que os dados estão bem parametrizados pela distribuição, e, sendo possível encontrar cartuchos de filtro novos em falha, o parâmetro de locação que indica a vida mínima deve ser descartado. Foi utilizado o ranque mediano, o método de ranqueamento padrão e a regressão em X, posto que não ocorreu dados censurados.

No Gráfico 5, observa-se a aderência dos dados às distribuições de Weibull.

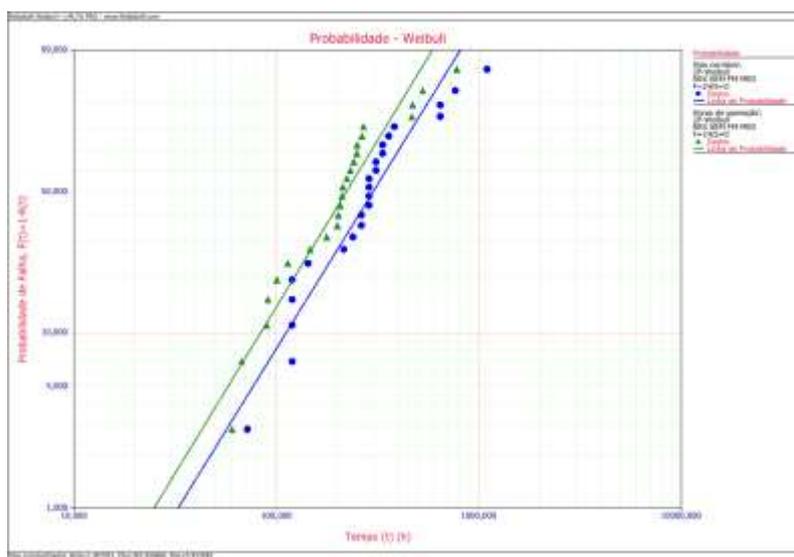


Gráfico 5 – Aderência dos dados às distribuições de Weibull
Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que os dados estão aderentes às distribuições e que, como era de se esperar, as falhas ocorrem em horas operadas antes do que ocorrem em dias corridos, já que o oleoduto não opera por 24 horas e, então, nos dados de dias corridos várias horas sem passagem de produto são agregadas.

No Gráfico 6, observa-se as funções de densidade de probabilidade.



Gráfico 6 – Funções densidade de probabilidade
Fonte: Autoria própria

A função densidade de probabilidade para os dois casos apresentam o parâmetro beta superior a 1, por isso as curvas se distanciaram de uma curva

exponencial e indicam que estes filtros estão na fase de vida útil na curva da banheira.

No Gráfico 7, observa-se as funções de confiabilidade.

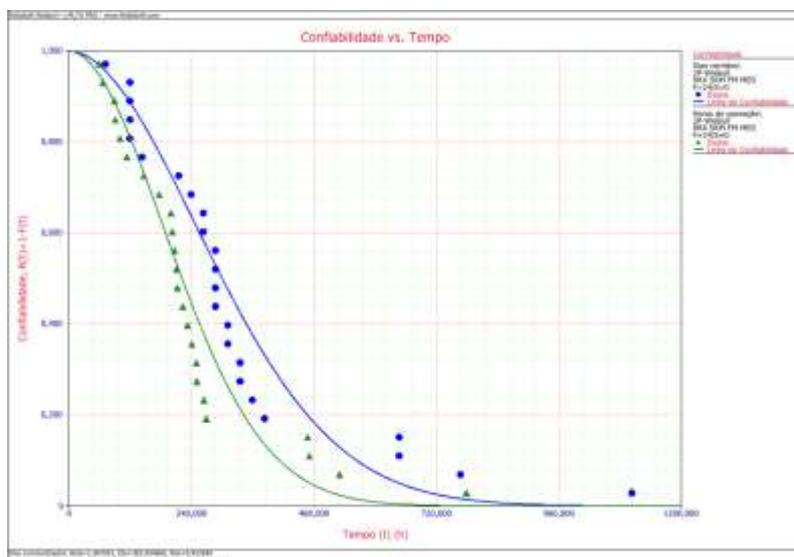


Gráfico 7 – Funções de confiabilidade
Fonte: Autoria própria

A combinação de parâmetro de locação gama em 0 e beta superior a 1 nos indicam que a os filtros tem taxa de falha crescente e o desgaste inicia com a entrada em operação dos novos filtros, fazendo com a confiabilidade seja decrescente com o tempo.

No Gráfico 8, observa-se as funções de probabilidade de falha.

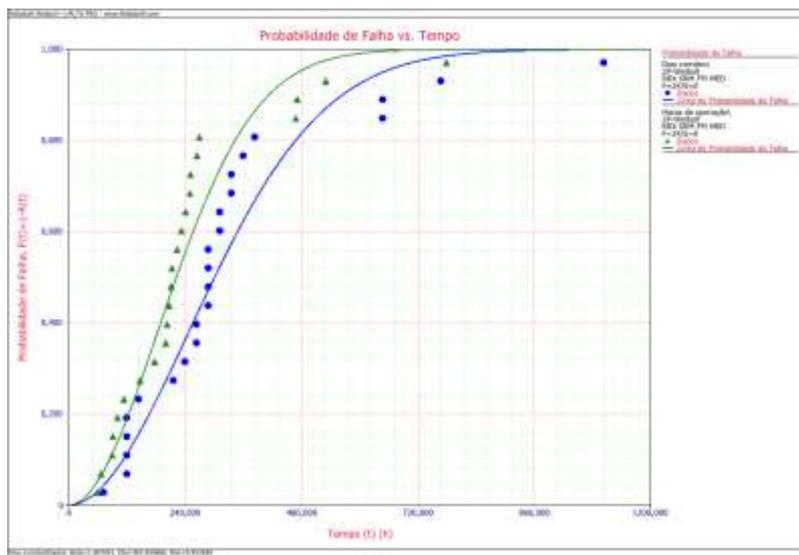


Gráfico 8 – Funções de probabilidade de falha
Fonte: Autoria própria

A probabilidade de falha é crescente e maior para o caso de horas operadas pois em dias corridos existe alguns momentos de duto não operando.

No Gráfico 9, observa-se os gráficos da taxa de falha.

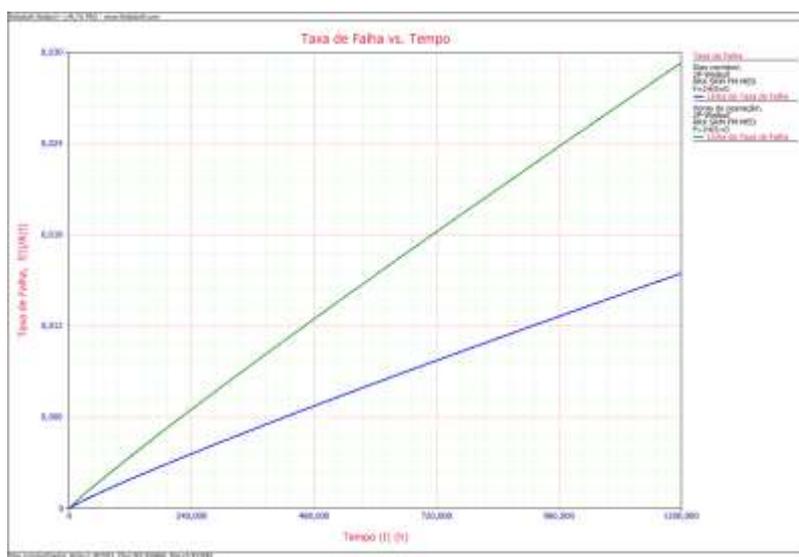


Gráfico 9 – Gráficos de taxa de falha
Fonte: Autoria própria

As taxas de falhas crescente nas duas distribuições indicam que uma manutenção preventiva poderá ser utilizada para melhorar este sistema.

No Gráfico 10, observa-se a correlação entre os valores de β para aos dois conjuntos de dados.



Gráfico 10 – Correlação entre os valores de β para aos dois conjuntos de dados
Fonte: Autoria própria

Há uma grande correlação dos betas das duas distribuições para um limite de confiança de 90%, demonstrando que a base temporal diferente nas medições não afetou a forma e, por conseguinte, as análises a serem extraídas do parâmetro. A divergência de eta e o maior range que ele assume em dias corridos representa a incerteza adicionada pelas horas não operadas no tempo de falha.

Tabela 4 – Confiabilidade x tempo

Confiabilidade	Horas de operação (H)	Horas de operação limite inferior	Dias corridos	Dias corridos limite inferior
90%	83,65	61,02	4,66	3,38
70%	157,14	126,66	8,83	7,08
50%	221,55	187,26	12,51	10,53
10%	412,12	365,37	23,48	23,48
TMPF	237,48	202,43	13,46	11,43
Limite de confiança de 90%				

Fonte: Autoria própria

A Tabela 4 apresenta a confiabilidade de alguns pontos da curva de confiabilidade pelo tempo. Uma opção conservadora para o tempo de execução da manutenção preventiva, visando a qualidade do produto, seria o limite inferior de 90% de confiabilidade da distribuição de horas de operação: 61 horas. Uma segunda opção seria a utilização do limite inferior de confiança do ponto 50% de

confiabilidade, da mesma distribuição, visando o aumento de disponibilidade: 187 horas.

4.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Existem dois fornecedores para estes filtros atualmente. Há uma desconfiança na equipe de Manutenção que um dos fornecedores possui um produto de qualidade inferior. Não consta a identificação do fornecedor dos elementos filtrantes nas ordens de manutenção e, por isso, não foi possível estratificar os resultados pelo fabricante, analisando a vida deles individualmente. Sabe-se, no entanto, que a entrada deste fornecedor se deu após os primeiros dados apresentados neste estudo e que, nos últimos meses analisados, o fornecedor original voltou a fornecer com maior frequência.

Com o intuito de tentar identificar uma possível diferença entre os fornecedores, foi realizada uma análise de sensibilidade com os dados coletados. Os dados de horas de operação foram separados em três conjuntos: 10 dados iniciais, correspondentes às trocas de filtros realizadas entre os dias 04/09/2014 a 16/07/2015 (Tabela 2); 10 dados finais, correspondentes às trocas de filtros realizadas entre os dias 07/03/2016 a 05/08/2016; e 10 dados intermediários, correspondentes às trocas de filtros realizadas entre os dias 29/06/2015 a 12/05/2016 sendo que há intersecção dos dados deste último grupo com dados dos outros dois. Estes três conjuntos foram parametrizados por distribuições Weibull biparamétricas para verificar se os parâmetros de forma, beta, seriam diferentes a ponto de identificar possíveis diferenças de fornecedores. Os resultados das distribuições estão apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 – Parâmetros Weibull em função do fabricante do filtro

(continua)

Tipo de Relatório	Resultados Weibull++		
	10 primeiros dados	10 intermediários	10 últimos dados
Parâmetros			
Distribuição:	Weibull-2P	Weibull-2P	Weibull-2P
Análises:	RRX	RRX	RRX
Método do IC:	FM	FM	FM

Tabela 6 – Parâmetros Weibull em função do fabricante do filtro

(conclusão)

Ranqueando:	MED	MED	MED
Beta	1,54949	2,764758	1,862387
Eta (h)	347,112878	253,894676	215,175856
Valor da LK	-65,963102	-59,492516	-60,361944
Rho	0,965963	0,950856	0,974514
F \ S	10 \ 0	10 \ 0	10 \ 0
LOCAL VAR/COV MATRIX			
	Var-Beta=0,142248	Var-Beta=0,354730	Var-Beta=0,188520
	Var-Eta=5582,465684	Var-Eta=975,884964	Var-Eta=1493,257278
	CV Eta Beta=8,874010	CV Eta Beta=9,011883	CV Eta Beta=6,765142

Fonte: Autoria própria

Pela Tabela 5 pode-se perceber que os 3 conjuntos deram aderência à distribuição, dado os valores de rho encontrados.

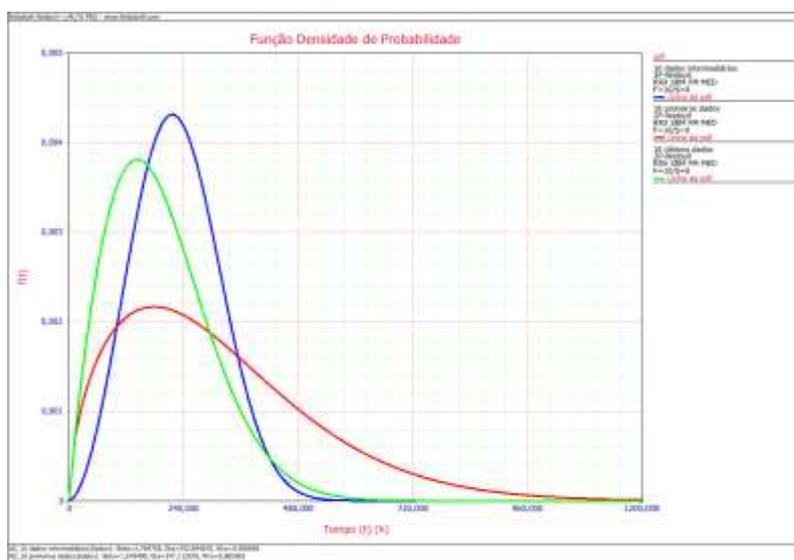


Gráfico 11 – Função densidade de probabilidade por conjunto de dados
Fonte: Autoria própria

Pelo Gráfico 11, pode-se observar que os dados intermediários e os dados finais apresentam alguma semelhança.



Gráfico 12 – Curva de contorno para os três conjuntos com 90% de confiança
Fonte: Autoria própria

O Gráfico 12 apresenta a curva de contorno que relaciona os possíveis betas e etas dos três conjuntos com 90% de nível de confiança. Pode-se observar que os dados iniciais e finais apresentam coerência de betas enquanto o conjunto intermediário apresenta um range maior de possibilidade para este parâmetro. O parâmetro beta está relacionado ao modo de falha e, tendo em vista que a falha funcional do filtro estudada neste trabalho é não filtrar dentro dos limites especificados, esta variação pode significar que existem dados de dois fabricantes misturados, e que eles não têm o mesmo rendimento.



Gráfico 13 – Taxa de falha versus tempo para os três conjuntos
Fonte: Autoria própria

Pelo Gráfico 13 pode-se observar que o conjunto dos dados iniciais apresenta taxa de falha muito menor em relação aos dados intermediários, reforçando a compreensão de que se trata de dados de fornecedores distintos.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho era encontrar um tempo ótimo para realizar uma manutenção preventiva dos filtros que substituísse a prática corrente de trocá-los por exigência operacional devido às dificuldades de manter a vazão constante do oleoduto. Partia-se do pressuposto que algumas trocas seriam realizadas sem que o filtro falhasse e, portanto, o tempo poderia ser otimizado para poupar recursos com a determinação da característica de vida do conjunto. Após a coleta dos dados, ficou claro que todas as manutenções são corretivas, muitas delas não programadas e, portanto, a previsão de uma manutenção preventiva, com determinação de um tempo ótimo de troca dos elementos filtrantes já seria uma completa mudança de paradigma.

Também foi verificado que a opção por uma manutenção preventiva baseada na condição dos filtros a partir dos limites estabelecidos pelo fabricante não se aplica neste caso, pois as falhas ocorreram, sempre, muito antes do limite indicado. Isto ocorre, provavelmente, pela mudança que ocorreu neste duto. A vazão atual do duto é maior do que a vazão para o qual os filtros foram projetados.

As duas distribuições estatísticas definidas neste trabalho poderão ser usadas de diversas formas pela Companhia. Poderá ser definido um nível aceitável de risco de falha e, com ele, determinado um tempo ótimo para substituição dos filtros que garanta a qualidade do produto e as características operativas do duto, conforme conclusões extraídas da Tabela 4. Outra forma de aprimorar o sistema seria implantar “horímetros” nos filtros, e trabalhar com o teorema da probabilidade condicional de Bayes para definir a capacidade de trabalho do sistema num período futuro, criando a prática de realizar uma manutenção preventiva baseada na condição, mas que esta condição fosse a probabilidade de falha e não a pressão diferencial dos filtros. A política de estoque e ressuprimento poderia ser aprimorada, trabalhando com o tempo ótimo de troca e o tempo padrão do processo de aquisição de mercadoria, para determinar o momento exato de executar o pedido de compras, reduzindo o estoque.

A inconsistência nos dados existentes no software de gerenciamento da manutenção gerou dificuldades na coleta de dados, pois foi preciso peneirar cada troca dos filtros nos dados do sistema supervisor, analisando gráficos diários de operação de dois anos. Além disto, a falta da informação do fabricante dos

elementos filtrantes impossibilitou a comparação direta do desempenho entre fornecedores, que seria um resultado desejável para este trabalho e para a Companhia.

6 POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS

Este sistema de filtragem possui outras variáveis que são monitoradas e que podem ser utilizadas para melhorar a compreensão do processo de saturação e da vida dos elementos filtrantes. As informações da origem do produto que foi bombeado em todos os dias, o momento em que cada tanque alinhado para o duto e a amostra laboratorial do produto estão disponíveis. Todos estes dados nos permitem, através da ferramenta estatística anova, compreender quais fatores têm influenciado de maneira significativa na aceleração do processo de saturação.

A análise de sensibilidade indicou que pode haver uma grande variação na durabilidade dos elementos filtrantes de acordo com os fabricantes. Melhorar o processo de anotação dos dados de manutenção, identificando o fabricante dos elementos filtrantes, pode permitir uma análise do custo do ciclo de vida por fabricante, gerando um ganho econômico para a companhia.

Outro desdobramento desejável é a análise dos filtros cestos e coalescentes para determinar a vida completa do sistema de filtragem e não apenas dos filtros micrônicos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, W. S. **Avaliação da Confiabilidade de Sistemas de Distribuição e Sub-Transmissão Considerando Geração Distribuída**. 2007.215f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

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

BRAILE, Nathalia A.; ANDRADE, Jairo J. **O estudo de falhas em Equipamentos de costura industriais utilizando o FMEA e a análise de confiabilidade**. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos. Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013. Disponível em: < www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_sto_177_007_22575.pdf>. Acesso em: 12 out. 2016.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

LAFRAIA, João R.B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 2.ed.Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MARCORIN, Adílson J; Abackerli, Alvaro J. **Uma Proposta de Estimativa de Confiabilidade Utilizando Dados de Campo**. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003. Disponível em: < www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2003_TR0206_0497.pdf >. Acesso em: 12 out. 2016.

MATOS, PAULO Z; ZOTTI, DAIANNE M. **Análise de Confiabilidade Aplicada à Indústria para Estimativas de Falhas e Provisionamento de Custos**. 2010. 59f.Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair V. A Proposta de desenvolvimento de Gestão da Manutenção Industrial na Busca da Excelência ou Classe Mundial. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa . ISSN 1808-0448, v. 04, n. 02: p. 01-16, 2008.

PARKER HANNIFI N CORPORATION. **Products for Aviation Fuel Handling**. Disponível em: <<https://www.parker.com/.../VEL1841-BUL-Products-for-Aviation.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2016.

PASCHOAL, et al. Disponibilidade e confiabilidade: Aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade. **Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA**, n. 3, Jan./Jun. 2009.

PETROBRAS. **Querosene de Aviação. Informações técnicas.** Disponível em: <sites.petrobras.com.br/.../assistenciatecnica/.../QAV-Informações-Técnicas-v.1.3-29.pdf>. Acesso em: 12 out. 2016.

PINHEIRO, Amazoneida Sá P.; HO, Linda L. **O Índice de Confiabilidade na Avaliação da Segurança Estrutural de Produtos de Madeira.** Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Produção. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0587.pdf>. Acesso em: 12 out. 2016.

VIANA, Herbert R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção.** 5.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

RELIASOFT CORPORATION. **RS 401 - Análise de Dados de Vida – Confiabilidade.** Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/seminars/Session1.htm>>. Acesso em: 12 out. 2016.

RIGONI. **Estudo da Aplicação do Método de Máxima Verossimilhança para Determinação dos Parâmetros da Distribuição De Weibull.** Universidade Federal do Paraná Departamento de Estatística. Curso de Estatística. 2013.

SILVA, et al. ANÁLISE DA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção Fortaleza, CE, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2015. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_252_28289.pdf>. Acesso em: 12 out. 2016.

WUTTKE, Régis A. **Cálculo da Disponibilidade e da Posição na Curva da Banheira de uma Válvula de Processo Petroquímico.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.www.producaoonline.org.br, ISSN 1676 - 1901 / Vol. VIII/ Num. IV/ 2008.