

## **Estudo do Comportamento de Vida do *Washpipe* Através da Análise de Dados de Vida (LDA)**

**Thiago Moreira Amato  
Rodrigo Rodrigues Ribeiro  
Sebastião Fernando Hipólito**

**Queiroz Galvão Óleo e Gás**

### **RESUMO**

O sistema *top drive*, o guincho de elevação, o sistema de compensação, dentre outros sistemas menores, fazem parte dos sistemas rotativo e de elevação de uma unidade de perfuração *offshore*. Dessa forma a interrupção de um desses sistemas causa a parada das operações da unidade. Um recente estudo realizado na frota da Queiroz Galvão Óleo e Gás (QGOG) mostrou que o *top drive* concentra a maioria das paradas para manutenções corretivas dentre os equipamentos que estão no caminho crítico do sistema de elevação. Avaliando os componentes do *top drive*, constatou-se que o *washpipe* é o componente que causa maior indisponibilidade no sistema *top drive* através do modo de falha: vazamento dos selos mecânicos. Além disso, a falha desse componente tem potencial de causar danos às pessoas se ocorrer em uma fase crítica da perfuração do poço de petróleo.

A análise de vida do *washpipe* foi calculada através dos tempos até a falha do conjunto de selos mecânicos, levantados em diferentes unidades da frota que utilizam o modelo de *washpipe Deublin* fornecido pela empresa National Oilwell Varco (NOV). Os tempos até a falha foram separados em função dos fluidos de perfuração utilizados, no momento da falha do conjunto de selos mecânicos do *washpipe*. Baseado nesses dados, foram modeladas as curvas de probabilidade de falha do conjunto de selos do *washpipe* para os diferentes tipos de fluidos de perfuração. A probabilidade de falha foi calculada para o intervalo de tempo de 150 a 500 horas e os resultados comparados entre si.

**PALAVRAS-CHAVE:** Equipamento. Selos mecânicos. Estresse. Dados. Premissas. Metodologia. Falha. Revoluções. Vida.

### **1. OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo desse trabalho é compreender o comportamento de vida do conjunto de selos mecânicos do componente *washpipe* modelo *Deublin*, utilizando diferentes tipos de fluidos de perfuração para identificar o tempo ótimo de substituição.

### **2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO**

#### **2.1. Análise da Disponibilidade Operacional**

A Queiroz Galvão Óleo e Gás levantou os dados de falha dos equipamentos que estão nos sistemas rotativo e de elevação para os três navios de perfuração da frota. Após essa análise, identificou-se que o sistema *top drive* concentra 74% das falhas desse grupo de equipamentos. A tabela 1 apresenta o percentual distribuído por equipamentos, bem como a lista de equipamentos estudados.

Tabela 1 – Quadro comparativo de eventos corretivos

Equipamento	Percentual de Eventos Corretivos
Compensador (CMC)	3,7%
Catarina (Traveling Block)	0,1%
TOP DRIVE	74,1%
Guincho de Perfuração (Drawworks)	15,8%
Mesa Rotativa	3,9%
Cunha (Power Slip)	2,4%

Após análise do histórico dos eventos de manutenção corretiva dos equipamentos *top drive*, modelos HPS-03 1000 e TDX-1250, identificou-se que as falhas dos componentes *torque wrench* e *washpipe* são as que representam os maiores tempos de indisponibilidade para o sistema *top drive*. Embora o componente *torque wrench* represente o maior volume de ações corretivas, o componente *washpipe* representa o maior tempo de reparo e consequentemente o maior impacto na disponibilidade operacional.

## 2.2. Familiarização ao *Top Drive* e *Washpipe*

O sistema *top drive*, modelo HPS-03 1000 similar ao modelo TDX-1250 é composto por um conjunto de motores elétricos, com freios de estacionamento conectados a uma caixa redutora que transmite o movimento dos motores elétricos para o eixo principal [1].

De uma forma simplificada, pode-se dizer que esses componentes realizam a função de girar a coluna de perfuração. Contudo, o sistema *top drive*, possui outras funções, que são realizadas por outros componentes conforme descrição técnica estabelecida no manual do fabricante [1]. Assim, o sistema *top drive* é quem realiza a função de perfurar o poço de petróleo em uma unidade de perfuração offshore.

O componente *washpipe* está instalado no sistema *top drive*, entre os motores elétricos [1] e tem a função de transferir o fluido de perfuração de um ponto fixo para um ponto giratório. Essa função é basicamente realizada por um conjunto de selos mecânicos, onde um selo é fixo e o outro gira em conjunto com o eixo principal do *top drive* [2].

O fluido de perfuração é conduzido dentro do eixo principal do *top drive* até a coluna de perfuração, que leva o fluido até broca, [2]. A figura 1 apresenta o sistema *top drive*. O local onde o *washpipe* é instalado está sinalizado na figura 1 pela seta vermelha. A falha desse componente interrompe a capacidade de circulação do fluido de perfuração e tem o potencial de causar risco às pessoas e ao equipamento, se ocorrer uma fase crítica da perfuração do poço de petróleo [3].

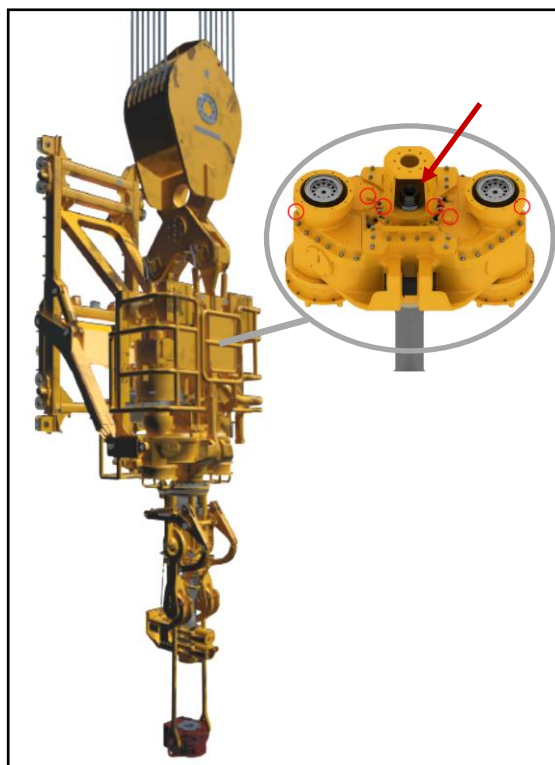


Figura 1 –*Top drive* típico e caixa redutora – HPS-03 1000.  
Fonte: Adaptado da National Oilwell Varco [1].

Em 2005 através de uma parceria com a empresa Deublin, especialista em selos rotativos, a National Oilwell Varco (NOV) motivada pelo desafio de perfurar poços de petróleo do tipo HTHP (alta temperatura e pressão) em alta rotação, com maior confiabilidade do sistema *top drive*, lança a primeira versão do *washpipe* com selos mecânicos [3].

A figura 2, apresenta o *washpipe* e o conjunto de selos mecânicos. O selo rotativo gira em conjunto com o eixo principal do *top drive*. Pela característica de funcionamento do *washpipe*, é possível identificar quais fatores de estresse podem contribuir para aumentar o desgaste, e consequentemente, reduzir a vida do selo mecânico. Conforme especificado no manual de serviço do *washpipe* mecânico [2], o conjunto de selos foi desenhado para permitir que uma pequena quantidade de fluido de perfuração vaze durante a atividade de perfuração. O vazamento controlado promove lubrificação para os selos e remove o calor gerado pelo atrito entre as partes [2].

A expectativa inicial de vida do conjunto de selos mecânicos da Deublin para os testes em bancada foi de 1000 horas de operação com uma rotação de até 150 RPM e 5000 PSI. Esses valores representam 9.000.000 de revoluções até a falha. Nos primeiros testes em campo, realizado no Mar do Norte pela empresa Enasco, observou-se que os selos duraram quase 950 horas para uma pressão de circulação média de aproximadamente 5000 PSI [3].

O artigo, não informa o RPM médio durante o teste em campo e nem as características do fluido utilizado. Além disso, o artigo informa que nesse teste, o *washpipe* Deublin foi instalado quando o poço estava próximo ao final de sua construção, permitindo assim que o componente fosse exposto a altas pressões e temperaturas. Dessa forma, pode-se inferir que a variável tempo (tempo de rotação do selo rotativo) e fatores de estresse como a lubrificidade do fluido ou o teor de sólidos não foram considerados para esse tempo até falha [3].

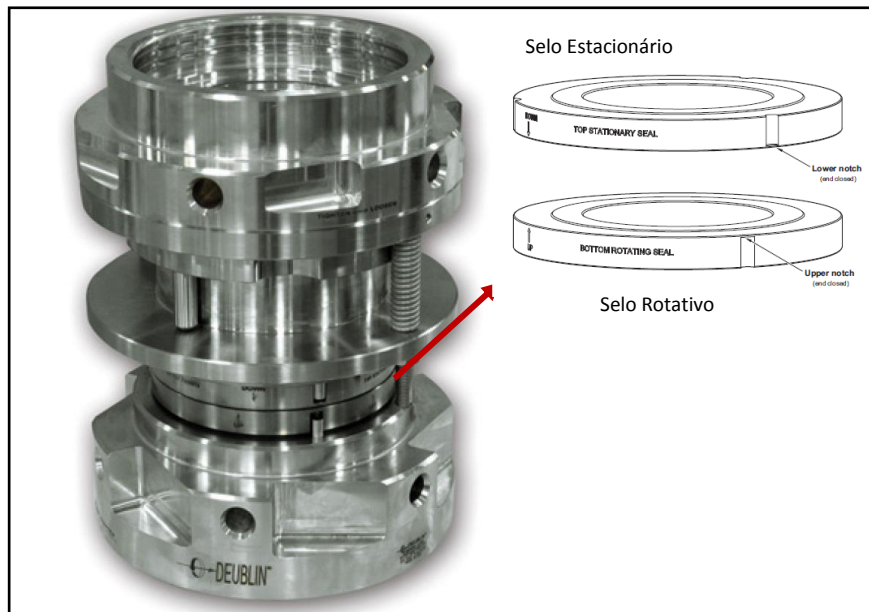


Figura 2 – Washpipe mecânico NOV modelo Deublin e conjunto de selos mecânicos.

Fonte: Adaptado da National Oilwell Varco, [2].

### 2.3. Fatores de estresse

Considerando a característica construtiva do *washpipe* e o manual de serviço do *washpipe* mecânico da NOV [2], os autores identificaram três fatores de estresse que podem acelerar o desgaste do conjunto de selos mecânicos. O primeiro fator é a pressão do fluido de perfuração, que aumenta a força de atrito entre os selos estacionário e rotativo a medida que a pressão do fluido aumenta.

O segundo fator de estresse é a redução da capacidade de lubrificação do fluido de perfuração (base óleo versus base água). Quando se utiliza um fluido com baixa capacidade de lubrificação como a água do mar, reduz-se a lubrificação entre os selos, acelerando o desgaste do conjunto.

O terceiro fator é o percentual de partículas sólidas, como areia, presentes no fluido de perfuração. Considerando que o mecanismo de falha é por desgaste abrasivo, o aumento na concentração de sólidos aumenta a abrasividade entre os selos e consequentemente o desgaste do conjunto.

### 2.4. Dados de Falha

A tabela 2 apresenta os tempos até a falha (vazamento de fluido) do conjunto de selos mecânicos do *washpipe Deublin*. Cada tempo até a falha foi associado ao tipo de fluido de perfuração que estava sendo utilizado no momento da falha. Contudo é importante destacar que durante a perfuração do poço de petróleo pode-se adotar uma combinação de fluidos de perfuração.

**Tabela 2 – Tempo até a falha em horas (TTF(h)) por fluido de perfuração**

TTF(h)	Fluido	TTF(h)	Fluido
126	ÁGUA DO MAR	18	SCOL
200	ÁGUA DO MAR	19	SCOL
201	ÁGUA DO MAR	217	SCOL
287	ÁGUA DO MAR	328	SCOL
589	ÁGUA DO MAR	308	SINTÉTICO
705	ÁGUA DO MAR	356	SINTÉTICO
47	CYBER DRILL	357	SINTÉTICO
261	CYBER DRILL	394	SINTÉTICO
486	CYBER DRILL		

Foram adotadas para esse estudo duas classes de fluidos: os fluidos a base de água e os fluidos a base de óleo. Os fluidos a base de água, caracterizados pela sua baixa capacidade de lubrificação (lubricidade), adotados no estudo foram a água do mar e o SCOL. Onde o SCOL se distingue da água do mar por possuir sólidos em sua formulação (aproximadamente 4%). Os fluidos oleosos foram separados em sintéticos (sem classificação específica), e *cyber drill* [4]. A base oleosa desses fluidos favorece a lubrificação (lubricidade) do conjunto de selos mecânicos do washpipe.

Os tempos até a falha foram retirados dos registros das ordens de serviço do washpipe quando o modo de falha caracterizado foi o vazamento do fluido de perfuração pelos selos mecânicos. Foi subtraído do intervalo entre a data da instalação e a data da falha, as horas em que não ocorreram atividades de perfuração ou circulação de fluidos de perfuração.

Com o objetivo de melhorar a qualidade da coleta dos dados de falha do washpipe, para que seja possível correlacionar os fatores de estresse com a vida do conjunto de selos mecânicos, a tabela 3 foi implementada nos navios de perfuração.

**Tabela 3 – Coleta de parâmetros para análise de vida do washpipe**

Informações do Fluido	Parâmetros de Perfuração	Componentes do Washpipe
Data da amostra	Rotação média (rpm)	Data troca
Hora da amostra	Pressão média do fluido (psi)	Nº série novo
Tipo de fluido	Tempo em rotação (h)	Fabricante
Peso do fluido (ppg)	Hora da medição	Tipo
Razão óleo/água	Jarring (s/n)	Motivo da troca (modo de falha)
Teor de sólidos (%)		

## 2.5. Premissas e Metodologia do Estudo

Os autores aplicaram a técnica de engenharia de confiabilidade chamada análises dos dados de vida, LDA do inglês “*Life Data Analysis*” para modelar a vida do washpipe. Esse tipo de análise tem por objetivo criar um modelo estatístico para prever a probabilidade de falha do item em um tempo específico [5]. A construção do modelo foi estruturada em 4 passos conforme apresentado na referência de análises de dados de vida [5]. Segundo essa referência, deve-se coletar os dados, selecionar a distribuição, ou seja, a função de densidade de probabilidade (Distribuição Normal, Lognormal, Weibull, etc) que melhor se adere aos dados coletados, estimar os parâmetros, para aderir a distribuição aos dados e plotar as curvas para se estimar a confiabilidade e probabilidade de falha do item.

Para se estimar os parâmetros, pode ser aplicado o método de plotagem de probabilidade regressão em X (RRX) ou em Y (RRY), e estimador da máxima verossimilhança (MLE). A seleção dos métodos vai depender das características dos dados e da distribuição selecionada. Considerando que o método da máxima verossimilhança (MLE) não converge bem para pequenas amostras, os autores adotaram o método da regressão linear em X (RRX) [5].

Além da curva função densidade de probabilidade (pdf) adicionou-se o intervalo de confiança do modelo. Esse intervalo expressa o erro do resultado da análise que pode ser bilateral ou unilateral. Assim, 90% do intervalo de confiança, significa que 90% dos resultados obtidos estão compreendidos dentro dos limites desse intervalo e 10% dos resultados estarão fora desse intervalo. Dentre os métodos utilizados para calcular o intervalo de confiança, a razão da verossimilhança é um método mais conservador e por essa razão mais indicado para pequenas amostras [5].

Os autores adotaram para a probabilidade de falha o limite de confiança unilateral superior e para o cálculo da confiabilidade o limite de confiança unilateral inferior. Dessa forma, esse estudo apresenta as seguintes premissas:

- Não foram considerados os fatores de estresse na análise de vida do item, ou seja, não foi aplicado o método para analisar a confiabilidade do item em função do tempo e do estresse conforme proposto pela metodologia QALT (*Quantitative Accelerated Life Tests*) [6].
- O tipo de fluido foi considerado como contexto operacional.
- O modo de falha considerado foi vazamento do conjunto de selos mecânicos.
- Os dados foram considerados como dados completos e pequena amostra.
- Falhas com menos de 100 horas foram consideradas falhas prematuras

- Limite de confiança de 90% unilateral.  $F(t)$  superior e  $R(t)$  inferior

Baseado nas premissas acima, o estudo de análise de vida do washpipe seguiu a seguinte metodologia:

1. Mapeamento dos eventos de falha registrados nas ordens de serviço.
2. Identificado para cada falha a quantidade de horas trabalhadas até a falha do washpipe (selos)
3. Cada falha foi correlacionada com o tipo de fluido de perfuração
4. Os dados de vida do washpipe modelo *Deublin* foram analisados separadamente em função do fluido utilizado no momento da falha. Para essa análise, utilizou-se regressão em X (RRX) para plotar a curva de probabilidade de falha e a razão da verossimilhança (LRB) para plotar o limite de confiança.
5. Uma segunda análise dos dados de vida do washpipe modelo *Deublin* foi realizada independentemente do fluido utilizado, com e sem falhas prematuras. Para essa análise, utilizou-se o método de estimativa de parâmetros regressão linear em X (RRX) para plotar a curva de confiabilidade, e o método da razão de verossimilhança (LRB) para plotar os limites de confiança.
6. Os resultados foram comparados.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1. Análise de Probabilidade de Falha para o Washpipe Deublin para Diferentes Condições de Fluidos

A figura 3 apresenta a análise de vida do washpipe considerando os tempos até a falha apresentados na tabela 2 para o fluido água do mar.

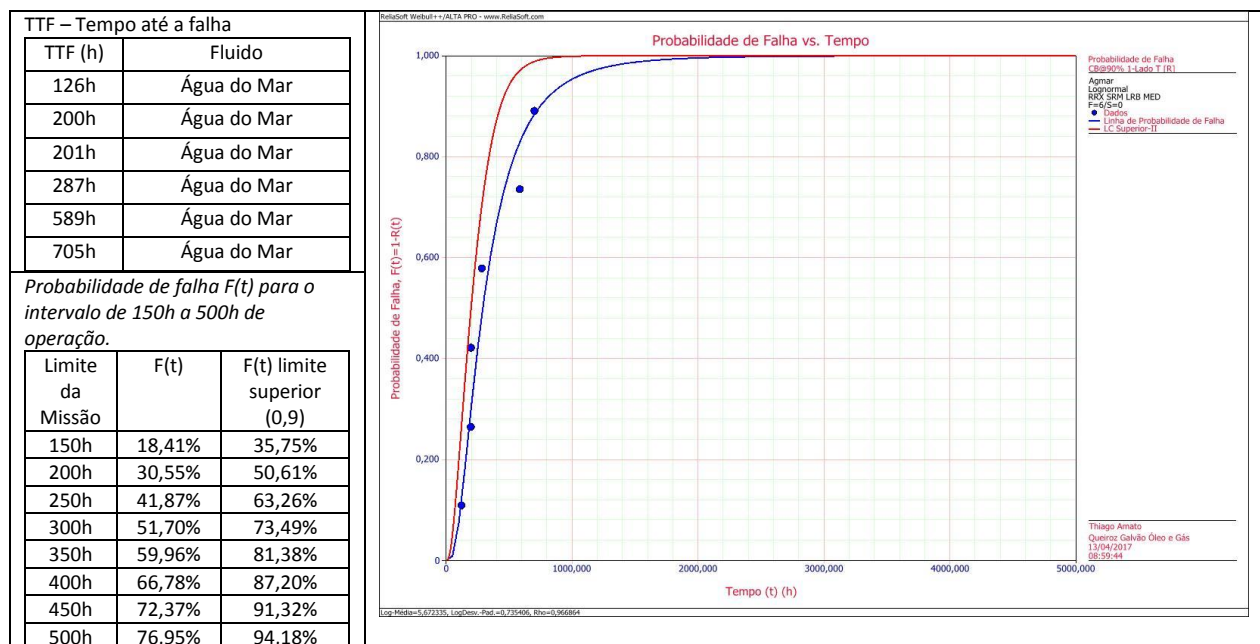


Figura 3 – Estudo de probabilidade de falha do washpipe para o fluido água do mar.

A figura 4 apresenta a análise de vida do washpipe considerando os tempos até a falha apresentados na tabela 2 para o fluido a base de água, SCOL.



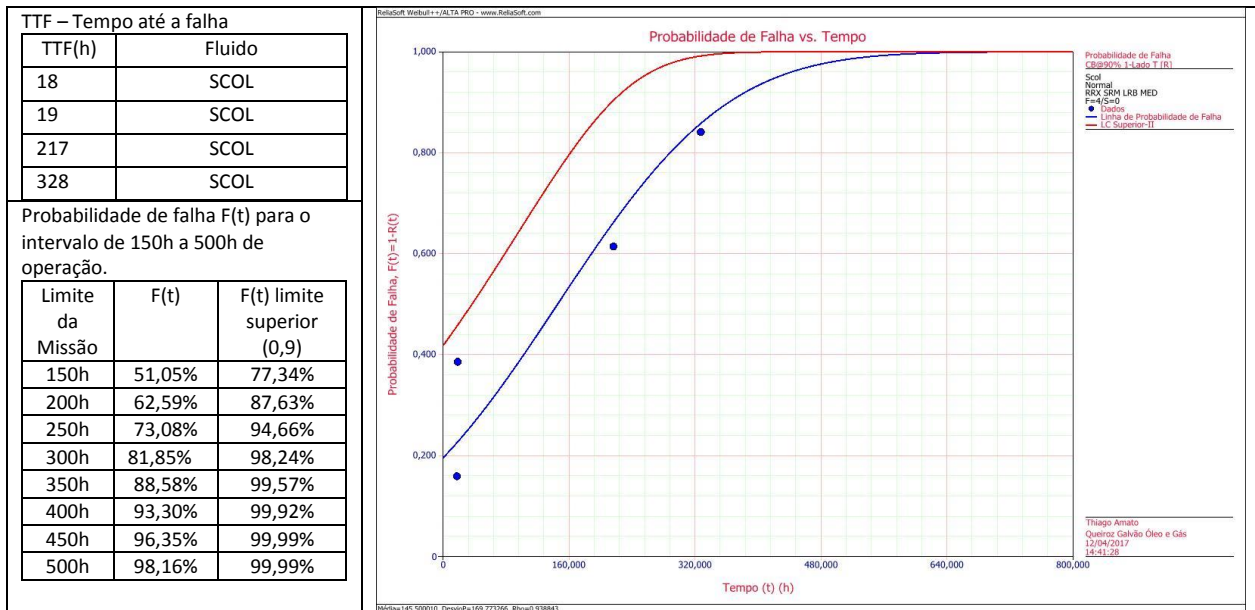


Figura 4 – Estudo de probabilidade de falha do *washpipe* para o fluido SCOL.

A figura 5 apresenta a análise de vida do *washpipe* considerando os tempos até a falha apresentados na tabela 2 para o fluido a base óleo *Cyber Drill* do fabricante NewPark.

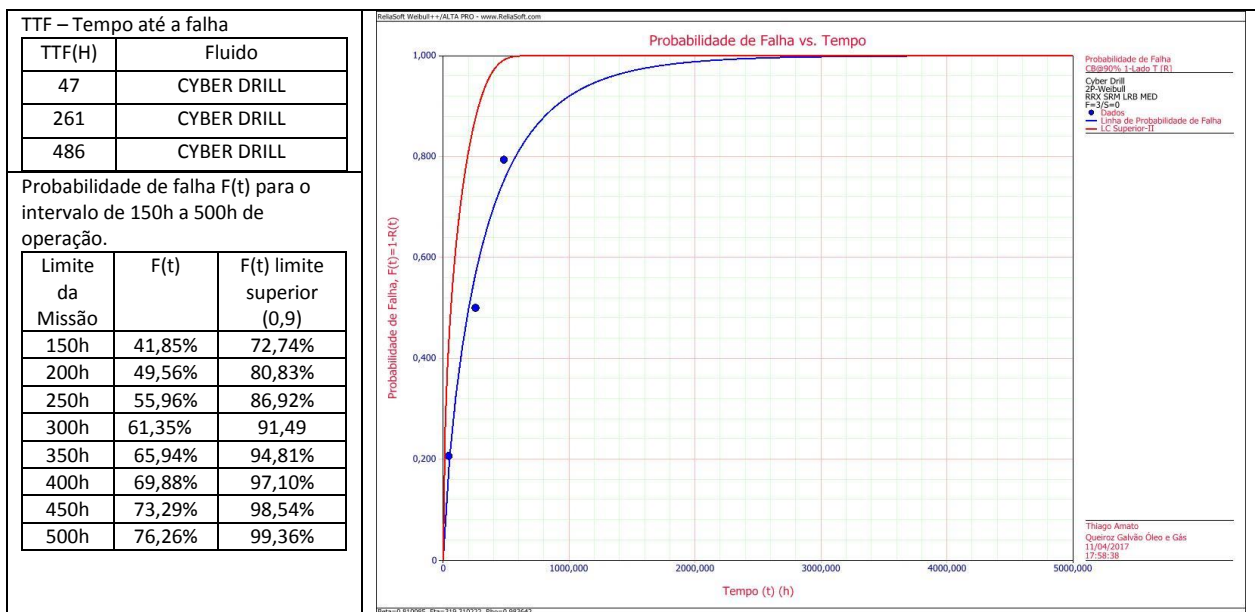


Figura 5 – Estudo de probabilidade de falha do *washpipe* para o fluido *Cyber Drill*.

A figura 6 apresenta a análise de vida do *washpipe* considerando os tempos até a falha apresentados na tabela 2 para o fluido sintético (fluido base óleo).

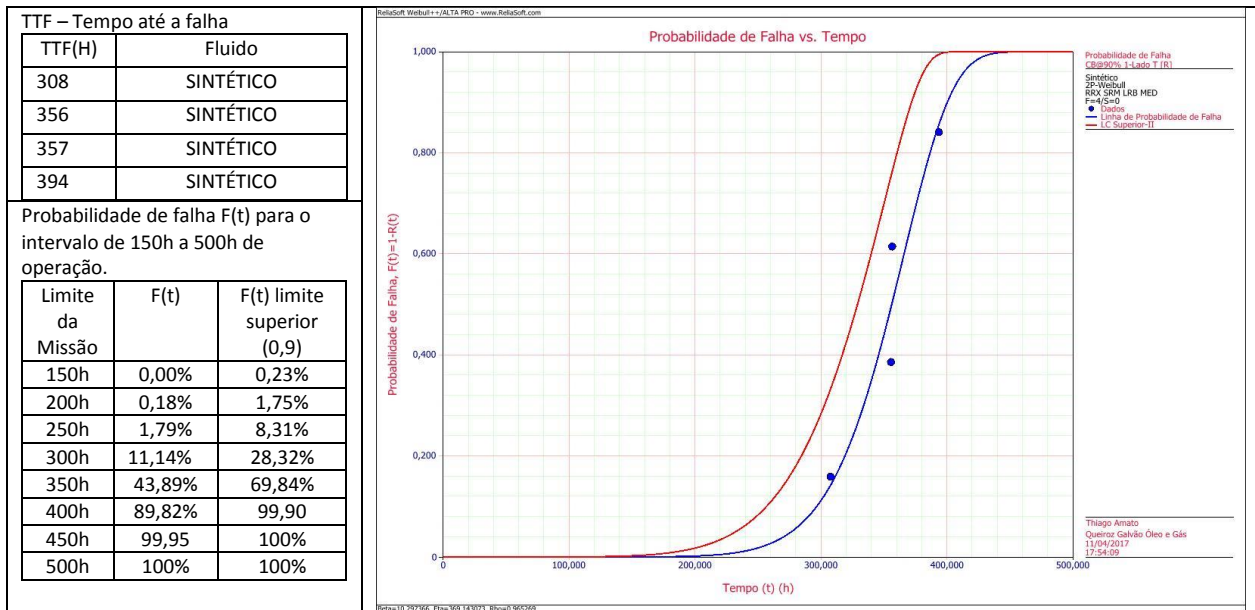


Figura 6 – Estudo de probabilidade de falha do *washpipe* para o fluido sintético.

### 3.2. Análise dos Resultados

Observando os dados do fluido SCOL e do fluido *Cyber Drill*, nota-se que as falhas consideradas prematuras, influenciaram consideravelmente na vida do *washpipe* e por essa razão foram desconsiderados do estudo. Falhas prematuras em sua maioria estão relacionadas a problemas de qualidade, que nesse caso, podem ser associadas ao processo de instalação do conjunto *washpipe* ou substituição do conjunto dos selos mecânicos.

A tabela 4 compara a probabilidade de falha no limite de confiança superior de 90% variando em função do tempo para os fluidos água do mar e sintético. Através dessa comparação é possível observar que a capacidade de lubrificação (lubricidade) do fluido influencia na vida do conjunto de selos mecânicos do *washpipe*. Contudo, observa-se uma discrepância com relação a uniformidade dos dados do fluido água do mar, em comparação a uniformidade dos dados para o fluido sintético. Acredita-se que o controle de qualidade na coleta dessas informações esteja relacionado a essa discrepância.

Tabela 4 – Comparação das probabilidades de falha para os fluidos sintéticos e água do mar.

Limite da Missão	Água do Mar - $F(t)$ limite superior (0,9)	Sintético - $F(t)$ limite superior (0,9)
150h	35,75%	0,23%
200h	50,61%	1,75%
250h	63,26%	8,31%
300h	73,49%	28,32%
350h	81,38%	69,84%

A figura 7 apresenta as curvas de probabilidade de falha em função do tempo para os dois tipos de fluidos.



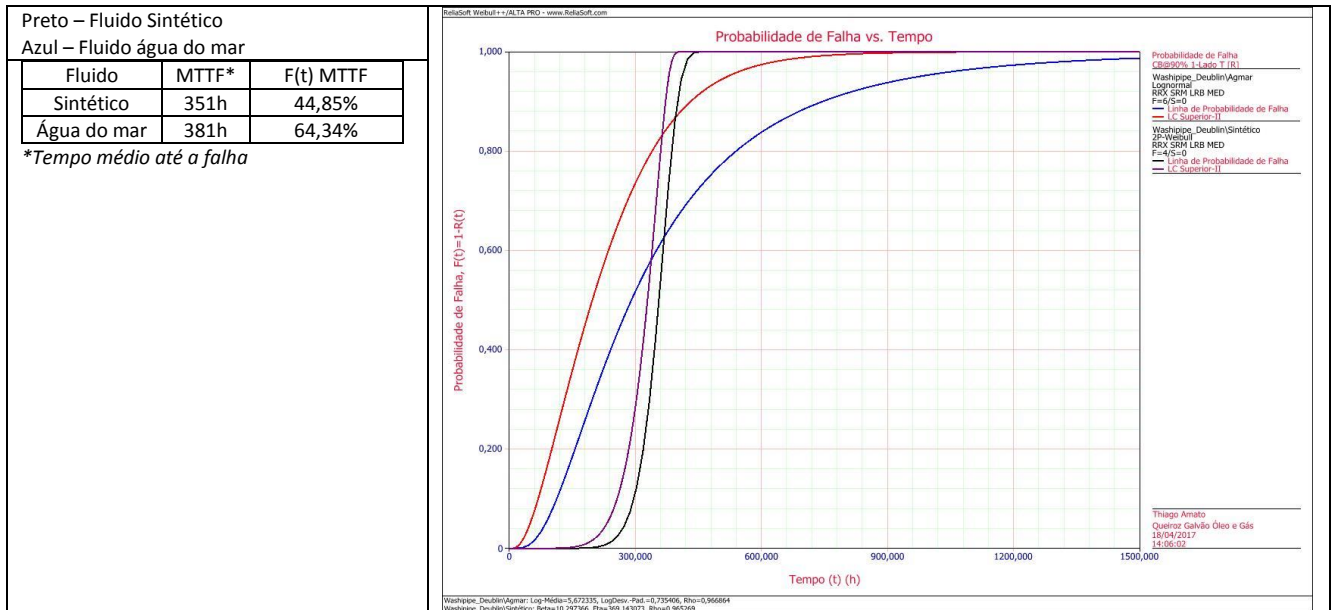


Figura 7 – Análise comparativa da probabilidade de falha para os fluidos água do mar e sintético.

Além disso, a figura 7 chama a atenção para o cuidado em utilizar o tempo médio até a falha para se definir o tempo de substituição do componente. Observa-se que os tempos médio até a falha do *washpipe* para os diferentes tipos de fluidos são próximos e com uma variação inferior a 10%. Contudo a probabilidade de falha do *washpipe* utilizando o fluido água do mar é quase 45% maior do que o fluido de perfuração sintético.

### 3.3. Análise Comparativa da Influência das Falhas Prematuras no Comportamento de Vida do *Washpipe*.

Essa análise considera todos os tipos de fluidos de perfuração abordados nesse estudo e compara a curva de confiabilidade, em azul, do *washpipe* considerando as falhas prematuras, com a curva de confiabilidade, em preto, do *washpipe* desconsiderando as falhas prematuras. O gráfico de confiabilidade no tempo ( $R(t)$ ) para as duas condições é apresentado na figura 8.

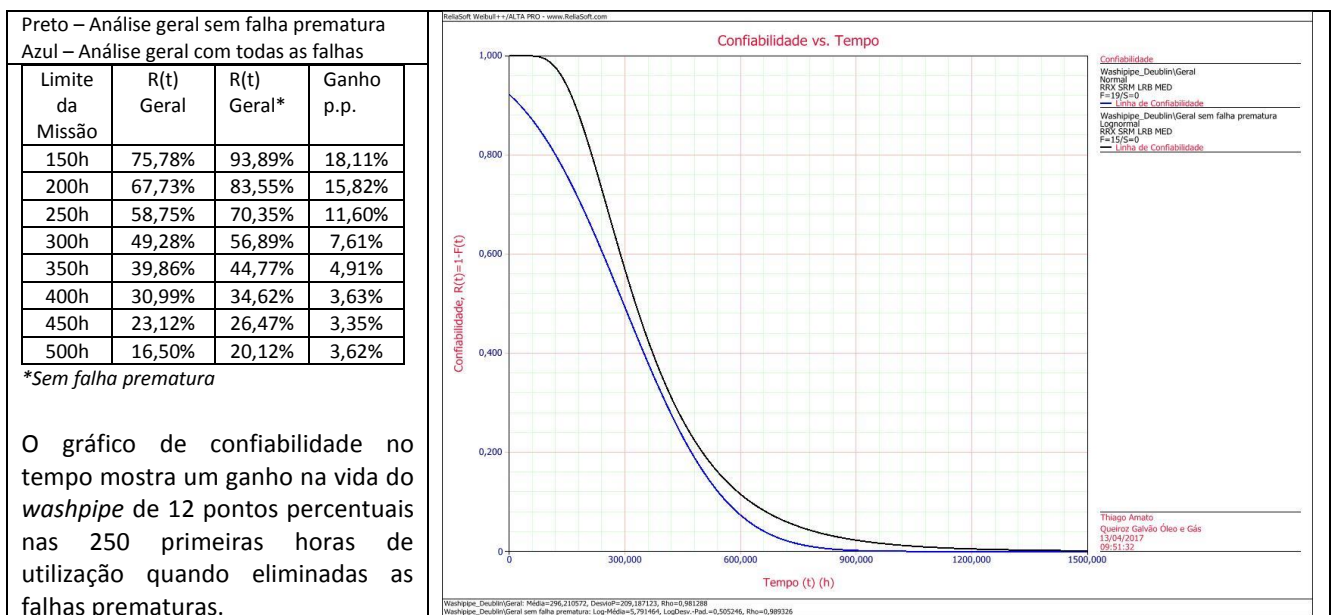


Figura 8 – Análise comparativa da confiabilidade do *washpipe* com e sem falhas prematuras.

#### 4. CONCLUSÕES

As amostras dos tempos até a falha do *washpipe* para os diferentes fluidos de perfuração são pequenas e por essa razão, apresentam grande incerteza. Porém, com o estudo apresentado, é possível concluir que a influência do fator de estresse pela lubrificação diminui a vida do conjunto de selos mecânicos do *washpipe*. Quando observadas as probabilidades de falha do *washpipe* para as primeiras 250 horas de utilização, o fluido água do mar ( $F(t)=63,26\%$ ) apresenta uma vida inferior ao fluido sintético ( $F(t)=8,31\%$ ) para o limite de confiança superior de 90%.

Na análise que compara a confiabilidade do *washpipe*, com e sem as falhas prematuras (figura 8), foi observada que a confiabilidade do *washpipe* para as primeiras 250 horas, desconsiderando as falhas prematuras, aumenta em aproximadamente 12 pontos percentuais.

Os resultados da primeira etapa desse estudo não foram satisfatórios para determinar o tempo ótimo de substituição preventiva do conjunto dos selos do *washpipe*. Dessa forma, é necessário melhorar a qualidade dos dados, considerar os fatores de estresse e, para a variável tempo, considerar a quantidade de revoluções na análise das probabilidades de falha. Assim, será possível definir, com acuracidade, o tempo ótimo de troca do conjunto de selos.

Embora a primeira etapa desse estudo apresente muita incerteza, já foi possível diminuir a indisponibilidade do top drive, atuando nas falhas prematuras. O departamento de engenharia da Queiroz Galvão Óleo e Gás identificou que o procedimento de alinhamento do componente *washpipe*, executado pela equipe técnica, não estava dentro dos padrões de qualidade esperados e por consequência, o desalinhamento do componente *washpipe*, provocava o desgaste prematuro do conjunto de selos mecânicos. Após essa ação corretiva, não se observou novas falhas prematuras.

Por fim, durante a redação desse artigo, ocorreu a falha do conjunto de selos mecânicos do *washpipe* em um dos navios da frota da QGOG, coletada através da tabela 3. O tempo até a falha dos selos foi de 401 horas, distribuídos em 349 horas (variando o RPM) operando com fluido a base de óleo, totalizando 7.836.720 revoluções a uma pressão média de 4800 PSI e sem sólidos na formulação do fluido e 52 horas (variando o RPM) operando com água do mar totalizando 164.100 revoluções e uma pressão média de 1000 PSI totalizando 8.000.820 revoluções.

Conforme artigo da NOV, Enscó e Conoco Philips, o objetivo da Deublian e da NOV no desenvolvimento do *washpipe* de selos mecânicos era rodar 1000 horas a 150 RPM com 5000 PSI de pressão (não foi mencionado o tipo de fluido utilizado nos testes) [3]. Transformando 150 RPM em rotações por hora, temos 9.000 RPH. Multiplicando esse valor por 1000 horas, temos 9.000.000 revoluções. Assim, o tempo de vida obtido na última falha do conjunto de selos da QGOG atingiu aproximadamente 89% (8.000.820 de revoluções) da vida, inicialmente estabelecida pelo fabricante.

Dessa forma, definir um tempo ótimo de substituição do conjunto de selos baseado em horas, representa risco para operação ou aumento do custo da manutenção do *top drive*. Baseado nesse estudo, a QGOG estabelecerá uma regra para definir o tempo de substituição do conjunto de selos do *washpipe* em função dos fluidos de perfuração e do total de revoluções do selo rotativo até a falha do *washpipe*.

A segunda etapa desse estudo pretende utilizar a técnica QALT (*Quantitative Accelerated Life Tests*) que analisa a confiabilidade de um item em função do tempo e do estresse. O modelo mais apropriado é o modelo *inverse power law* (IPL), já que trata de estresses não térmicos [6]. Além disso, será levado em consideração a utilização de diferentes fluidos de perfuração durante o ciclo de vida do *washpipe*, bem como a quantidade de revoluções. Assim, espera-se obter um modelo que seja adequado para definir uma política de troca programada do conjunto de selos mecânicos do *washpipe*.

Os autores pretendem automatizar a coleta desses parâmetros no sistema informatizado de manutenção (IBM MAXIMO O&G) e estabelecer um método de controle para gerenciar as trocas do conjunto de selos do *washpipe* em função do tipo de fluido e do tempo de utilização em revoluções.

#### REFERÊNCIAS

[1] DESCRIÇÃO técnica Top Drive HPS-03 1000 2AC KT RD QGOG 2 (HN 1908), V6909-Z-SA-001. Houston: National Oilwell Varco, 2012, 675 p.

[2] MANUAL de Serviço do *washpipe* mecânico, D811000200-PRO-001, Houston: National Oilwell Varco, 2017, 64 p.

[3] BORLAND Brett; MCCOY Steve; MASON Rick; O'DWYER John, OGG Jeremy. **New Washpipe Technology: Why Operators Should Care**. Netherlands: SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, 2009.

[4] REFERÊNCIA de análises de dados de vida, Tucson: ReliaSoft, 2015, 43 p.

[5] FICHA de informação de segurança de produto químico, Cyber Drill IO SBM, Rio de Janeiro: New Park, 2016, 8 p.

[6] CALIXTO Eduardo. **Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis**. Cambridge, Gulf Professional Publishing, 2016. p. 103-104.