

1 Introdução

1.1. Considerações iniciais

A modalidade de transporte de hidrocarbonetos através de dutos é uma atividade de extrema relevância na indústria do petróleo e permeia os segmentos de Exploração & Produção, Logística e Abastecimento. Além da sua incontestável importância na indústria, o transporte dutoviário assume atualmente um papel de peso na matriz energética brasileira, possibilitando o comércio internacional de gás e a geração de energia elétrica nas termelétricas, suprindo assim a crescente demanda brasileira por energia.

No segmento de Exploração & Produção, a infraestrutura dutoviária permite a exportação, do óleo e do gás produzidos, de áreas distantes da costa até os terminais de distribuição em terra, se apresentando como uma opção de transporte produtiva, econômica e segura. Além disso, a concepção moderna de produção de petróleo no mar torna indispensável a presença de dutos submarinos, que são parte fundamental no arranjo de produção, transportando o fluido produzido do poço até a Unidade de Exploração e Produção (UEP).

Os atuais critérios de projeto e a conscientização das companhias vêm se refletindo em um alto nível de segurança e confiabilidade na atividade dutoviária. No entanto, é crescente na malha brasileira o número de dutos que se aproximam da vida útil projetada, o que implica em um aumento do risco de falhas associado a esses dutos.

O mecanismo de falha por corrosão se apresenta, na maioria dos casos, como o fator limitante na operação continuada de um duto. Esse mecanismo reduz a resistência mecânica do duto, aumentando a necessidade de reparos com a consequente diminuição da capacidade produtiva. Dados mostram que o número de intervenções para manutenção emergencial de dutos, devido a acidentes ou reparos, aumenta exponencialmente a partir de 20 anos de uso [1].

Por outro lado, o rompimento de um duto pode provocar grande impacto ao meio ambiente, e ocasionar perda de vidas humanas. Nesse contexto, o gerenciamento da integridade baseado no risco se propõe a atuar na investigação e mitigação dos agentes causadores de falha, priorizando os equipamentos e sistemas com maiores riscos, objetivando diminuir a potencialidade da perda ou mesmo evitar que ela ocorra.

Nesse momento, é oportuno definir o conceito de risco, que conforme a Norma API 1160 [2], pode ser considerado como uma medida da perda em termos da probabilidade do acidente e do valor das conseqüências da ocorrência. Uma definição qualitativa do risco trabalha com uma representação matricial tal como mostrado na Figura 1.1, adaptada da Prática Recomendada API RP 580 [3].

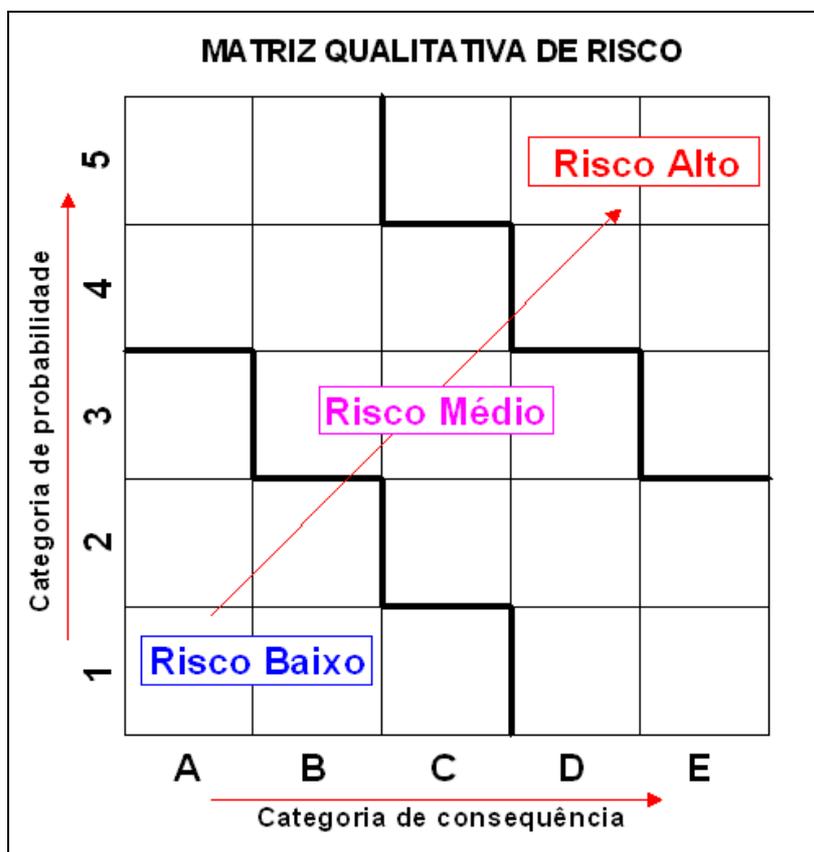


Figura 1.1 - Exemplo de Matriz Qualitativa de Risco, adaptada da API RP 580 [3]

Geralmente, análises qualitativas são feitas a priori para enquadramento do risco de um equipamento ou componente numa das três regiões da matriz. Equipamentos que

tenham seu risco classificado na área à direita e acima da Figura 1.1 são submetidos a análises de risco mais detalhadas, denominadas de análises quantitativas.

Quantitativamente, o risco é definido como o produto da probabilidade de falha (*POF*) por sua consequência (*COF*), expressa em termos de alguma unidade tal como custo, área atingida, perda de produção, vidas humanas, etc.

$$Risco = POF \times COF \quad (1.1)$$

Uma vez que as consequências da falha em um duto estão em grande parte associadas a danos ambientais, a perda de vidas humanas e a danos à imagem da companhia operadora; as ações de mitigação de risco direcionadas à consequência da falha são de difícil medição, e muitas vezes promovem pouco efeito prático na redução do risco. Nesse sentido, a maior parte das ações de gerenciamento de risco, promovidas por um sistema de gerenciamento da integridade, estão concentradas na identificação, medição e redução da probabilidade de falha.

Nas últimas duas décadas os conceitos de probabilidade de falha e confiabilidade passaram a ser extensivamente aplicados na análise da integridade estrutural em vários ramos da indústria. As publicações API 580 e 581 [3,4] unem os conceitos de mecanismos de dano que possam estar atuando em equipamentos com a eficiência de planos e técnicas de inspeção para a sua detecção e seu acompanhamento sob uma visão probabilística conectada à análise de risco.

1.2. Motivação da dissertação

As atividades de gerenciamento da integridade de dutos baseadas no risco, estão focadas principalmente: a) na identificação dos mecanismos de falha atuantes, b) no estabelecimento de um plano adequado de inspeção, c) na execução de procedimentos de cálculos de adequação ao uso, d) na mitigação dos agentes motores do mecanismo de falha, e e) na realimentação do plano de inspeção.

Como parte de um sistema de gestão da integridade de dutos, a inspeção periódica por PIG Instrumentado se apresenta como uma ferramenta indispensável na detecção e medição de defeitos.

Uma vez realizada a inspeção e a interpretação dos defeitos quanto à forma e a dimensão, através do relatório de inspeção por PIG Instrumentado, o responsável pela integridade do duto deve realizar uma análise de todos os defeitos de forma a garantir que o duto continue operando dentro de condições seguras.

Existem diversas metodologias para avaliação de defeitos, como normas, práticas recomendadas e manuais corporativos desenvolvidos por grandes empresas do segmento. Essas metodologias são classificadas como semi-empíricas, pois são baseadas em modelos matemáticos adaptados a partir dos resultados de estudos experimentais. A avaliação da integridade por metodologias semi-empíricas é normalmente simples e rápida, no entanto carrega certo conservadorismo que muitas vezes se torna indesejável.

Por outro lado, metodologias mais sofisticadas requerem mais tempo para gerar resultados, aplicativos específicos e profissionais com alta qualificação para interpretar todos os dados e gerar resultados confiáveis. Esses métodos são normalmente recomendados quando se deseja realizar uma avaliação detalhada de defeitos críticos que foram reprovados na avaliação por métodos semi-empíricos.

Face à extensa utilização dos métodos semi-empíricos na avaliação da integridade de dutos, diversas ferramentas computacionais foram desenvolvidas para permitir a aplicação sistematizada desses métodos. Adicionalmente à aplicação dos métodos semi-empíricos, os aplicativos desenvolvidos normalmente apresentam uma série de funcionalidades adicionais que objetivam auxiliar o responsável pela gestão da integridade de dutos na tomada de decisões, como a verificação da confiabilidade da ferramenta de inspeção, a seleção dos defeitos a serem reparados e a determinação do período de re-inspeção.

É nesse contexto que o presente trabalho se propõe a avaliar diferentes aplicativos para o gerenciamento da integridade de dutos de aço com defeitos de corrosão, objetivando conhecer as particularidades de cada um, de forma a dar subsídios aos profissionais da área de integridade na escolha e utilização do programa mais adequado às suas necessidades.

Dentro dessa linha, foram comparados três diferentes programas e metodologias analíticas, no cálculo da pressão de falha e da probabilidade de falha, no instante imediato à inspeção e em momentos futuros. Os diferentes métodos foram aplicados sobre um defeito hipotético isolado, e em seguida em três diferentes dutos com defeitos reais de corrosão, abrangendo diversas condições operacionais, de projeto e quanto ao estado de corrosão.

De forma a estabelecer valores de referência na avaliação dos resultados de probabilidade de falha fornecidos pelos programas, desenvolveu-se um modelo analítico onde a probabilidade de falha é obtida pela combinação das probabilidades de vazamento e de ruptura, avaliando os modos de falha por vazamento e por ruptura como fenômenos independentes. Assumiu-se que as variáveis aleatórias consideradas no modelo são regidas por uma função de distribuição de probabilidade Normal. Outros métodos mais sofisticados para cálculos de probabilidade podem ser observados em [5].

Além de fornecer subsídios aos analistas de integridade de dutos, o presente trabalho se propõe a auxiliar os desenvolvedores de programas a aperfeiçoar seus produtos e a fornecer ferramentas mais adequadas às necessidades dos profissionais da área de gerenciamento da integridade de dutos de aço.

1.3. **Organização da dissertação**

Este trabalho de dissertação divide-se em sete capítulos. Este capítulo apresenta uma visão geral da dissertação, bem como descreve a sua organização.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica das metodologias semi-empíricas para avaliação de dutos com defeitos de corrosão – apresenta uma revisão dos principais métodos semi-empíricos adotados pela indústria mundial e brasileira na avaliação da integridade de dutos de aço com defeitos de corrosão. São apresentadas as metodologias descritas na norma ASME B31G [6], na prática recomendada DNV RP F101 [7], no Método RStreng 0,85 dL [8], no Método RPA [9] e na Formulação de Kastner [10].

Capítulo 3 – A confiabilidade aplicada ao gerenciamento da integridade de dutos – apresenta a importância do tratamento das incertezas associadas aos dados necessários na avaliação da integridade de dutos de aço com defeitos de corrosão. Um modelo analítico para o cálculo da probabilidade de falha imediata e futura é desenvolvido e apresentado nesse capítulo, dando enfoque nas incertezas associadas à medição feita por PIG Instrumentado e às associadas às taxas de corrosão na profundidade e no comprimento do defeito.

Capítulo 4 – Ferramentas computacionais para avaliação da integridade de dutos com defeitos de corrosão – apresenta os aplicativos PLANPIG, OPIS e

CONFIABILIDADE DE DUTOS. Uma avaliação qualitativa de cada aplicativo é apresentada, destacando-se as premissas, os modelos considerados e as funcionalidades disponíveis. Ao final do capítulo, uma tabela destaca as principais características de cada aplicativo.

Capítulo 5 – Avaliação de um defeito isolado em condições hipotéticas – apresenta a aplicação detalhada do modelo analítico desenvolvido no Capítulo 3, na determinação da probabilidade de falha imediata e futura sobre um defeito isolado em condições hipotéticas. Concomitante à determinação da probabilidade de falha, as pressões de falha imediata e futura são calculadas pelos métodos semi-empíricos apresentados no Capítulo 2. Os resultados obtidos analiticamente são comparados com os fornecidos pelos programas PLANPIG, CONFIABILIDADE DE DUTOS e OPIS.

Capítulo 6 – Comparação de aplicativos em dutos com defeitos reais de corrosão – apresenta os resultados de um estudo comparativo da aplicação dos programas PLANPIG, CONFIABILIDADE DE DUTOS e OPIS no cálculo da pressão de falha e da probabilidade de falha, no instante imediato à inspeção em momentos futuros, para três dutos reais, escolhidos de forma a permitir uma ampla diversidade nas condições de severidade de defeitos, condições operacionais e de projeto.

Capítulo 7 – Conclusões e recomendações de trabalhos futuros – apresenta as conclusões do estudo e recomendações de futuros trabalhos.