

,

# 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, à medida que novos campos de petróleo e gás foram descobertos em águas profundas e distantes da costa, surgiu a necessidade de utilização de sistemas de coleta e exportação submarinos utilizando dutos rígidos cada vez mais extensos. Com uma maior extensão, aumentou-se a propensão à ocorrência de seções de duto não suportadas, chamadas de vãos-livres, devido às irregularidades do leito marinho, sejam elas preexistentes durante a instalação ou devido a subseqüentes movimentos horizontais de *scouring*<sup>1</sup> de dutos durante a operação.

A presença de trechos do duto em vão-livre exige uma avaliação para determinar a necessidade de ações corretivas para evitar danos aos mesmos. Ainda na fase de projeto, uma avaliação do perfil do fundo do mar ao longo da rota proposta pode ser realizada para identificar se é esperado que haja trechos do duto em vão-livre. Na existência de tais trechos, será necessária uma análise que forneça previsões dos números e tamanhos dos vãos esperados, que são indicadores da necessidade de possíveis alterações na rota ou ações corretivas.

Devido aos elevados custos (ambientais, financeiros, e à imagem da empresa), associados aos acidentes, o transporte seguro de hidrocarbonetos e outros fluidos nos oleodutos é uma das principais prioridades da indústria de petróleo e gás. A vibração livre é uma grande preocupação na análise de fadiga de componentes de dutos submarinos, incluindo dutos em vãos-livres (GAMINO; ABANKWA; PASCALI, 2013).

Sendo assim, o comportamento estático e dinâmico do duto deve ser investigado para garantir a segurança, combatendo o dano estrutural por fadiga, mantendo-o em um estado aceitavelmente seguro. Se as condições necessárias à segurança não puderem ser garantidas, as ações corretivas na forma de mudança de rota, correção de vãos, supressão do VIV e similares são usadas para garantir que os critérios de projeto relativos aos níveis de tensão e possíveis danos por fadiga devido ao VIV não sejam excedidos. A análise requer o uso de métodos numéricos robustos para seu tratamento, e o Método dos Elementos Finitos (MEF) é amplamente usado nessa tarefa. A configuração de dutos no fundo do mar depende das características topográficas do leito marinho, características do solo, tensão residual de lançamento, rigidez do duto e seu peso submerso.

Para que as condições de contorno e características do problema simulado reproduzam comportamento *in loco*, é necessário modelar desde a etapa de instalação até a operação do duto, assim como considerar efeito de carregamentos dos diferentes valores de pressões internas e externas nas respectivas etapas. Modelar a instalação de dutos em um *software* de elementos finitos para uso geral pode ser um trabalho demorado e tedioso, principalmente devido a grandes quantidades de dados da batimetria. Na maioria das vezes, são necessárias técnicas avançadas de *script* para definir o perfil do leito marinho e simular o processo de assentamento (Van den Abeele; BOËL; HILL, 2013).

Nesse cenário, são essenciais ferramentas que possam auxiliar não só no processamento (como os softwares de simulação), mas também o pré e pós-processamento de dados e, até mesmo, na automação de procedimentos. Uma ferramenta com essas características traz ganhos significativos para a produtividade e reduz a possibilidade de ocorrência de erros humanos.

---

<sup>1</sup> retirada de solo que suporta o duto devido às intensas correntes de fundo.

Além disso, uma ferramenta que integre *softwares* de uso específico (para análise e visualização, por exemplo), pode reduzir atritos do fluxo de trabalho, em comparação ao uso isolado destes *softwares*.

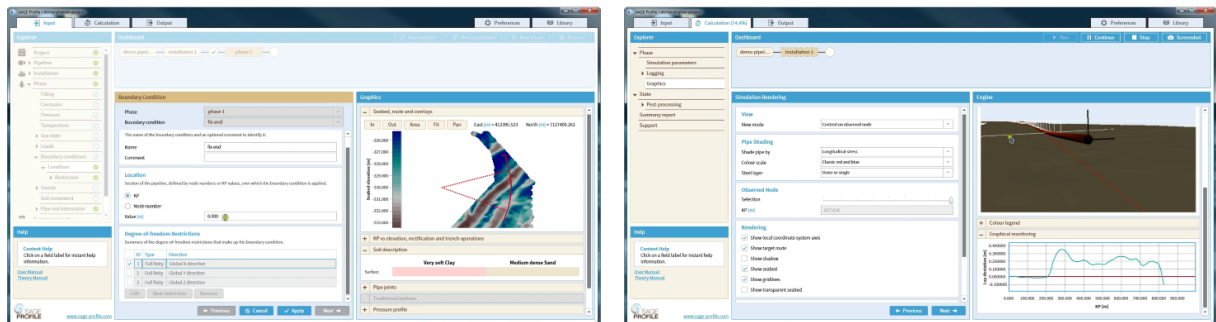
## 1.1 Soluções comerciais existentes

No cenário mundial existe a tendência da indústria de óleo e gás de investimento em transformação digital em todas as áreas da cadeia, com desenvolvimento de práticas e ferramentas. Esse movimento levou ao surgimento de ferramentas específicas ao auxílio do profissional responsável pela análise, visualização, predição dos resultados de VIV em dutos em vão-livre (MITTAL; SLAUGHTER; BANSAL, 2017). No entanto, pela especificidade dessas ferramentas, seu número ainda é reduzido, destacando apenas duas de nível comercial.

### 1.1.1 SAGE Profile

Desenvolvido pela empresa Fugro, que atua no monitoramento de dutos submarinos, o SAGE Profile (FUGRO, 2020) é o software deles para análise de dutos submarinos. Por ser uma aplicação específica para este uso, esta aplicação representa avanços em relação a modelagem com um software de elementos finitos genéricos, a aplicação se limita a análise de elementos finitos, deixando a análise de fadiga a cargo do usuário. Além disso, a interação do usuário está limitada a interface gráfica (GUI<sup>2</sup>, como na Figura 1), o que dificulta a automação de tarefas corriqueiras.

Figura 1 – Interface gráfica do SAGE Profile.



Fonte – [www.sage-profile.com](http://www.sage-profile.com).

### 1.1.2 Sesam for pipelines

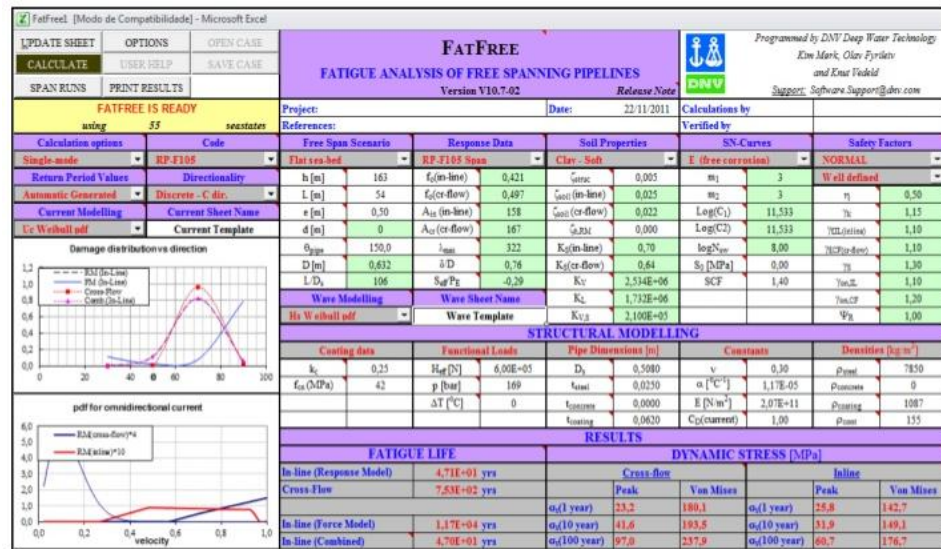
A DNG-GL é uma referência mundial, entre outras áreas, em análise de dutos em vão-livre. Esta empresa é responsável pelo desenvolvimento da suíte *Sesam for pipelines* (DNV-GL, 2020) focados na análise de dutos submarinos. Essa suíte consiste de 6 aplicações em VBA<sup>3</sup>, dentre as quais a mais destacada é a FatFree, responsável pelo cálculo da vida a fadiga em si. Sendo desenvolvidas pela DNG-GL, as aplicações seguem as recomendações práticas propostas pela mesma – o que trás bastante confiabilidade nos resultados. Entretanto apesar de conter uma aplicação para análise de comportamento mecânico, estas aplicações são simples, e estão muito

<sup>2</sup> *Graphical User Interface*: interface de usuário gráfica

<sup>3</sup> Visual Basic for Applications, com uma interface de planilha do Microsoft Excel.

aquém de um solução completa para simulação assentamento do tudo no solo, como o SAGE Profile.

Figura 2 – Interface gráfica (planilha) da FatFree.



Fonte – Autor (2020)

## 1.2 Motivação

Atualmente, existem diversos sistemas submarinos em operação nas Bacias de Campos e Espírito Santo que estão no final ou já ultrapassaram a metade de sua vida útil de projeto, o que torna ainda mais relevante uma análise de integridade avaliando possibilidade de extensão de vida operacional com critérios de cálculo validados.

Como se pode ver, dentre as melhores ferramentas atuais para análise fadiga de duto em vão-livre ainda há espaço para melhorias, especialmente no que se refere a integração. Diante dessas limitações, é comum usar um software para a análise de elementos finitos genérico (como Abaqus e ANSYS<sup>4</sup>) e realizam o cálculo de fadiga em folhas de cálculo pessoais ou comerciais, como a FatFree.

Visando desenvolver uma nova ferramenta para. Portanto, um framework com o qual se possam construir aplicações para automatizar tarefas no fluxo de trabalho desde a análise de elementos finitos até análise de fadiga traria uma importante Contribuição para o panorama atual.

## 1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um *framework* para a análise de fadiga em dutos submarinos em vãos-livres, que permita um fluxo de trabalho que inclua um software de análise de elementos finitos e uma planilha de cálculo de vida a fadiga. Além disso, este trabalho tem como objetivos específicos:

<sup>4</sup> <https://www.ansys.com>

- Contribuir para a metodologia de análise de fadiga em dutos por meio da criação de uma metodologia de seleção de modos de vibração;
- Modelar e implementar um *framework* utilizando o paradigma da programação orientada a objetos, através da linguagem *Python*;
- Validar o *framework* com aplicação de casos.

## REFERÊNCIAS

DNV-GL. *Sesam for pipelines - Subsea pipeline design software*. 2020. Acessado em: 17 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.dnvgl.com/services/subsea-pipeline-design-software-sesam-for-pipelines-2479>>. Citado na página 3.

FUGRO. *SAGE Profile*. 2020. Acessado em: 17 abr. 2020. Disponível em: <<http://www.sage-profile.com>>. Citado na página 3.

GAMINO, M.; ABANKWA, S.; PASCALI, R. FSI methodology for analyzing VIV on subsea piping components with practical boundary conditions. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, v. 7, 2013. Citado na página 2.

MITTAL, A.; SLAUGHTER, A.; BANSAL, V. *From bytes to barrels: The digital transformation in upstream oil and gas*. 2017. 1–28 p. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/digital-transformation-upstream-oil-and-gas.html><https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/oil-and-gas/digital-transformation-upstream-oil-and-gas.html><https://dupress.deloitte.com/dup->>. Citado na página 3.

Van den Abeele, F.; BOËL, F.; HILL, M. Fatigue Analysis of Free Spanning Pipelines Subjected to Vortex Induced Vibrations. In: *Volume 7: CFD and VIV*. Nantes, France: American Society of Mechanical Engineers, 2013. p. V007T08A039. ISBN 978-0-7918-5541-6. Citado na página 2.