ANÁLISE ESTRUTURAL DE LINHAS DE CONTROLE DE PLATAFORMAS OFFSHORE UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS[1]

Structural analysis of control lines of offshore platforms using the finite elements method

BOTTI, Beatriz S.
Centro Universitário de Jaguariúna

TSUKADA, Raphael I.
Universidade Estadual de Campinas

RESUMO: O aumento da demanda de petróleo trouxe consigo a necessidade de procurá-lo em águas cada vez mais profundas e complexas de serem exploradas. Devido a este desafio houve um grande desenvolvimento tecnológico, possibilitando assim as explorações em locais de difícil acesso. No entanto, nestas estão envolvidas grandes situações de riscos que podem causar danos ambientais e perdas parciais ou totais de produção.
Tendo isto em vista, esse projeto tem como finalidade prever falhas na estrutura de cabos umbilicais devido à movimentação da plataforma offshore causada por ações externas de caráter ambiental.
A análise computacional tridimensional (3D) utilizando o método de elementos finitos é uma das formas de testar a confiabilidade dos cabos, entretanto ao considerar seu comprimento total essa análise se torna inviável economicamente.
Por conta disso, análises considerando seu comprimento parcial são feitas de modo a viabilizar o processo.

Palavras-chave: Cabos Umbilicais; Simulação computacional; Método dos elementos finitos.

Abstract: The increase of oil demand has brought with it the need of look for it in increasingly deep and complex waters to be exploited. Due to this challenge there was a huge technological development enabling explorations in difficult access spots. However, these are involved in major risk situations that can cause environmental damages and partial or total production loses.
Bearing this in mind, this project aims to anticipate structure failure of umbilical cables due the movement of the offshore platforms induced by external environmental character actions.
Three-dimensional computational analysis (3D) using the finite elements method is one way to test the cables reliability however if to consider its complete length this analysis becomes economically unfeasible.
For this reason, analysis considering its partial length were done to enable the process.

Key-words: Umbilical cables; computational simulation; Finite elements method.

[1] Resumo expandido publicado nos anais do 19º Congresso Nacional de Iniciação Científica.

INTRODUÇÃO

A dependência que seres humanos têm do petróleo é notória e a consciência de que esta é uma substância finita está certificada. Com o passar dos anos, sua demanda aumentou, o que resultou na procura do mesmo em lugares com difícil acesso, como em águas com grande profundidade.

Com o advento das plataformas offshore, novas pesquisas e desenvolvimento de tecnologias submarinas surgiram, dentre elas os cabos umbilicais, que são estruturas complexas e multifuncionais, cujo ofício primário é permitir o controle de outros dispositivos submersos, como árvore de natal molhada (ANM) e manifolds, estando na superfície (GONÇALVES, 2009).

Os cabos umbilicais, uma vez instalados em um campo marítimo, estão sujeitos a diversos esforços, tais como o movimento da plataforma offshore, ondas e correnteza. Estes podem acarretar a falha estrutural dos umbilicais, uma vez que provocam a tração, torção e flexão do mesmo. Uma eventual falha destas estruturas pode acarretar impactos ambientais significativos e perda de produção. Nesse cenário, o entendimento e avaliação do comportamento destas estruturas é de grande importância (CORDOVÉS, 2008).

O comportamento dos umbilicais pode ser avaliado experimentalmente ou numericamente. No entanto, devido a magnitude das dimensões das estruturas, um complexo processo de reduções de escala é necessário para a realização de experimentos, como pode ser visto em CHAKRABARTI (2005). Desta forma, a avaliação numérica utilizando o método de elementos finitos se torna uma alternativa bastante atraente.

O método dos elementos finitos vem sendo amplamente aplicado na solução de diversos problemas, como pode ser visto em ALVES FILHO (2012). Para o problema abordado neste trabalho, soluções tridimensionais acoplando métodos de FEA (Finite Element Analysis) e CFD (Computational Fluid Dynamics) seriam os mais indicados. No entanto, o custo computacional seria uma restrição proibitiva. Nesse sentido, este trabalho pretende avaliar uma abordagem considerando o comprimento parcial do cabo umbilical, usando modelos de FEA tridimensionais.

OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho consiste em avaliar uma abordagem considerando um comprimento parcial do cabo umbilical, utilizando a modelagem computacional por elementos finitos tridimensionais para análises locais. Esta metodologia irá permitir prever o comportamento na estrutura de cabos umbilicais devido a forças ambientais ocasionadas por movimentação da plataforma offshore, onda e correnteza, controlando assim o risco de perda parcial e total de produção, prevenir desastres ambientais e promover a segurança dos trabalhadores envolvidos nas operações offshore.

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento tecnológico em decorrência do aumento da demanda por petróleo, acarretou em uma evolução das plataformas offshore, desde o desenvolvimento de tecnologias e estratégias novas para a fixação destas no fundo do oceano até o desenvolvimento de flutuadores para a alocação de conveses. (ORTIZ NETO & SHIMA, 2008).

Uma das tecnologias utilizadas nas plataformas offshore é o cabo umbilical, que estruturalmente, de forma simplificada, são compostos de camadas concêntricas, sendo de plásticos (polímeros) ou metálicos (aço), cujo ofício primário é permitir o controle de outros dispositivos submersos, como árvore de natal molhada (ANM) e manifolds, estando na superfície (GONÇALVES, 2009).

O modelo de cabo umbilical utilizado neste trabalho é do tipo STU (Steel Tube Umbilical), que possui duas camadas de armadura de tração em formato de hélice, e são enrolados de maneira inversa (um no sentido horário e outro anti-horário). A camada de tração tem um papel fundamental no equilíbrio dos carregamentos de torção. Possui também três camadas confeccionadas com polímeros (interna, intermediária e externa). Externamente ao seu núcleo elétrico-hidráulico estão fillers poliméricos e tubos de aço revestidos por uma camada polimérica e, internamente, possui cabos elétricos, óticos e mais fillers poliméricos (GUTTNER, 2016).

De forma abrangente, o cabo umbilical está sujeito a falhas devido às forças ambientais, que podem influenciar de forma direta (correntes e ondas) ou indireta (ocasionadas pela movimentação da plataforma offshore). Essa força é estocástica, ou seja, seu estado é indeterminado, pois acontece de forma aleatória. Justamente por possuírem essa característica, as análises se tornam críticas e sempre é considerado o pior cenário. Estas forças podem causar falhas mecânicas nos cabos, como por exemplo torção, tração e flexão. Um exemplo de deformação é o *birdcaging*, que ocorre devido a cargas severas de compressão sob o cabo (CORDOVÉS,2008).

Figura 1: Birdcaging.



Fonte: BECTARTE E COUTAREL (2004) apud TALGATTI ET ALL (2014).

Segundo ALVES FILHO (2012), problemas encontrados no cotidiano são extremamente difíceis de serem modelados matematicamente de forma exata, o que torna a tarefa de extrair respostas exatas para problemas reais quase sempre impossíveis.

Uma outra maneira de garantir a integridade do cabo umbilical é por meio de análises experimentais, onde um ensaio representaria a situação em que se deseja analisar. Como esse tipo de análise depende de representações físicas e o comprimento do cabo inviabiliza que essa técnica seja utilizada em escala real, caso esse método fosse escolhido um complexo processo de redução de escala teria que ser aplicado. Deve-se analisar também a necessidade de simular o meio físico em que o sistema está inserido e os equipamentos de instrumentação necessários para a extração dos resultados (CHAKRABARTI,2005).

Considerando o custo e a dificuldade da aplicação da técnica de redução de escalas, a análise computacional utilizando o método dos elementos finitos se torna

uma opção viável.

O Método dos elementos finitos, empregado nas análises tridimensionais, é um método numérico aproximado, que além de possuir mais precisão do que outros métodos semelhantes, como o método das diferenças finitas, ainda permite que a modelagem seja finalizada antes de começar o processamento computacional para a resolução das equações, dessa forma todas as decisões necessárias são tomadas pelo profissional, não exigindo que o software tome decisões durante o processamento. Por isso é imprescindível que o profissional operando o software esteja totalmente ciente sobre a parte teórica do método, pois uma decisão ou interpretação errada quase sempre resultará em consequências catastróficas (ALVES FILHO, 2012).

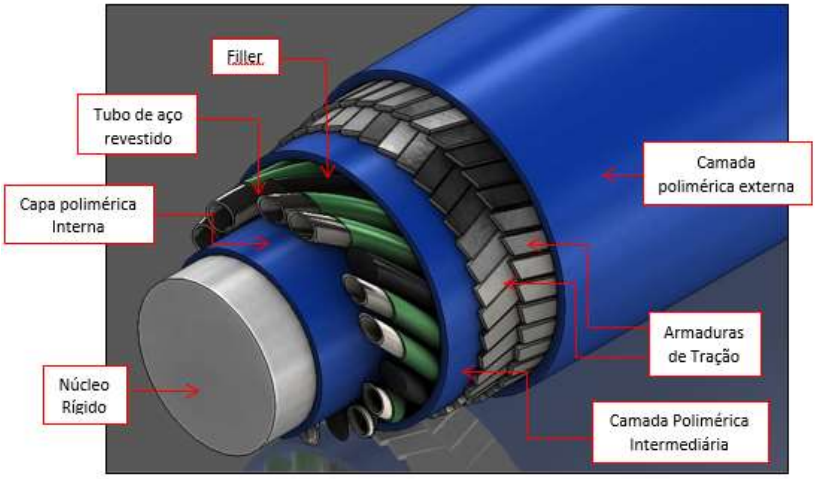
As etapas de desenvolvimento das análises utilizando o método dos elementos finitos são: Definição da geometria, definição da malha (tipo e configuração de elemento e tamanho da malha), definição dos modelos dos materiais, definição das condições de contorno e definição dos softwares que serão utilizados (GUTTNER, 2016).

O software escolhido para realizar as análises tridimensionais foi o SIMCENTER 3-D, pela familiaridade dos autores com o mesmo e por estar disponível no centro universitário de Jaguariúna (SIEMENS, 2020).

A geometria da análise está relacionada com a simplificação do desenho, pois a representação exata exigiria um grande processamento do computador ou geraria dificuldades na hora de gerar a geometria e os contatos. Por isso, para realizar as simulações, um desenho CAD baseado no cabo STU foi desenvolvido de forma simplificada.

A primeira simplificação foi a retirada da parte interna do núcleo, onde estariam presentes cabos elétricos, óticos e alguns fillers para preenchimento, que a princípio foi substituído por um cilindro rígido.

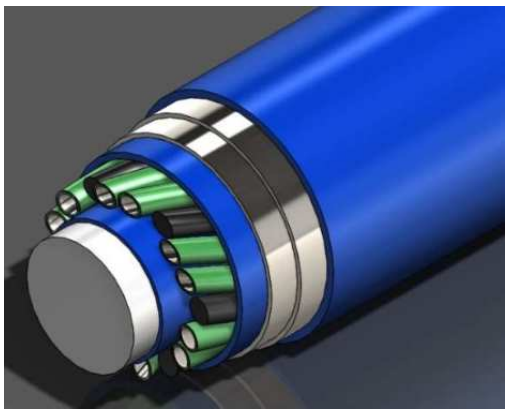
Figura 2: Primeira simplificação do cabo umbilical.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

A segunda simplificação feita foi nas armaduras de tração. Ao invés de criar os corpos retangulares e realizar um ressalto de forma helicoidal, os mesmos foram extrudados como cilindros concêntricos às camadas poliméricas, porém a espessura de sua camada foi respeitada.

Figura 3: Segunda simplificação do cabo umbilical.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

O comprimento parcial do cabo considerado foi de 500mm, as demais dimensões utilizadas para a representação do cabo umbilical e os dados sobre os componentes helicoidais estão nas tabelas posteriores ao desenho.

Camadas	Diâmetro interno (mm)	Espessura da camada (mm)
Capa polimérica interna	83,1	2,5
Fillers/Tubos de aço com revestimento	88,1	17,6
Capa polimérica intermediária	123,3	4
Armadura de tração interna	131,3	2,8
Armadura de tração externa	137,1	2,8
Capa polimérica externa	143	5

Tabela 1: Medida das camadas do cabo umbilical.

Componentes	Ângulo de assentamento	Número de componentes	Dimensões dos componentes (mm)
Fillers	8° (anti-horário)	6	16,7(diâmetro externo)
Tubos de aço com revestimento	8° (anti-horário)	12	Tubo: 14,7 x 1 Revestimento: 16,7 x 1 (diâm. ext x espessura)

Tabela 2: Componentes helicoidais.

Para confeccionar a malha, deve-se definir o tipo de elemento e o seu tamanho. O elemento a ser utilizado é o tetraedro (CTetra10)), cujo o nome faz referência ao mesmo possuir dez nós. Já o tamanho da malha foi definido inicialmente pelo próprio software, utilizando na configuração *element size* o comando *auto size*.

O modelo utilizado foi o linear estático, devido a simplicidade. Quatro materiais foram considerados no software, para o modelamento da simulação: o polietileno de alta densidade (HDPE), o polietileno de baixa densidade (LDPE), o aço SAF 2507 e aço galvanizado. A relação das propriedades dos materiais mais relevantes para a modelagem a ser simulada, os materiais utilizados para cada componente e os respectivos tamanhos de malha estão nas tabelas a seguir.

Material	E (GPa)	N	ρ (Kg/m³)
Polietileno de alta densidade (HDPE)	0.3	0.46	1000
Polietileno de baixa densidade (LPDE)	0.6	0.46	1000
SAF 2507/Aço Galvanizado	200	0.3	7850

Tabela 3:Propriedade dos materiais. Fonte: (GUTTNER, 2016).

Observando a tabela acima, podemos ver o coeficiente de elasticidade (E), o coeficiente de Poisson (v) e a densidade dos materiais (ρ).

Camadas/componentes	Material	Tamanho elemento de malha (mm)
Camada Polimérica Externa	HDPE	39,4
Camada Polimérica Intermediária	HDPE	33,8
Camada Polimérica Interna	HDPE	29
Armadura de tração exterma	Aço Galvanizado	35,6
Armadura de tração interna	Aço Galvanizado	34,1
Tubos de Aço	SAF 2507	9,49
Revestimento	LDPE	9,66
Fillers	LDPE	23,6

Tabela 4: Materiais e tamanho de malha.

As condições de contorno dependem de algumas definições em relação ao contato, se o contato será feito utilizando atrito ou não, das restrições de deslocamento impostas, se será considerado a interferência que uma camada causa a outra e dos deslocamentos de carregamentos impostos. Desses pontos, as definições feitas foram de que o contato desprezará o atrito, usando o surface-to-surface gluing, inicialmente não será considerado interferência de uma camada à outra e o carregamento considerado dependerá da análise que estiver sendo realizada.

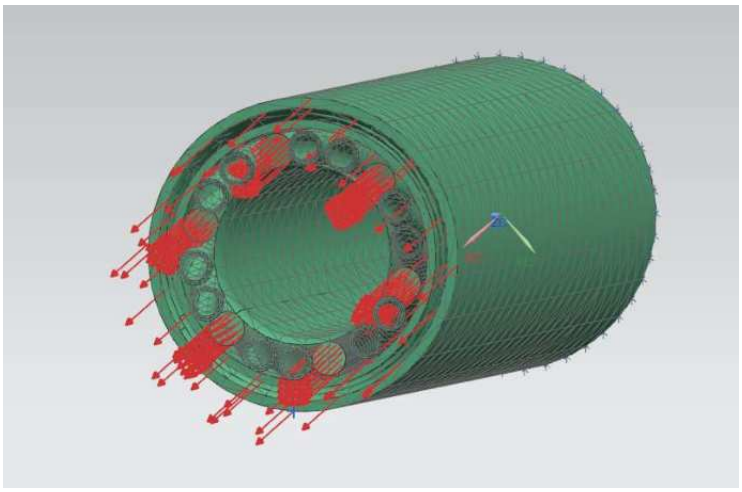
Inicialmente o contato foi feito de forma automática pelo software, porém na hora em que o mesmo tentava resolver o sistema que estava montado, várias mensagens de erro em relação ao contato apareciam na tela. Várias tentativas foram feitas para resolver o problema, porém o mesmo erro persistiu. O próximo

teste a ser realizado com os contatos será a realização dos mesmos manualmente.

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Simulações impondo um movimento de 20 mm na direção X foram realizadas, como pode ser visto na Figura 5. O deslocamento imposto é representado pelas setas vermelhas.

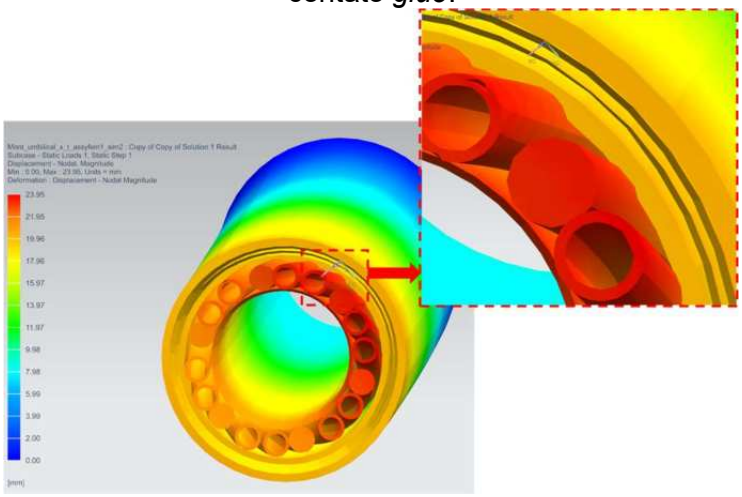
Figura 5: Cabo umbilical com a representação do movimento imposto.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

A condição de glue para não foi a mais adequada pois muitos componentes na condição inicial apresentavam-se distantes uns dos outros. Desta forma tentou-se uma abordagem em que se considerava surface contact entre os tubos revestidos e as camadas poliméricas e glue nos outros contatos. Esta simulação apresentou o resultado apresentado na Figura 6.

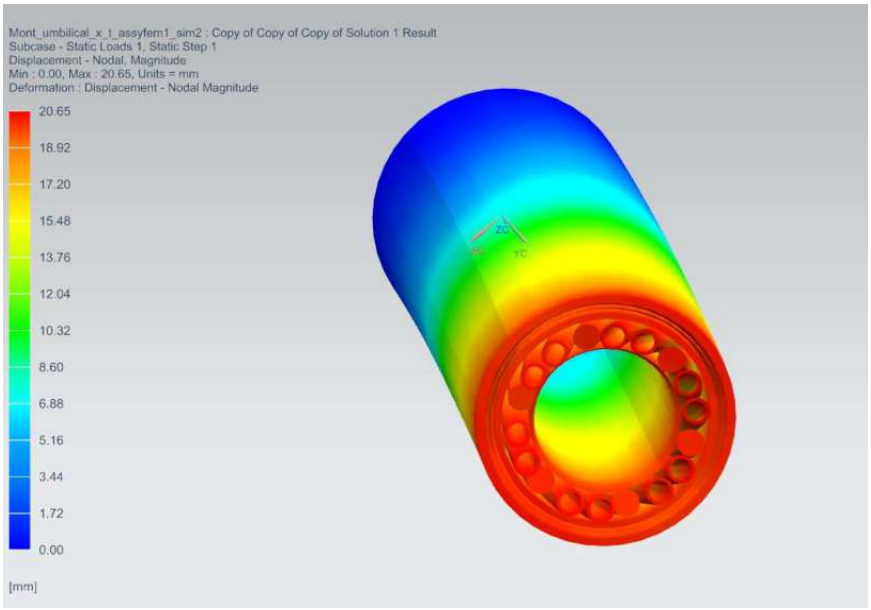
Figura 6: Resultado de deslocamento para o cabo umbilical considerando o uso de contato *glue*.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

Como pode se observar esta não foi a abordagem ideal, pois como pode ser visto na ampliação do resultado apresentada na Figura 6, houve penetração nos tubos revestidos. Ainda não foi possível identificar o real motivo disso, mas uma segunda abordagem foi considerar *surface contact* em todos os contatos. O resultado desta simulação é apresentado abaixo. Neste caso, o resultado se demonstra mais adequado.

Figura 7: Resultado de deslocamento para o cabo umbilical considerando o uso de contato *surface contact.*



Fonte: Desenvolvido pelos autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer no projeto, foi percebido um aumento na compreensão do processo de evolução das plataformas offshore, das análises estruturais, do método dos elementos finitos, da importância de garantir a integridade dos cabos umbilicais, os carregamentos aos quais o mesmo está submetido desde o seu lançamento e como os seus materiais e componentes são fundamentais para que o mesmo resista aos carregamentos que são impostos.

Compreender a teoria antes de tudo é de extrema importância, uma vez que o operador do software carrega uma grande responsabilidade nas mãos, pois deve ser capacitado para interpretar e simplificar adequadamente o sistema, pois, se houver algum erro ou desconsiderações de variáveis significativas, os resultados na prática podem acarretar em sérias consequências que variam desde a perda de produção, desastres ambientais até a segurança dos funcionários das plataformas offshore.

Quanto a parte do modelamento, as definições iniciais foram feitas, os materiais necessários foram inseridos no software com os parâmetros importantes do ponto de vista das análises e a malha foi criada. Apesar do problema recente com os contatos, a análise com o deslocamento de 20mm no eixo X trouxe resultados adequados.

PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Os autores pretendem dar continuidade nesse projeto de acordo com o cronograma já proposto, o estudo começará com mais simulações sendo realizadas nos cabos umbilicais.

A primeira simulação seria para definir o comprimento do cabo que deverá ser utilizado para as simulações, para isso, simulações de esforços seriam feitas para vários comprimentos de cabos, até que o valor venha a convergir.

Após isso, teria que averiguar o tamanho dos elementos de malha propostos pelo software, realizando o mesmo teste de convergência descrito no parágrafo anterior, porém variando o tamanho dos elementos da malha.

Posteriormente, as análises envolvendo os carregamentos impostos pela movimentação da plataforma, causados por forças ambientais podem ser feitas de forma confiável.

Uma das formas de validar os resultados extraídos das análises tridimensionais é a comparação com um modelo experimental, portanto, será desenvolvido uma mesa de testes para atestar o quanto as simulações tendem a se aproximar do modelo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, A. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE: análise não linear**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

CORDOVÉS, D. C. S. **Análise da confiabilidade estrutural de cabos umbilicais**.2008. 149f. Tese (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHAKRABARTI, S. K. **Handbook of Offshore Engineering.** 1. Ed. Elsevier, 2005.cap.13.

GONÇALVES, A. A. **Análises global e local de umbilicais com tubos de aço**. 2009. 191f. Tese (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GUTTNER, W. C. **Modelo tridimensional em elementos finitos para a análise de cabo umbilical STU submetido ao carregamento de crushing**. 2016. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ORTIZ NETO, J. B; SHIMA, W. T. **Trajetórias tecnológicas no segmento offshore: ambiente e oportunidades**. Revista de economia contemporânea. Rio de Janeiro, v.12, n 2, p.301-322, maio/ago.2008.

SIEMENS, Simcenter-3D Manual. 2019. Disponível em< https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/1872/nx_help#uid:xid1128419:index_advanced> Acesso em: 22 de fevereiro de 2019.

TALGATTI, O. L, et all. **Instabilidade radial em dutos flexíveis com defeitos na bandagem de alta resistência sujeitos a cargas axiais compressivas**. Estudos Tecnológicos em Engenharia, v.10, n.1, p. 24-34, jan./jun. 2014.

SOBRE OS AUTORES

Beatriz de Sousa Botti.
Graduanda em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Universitário de Jaguariúna.
E-mail para contato: beatriz.sbotti@gmail.com

Raphael Issamu Tsukada.
Doutor em Ciências e Engenharia de Petróleo pela Universidade Estadual de Campinas.
E-mail para contato: raphael.tsukada@prof.faj.br