

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROJETO DE REVESTIMENTO DE POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Janaína Figueiredo Pereira¹, João Paulo Lima Santos²

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Alagoas, UFAL.

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DE PROJETO DE REVESTIMENTO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

The well casing system corresponds to the main element of the oil well structural integrity system. Well lining costs can be as high as 50% of the total well budget, so employing lining selection optimization techniques can have significant impacts on the oil well construction process. In this work, new methodologies were developed for the integrated assessment of oil well stability through safety barrier failure analysis aiming at cost minimization in coating projects. The procedure of optimization of the choice of the coating was made from the methods of minimum weight, minimum cost or minimum overall cost; bearing in mind that pipe optimization and selection is paramount for lower column and casing weight or lower cost. To aid understanding of the entire methodology, along with its development, a graphical interface for an application integrating Casing Well (CWELL) within the Petroleum Engineering Applications System (SAEP) was developed. The latter is a multidisciplinary web application that lets you bring together applications across four major oil areas: Offshore, Well, Economy and Reservoir. SAEP provides support to the student body, serving as a tool to assist in learning and setting content addressed in the classroom, allowing students to incorporate future research work associated with the evolution and development of new applications in SAEP. CWELL was built in Python, with the aid of Django Framework, and its front end was developed mainly from HTML, CSS and JavaScript. From Casing Well, a stress analysis module was implemented and developed to complement the application and assist in the choice of cladding columns, as well as serving as an important support tool for teachers in the formulation of technical disciplines related to Engineering of oil.

Introdução

A construção de poços de petróleo ocorre por fases, em que, ao final de cada fase, uma coluna de aço é descida para o seu revestimento. Espera-se que, em uma seção do revestimento, os tubos possuam as mesmas especificações técnicas, como: grau, peso linear, diâmetro externo, espessura, profundidade de assentamento das sapatas e tipo de conexão. Segundo Roque (1992), não é recomendável um número muito grande de seções, devido a uma série de problemas operacionais e afirma, ainda, que esse número vai depender do comprimento da coluna, da logística e da análise de custos.

Na construção de poços de petróleo, a etapa de revestimento é uma das mais onerosas e é de extrema importância para a segurança operacional do poço durante sua perfuração, bem como em toda sua vida produtiva. Diante de tais fatos, deve-se procurar garantir que a execução desta etapa seja segura e economicamente satisfatória, além de atender as mínimas condições necessárias de viabilidade operacional e financeira do poço. Ou seja, ele deve ser capaz de garantir segurança nas etapas de perfuração, completação, workover (intervenção) e produção, com mínimo custo possível. Esse tema de seleção otimizada é bastante discutida pelos autores Rahman e Chilingarian (1995) e Roque (1992), que salientaram, dentre vários, três métodos resultantes deste estudo: Método do Mínimo Peso; Método do Mínimo Custo e Método do Mínimo Custo Global.

“A literatura tem abordado com veemência técnicas de otimização que garantem, dentro dos recursos disponíveis e da logística da operadora, a coluna de menor peso ou a de menor custo. Existe uma metodologia de otimização, que engloba os aspectos de minimização de peso e minimização de custos, conhecido como método do mínimo custo global, que seleciona tubos mais leves entre os mais

baratos, ao mesmo tempo em que seleciona tubos mais baratos entre os mais leves.”, conforme apontado por COSTA (2016, p. 19)

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma ferramenta web, chamada SAEP, multidisciplinar, que permite reunir aplicações em grandes áreas do petróleo: Offshore, Poço, Economia e Reservatório. Neste site, a ferramenta Casing Well (CWELL) está sendo incrementada e, nela, os parâmetros que um projeto de revestimento necessita podem ser inseridos, para que a otimização e a seleção do revestimento sejam analisadas, através dos Métodos de Mínimo Peso e Mínimo Custo Global.

Uma vez conhecidos os esforços que hão de ser suportados pelo revestimento, a análise é iniciada para verificação de qual material irá suportar tal esforço, para, então, o procedimento de otimização da escolha do revestimento ser iniciado.

O trabalho tem como objetivo geral a avaliação integrada da estabilidade de poços de petróleo, juntamente com o desenvolvimento de metodologia para minimização de custos em projetos de revestimento com base nos métodos citados.

Metodologia

Ao longo do tempo, diversos autores desenvolveram pesquisas que abordam o problema da otimização da seleção de tubos, seja para se determinar que a coluna e o revestimento possuam um menor peso, ou para que tenham um menor custo, se enquadrando nas condições encontradas no poço. Através dos métodos explanados abaixo, pode-se fazer a análise adequada.

MÉTODO DO MÍNIMO PESO

Segundo Roque (1992), esse método baseia-se na seleção do revestimento de menor custo final dentre os mais leves capazes de suportar os esforços máximos previstos. A prioridade é dada ao peso sobre o preço.

A coluna é discretizada em comprimentos mínimos de seção. Em cada seção são escolhidos os tubos de menor peso dentro das exigências do problema e dentre esses é selecionado o de menor preço (ROQUE, 1992).

As equações abaixo representam matematicamente esse método.

$$C_{TMIN} = \min [C_T(W_{TMIN})]_m \quad (1)$$

$$W_{TMIN} = \min(W_T)_m \quad (2)$$

$$W_T = K_{m \rightarrow ft} \sum_{n=1}^R L_n W_n \quad (3)$$

$$C_T = \sum_{n=1}^R (L_n C_n) \quad (4)$$

Nessas relações, C_{TMIN} é o custo total da coluna de menor peso, em dólares; C_T é o custo total, em dólares; C_n é o custo unitário, em dólares/m; W_{TMIN} é o peso da coluna de menor peso dentre as mais leves (lbf); W_T é o peso total da coluna (lbf); W_n é o peso unitário (lbf/ft); L_n é o comprimento da seção (m); $K_{m \rightarrow ft}$ representa o fator de conversão de metros para pés, correspondendo a 3.28084; m é o número total de colunas com mínimo peso ou mínimo custo e R o número de seções que compõem a coluna.

MÉTODO DO MÍNIMO CUSTO

O método do mínimo custo baseia-se na seleção da coluna de menor custo dentre todas as colunas capazes de suportar as cargas máximas previstas (ROQUE, 1992). Segundo Roque (1992), a existência dos métodos do Mínimo Peso e do Mínimo Custo se explica pelo fato de que não é possível se otimizar, simultaneamente, o peso total e o custo final de uma coluna de revestimento. Esse método é caracterizado pela equação 5 abaixo:

$$C_{\text{TMIN}} = \min \left(\sum_{n=1}^N (L_n C_n) \right)_m \quad (5)$$

MÉTODO DO MÍNIMO CUSTO GLOBAL

Neste método, os mesmos princípios dos métodos anteriores são utilizados. Ainda, a cada trecho analisado, se considera todos os tubos mais leves que o mais barato e todos os tubos mais baratos que o mais leve, que possam suportar os esforços previstos previamente.

Neste atual trabalho foram utilizadas técnicas computacionais. Uma interface gráfica, que foi construída, em Python, foi adicionada em uma nova aba sobre seleção de revestimento, na ferramenta CWELL.

Resultados e Discussão

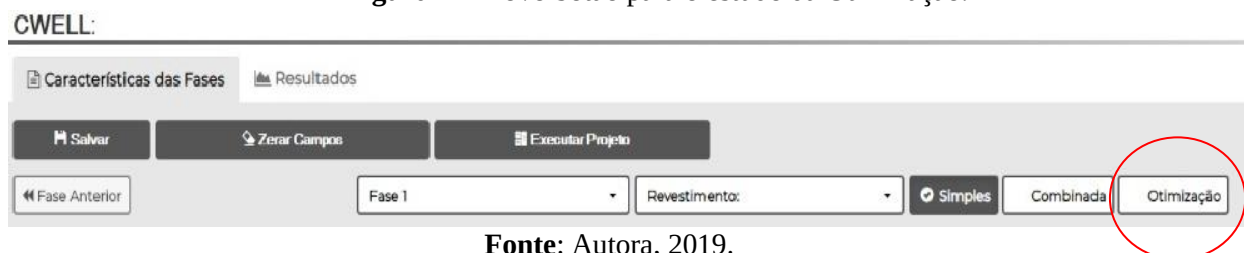
Como foi discutido ao longo do trabalho, a nova aba disposta na ferramenta CWELL foi desenvolvida em Python, sendo utilizada a linguagem HTML para sua interface.

Com isso, para a criação da nova aba de “Otimização”, foram utilizados dados já antes preenchidos pelo usuário na ferramenta CWELL, construído em Python, com auxílio de Framework Django, sendo seu front-end desenvolvido basicamente de linguagem HTML, CSS e JavaScript.

O código para a interface no CWELL foi implementado através das equações matemáticas apresentadas na metodologia, utilizando parâmetros como diâmetro externo e interno do tubo, espessura, tensão de escoamento mínima, profundidade de assentamento da sapata e densidade do fluido de perfuração, como dados de entrada do problema.

No CWELL existem algumas abas de seleção como quantidade de fases e tipo de revestimento. Neste trabalho, foi feita a implementação de um novo elemento nomeado “Otimização” ao lado das opções já antes existentes. O resultado está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Novo botão para o estudo da Otimização.



Fonte: Autora, 2019.

Com isso, nessa aba, o usuário poderá escolher o método para sua seleção de revestimento – Mínimo Peso ou Mínimo Custo Global, como mostrado na Figura 2.

Para a escolha do método, tal usuário deverá preencher o comprimento mínimo ($L_{\min}$) do tubo – dado necessário para a efetuação dos cálculos, uma vez que 10% do comprimento total seria o comprimento mínimo ideal para o projeto.

Figura 2 – Escolha dos métodos.

Fonte: Autora, 2019.

Após isso, a aba de Resultados mostrará, além dos efeitos das Resistências Uniaxiais, Triaxiais e dos Carregamentos, a opção de seleção de revestimento, onde serão retornados, através do aplicativo web, os dados de saída com as opções de tubos que devem ser utilizadas, de acordo com o número de seções selecionadas, contendo seu Grau do Aço e seus respectivos preços e pesos lineares.

ESTUDO DE CASO

Para ilustrar a potencialidade da ferramenta, é avaliado um estudo de caso, em que um poço é perfurado em três fases (duas de Superfície e uma de Produção), com lâmina d'água de 1000 m e massa específica do cimento endurecido (WOC) de 9 lb/gal.

Para este estudo, os fatores de segurança utilizados foram: 1.3 (tração/compressão), 1.1 (burst), 1.0 (colapso) e 1.25 (triaxial) e o poço possui o tipo de coluna de revestimento simples (apenas uma seção em cada fase). A Tabela 1 abaixo mostra os dados deste poço necessários para o processo.

Tabela 1 – Dados necessários do poço para a otimização de tubos de revestimento.

POÇO ANALISADO NO ESTUDO DE CASO			
	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Diâmetro externo do tubo (in)	18 5/8	9 5/8	7 5/8
Diâmetro interno do tubo (in)	10,38	4,407	1,31

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Espessura do tubo (in)	0,435	0,609	0,595
TVD_sapata (m)	1060	2000	2500
Altura do topo do cimento (m)	0	0	0
Densidade do fluido (p_{mud}) (lb/gal)	12	11	11
Densidade do cimento (lb/gal)	16	14	19

Fonte: Autora, 2019.

A partir dos dados da tabela 1, foi realizada a execução do SAEP para que, em conjunto com as equações, pudessem ser computados para alcançar os resultados.

Considerando o comprimento mínimo de cada fase como sendo 10% do TVD total, tem-se tais comprimentos na Tabela 2:

Tabela 2 – Comprimentos mínimos de cada fase do revestimento.

	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Comprimento Mínimo (L_{min}) (in)	106	200	250

Fonte: Autora, 2019.

O tópico “Seleção de Revestimento” nos Resultados foi criado, abaixo dos resultados provenientes das Resistências Uniaxiais, Triaxiais e dos Carregamentos, como mostrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 – Tópico de Seleção de Revestimento nos Resultados.



Fonte: Autora, 2019.

A partir disso, com todos os dados já preenchidos, o projeto foi executado. Ao executá-lo, na aba de “Resultados” foram gerados os efeitos que os esforços provocaram.

Em “Seleção de Revestimento” foi mostrado o resultado referente ao poço do estudo de caso, inserido nas Tabelas 3 e 4 abaixo, contendo o grau do aço a ser utilizado em cada fase, seu preço respectivo e peso linear, no caso do Mínimo Peso, uma vez que este método retorna o peso linear e o grau de aço, enquanto o Mínimo Custo Global retorna o grau de aço e seu preço respectivo.

Tabela 3 – Resultado para o Método do MENOR PESO

	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Grau do Aço	N80	K55	K55
Peso Linear (lb/ft)	29	23	23
Preço (US\$)	62,32	40,58	40,58

Fonte: Autora, 2019.

Com isso, através do Mínimo Peso, podemos ver que a Fase 2 e a Fase 3 obtiveram a mesma seleção de revestimento, o que significa que o grau K55, com tensão mínima de escoamento de 55000 psi, é a melhor opção otimizada para o processo de revestimento deste poço, com menor peso linear e preço comparado a outras escolhas e à Fase 1. Esta última representa a fase mais onerosa do processo, porém o grau de aço N80, que custa 62,32 dólares, é a melhor escolha nestas condições.

Da mesma maneira, pode-se inferir sobre o Menor Custo Global, que apresentou as opções de melhor custo-benefício para o revestimento. A Tabela 4 mostra os graus do aço que devem ser utilizados em cada fase, para que o processo seja mais seguro e financeiramente satisfatório. Mais uma vez, a Fase 1 apresentou maior custo comparado às Fases 2 e 3 mas, ainda assim, este é o melhor cenário total.

Tabela 4 – Resultado para o Método do MENOR CUSTO GLOBAL

	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Grau do Aço	N80	J55	J55
Preço (US\$)	55,57	40,58	40,58

Fonte: Autora, 2019.

Conclusões

A abordagem técnica de otimização evidenciou que o projeto de poços pode ter elevadas economias nos processos de seleção de parâmetros de revestimento. Desta maneira, a metodologia desenvolvida, no CWELL, apresentou resultados claros a respeito da seleção de revestimento de poços de petróleo, em sua versão otimizada. Isso indica um custo-benefício para todo o sistema de produção, obtendo, ainda, alta segurança para o projeto.

Além dos possíveis fins profissionais, esta aplicabilidade tem como propósito o auxílio educacional, para que alunos relacionados à Engenharia de Petróleo possam testar e adquirir maiores conhecimentos sobre o processo de perfuração de um poço, com a prática otimizada em questão.

A nova aplicação incrementada neste projeto pode gerar informações muito importantes para as etapas de perfuração, instalação, completação, intervenção (workover), além da etapa de produção de petróleo, seja para fases de seções simples ou combinadas.

O resultado otimizado garante uma obtenção de colunas ótimas, através das informações sugeridas, como quais (ou qual, no caso de seção simples) os graus do aço devem ser utilizados, seus respectivos pesos lineares e preços, gerando maior rentabilidade ao projeto de poços.

Portanto, devido aos grandes benefícios que o aplicativo web SAEP, juntamente com a ferramenta CWELL, vem trazendo para a área do petróleo, é de suma importância que seja assídua a implementação do site, através de novos códigos criados, para que o SAEP seja acrescentado de outras aplicações e fique, assim, ainda mais completo.

Além disso, a seção relacionada à seleção de tubos de revestimento ainda pode ser aprimorada, para que possua outros resultados além dos que foram alcançados neste trabalho. Por exemplo, pode-se incrementar outros métodos de otimização para que o usuário tenha mais opções de escolha, acarretando em resultados com menos erro e mais precisões.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida que me concedeu, além da força e saúde fornecida, que possibilitaram que eu chegasse até o final desse projeto.

Agradeço aos meus pais, Wagner Pereira Braga e Mônica Figueiredo Pereira, por todo o esforço investido na minha educação e pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida. À minha irmã, Júlia Figueiredo, pelo amor incondicional e apoio emocional de toda a vida. Agradeço, também, ao meu namorado Matheus Mota, que sempre está ao meu lado durante os percursos acadêmicos, demonstrando um ótimo companheirismo.

Sou grata pela confiança depositada em mim pelo professor Dr. João Paulo Lima Santos, orientador do meu trabalho. Obrigada por me manter motivada durante todo o processo. Por fim, a todos os meus professores do curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal de Alagoas, pela excelência da qualidade técnica de cada um.

Referências Bibliográficas

Costa, Jeremias Honorato. **SISTEMA DE APLICAÇÕES DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO (SAEP): MÓDULO POÇO**. 2016. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

RAHMAN, S. S.; CHILINGARIAN, G. V. **Casing Design Theory and Practice**. Amsterdam: ELSEVIER, 1995. p. 27-75.

ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. **Projetos de Poços de Petróleo**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 327-338, 385-409

ROQUE, J. L. **Dimensionamento de Revestimentos para Poços Profundos, Poços Direcionais e Horizontais de Longo Afastamento Horizontal Pelo Método do Mínimo Custo Global**. 1992. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas. 1992.

SCHWIND, B. E. **Project Aims to Qualify Tubular Connections**. Drilling Contractor, p.60, 2006.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p. 90.