

IMPORTÂNCIA DA CIMENTAÇÃO NA ESTABILIDADE DE POÇOS DE PETRÓLEO: UM ESTUDO DE CASO

JOYCE KELLY FRANÇA TENÓRIO^{1*}; JENNIFER MIKAELLA FERREIRA MELO²;
JOÃO PAULO LIMA SANTOS³;

¹Graduanda de Engenharia de Petróleo, UFAL, Maceió-AL, joyce.tenorio@ctec.ufal.br;

²Graduanda de Engenharia de Petróleo, UFAL, Maceió-AL, jenny_mikaella@hotmail.com;

³Prof. Dr. do curso de Engenharia de Petróleo, UFAL, Maceió-AL, jpls@lccv.ufal.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018–Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A cimentação é uma das fases mais importantes do processo de construção de poços de petróleo e visa isolar hidraulicamente diferentes zonas de interesse, que possam ter sido expostas durante a sua perfuração. O presente trabalho objetiva realizar um estudo de caso, considerando um projeto de poço com distintos graus de aço da coluna de revestimento através da utilização da ferramenta computacional Casing Well (CWELL), verificando a importância da qualidade revestimento-cimentação. As normas de dimensionamento buscam assegurar a integridade das estruturas e baseiam-se no critério de resistências mecânicas, no qual as colunas de revestimento devem resistir a esforços axiais, pressão interna (burst) e colapso. Foram analisados três cenários: C75, H40 e K55, o primeiro obteve todos os seus carregamentos dentro das envoltórias (API e von-Mises), enquanto os do segundo ultrapassaram as envoltórias. No revestimento K55, critérios de segurança foram ultrapassados, mas a coluna de revestimento ainda foi considerada viável.

PALAVRAS-CHAVE: Cimentação, revestimento, integridade, Cwell.

IMPORTANCE OF CEMENTATION IN STABILITY OF OIL WELLS: A STUDY OF CASES

ABSTRACT: The cementation is one of the most important phases of the well constructing process and aims at hydraulically isolate different zones of interesting, which might have been exposed during the drilling process. This work intends to do a study of cases, considering a well project with distinct degrees of steel from the casing column through the computational tool Casing Well (CWELL), verifying the importance of casing-cementation quality. The standards of sizing assure the quality of the structures and are based on the criterion of the mechanical resistance, on which the casing columns should resist to axial forces, internal pressure (burst) and collapse. Three scenarios were analyzed: C75, H40, and K55, the first one had all of its loadings inside the envelope (API and Von-Mises), while the second one had its loading overcoming them. On the K55 casing, the safety criterion was exceeded, but the casing column was still considered viable.

KEYWORDS: Cementation, casing, quality, Cwell.

INTRODUÇÃO

A cimentação é uma das fases mais importantes do processo de construção de poços de petróleo, que tem com o objetivo proteger o revestimento metálico instalado no poço, impedindo o movimento do fluido através do espaço anular, como também interrompe a migração do fluido para possíveis fraturas na formação, além de ser utilizada para fechar parte de um poço abandonado. (BOURGOYNE JR, 1991).

O processo de cimentação consiste em colocar uma pasta de cimento em uma parte do poço a fim de isolar hidraulicamente diferentes zonas de interesse, que possam ter sido expostas durante a sua perfuração. É de fundamental importância o isolamento dessas zonas, uma vez que, além da produção seletiva de hidrocarboneto na profundidade de interesse, deve-se compor com ele um sistema de

barreiras de segurança, em conformidade com a Portaria da Agência Nacional do Petróleo (ANP N° 25), sendo um dos elementos de integridade do poço. (ASLAN, 2015).

Segundo a Mineral Management Service (MMS), agência americana que desempenha funções semelhantes à ANP no Brasil, o principal fator que contribuiu para ocorrência de falhas na segurança de poços com *blowouts* (influxo descontrolado de fluido no poço) na porção offshore americana foi a cimentação. Entre 1992 e 2006 foram identificados cerca de 18 em 54 casos de *blowouts* reportados. (ASLAN, 2015).

O sucesso da cimentação é ditado por muitos fatores, dentre eles pode-se citar a eficiência no deslocamento da pasta de cimentação, que requer interações mútuas de fluido de perfuração, espaçadores e da pasta de cimento no espaço anular. Sabe-se que existem muitas causas para problemas e falhas de deslocamento de pasta de cimento, incluindo poços mal condicionados, taxas de fluxo de deslocamento inadequadas, centralização de revestimento insuficiente, diferença de viscosidade entre lama-espaçador-cimento levando a instabilidades de interface, etc. (ENAYATPOUR; OORT, 2017).

Estudos anteriores mostram que cimentos de baixa resistência não são capazes de suportar o revestimento em poços de petróleo. A capacidade de suporte de cimento geralmente é avaliada no fundo do poço, onde devem ser avaliadas as condições de pressão e o tempo de endurecimento do cimento (*waiting-on-cement* - WOC) (BEARDEN; LANE, 1961). Dentre os cenários mais críticos considerados no âmbito da indústria está o Teste de pressão após o endurecimento do cimento, sendo o mesmo um bom indicador de falha na cimentação. (VITORINO, 2018).

Considerando-se a importância da cimentação e da integridade revestimento-cimentação em poços de petróleo, o presente trabalho objetiva realizar um estudo de caso, considerando um projeto de poço com distintos graus de aço da coluna de revestimento através da utilização da ferramenta computacional *Casing Well* (CWELL). Para a análise, considera-se cenários críticos relacionados à cimentação de poços de petróleo.

MATERIAL E MÉTODOS

O CWELL faz parte do ambiente multidisciplinar SAEP (Sistema de Aplicações de Engenharia de Petróleo), desenvolvido Universidade Federal de Alagoas com o objetivo de realizar aplicações para projetos de colunas de revestimento, permitindo assim uma análise da estabilidade e integridade das diversas fases de um poço. (COSTA, 2016)

As normas de dimensionamento buscam assegurar a qualidade das estruturas e baseiam-se no critério de resistências mecânicas. O CWELL utiliza a norma API ISO 10400 (2017) para geração dos resultados de resistência mecânica da coluna de revestimento.

Em geral, as colunas de revestimento devem resistir a esforços axiais, pressão interna (*burst*) e colapso. A falha por tração ou compressão ocorre quando a coluna está submetida a cargas axiais, perpendiculares a sua superfície que superam a tensão de escoamento do aço (Falha em estado limite de Serviço - ELS). Já a falha por pressão interna (*burst*) ocorre quando a pressão externa ao tubo é superada pela pressão interna, quando submetida a esforços radiais ou tangenciais. Já o colapso, ocorre quando a pressão externa ao tubo é muito maior que a pressão interna. (VITORINO, 2017)

As resistências à tração e *burst* (baseado na modelo de Barlow) estão expressas nas Equações 1 e 2, respectivamente, e são utilizadas como base para o estudo de casos deste artigo.

$$R_t = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) Y_p \quad (1)$$

$$R_b = 2Y_p \frac{0,875t}{D_o} \quad (2)$$

A expressão utilizada para o cálculo da resistência ao colapso depende do regime de colapso ao qual a tubulação pertence, o qual é determinado pela relação entre diâmetro externo e espessura. Os regimes de colapso são divididos em: regime de escoamento, regime plástico, de transição e elástico. As equações para determinar a resistência ao colapso em cada um dos regimes de escoamento, plásticos, de transição e elásticos correspondem às equações 3, 4, 5 e 6, nessa ordem. (SILVA, 2017)

$$R_{yp} = 2Y_p \left[\frac{\left(\frac{D}{t}\right) - 1}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \right] \quad (3)$$

$$R_{pp} = Y_p \left[\frac{A}{\frac{D}{t}} - B \right] - C \quad (4)$$

$$R_t = Y_p \left[\frac{F}{\frac{D}{t}} - G \right] \quad (5)$$

$$R_e = \frac{46,95 \times 10^6}{D/t[D/t - 1]^2} \quad (6)$$

As constantes presentes nas equações de resistência ao colapso podem ser calculadas pelas expressões a seguir:

$$A = 2,8762 + 0,10679 \times 10^{-5} Y_p + 0,21301 \times 10^{-10} Y_p^2 - 0,53132 \times 10^{-16} Y_p^3 \quad (7)$$

$$B = 0,026233 + 0,50609 \times 10^{-6} Y_p \quad (8)$$

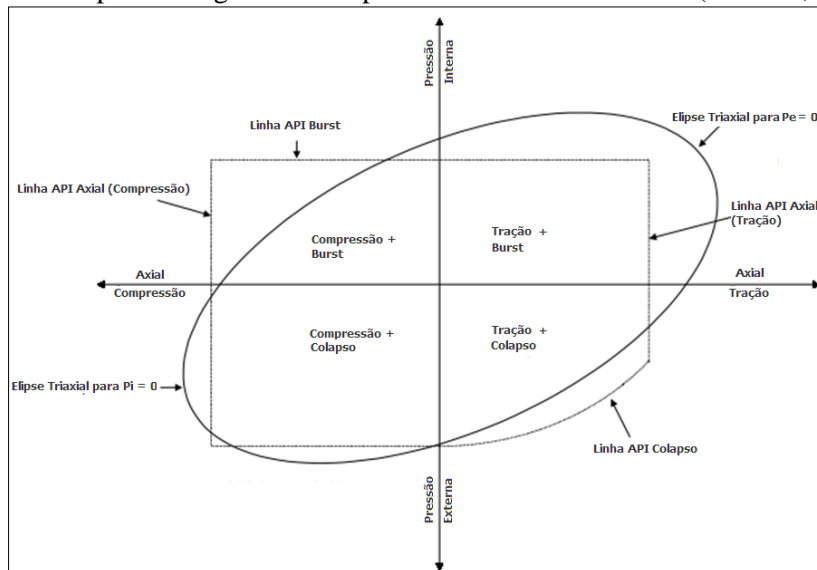
$$C = -465,93 + 0,030867 Y_p - 0,10483 \times 10^{-7} Y_p^2 + 0,36989 \times 10^{-13} Y_p^3 \quad (9)$$

$$F = \frac{46,95 \times 10^6 \left[\frac{3B/A}{2+(B/A)} \right]^3}{Y_p \left[\frac{3B/A}{2+(B/A)} - (B/A) \right] \times \left[1 - \frac{3B/A}{2+(B/A)} \right]^2} \quad (10)$$

$$G = F(B/A) \quad (11)$$

As resistências são comparadas aos carregamentos submetidos à estrutura estudada. Caso o carregamento seja maior que o valor que a coluna suporta, pode ser um indicador de falha, possibilitando o comprometimento de suas funções. Além dos esforços uniaxiais e biaxiais, os resultados triaxiais são uma forma de tornar a análise mais criteriosa, a qual pode ser realizada por meio das envoltórias API e de von-Mises, mostradas na Figura abaixo. Caso uma combinação de carregamentos imposta à estrutura esteja fora das duas envoltórias, não é possível garantir que não houve o escoamento do tubo (Falha em Estado Limite de Serviço – Deformação plástica) (COSTA, 2016).

Figura 1. Elipse de cargas triaxiais para tubos de revestimentos (COSTA, 2016)



O critério de Plasticidade de von-Mises diz que a seguinte condição deve ser tomada $\sigma_{VME} \leq Y_p$, sendo σ_{VME} dada pela Equação 12.

$$\sigma_{VME} = \frac{[(\sigma_a - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_a)^2 + 6\tau_{ha}]^{0,5}}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

O CWELL utiliza fatores de segurança, que são pré-determinados por norma, para cada tipo de cenário selecionado pelo usuário, fornecendo assim uma maior segurança ao projeto e conseqüentemente, aos resultados obtidos. Os dados de entrada utilizados no presente estudo de caso foram semelhantes a Perez (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

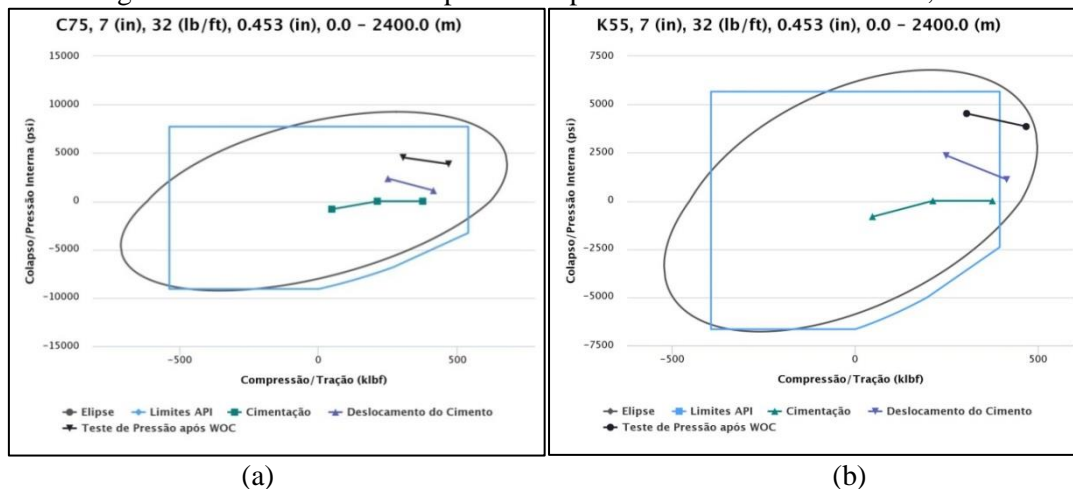
A partir dos cenários de análise propostos e os dados de entrada fornecidos ao CWELL, foi possível obter valores para as resistências uniaxiais, as quais podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Resistências Uniaxiais para cada cenário de estudo.

Coluna de revestimento			
	C75	K55	H40
Resistência à Tração (klbf)	698,8	512,45	372,69
Resistência à P. Interna (psi)	8493,75	6228,75	4530,00
Resistência ao Colapso (psi)	8201,37	6464,22	4842,11
Conexão			
	C75	K55	H40
Resistência à Fratura na Luva (klbf)	832,38	832,38	525,72
Resistência à Fratura no pino (klbf)	779,19	730,2	474,04
Resistência a P. Interna de Esc. na Luva (psi)	7932,50	5817,17	4230,67
Resistência a P. Interna de vazamento na conexão (psi)	11794,79	11794,79	11794,79

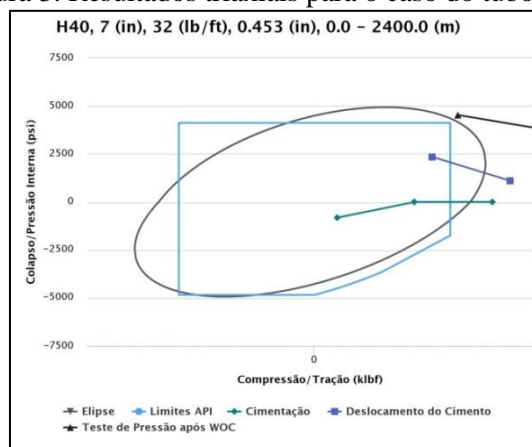
Ainda foram obtidos os estudos triaxiais, através das envoltórias de von-Mises e API, os quais podem ser utilizados para análise da integridade dos tubos. Na Figura 2, encontram-se os resultados triaxiais para os diversos cenários considerados empregando os revestimentos da classe C75 e K55.

Figura 2. Resultados triaxiais para os respectivos casos de análise: C75, K55.



Na Figura 2a, percebe-se que os carregamentos dos três cenários críticos considerados para o revestimento C75 não ultrapassam as envoltórias API e de von-Mises, que estão com coloração azul e preta, respectivamente. Tal comportamento garante a integridade da estrutura nas condições de projeto consideradas. Já para o revestimento composto por aço de grau K55, os carregamentos de teste de pressão após WOC e de deslocamento do cimento ultrapassam a envoltória API, mas não a de von-Mises, indicando a ultrapassagem dos fatores de segurança, mas não garante a inviabilidade da coluna de revestimento. Para o tubo de classe H40, o de menor custo, quando comparado aos outros analisados, os carregamentos ultrapassam ambas as envoltórias, o que pode indicar uma falha estrutural, comprometendo a funcionalidade integral da estrutura, conforme indicado na figura 3.

Figura 3. Resultados triaxiais para o caso do tubo H40.



CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado, foi possível perceber a importância da cimentação diante de alguns cenários expostos, bem como da integridade revestimento-cimentação. Para essa análise, utilizou-se do critério de resistências mecânicas, já implementado no programa utilizado, o CWELL.

Diante do exposto, comparou-se os três casos estudados, nos quais o grau do aço da coluna de revestimento foi alterado, e observou-se o comportamento dos cenários, analisando seus resultados conforme a literatura. Os casos do revestimento C75 e H40 tiveram resultados totalmente opostos, nos quais o primeiro obteve todos os seus carregamentos dentro da envoltória, sendo então indicado para uso, enquanto os carregamentos do segundo ultrapassaram as envoltórias. Já no revestimento K55, critérios de segurança foram ultrapassados, mas a coluna de revestimento ainda foi considerada viável, ou seja, para os cenários que envolvem aspectos de cimentação analisados, não haveria deformação plástica do revestimento.

Observa-se a extrema importância da análise integrada dos procedimentos realizados no procedimento de revestimento e cimentação do poço, de forma a garantir a integridade do revestimento, bem como manter aspectos de viabilidade econômica e redução de custos, evitando empregar configurações com resistência muito acima dos esforços submetidos durante a vida útil do poço.

REFERÊNCIAS

- Aslan, J. F. Segurança: Aspectos de Segurança na Cimentação de poços de petróleo. Portal Petróleo e Energia, São Paulo, 2015.
- Bearden, W. G.; lane, R. D. Engineered Cementing Operations to Eliminate WOC Time. Engineered Cementing Operations to Eliminate WOC Time. Anais...Tulsa: Mid-Continent District, Division of Production, 1961.
- Bourgoyne, A. T. et al. Applied Drilling Engineering. Second ed. Richardson: ©Copyright 1991 by the Society of Petroleum Engineers, 1991. v. 2
- Costa, J. C. H. Sistema de aplicações de engenharia de petróleo (SAEP): módulo poço. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2016.
- Enayatpour, S., Oort, E. V. IADC / SPE-184702 Advanced Modeling of Cement Displacement Complexities. Anais...Fort Worth: IADC/SPE Drilling Conference, 2017.
- ISO 10400. Technical Report on Equations and Calculations for Casing, Tubing, and Line Pipe Used as Casing or Tubing; And Performance Properties Tables for Casing and Tubing. Washington: American Petroleum Institute, 2007.
- Perez, M. V. et al. Epoxy Resin Helps Restore Well Integrity in Offshore Well : Case History. OTC-28124-MS. Anais...Rio de Janeiro: Offshore Technology Conference, 2017.
- Silva, T. V. Desenvolvimento de sistema para análise de casos de carregamento em colunas de perfuração baseado em interface web. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2017.
- Vitorino, A. F. R. A. Pressure test after WOC scenario analysis in oil well casing design. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2018.