

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COLUNAS DE REVESTIMENTO DE POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Teófanés Vitor Silva

André Felipe Reis de Araújo Vitorino

Jeremias Christian Honorato Costa

Joao Paulo Lima Santos

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COLUNAS DE REVESTIMENTO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

The following paper shows some additional tools to the software called CWELL (Casing Well), an auxiliary software to casing design. Due to the chemical reactions on the formation rocks, the casing well is deprecated, decreasing the alloy yield strength and increasing its embrittlement. Then the pipe body must be designed to abrasion, keep their properties after sour effects and handle high pressure, high temperature scenarios. The developed tool uses the von-Mises' design equations for triaxial yield of the pipe body then the two envelopment are plotted comparing both situations and the Klever-Stewart equations for ductile rupture, due to internal pressure are used to estimate the body pipe resistance.

Introdução

A ação da corrosão nos tubos de revestimento está ligada a perda da resistência mecânica do material, acarretando ao aumento da fragilidade. No processo de dimensionamento de colunas de revestimento baseados na norma ISO TR 10400 é importante avaliar os impactos dos efeitos corrosivos na resistência mecânica dos tubos. A partir de dados experimentais disponíveis na literatura, observa-se que a corrosão promove redução na tensão de escoamento, mas principalmente induz a uma redução significativa na tensão limite de ruptura dúctil, tornando importante, além das equações do critério de falha triaxial de von-Mises, (estado limite de deformação plástica) o uso das equações de ruptura dúctil de Klever-Stewart e colapso de Klever-Tamano para o estado limite último. De acordo com essa formulação, é levado em consideração, além das características gerais do material, uma penalidade extra referente a uma perda de espessura no tubo devido a profundidade de trinca ocasionada pelo efeito corrosivo.

Metodologia

Foram utilizadas as equações de estado limite último (ELU) de Klever-Tamano e Klever-Stewart para representarem os cenários de colapso e de ruptura, respectivamente, das colunas de revestimento.

Visando estimar a pressão resistente ao *burst* (falha por pressão interna) utiliza-se a formulação de Klever e Stewart (1998). Relacionando parâmetros como diâmetro externo, e espessura de parede com um modelo de plastificação e os efeitos de imperfeições admitindo uma condição de tubo fechado (*capped-end*), a formulação é dada por:

$$R_{iKS} = \frac{2k_{dr} \cdot f_{umn}(t.k_{wall} - k_a \cdot a_N)}{D - (t.k_{wall} - k_a \cdot a_N)} \quad (1)$$

Onde f_{umn} é a tensão de tração última do aço, a_N é a profundidade máxima de uma trinca na parede do tubo devido ao processo de produção adotada por 0.05t, k_a é um fator de

amplificação dessa trinca dado por 1.0 ou 2.0 a depender do material, $k_{wall}=0.875$ e k_{dr} é um fator de correção da deformação do aço devido encruamento, de acordo com a Eq. (2):

$$k_{dr} = \left(\frac{1}{2}\right)^{n+1} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \quad (2)$$

Sendo n um valor tabelado, encontrado a partir da tensão de escoamento do aço.

Para cenários mais realísticos abordando pressão interna, externa e força axial atuando simultaneamente sobre o revestimento, o cálculo da força efetiva ($F_{eff}KS$) atuante pode ser obtida pela expressão seguinte:

$$F_{eff}KS = F_a + P_o\pi(D-t) - \frac{p_M\pi(D-t)(D-2t_{dr})^2}{4t_{dr}(D-t_{dr})} \quad (3)$$

Onde

$$p_M = p_{refM} \sqrt{1 - k_R \left(\frac{F_{eff}KS}{F_{uts}} \right)^2} \quad (4)$$

Nota-se que o cálculo de $F_{eff}KS$ depende de p_M e vice-versa. Existem duas formas de solução, por zero de função ou por manipulação algébrica para encontrar uma função quadrática que represente a situação.

Dessa forma, finalmente pode-se quantificar a resistência à pressão interna por ΔR_iKS a partir do valor mínimo absoluto apresentado na formulação (5).

$$\Delta R_iKS = \min\left(\frac{p_M + p_{ref}M}{2}, p_M\right) \quad (5)$$

Quando a relação da Eq. (6) é satisfeita, é dito que ocorre sobre o tubo o efeito de empescoamento (*necking*), precisando de correção.

$$\left(\frac{F_{eff}KS}{F_{uts}} \right) \geq \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{1-n} \quad (6)$$

Onde:

$$\Delta R_iKS = p_{ref}M \sqrt{\frac{1}{k_N} \left[1 - k_R \left(\frac{F_{eff}KS}{F_{uts}} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

Além do estudo de ruptura, deve ser avaliada a possibilidade de falha por colapso, utilizando as equações de Klever-Tamano, de maneira a calcular a resistência de projeto à pressão externa em cenários mais próximos da realidade é necessário considerar a força axial (F_a) e a pressão interna (P_i) atuantes no tubo. O mecanismo de escoamento pode ser dado pelas equações de Tresca (8) e von Mises (9).

$$\Delta R_o Y T = \frac{2 f_{ymn} t}{D - t} \quad (8)$$

$$\Delta R_o Y V M E = \frac{\frac{4}{\sqrt{3}} f_{ymn} t \sqrt{1 - \left(\frac{F_{eff} V M E K T}{F_{ydes}} \right)^2}}{D - t} \quad (9)$$

Onde, $F_{eff} V M E K T$ depende de $\Delta R_o Y V M E$ e vice versa. Dessa forma, assim como nas equações de Klever–Stewart, pode ser encontrada uma equação quadrada para quantificação direta da força efetiva.

Utilizando a condição imposta que correlaciona as equações de Tresca e Von Mises, permite-se plotar uma envoltória de colapso de Klever-Tamano de acordo com a expressão abaixo:

$$\Delta R_o Y = \begin{cases} \frac{\Delta R_o Y V M E + \Delta R_o Y T}{2} & \text{se } \Delta R_o Y V M E > \Delta R_o Y T \\ \Delta R_o Y V M E & \text{se } \Delta R_o Y V M E < \Delta R_o Y T \end{cases}$$

Resultados e Discussão

As formulações foram testadas para um tubo P110, um tubo de $D = 7$ in, espessura de $t=0.453$ e $a_N=5\%$ da espessura em estado de capped-end. Segundo a equação (1), para exemplo de cálculo foram utilizados: $k_{wall}=0.875$, $f_{umn}=125000$ psi, $n=0.08$ e $k_a=1$ obtendo-se $R_i ISO=14458.43$. Posteriormente com o mesmo tubo foi adicionado um carregamento axial de $P_a = -200000$ lb, obtendo valor de $R_i KS = 12896.26$. A envoltória de resistência é apresentada na Figura 1, onde pode ser observado a região de ruptura dúctil, ponto de transição e o necking.

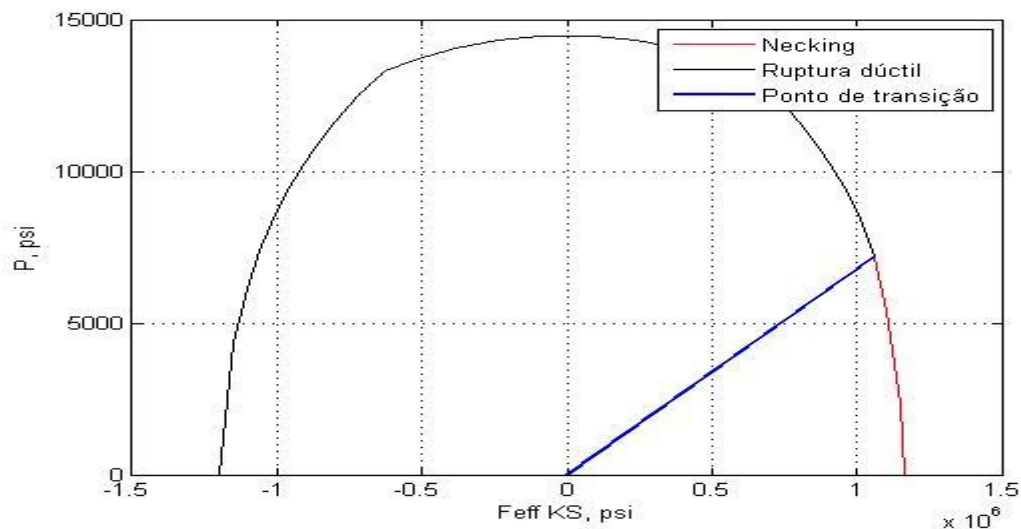


Figura 1 – Avaliação do efeito de ruptura dúctil para o tubo P110

Foi gerada também a envoltória de Klever-Tamano para o caso de colapso do mesmo tubo, obtendo-se a figura 2 tendo $k_y=0.855$, $f_{ymn}=110000$ psi, $H_{tde}=0.1036$ e $D_{pe}=16640.82$.

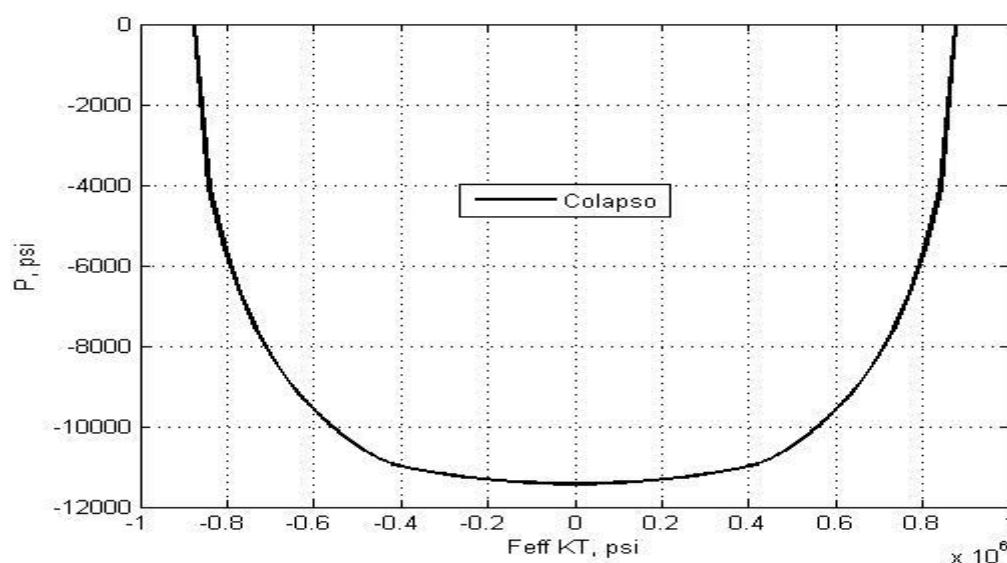


Figura 2 – Avaliação do efeito de colapso para o tubo P110

Por fim, utilizando o critério de falha de von-Mises e o envelope API foi gerada a envoltória de resistência do tubo em condições normais e com redução da tensão de escoamento devido ao efeito corrosivo, conforme a figura 3.

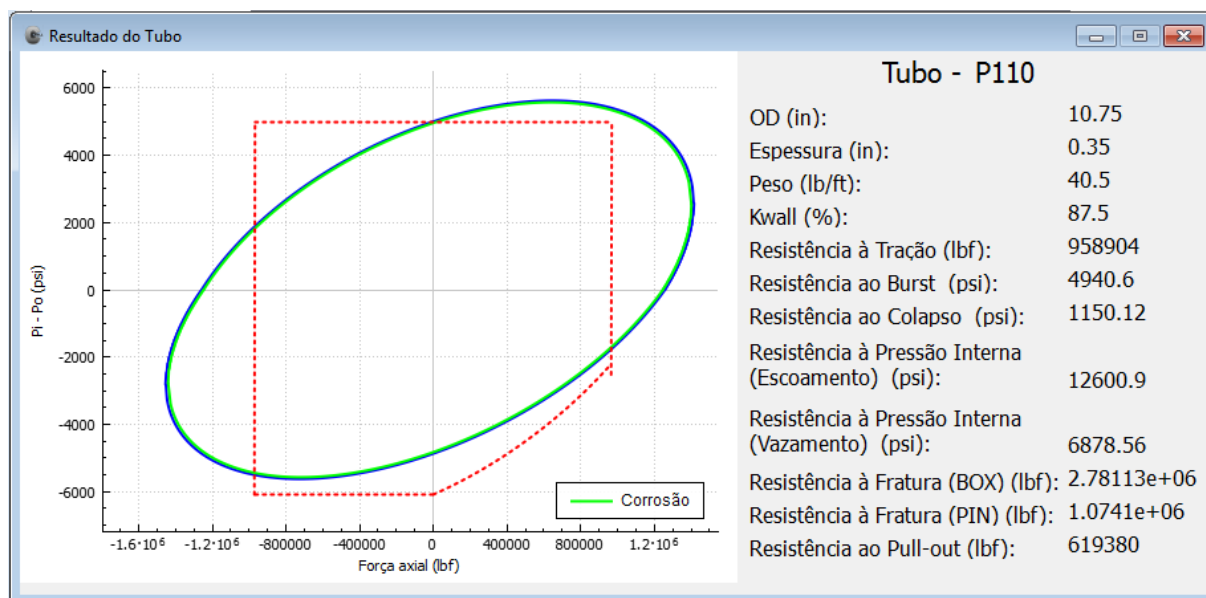


Figura 3 – Comparação das envoltórias de resistência de von-Mises

Conclusões

Os tubos de revestimento de poço sofrem com os ataques da formação a sua integridade. A ação corrosiva na liga metálica pode aumentar a sua fragilização, com isso diminuindo seu período de escoamento plástico devido à diminuição da tensão de escoamento. Além disso, as ações corrosivas geram principalmente fissuras nos tubos que depreciam a resistência ao estado limite último, e pode ser analisado de acordo com as expressões de Klever-Stewart e Klever-Tamano, considerando dessa forma as imperfeições geométricas na parede dos tubos as quais podem ser geradas devido a corrosão ou devido ao processo natural de fabricação.

Referências Bibliográficas

Gouveia, Lucas Pereira de., 2014. *Avaliação da Confiabilidade em Tubos de Revestimento de Poços de Petróleo*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas.

ISO TR 10400., 2007. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Equations and Calculations for the properties of casing, tubing, drill pipe and line pipe used as casing or tubing*. 1st. ed. Washington, D.C.

Klever, F.; Stewart, G., 1998. Analytical burst strength prediction of octg with and without defects. In: *Proceedings of SPE Applied Technology Workshop on Risk Based Design of Well Casing and Tubing*. The Woodlands, Texas: Society of Petroleum Engineers.

Nozari, L, 2002. *Influência da temperatura e da presença de H₂S no comportamento mecânico e eletroquímico do aço API5CT grau P110 em água do mar sintética*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Grande do Sul.