

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE MODELOS DE RESISTÊNCIA EM CONEXÕES PADRÃO API

AUTORES:

Camila de Paula Cabral

Eduardo Toledo de Lima Junior

INSTITUIÇÃO:

Laboratório de Computação Científica e Visualização, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas – LCCV/CTEC/UFAL

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE MODELOS DE RESISTÊNCIA EM CONEXÕES PADRÃO API

Abstract

In the context of oil well construction, the casing design is a crucial stage, representing the major structural elements responsible to keep the well integrity through its lifetime, allowing adequate production activities. The occurrence of failures in casing systems can lead to irreversible safety problems in well operation. Although corresponding to only 3% of the total length of casing tubulars, the cost associated with the joints is between 10% and 50% of the total cost of the casing system (Devon Energy online), and it is estimated that about 90% of the failures in well tubulars are related to joints (Schwind, 2006). The code API 5B:2008 defines the geometrical specifications of standard API couplings, classified according to thread geometry in round thread and buttress. The strength models of the tubes and couplings used in casing design are presented in the code API 5C3:2008, which is widely applied by several companies worldwide. This paper aims to evaluate the strength of casing joints, regarding its performance for several failure modes, in order to assess the choice of tube-coupling set. The analysis is performed for P110 steel grade, adopting diameters between 4.5" and 16".

Introdução

No escopo do projeto de poços exploratórios, o dimensionamento dos revestimentos consiste numa etapa crucial, visto que estes possuem funções importantes – desde a sustentação de formações não consolidadas, até servir de apoio para equipamentos na cabeça do poço – permitindo assim sua operação e produção. A ocorrência de falhas em revestimentos acarreta inúmeros problemas, que afetam a produção e a segurança de operação do poço. Faz-se necessário conhecer o comportamento mecânico dos elementos de revestimento e as solicitações às quais este será submetido, devido aos fluidos de perfuração e produção, ao comportamento geomecânico das formações, dentre outros. Estas solicitações se traduzem em esforços de pressão interna, pressão externa, força axial, torção e flexão, os quais podem atuar de forma combinada no sistema

Para a interligação entre dois tubos de revestimento são utilizadas juntas rosqueadas, que consistem no conjunto formado pela extremidade rosqueada do tubo (*casing thread* ou *pin*) e pelo acoplamento externo (*coupling thread* ou *box*). Apesar de corresponderem a apenas 3% do comprimento total de revestimento, o custo associado às conexões representa entre 10% a 50% do custo total dos tubos de revestimento (Devon Energy, online), e estima-se que cerca de 90% de todas as falhas tubulares em campos petrolíferos estão relacionadas às conexões (Schwind, 2006). Elas devem suportar as mesmas cargas aplicadas ao corpo do tubo e garantir a integridade da ligação.

As normas API são amplamente utilizadas na indústria de óleo e gás ao redor do mundo, inclusive no projeto de sistemas de revestimento. No código API 5B:2008 estão dispostas as especificações técnicas e parâmetros geométricos dos elementos de conexão, sendo as equações de resistência dos tubos e conexões apresentadas na API/TR 5C3:2008.

O crescente aumento nos níveis de profundidade de exploração revela cenários de carregamento cada vez mais severos, demandando maior robustez dos sistemas de revestimento, o que induz a fabricação de tubos e conexões de séries especiais, as chamadas linhas proprietárias. Nestes produtos, os fornecedores aplicam novas tecnologias de liga metálica e de geometria das conexões. Estas, ainda que devam seguir especificações mínimas de performance normatizadas, possuem design diferente dos arranjos geométricos típicos da norma API 5B:2008.

Propõe-se neste trabalho a quantificação dos valores de resistência dos elementos de conexão API, para diversos modos de falha, em relação à performance dos tubos de diâmetro correspondente. Pretende-se

contribuir com o processo de escolha do conjunto tubo-conexão, identificando-se o elemento limitante na resistência do conjunto, em cada um dos modos de falha.

Metodologia

Após serem definidos o comprimento e diâmetro externo de cada coluna de revestimento, dá-se início ao processo de escolha da conexão, estabelecendo-se o peso, o grau e os tipos de conexões utilizadas em cada fase (Bourgoyne Jr, 1986). A norma API 5B:2008 define as especificações geométricas das conexões de revestimento e a classificação dos tipos de conexão de acordo com a geometria da rosca destas.

Os principais tipos de conexão padrão API são a conexão *round thread* (long “LC” ou *short* “STC”) e a conexão *buttress* (BC). A conexão do tipo *round thread* apresenta a rosca na forma de “V” arredondada, sendo capaz de oferecer um bom isolamento do fluido devido ao selo criado no contato (*flank*). O tipo *buttress* é caracterizado pela forma trapezoidal do elemento de rosca, cuja geometria é projetada para resistir a altas tensões axiais de tração e compressão (Blade Energy Partners, 2011). Os arranjos geométricos são ilustrados na Figura 1.

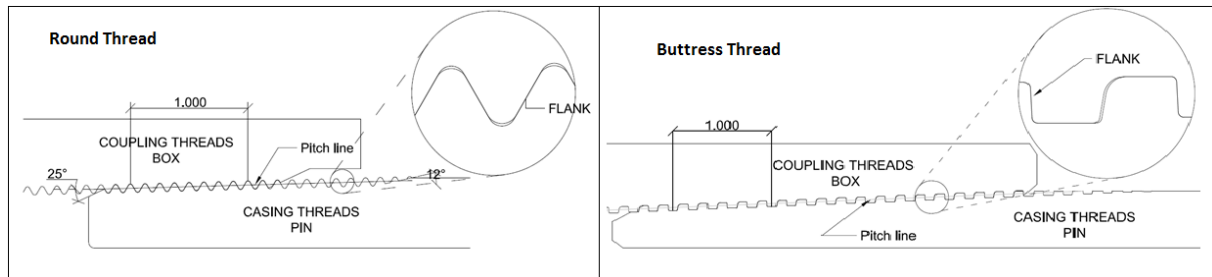


Figura 1 - Tipos de conexões API

Os modelos de resistência das conexões aos diversos modos de falha possíveis são normatizados pela API/TR 5C3:2008. Segundo este documento, os modos de falha característicos de cada tipo de conexão estão associados a dois tipos de carregamento possíveis, força axial ou pressão interna, sendo estas calculadas de forma independente, sem interferência de um regime no outro. Os modos de falha apresentados pelo documento são definidos como fratura (na rosca do tubo ou na rosca do acoplamento externo da conexão), escoamento do aço por pressão interna, vazamento de fluido por pressão interna e *pull-out/jump-out* (escorregamento ou desprendimento entre conexão e tubo), onde este último é aplicável apenas para as conexões do tipo *round*. As equações de resistência foram formuladas por Clinedinst (1964,1970) a partir de dados experimentais obtidos com 162 conexões *round thread* e 151 conexões *buttress*. O equacionamento é brevemente listado a seguir.

$$F_{pin} = 0.95 A_{jp} U_p \quad \text{resistência à fratura no tubo (STC/LC)} \quad (1)$$

$$F_{pin} = 0.95 A_p U_p [1.008 - 0.0396 \left(1.083 - \frac{Y_p}{U_p} \right) D] \quad \text{resistência à fratura no tubo (BC)} \quad (2)$$

$$F_{po} = 0.95 A_{jp} L \left[\frac{0.74 D^{-0.59} U_p}{0.5 L + 0.14 D} + \frac{Y_p}{L + 0.14 D} \right] \quad \text{resistência ao pull-out (STC/LC)} \quad (3)$$

$$F_{box} = 0.95 A_{jc} U_c \quad \text{resistência à fratura na coupling (STC/LC ou BC)} \quad (4)$$

$$P_y = Y_c \left(\frac{W - d_1}{W} \right) \quad \text{resistência ao escoamento por pressão interna (STC/LC ou BC)} \quad (5)$$

$$P_l = E T N p \left(\frac{W^2 - E_s^2}{2 E_s W^2} \right) \quad \text{resistência ao vazamento por pressão interna (STC/LC ou BC)} \quad (6)$$

sendo

$$A_{jp} = \frac{\pi}{4} [(D - 0.1425)^2 - d^2] \quad (7)$$

$$A_{jc} = \frac{\pi}{4} (W^2 - d_1^2) \quad (8)$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} [D^2 - d^2] \quad (9)$$

$$d_1 = E_1 - (L_1 + A) T_d + H - 2S_m \quad \text{STC/LC} \quad (10)$$

$$d_1 = E_7 - (L_7 + I_B) T_d + 0.062 \quad \text{BC} \quad (11)$$

$$L = L_4 - M \quad (12)$$

onde:

$U_p/U_c \rightarrow$ Tensão de ruptura do aço do tubo/aço da conexão, psi;

$Y_p/U_c \rightarrow$ Tensão de escoamento mínima do aço do tubo/aço da conexão, psi;

$D \rightarrow$ Diâmetro externo do tubo, pol;

$t \rightarrow$ Espessura do tubo, pol;

$W \rightarrow$ Diâmetro externo da conexão, pol;

$E \rightarrow$ Módulo de elasticidade do aço, 30×10^6 psi;

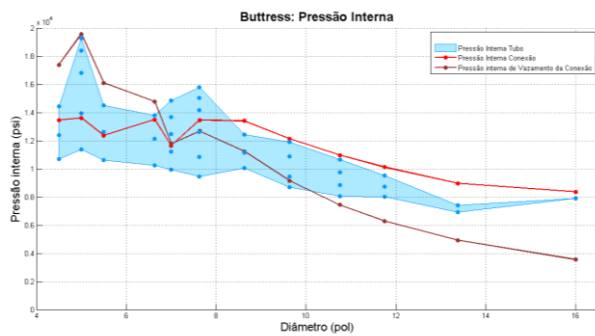
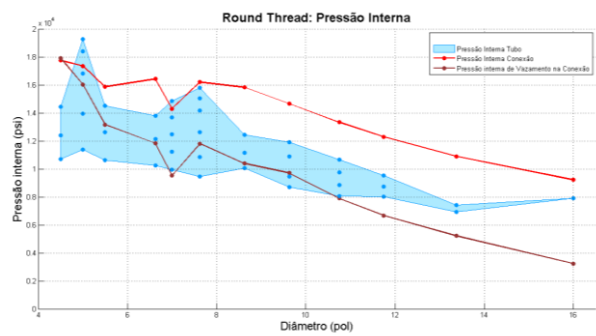
$d \rightarrow$ Diâmetro interno do tubo, pol;

Os termos $T, N, p, E_1, L_1, A, T_d, H, S_m, E_7, L_7, I_B, L_4$ e M são parâmetros geométricos característicos de cada tipo e diâmetro de conexão e estão definidos na API 5B:2008.

Resultados e Discussão

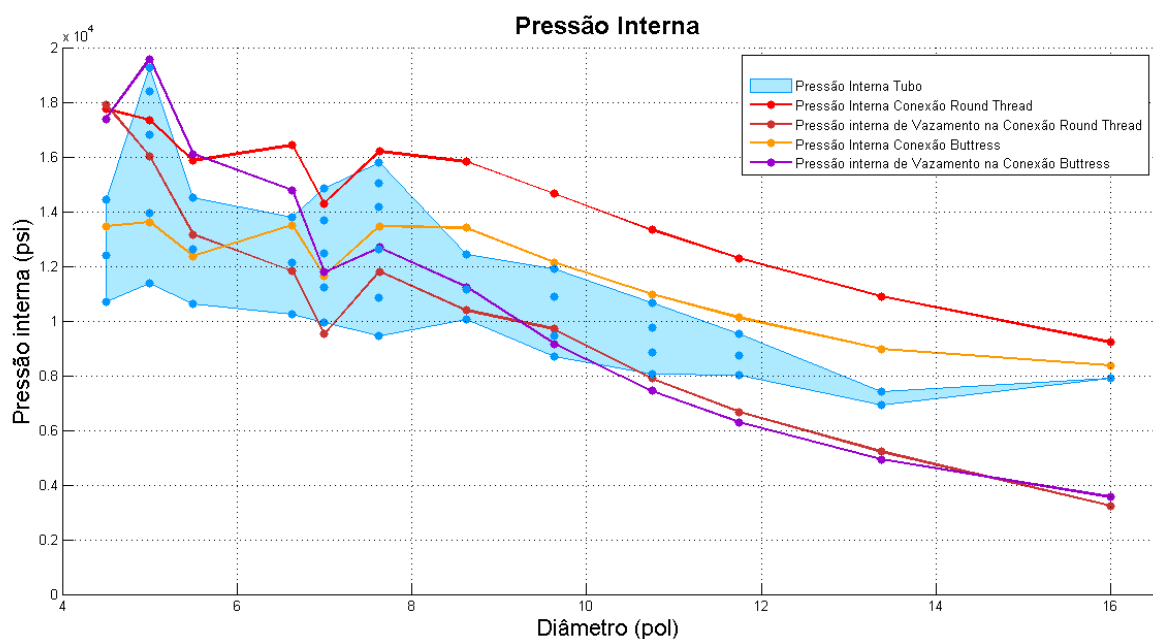
Após serem determinados o diâmetro e o grau do aço do tubo necessário para a seção do revestimento que se deseja dimensionar, a escolha da conexão deve ser feita respeitando os limites de desempenho desta, ou seja, ela deve estar sujeita a carregamentos com valores inferiores aos limites de resistência definidos pelas equações. Para ilustrar o processo de escolha do conjunto tubo-conexão, apresentam-se gráficos da performance de classes de conexões de diversos diâmetros, observando-se seus limites de resistência. Adota-se o grau de aço P110 e, para cada diâmetro, foram utilizadas diversas espessuras de tubo disponíveis, de acordo com a especificação API 5CT:2011. Com isso calculou-se as resistências referentes à cada modo de falha, a fim de comparar, graficamente, a performance do tubo e da conexão, considerando-se que estas podem ser do tipo *round* e *buttress*.

O primeiro carregamento analisado foi o de pressão interna, associada aos modos de falha por escoamento e vazamento, onde observou-se que os valores de resistência das conexões não variam em relação à espessura de tubo utilizada, visto que para cada diâmetro externo de tubo existe apenas um diâmetro externo de conexão equivalente (*round* ou *buttress*).

Figura 2 – Pressão interna: Conexão *buttress* x TuboFigura 3 – Pressão interna: Conexão *round* x Tubo

Como pode-se observar nas Figuras 2 e 3, em diâmetros menores que 10 $\frac{3}{4}$ pol a resistência ao *burst* do tubo é inferior à resistência da conexão, para determinadas espessuras. Já para diâmetros maiores, ambas as conexões têm desempenho inferior ao tubo, sendo essas os elementos limitantes na resistência do conjunto. Pode-se observar, na Figura 3, que o desempenho da conexão *round thread* destaca-se da *buttress* (Figura 2) em relação à resistência ao escoamento do material, visto que na maioria dos casos em análise o tubo sofreria falha antes da conexão.

Fazendo a comparação entre *round* e *buttress*, através da Figura 4, observa-se que o comportamento da resistência ao escoamento é proporcional entre os dois tipos, onde a *round* apresenta maiores valores devido à sua geometria. Quanto ao vazamento observa-se uma oscilação entre os dois tipos, e conforme aumenta-se o diâmetro estas tendem a apresentar valores de resistência próximos.

Figura 4 - Pressão interna: comparação entre *buttress* e *round thread*

Para a tensão axial, temos que a resistência à fratura na rosca do tubo varia conforme a espessura de tubo utilizado, visto que a área líquida da seção transversal é alterada. Nos gráficos de análise da tensão axial (Figura 5) observa-se que para a conexão *buttress* a resistência à fratura da rosca do tubo apresenta desempenho de aproximadamente 100% em relação ao corpo do tubo, sendo um pouco inferior apenas nos diâmetros superiores a 11 $\frac{3}{4}$ polegadas. Para a conexão *round thread* observa-se que a performance da rosca do tubo, apresentada na Figura 6, é um pouco inferior à do corpo do tubo, apresentando um desempenho médio de 90% em relação ao tubo. Deve-se destacar ainda que a resistência ao fraturamento na conexão é superior à performance dos outros dois modos investigados, na maior parte dos conjuntos *buttress*, e na totalidade dos conjuntos *round* analisados.

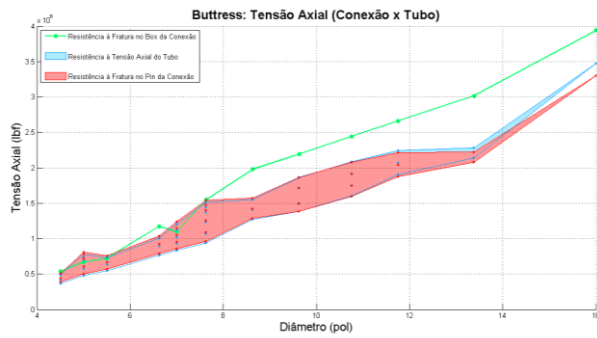


Figura 5 – Tensão axial: Conexão *buttress* x Tubo

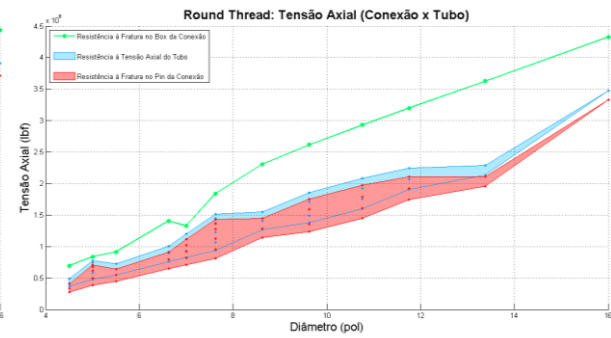


Figura 6 – Tensão axial: Conexão *round* x Tubo

Na figura 7 tem-se a comparação dos dois tipos de conexões, podendo-se observar que os valores de resistência à fratura no acoplamento externo (fratura no *box*) da conexão *round* apresentam valores superiores ao da conexão *buttress*, mesmo após esta ter apresentado melhor performance na rosca do tubo. Isto ocorre devido à espessura significativa ($d1$) da conexão *buttress* apresentar valores inferiores aos da conexão *round*.

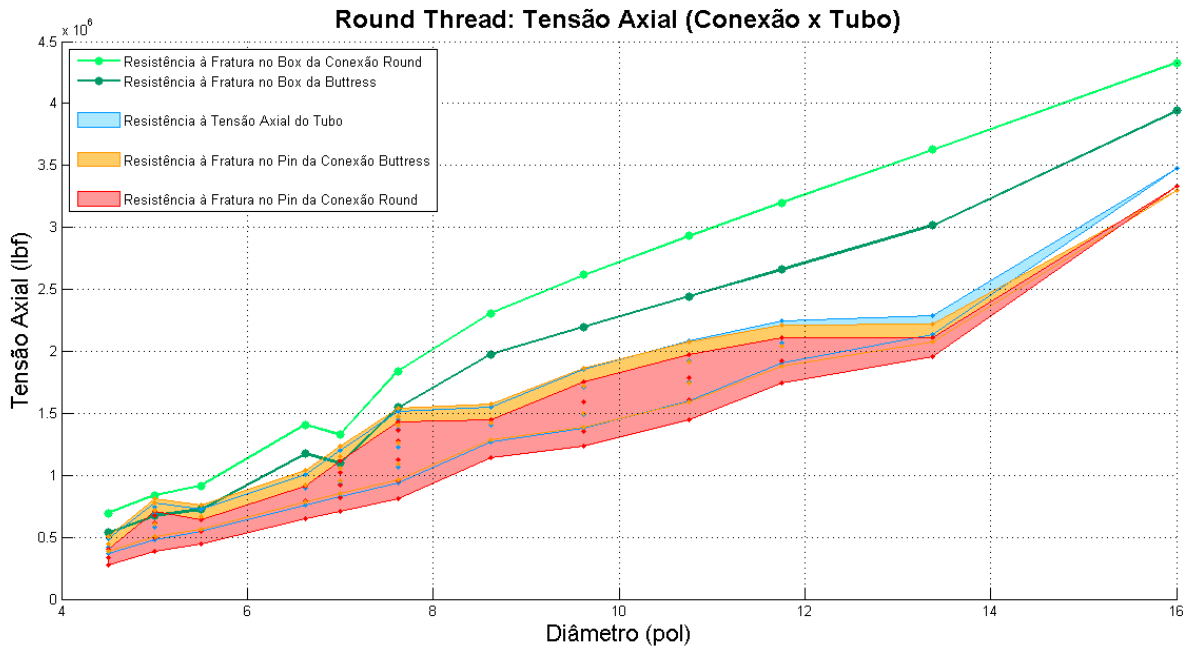


Figura 7 - Tensão axial: comparação entre *buttress* e *round thread*

Para a conexão do tipo *round thread* o modo de falha mais característico é o *jump-out*, ao passo que, de acordo com a norma, a conexão *buttress* não sofre esse tipo de falha. Com base na Figura 8, pode-se observar que o efeito desse modo de falha é muito significativo pois, com o aumento do diâmetro do tubo a performance da conexão vai decaindo em uma taxa elevada, apresentando 80% de resistência em comparação ao tubo para diâmetro de 4 ½ pol e 60% de resistência para o diâmetro de 16 pol.

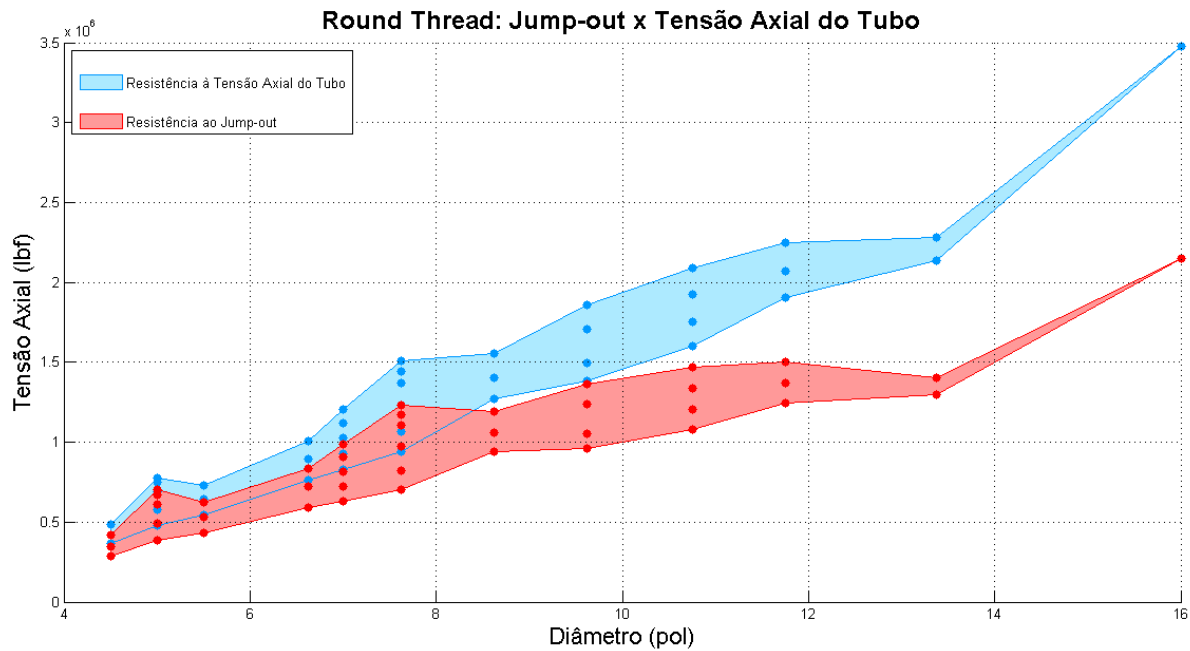


Figura 8 – Resistência ao *jump-out* na conexão *round thread* x Tensão axial do Tubo

Conclusões

Apresentou-se um levantamento das resistências de elementos de conexão padrão API aos diversos modos de falha preconizados por norma, para o grau de aço P110. A performance das conexões foi confrontada com os respectivos valores de resistência do corpo do tubo, de forma a amparar o processo de escolha do conjunto tubo-conexão. Nota-se que não existe uma uniformidade no comportamento do conjunto, de forma que não se pode indicar qual é o elemento menos resistente entre tubo e conexão para a totalidade dos cenários de dimensionamento. A performance relativa entre os dois elementos deve ser investigada para cada diâmetro de tubular, tendo em conta as espessuras de tubo disponíveis para aplicação no conjunto.

Como possíveis temas a serem explorados em trabalhos futuros, destaca-se a extensão da análise para outros graus de aço, bem como o estudo dos envelopes de resistência e índices de eficiência das conexões de design proprietário.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa, e ao CENPES/PETROBRAS e PRH 40, pelo apoio à participação em eventos.

Referências Bibliográficas

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 5B**: Specification for Threading, Gauging and Thread Inspection of Casing, Tubing, and Line Pipe Threads, 2008.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 5CT**: Specification for Casing and Tubing, 2011.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API/TR 5C3**: 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, 2008.

BLADE ENERGY PARTNERS. **Principles and Practice of Casing Design**: A manual to accompany the advanced casing design course, v 1.2, 2011.

BOURGOYNE JR, A. T. **Applied Drilling Engineering**. SPE. Richardson, TX, 1986.

CLINEDINST, W.O., **Strength of Threaded Joints for Steel Pipe**, Paper No. 64-PET-1 presented at the meeting of the Petroleum Section of ASME in October, 1964.

CLINEDINST, W.O., **Buttress Thread Joint Strength**, report shown as Appendix 2-k-6, AP, 1970.

DEVON ENERGY CORPORATION. Production Casing Design Considerations. Disponível em:<
<http://www2.epa.gov/hfstudy/production-casing-design-considerations> >.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 10400**: Petroleum and natural gas industries – Equations and calculations for the properties of casing, tubing, drill pipe and line pipe used as casing or tubing, 2007.

ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C.T. **Projeto de Poços de Petróleo**: Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimentos. Rio de Janeiro: Petrobras, Interciência, 2009.

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