

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:

MODELAGEM NUMÉRICA DA PERFORMANCE DE CONEXÕES 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

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.

MODELAGEM NUMÉRICA DA PERFORMANCE DE CONEXÕES API

Abstract

In the well design practice, it is included the design of casing system, which consists of a structural system that guarantees safe conditions for operation and production, bearing the loads imposed. Threaded connections are used to the coupling of casing tubes. These joints represent critical points of the system, being related to most of the casing failure. This work presents a survey about geometry and characteristics of API threaded connections, through API standards and literature related to OCTG (Oil Country Tubular Goods) specification. Due to the high cost associated to experimental tests, it is acceptable that part of the studies be done numerically, by using finite elements. This work aims the study of a 10 3/4" buttress connection, P110 grade, under tension, in order to evaluate the stress distribution. The analyses address the behavior of pin and box, separately and the results obtained are qualitatively compared to studies in the literature.

Introdução

As atividades relacionadas à exploração e produção de petróleo sempre demandam grandes investimentos e, para isso, são necessários vários estudos de viabilidade técnica e econômica quando há o interesse em um possível reservatório de petróleo. Dentre as fases de exploração está a de perfuração, onde para a construção de um poço de petróleo, é necessária a elaboração de um projeto especificando as etapas de planejamento para a sua concepção. Este projeto é de grande importância para que se possa avaliar o tempo de perfuração e o custo do poço e, conseqüentemente, sua viabilidade técnica e econômica (ROCHA E AZEVEDO, 2009).

Dentro deste projeto está inserido o dimensionamento dos revestimentos, necessários para proteger as paredes do poço que está sendo perfurado e permitir a produção adequada de fluidos em seu interior. Para a união dos revestimentos são utilizadas conexões rosqueadas, que é o conjunto formado pelas juntas do tubo de revestimento (*casing thread* ou pino) e pelo acoplamento externo (*coupling thread* ou luva).

O processo de qualificação de uma conexão demanda tempo e elevados custos, sendo inviável para o desenvolvimento de novos projetos ou testar novas aplicações, pois para esses produtos é necessário fazer a validação para diversas combinações, variando grau de aço, dimensão e tipo de conexão. Segundo Porcaro (2014), para estes casos as empresas fazem uso de simulações com Método dos Elementos Finitos (MEF) em substituição de parte do processo de criação e desenvolvimento. O autor ainda afirma que os modelos utilizados pela indústria têm “apresentado excelente correlação com dados experimentais e medidas obtidas por extensometria em modelos físicos ou mesmo em campo e, por isso, são bem aceitos para simular conexões OCTG”.

Neste trabalho propõe-se a análise do estado de tensões nos componentes de uma conexão padrão API, solicitada axialmente, através de modelos bidimensionais de elementos finitos, considerando-se o aço como material elástico linear.

Metodologia

As conexões estão sujeitas a diversos tipos de falha, Schwind (2006) estima que entre 85% a 95% das falhas provenientes de estruturas tubulares em campos petrolíferos estão relacionadas as conexões. Além das falhas provenientes de problemas de fabricação e manuseio, existem as falhas mecânicas relacionadas às conexões, que são tratadas na API/TR 5C3 (2008). As falhas nas conexões podem ser por tensão axial ou por pressão interna. As Equações 1 e 2, a seguir, apresentam as formulações para falhas por tensão axial de uma conexão do tipo *buttress*.

$$F_l = 0,95 A_{jc} U_c \quad \text{resistência à fratura na luva} \quad (1)$$

$$F_p = 0,95 A_p U_p \left[1,008 - 0,0396 \left(1,083 - \frac{Y_p}{U_p} \right) D \right] \quad \text{resistência à fratura no pino} \quad (2)$$

Onde:

F_l → Resistência à fratura na luva da conexão *buttress*, em lbf;

A_{jc} → Área líquida transversal da luva, pol²;

U_c → Tensão última do aço da luva, psi;

F_p → Resistência à fratura no pino da conexão *buttress*, lbf;

A_p → Área líquida transversal do tubo, pol²;

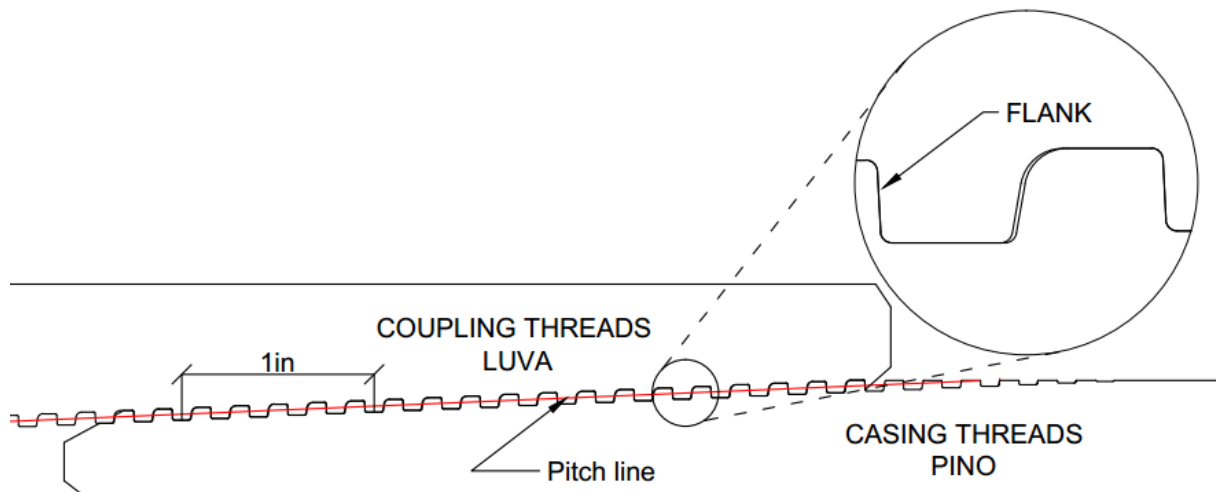
U_p → Tensão última do aço do tubo, psi;

Y_p → Tensão de escoamento mínima do aço do tubo, psi;

D → Diâmetro externo do tubo.

De forma a ilustrar esse processo de análise numérica de uma conexão, foi feito um estudo com uma conexão do tipo *buttress* (Figura 1) para um tubo de 10 ¾ polegadas de diâmetro em aço de grau API P110, com limite de escoamento mínimo de 110.000 psi. A análise contempla luva e pino, e foi feita em estado plano de tensão.

Figura 1 – Conexão *Buttress*



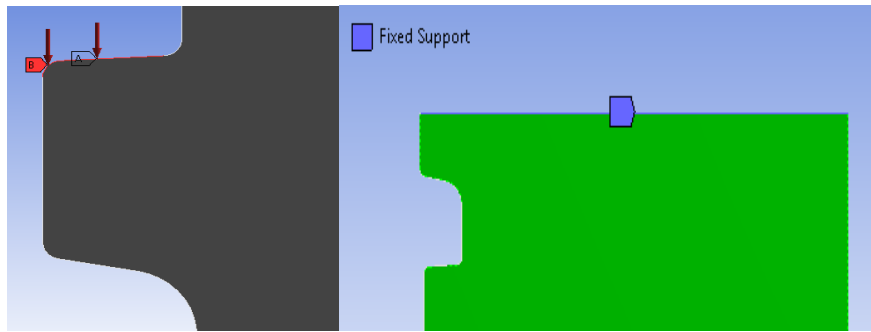
Fonte: Elaborada pela autora.

Primeiramente foi feito um modelo piloto e utilizou-se apenas a luva da conexão, onde na análise aplicou-se a carga diretamente nos flancos (*flank*) dos dentes da rosca.

Após a modelagem da geometria, definiu-se uma espessura de 33,77", considerando a circunferência do tubo de forma planificada, como a espessura do objeto em análise. Para a solicitação foi utilizado o valor $2,18 \times 10^5$ lbf/pol (382×10^6 N/m), este valor foi obtido através da Equação 1, onde o valor encontrado foi dividido pelo número e comprimento de cada dente, de forma que a força encontrada foi aplicada em cada flank.

Na extremidade superior foi adicionada uma restrição, já que esta parte não apresenta nenhum tipo de movimento, a Figura 2 apresenta as condições de contorno utilizadas nessa análise.

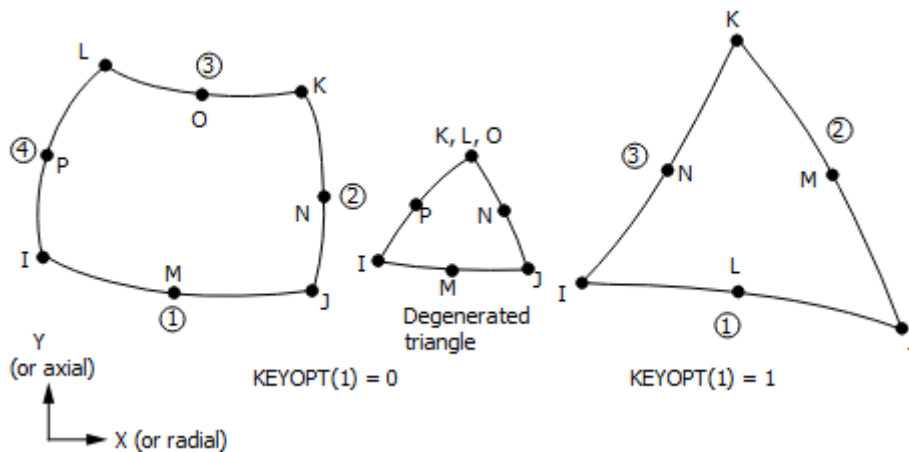
Figura 2 – Condições de contorno da luva da conexão



Fonte: Elaborada pela autora.

Para o estudo foi utilizado o elemento PLANE 183 do ANSYS R18, este tipo de elemento é utilizado em análises em duas dimensões (2D), contemplando elementos de seis ou oito nós, triangulares e quadriláteros, respectivamente (Figura 3). Ele é indicado para análises em Estado Plano de Tensão ou em modelagens com axissimetria, e apresenta dois graus de liberdade por nó (ANSYS, 2016).

Figura 3 - Elemento PLANE183

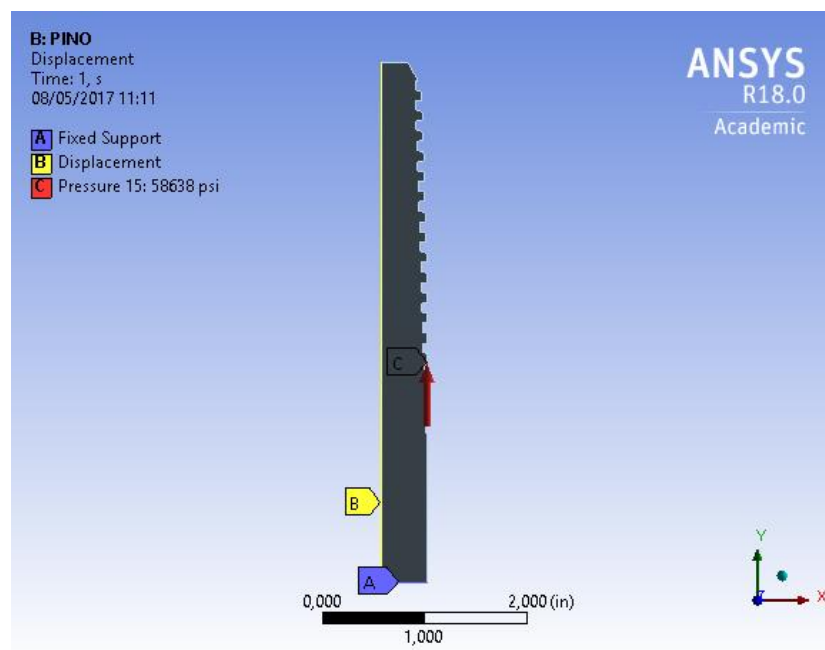


Fonte: ANSYS, 2016.

Devido à geometria complexa da conexão optou-se pela utilização de elementos triangulares, a fim de obter melhor representatividade da geometria.

Para o pino da conexão *buttress* de $10 \frac{3}{4}$ " foi utilizada a força encontrada pela Equação 2. A análise no pino foi similar à da luva, onde foram aplicadas cargas no flanco de carga de cada dente, de forma que a força resultante fosse a encontrada na resistência à fratura no pino da conexão. As condições de contorno utilizadas no pino da conexão são apresentadas na Figura 4, onde em A está localizado o suporte, restringindo o movimento em todos os graus de liberdade, em B está uma restrição ao movimento no eixo X, pois para essa análise havia grandes deformações nessa direção, e em C está representada uma aplicação de pressão no flanco de carga dos dentes do pino.

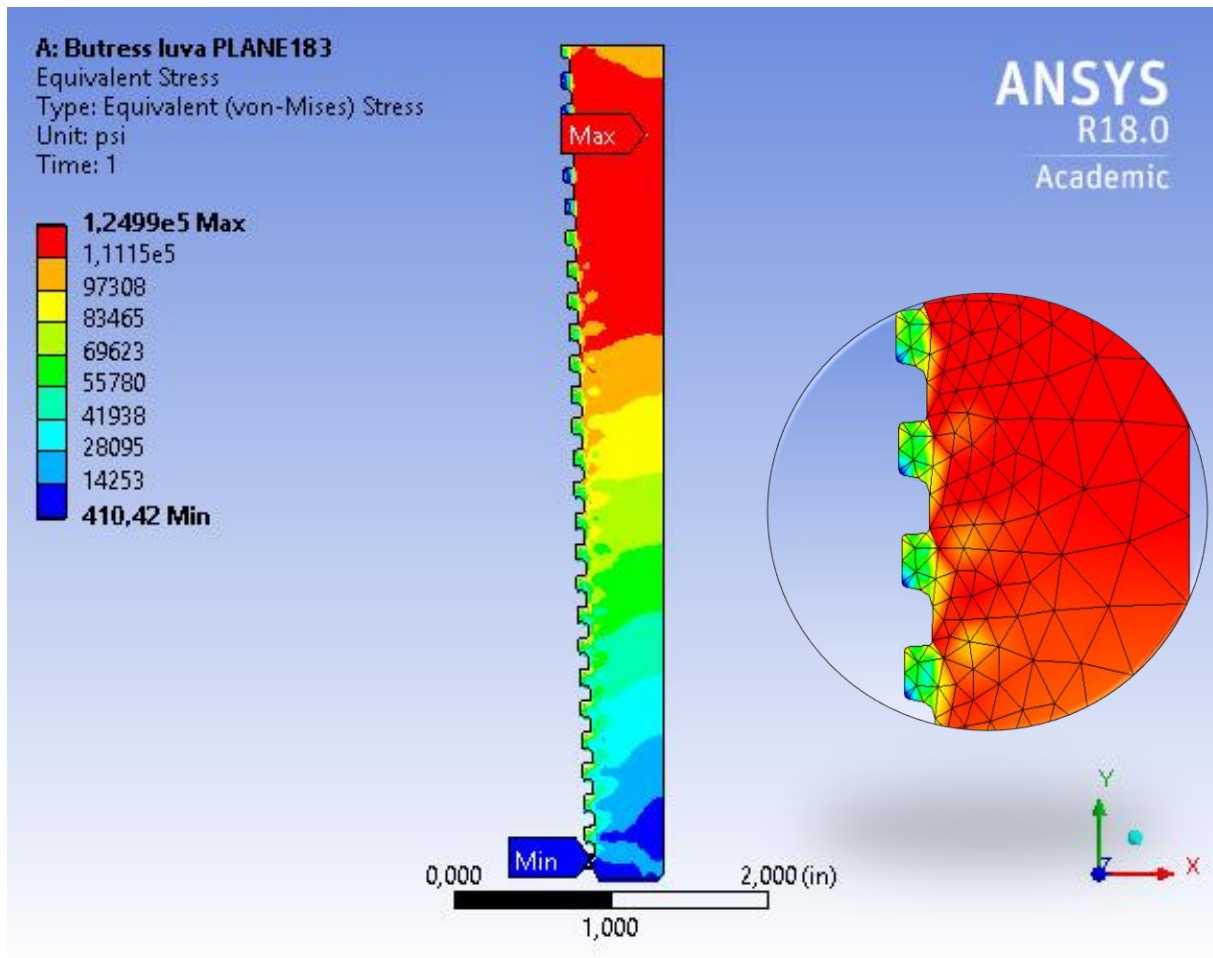
Figura 4 – Condições de contorno do pino (PLANE183)



Fonte: Elaborada pela autora.

Resultados e Discussão

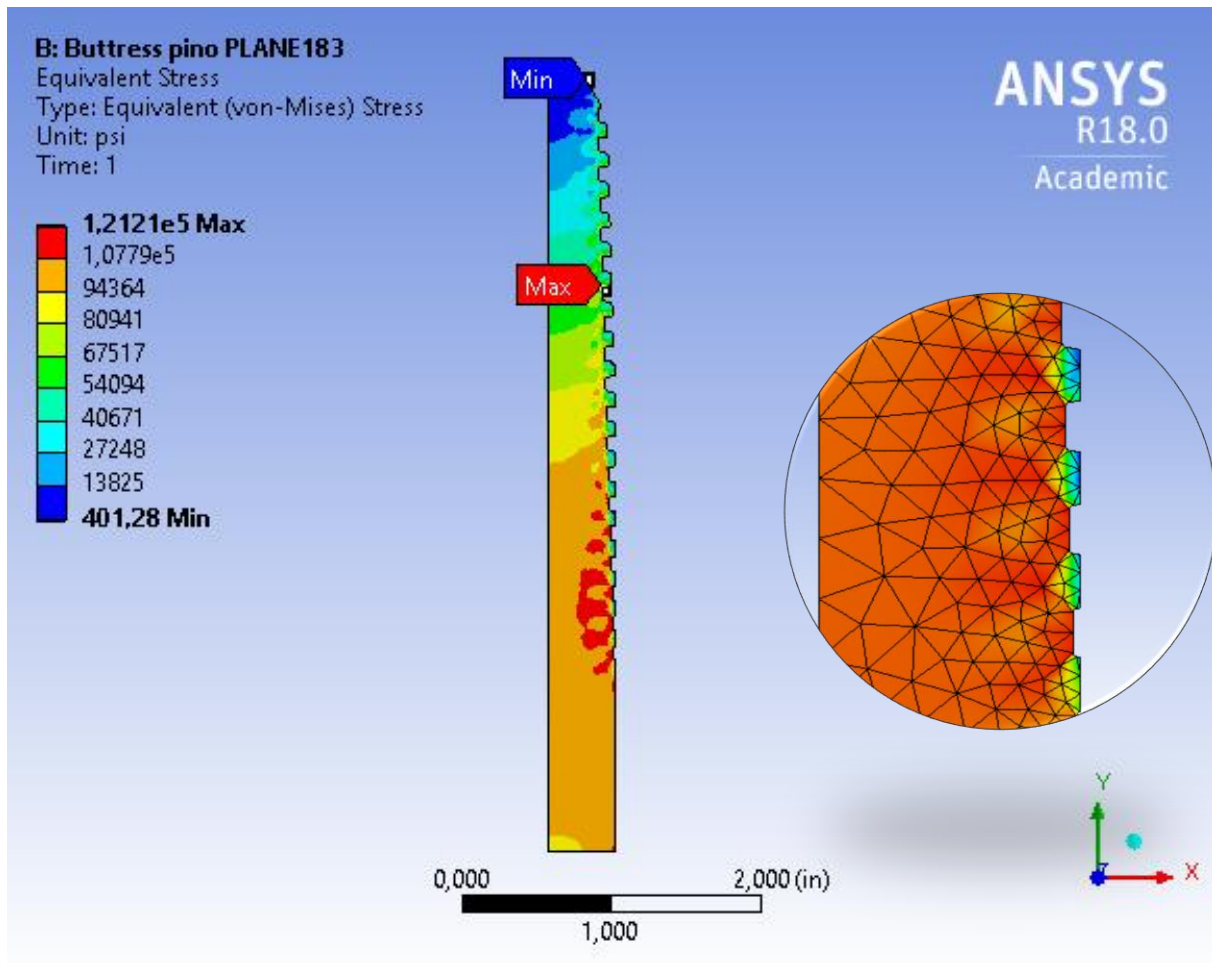
Os resultados da análise da luva da conexão são apresentados na Figura 5, em termos da tensão equivalente de von Mises.

Figura 5 – Análise da luva da conexão *buttress*

Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que as tensões apresentam-se mais concentradas na parte superior da conexão, onde estaria localizada a última rosca engatada. Observa-se ainda que a maior tensão obtida, apesar de ser maior do que a tensão mínima de escoamento, é coerente, pois a análise foi feita para a força que leva a conexão a romper por tração, e a tensão utilizada no cálculo é a tensão última (125.000 psi), superior ao limite de escoamento.

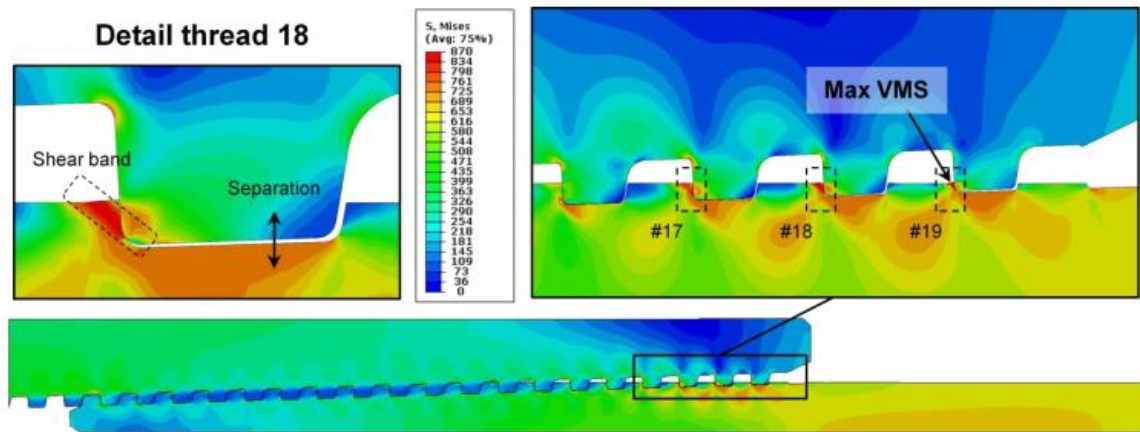
Na análise do pino da conexão *buttress*, apresentada na Figura 6, os maiores valores de tensão encontrados estão nas zonas de menor flanco de carga. Porém, a distribuição de carga se deu de forma diferente. Na análise da luva, a tensão apresentou-se de forma mais distribuída ao longo da espessura do tubo, enquanto que para o pino a distribuição ficou mais concentrada nos vales próximos aos flancos de carga menores. Devido à essa maior concentração de carga, a tensão máxima obtida foi de 121 ksi, bem superior à tensão de escoamento mínima e já próxima à tensão última do aço. Observando-se a Equação 2, nota-se que a resistência do pino ao faturamento é, de fato, dependente dos dois parâmetros de resistência do aço, o que pode justificar o valor intermediário de tensão equivalente obtido.

Figura 6 – Análise do pino da conexão *buttress*

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Wittenberghe (2011), em simulações de conexões rosqueadas, os maiores valores de tensão aparecem no pino, na raiz da última rosca engatada. E, de forma geral, as tensões são maiores no pino do que na luva da conexão, pois esta última apresenta uma área líquida da seção transversal maior do que o pino, o que explica as concentrações de tensão nos flancos incompletos da Figura 7.

Galle *et al.* (2013) fez um estudo acerca da influência do ângulo do flanco de carga em conexões *buttress*, verificando também a afirmação de Wittenberghe (2011) sobre a existência da tensão crítica na última rosca perfeita. Na Figura 7 é apresentado o resultado do autor sobre a conexão *buttress* de 4,5", onde foi aplicada uma pressão de 670 Mpa na direção axial da conexão em estudo.

Figura 7 – Análise de uma conexão *buttress* por Galle *et al.*.

Fonte: Galle *et al.*, 2013.

Observa-se na figura anterior, que a localização da máxima tensão de von Mises (Max VMS) se dá na última rosca engatada, e que no detalhe da rosca 18 há um início de separação da rosca, que segundo Galle *et al.* (2013) caso a distância de separação seja maior do que o comprimento do dente, a conexão deve falhar por *jumpout*. Pode-se notar ainda, a semelhança entre a distribuição da tensão no pino da conexão da Figura 7 com os resultados obtidos na Figura 6, onde as maiores tensões obtidas ficaram concentradas nos flancos incompletos, onde, segundo Galle *et al.* (2013), nas faixas de cisalhamento (*shear bands*) há a ocorrência de deformações plásticas, ocasionadas pelas altas tensões localizadas.

Quanto a distribuição de tensão da luva na Figura 7, é possível compará-las com os resultados apresentados Figura 5, pois a tensão vai aumentando conforme vai aproximando-se do centro da mesma, mantendo-se com maiores valores das regiões de dente de rosca.

Conclusões

A análise numérica apresentou resultados coerentes, em se tratando do comportamento dos elementos isolados, quando analisadas baseando-se nas equações de projeto ou em vista dos resultados obtidos por Galle *et al.* (2013). Portanto, deve-se levar em consideração que os estudos foram feitos com as partes isoladas da conexão, considerando uma distribuição de carga igualmente distribuída em todos os dentes, e não foi considerada toda a superfície de contato. Portanto, para uma análise mais precisa, faz-se necessária a consideração da conexão acoplada, bem como o uso de toda a superfície de contato entre os dois corpos.

Agradecimentos

À UFAL pelo financiamento da bolsa, ao Laboratório de Computação Científica e Visualização pela disponibilização do espaço e infraestrutura.

Referências Bibliográficas

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.

ANSYS. **ANSYS help viewer**. Versão: 18. ANSYS Inc., 2016.

GALLE, T.; WITTENBERGHE, J. V.; JULA, F. C.; DE WAELE, W.; DE BAETS, P. **Effect of Load Flank Angle Modifications on the Structural Integrity of Buttress Threaded Connections**. Sustainable Construction and Design 2013. Soete Laboratory, Bélgica, 2013.

PORCARO, R. R. **Avaliação de Parâmetros Geométricos no Desempenho de Conexões do Tipo Rosca-Luva em Tubos para Revestimento de Poços de Petróleo** – Análise de Elementos Finitos. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Ouro Preto, 2014.

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.

WITTENBERGHE, J. V. **Experimental Analysis and Modelling of the Fatigue Behaviour of Threaded Pipe Connections**. Tese de PhD. Ghent University, Bélgica, 2011.