

VALIDAÇÃO NUMÉRICA E CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇOS API X80

Marcelo Paranhos de Almeida¹, Lucas Nodari Gomes da Silva², Gustavo Henrique Bolognesi Donato³

^{1,2,3} Engenharia Mecânica, Centro Universitário da FEI

¹ marcparanhos@hotmail.com / ³ gdonato@fei.edu.br

Resumo: Este trabalho tem o intuito de desenvolver e validar boas práticas de implementação computacional de propriedades ortotrópicas de aços API X80 em simulações estruturais. Para isso, utiliza como referência desenvolvimentos anteriores do grupo de pesquisa e ensaios experimentais de tração, realizados em pesquisa paralela. Deste modo, este trabalho proporcionará uma metodologia sólida para implementação numérica das propriedades mecânicas dos materiais estudados, incluindo condições de ortotropia e utilizando modelos com e sem a presença de dano.

1. Introdução e objetivos

Gasodutos são responsáveis pelo transporte de fluidos inflamáveis sob alta pressão, dessa forma, acidentes envolvendo explosões são extremamente graves, podendo gerar inúmeras vítimas e perdas materiais. Assim, é de suma importância o desenvolvimento de pesquisas visando a prevenção de falhas por fraturamento, já que as trincas podem se propagar a altas velocidades (até 400 m/s) por centenas ou milhares de metros até sua parada (fenômeno denominado em inglês “*crack arrest*”).

Neste contexto, a compreensão do comportamento mecânico destes materiais é imprescindível, especialmente em relação às propriedades de tensão vs. deformação sob tração, as quais suportam todas as iniciativas de simulação numérica dos corpos de provas laboratoriais e estruturas reais. Porém, devido à utilização de chapas laminadas na construção dos dutos de grandes diâmetros com costura, as propriedades mecânicas resultantes são ortotrópicas [1], sendo necessário, portanto, o estudo do material em diferentes direções, inclusive na direção da espessura, comumente denominada direção “Z” na literatura. Para isso, trabalhos anteriores do grupo de pesquisa desenvolveram boas práticas para o estudo e caracterização do aço API X80 nas quatro direções (0°, 45°, 90° e direção Z) [2], conforme exemplificado na Figura 1.

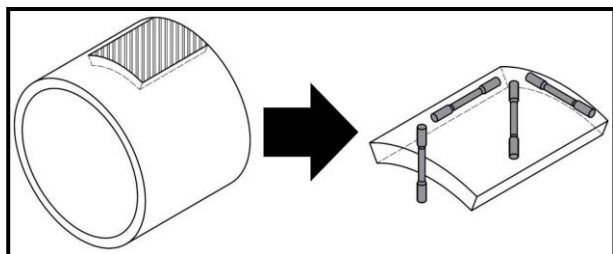


Figura 1 - Corpos de prova para as diferentes direções.

Assim, com o intuito de aprofundar a caracterização do comportamento mecânico destes materiais, este trabalho objetiva desenvolver boas práticas para implementação computacional de propriedades

ortotrópicas de aços classe API em simulações estruturais, validando os ensaios experimentais.

2. Metodologia

A partir de ensaios experimentais conduzidos em projeto de iniciação paralelo, foi possível obter os dados de entrada necessários para implementação numérica. Além disso, as curvas experimentais determinadas serviram de base de comparação e validação do modelo numérico. Tais ensaios, utilizaram captura de imagens com base na metodologia proposta por [3], bem como pós processamento em rotina em Matlab, a qual corrige os dados de tensão e deformação de engenharia segundo modelo proposto por [4], considerando, assim, os efeitos da condição triaxial de tensão, resultantes do surgimento da estricção.

Com dados experimentais sólidos e sustentados pelo tratamento de imagens desenvolvido e validado no grupo, iniciou-se a implementação numérica das curvas obtidas a fim de reproduzir o comportamento mecânico observado experimentalmente, procurando validar suas propriedades mecânicas ainda sem as devidas considerações ortotrópicas. Neste contexto, utilizou-se o software ABAQUS para geração de análises refinadas e não-lineares de elementos finitos. Foram implementados modelos elastoplásticos utilizando a condição de axissimetria permitida pelo espécime, já que se trata de um sólido de revolução, resultando em um quarto da geometria real. A discretização foi realizada por meio de elementos quadriláteros de 4 nós com integração reduzida (CAX4R), e o modelo foi solicitado a velocidade constante.

Em seguida, a fim de se comparar os resultados numéricos com os experimentais foram utilizados algoritmos em Python e em Matlab, com a finalidade de extrair os resultados do modelo numérico e, a partir destes realizar a correção da curva tensão vs. deformação, novamente seguindo modelo proposto por [4], permitindo a comparação com os dados experimentais previamente tratados e corrigidos.

3. Resultados

A partir da metodologia citada, realizaram-se as simulações numéricas dos ensaios de tração, sendo que a evolução da geometria deformada do corpo de prova pode ser verificada na Figura 2.

Para a devida validação da análise, um gráfico de força vs. deslocamento foi gerado (Figura 3), confrontando os dados numéricos aos experimentais e mostrando a aderência esperada. Vale ressaltar que, utilizando estas grandezas, os efeitos da ortotropia puderam ser desprezados, visto que a área do espécime varia conforme a direção analisada e tem impacto direto apenas nas propriedades de tensão e deformação.

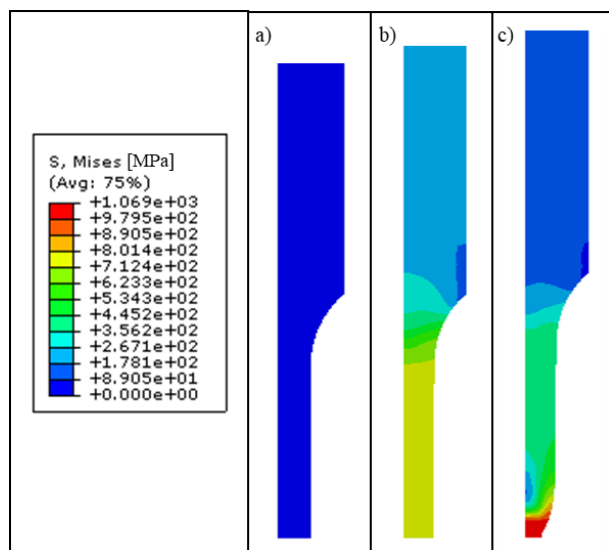


Figura 2 - Evolução da geometria deformada. a) Inicial b) durante o ensaio c) final. Modelo axissimétrico.

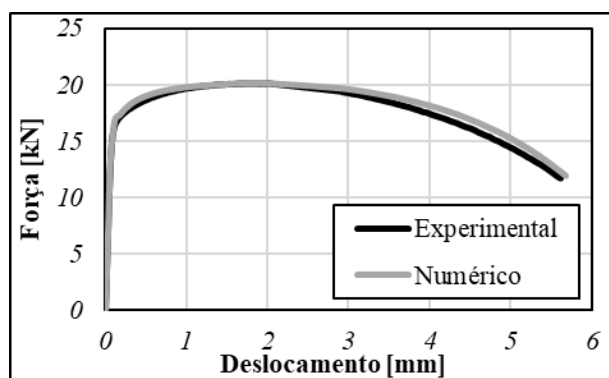


Figura 3 – Curvas força vs. deslocamento.

Em seguida, utilizando algoritmos desenvolvidos em Python e Matlab por [3], foi possível extrair resultados do modelo numérico, corrigir e construir curvas tensão vs. deformação. Dessa forma, foram construídas as curvas nas vertentes de engenharia, verdadeira e verdadeira corrigida por Bridgman, sempre confrontando dados numéricos e experimentais (Figura 4).

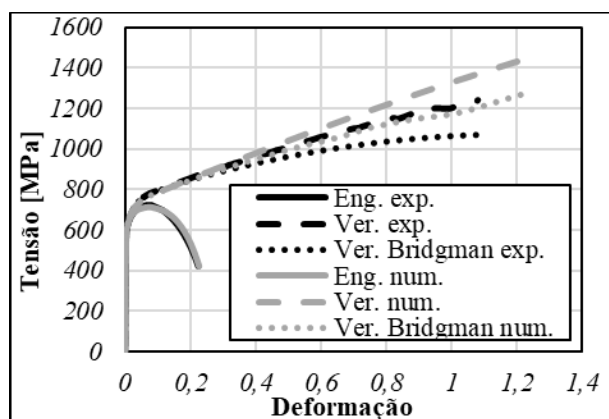


Figura 4 - Curvas tensão vs. deformação.

4. Conclusões

As análises numéricas desenvolvidas, junto aos dados experimentais coletados, permitiram verificar o

comportamento dos materiais em estudo. Ao determinar as curvas de força vs. deslocamento, foram obtidos resultados muito consistentes com ambas as curvas muito próximas, porém, ao analisar as curvas de tensão vs. deformação verdadeira e verdadeira corrigida por Bridgman, foi possível detectar uma maior discrepância entre os valores numéricos e os experimentais. Estes fatores levam a crer que tal diferença ocorra principalmente pelos efeitos da ortotropia, os quais resultam em uma variação heterogênea da área instantânea do corpo de prova, dependendo da direção de análise. Dessa forma, tais resultados permitiram estabelecer um norte para as próximas atividades do estudo, além de fornecer um maior embasamento teórico junto ao software de elementos finitos permitindo, assim, análises mais aprofundadas a fim de confirmar os motivos das discrepâncias entre os resultados, bem como simulações mais precisas do comportamento mecânico destes materiais.

5. Próximas atividades

Para os próximos desenvolvimentos deste trabalho serão introduzidos nos modelos os parâmetros de Hill [5], os quais descrevem o estado de anisotropia do material. Para isso, serão elaboradas rotinas com a finalidade de determinar, calibrar e validar tais parâmetros permitindo simular a variação desigual da área do corpo de prova durante o ensaio. Por fim será introduzido ainda o modelo de dano de *Gurson-Tvergaard-Needleman* (GTN) [6], possibilitando análises do comportamento do material envolvendo tal critério de dano durante a fratura.

6. Referências

- [1] N. E. Dowling, Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue 4^o. Ed. [S.I.]: Pearson, 2012, pp. 190-233.
- [2] L. N. G. d. Silva, Desenvolvimento de metodologia para confecção e ensaio de amostras extraídas da espessura de chapas grossas - parte 1: ensaios de tração, Centro Universitário FEI, S. B. do Campo, 2016.
- [3] L. N. G. d. Silva, Investigação experimental das propriedades mecânicas ortotrópicas de aços API-5L X80 aplicáveis a gasodutos, Centro Universitário FEI, S. B. do Campo, 2017.
- [4] P. W. Bridgman, Studies in large plastic flow and fracture, 1^a ed., New York: McGraw-Hill Book Company, 1952.
- [5] A.-R. Ragab; S. E. Bayoumi, Engineering Solid Mechanics Fundamentals and Applications, Boca Raton: CRC Press, 199.
- [6] V. Tvergaard e A. Needleman, Analysis of a cup-cone fracture in a round tensile bar, *Acta Metall*, vol. 3, 1984, pp. 157-169.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa PIBITI. À FEI pelos equipamentos e recursos. Ao coautor Lucas N. G. da Silva. Ao orientador Prof. Dr. Gustavo H. B. Donato.

¹Aluno de IC com bolsa CNPq (PIBITI). Projeto com vigência de 08/19 a 07/20.