

# Modelagem numérica para avaliar a influência do estado de tensões superficiais na dureza de um aço API 5L X52

Isadora Rodrigues Boff, Prof. Dr. Marcelo Favaro Borges

## INTRODUÇÃO

Tubos de aço API 5L X52 são amplamente utilizados na indústria petrolífera em condições de trabalho com carregamentos severos devido às altas pressões. Algumas propriedades do material podem ser alteradas em razão do estado de tensões superficial em que o mesmo se encontra. No presente trabalho foi avaliada a dureza do aço API 5L X52 em estados de tensões superficiais distintos com o auxílio de um modelo numérico validado experimentalmente utilizando um dispositivo de flexão quatro pontos, um extensômetro *Strain Gage*, um aço hipoeutetóide conhecido e um durômetro. Os diferentes estados de tensão superficial visam simular a pressão interna resultante em dutos API 5L X52 utilizados em perfuração de poços petrolíferos, desde o efeito singular da pressão atmosférica (estado de tensões nulo) até a pressão interna de trabalho à qual o dispositivo estaria submetido. A sequência deste estudo será feita através de simulações envolvendo de fato as grandezas de pressão em tubulação do mesmo material.

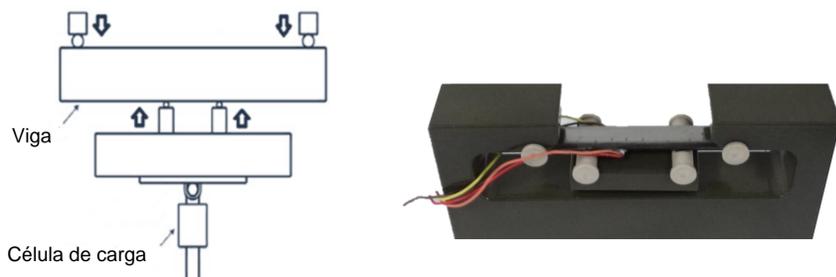


Figura 1: a) teste de tração 4 pontos experimental esquemático; b) Foto do dispositivo utilizado experimentalmente;

## OBJETIVO

Validar um modelo numérico de dureza Brinell pelo método de elementos finitos (MEF) através de testes experimentais com um dispositivo de flexão de 4 pontos, um material conhecido e um durômetro. Com o modelo validado, será possível encontrar os valores de dureza em estados de tensões distintos simulando o efeito da pressão interna em dutos de aço API 5L X52.

## METODOLOGIA

O estudo foi dividido em quatro etapas principais:

- 1- Teste computacional através do método de elementos finitos (MEF), coletando dados de tensão e dureza de um arame de Aço Hipoeutetóide utilizado experimentalmente;
- 2- Teste experimental, a fim de validar o computacional, usando um dispositivo de flexão de 4 pontos, aço hipoeutetóide, *strain gage* e um durômetro Vickers HV2 (carga de 2 kgf) que fornecerá medidas de deformação e dureza da amostra tensionada;
- 3- Comparação dos resultados das primeiras duas etapas a fim de validar o modelo computacional;
- 4- Com o modelo numérico validado, executar os testes Brinell HB 10/1500 no modelo utilizando o material API 5L X52 para avaliar a influência do estado de tensões na dureza.

A modelagem foi feita no *software* Abaqus CAE usando modelo axissimétrico e o teste de dureza Brinell segundo a norma ASTM E 10. As equações abaixo são utilizadas para obter as durezas nos modelos.

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad \text{Equação 1.}$$

$$HB = \frac{2P}{(\pi D)[D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \quad \text{Equação 2.}$$

O teste experimental foi executado com o método de dureza Vickers HV2 pois a carga deveria ser baixa para não influenciar no resultados.

## RESULTADOS

O modelo para o teste computacional consiste na axissimetria de uma chapa em forma de disco e uma casca esférica rígida e indeformável como indentador. O objetivo deste modelo simplificado é reduzir o tempo computacional de simulação, visto que os resultados esperados não serão alterados.

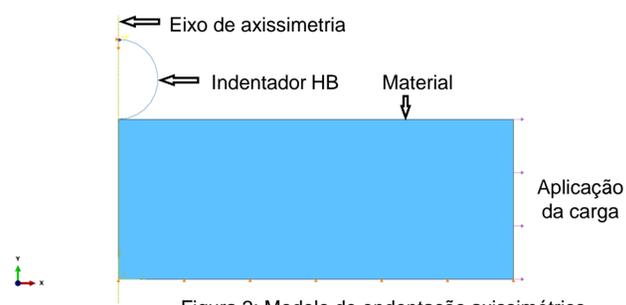


Figura 2: Modelo de indentação axissimétrico.

A Figura 3 ilustra o resultado do modelo de indentação isento de tensões. A carga aplicada foi de 30.050 N e a profundidade de indentação resultou em 0,308 mm. Utilizando as equações 1 e 2 para a dureza Brinell, foi obtido uma dureza de 317 HB.

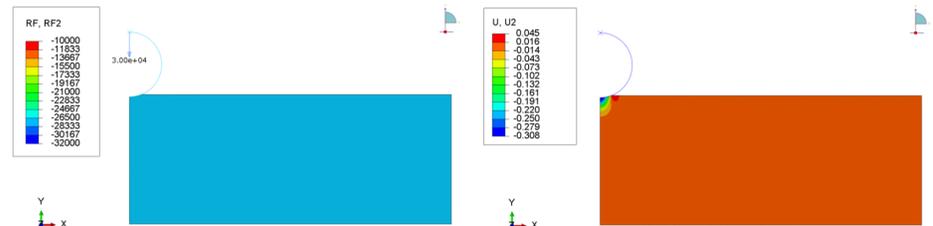


Figura 3. Modelo de dureza para o aço hipoeutetóide ilustrando a carga e a profundidade de endentação.

Os valores experimentais de dureza coletados estão descritos na Tabela 1. Para a situação onde o material está isento de tensões, a dureza média obtida foi de 341 HV que corresponde a aproximadamente 320 HB. O valor de dureza obtido no modelo foi de 317 e está muito próximo dos 320 HB obtidos experimentalmente. Desse modo, o modelo pode ser validado com baixíssimo erro e assim prosseguir para as simulações com o aço API 5L X52.

Tensão [MPa]	0	200	400	600
Dureza 1 [HV]	332	328	329	299
Dureza 2 [HV]	345	341	313	298
Dureza 3 [HV]	346	342	327	314
Dureza média [HV]	341	337	323	303,67

Tabela 1: Valores médios de Dureza Vickers.

Segundo a metodologia proposta no trabalho, com o modelo validado, foi possível obter os valores de dureza para o aço API 5L X52. O modelo inicial constitui em uma indentação com o material livre de tensões. Para os modelos posteriores o material contempla um estado de tensões predominantemente trativo de 66 MPa e 228 MPa. Tomando por base a norma ASTM E10 e as equações apresentadas no presente trabalho, com o diâmetro da esfera de 10 mm, carga de 14.710 N e profundidades de indentação ( $h_1$ ,  $h_2$  e  $h_3$ ), foi possível obter as durezas para os modelos. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos nos modelos juntamente com a Tabela 2.

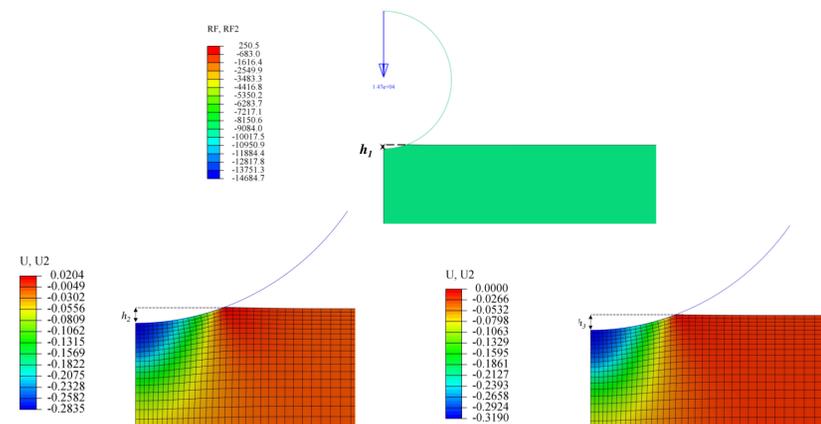


Figura 4: a) Profundidade de indentação ( $h_1$ ) em estado de tensões nulo; b)  $h_2$  sob estado de tensão de 66 MPa; c)  $h_3$  sob estado de tensão de 228 MPa;

A Equação 1 é usada para obter a dureza Brinell após a indentação de cerca de 12,5 segundos pela esfera, através das respectivas profundidades de indentação fornecidas pelo Abaqus. Após obter os valores médios de dureza Vickers experimentais (Tabela 1), estes são convertidos em escala Brinell e estão expostos na Tabela 2, junto aos valores HB obtidos através das profundidades de indentação no Abaqus para as determinadas tensões aplicadas.

Modelo	Tensão trativa S11 [MPa]	Profundidade de indentação [mm]	Dureza - Abaqus [HB]
1	0	0,2734	175
2	66	0,2844	167
3	228	0,30027	159

Tabela 2: Deformação, tensão e dureza dos modelos computacional e experimental.

## CONCLUSÕES

É possível concluir que o modelo numérico de dureza Brinell foi validado devido à grande proximidade em relação aos valores experimentais do aço hipoeutetóide. Assim, o teste pôde prosseguir e obter valores de dureza válidos através do modelo computacional para o aço API 5L X52 com o objetivo de, posteriormente, serem usados no projeto de pesquisa acerca de estados de pressão interna em dutos da indústria petroquímica de utilidade do Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS.