

ANÁLISE NUMÉRICA DA VARIAÇÃO DAS TENSÕES LOCAIS COM A ESPESSURA EM ENTALHES

Carlos Geovane Alves, carlosgeovanealves@yahoo.com.br¹
Jorge Alberto Rodríguez Durán, jorge.a.r.duran@gmail.com¹
Bruno Gomes Tavares, bgt1982@hotmail.com¹

¹Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, CEP: 27.255-125, Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo: Em virtude dos entalhes ou concentradores de tensão estarem presentes em praticamente todos os projetos de engenharia é de suma importância conhecermos como estes influenciam na distribuição de tensão nas peças nas quais eles se encontram. Muitos dados do fator de concentração de tensão K_t são fornecidos na literatura, mas possuem limitações quanto à espessura, como é o caso da placa com furo circular, onde a razão da espessura pelo raio do furo não pode ser superior a 1,5 e para placas com duplo entalhe em U, que é o modelo em estudo neste trabalho, não há um valor específico para a razão da espessura pelo raio, embora seja dito que os valores presentes na literatura são para peças muito finas. No entanto, geralmente casos tridimensionais são tratados como bidimensionais. Esta simplificação é decorrente da dificuldade que surge na análise tanto analítica quanto experimental. Porém, negligenciar os efeitos tridimensionais pode ocasionar erros não conservativos tanto em análises estáticas quanto em dinâmicas. Então, motivado por essas limitações, foi realizado um estudo criterioso da distribuição das tensões locais, da distribuição do K_t ao longo da espessura através do método de elementos finitos tridimensionais por meio do software ANSYS e por fim foi realizada uma análise da influência das propriedades dos materiais no comportamento das tensões locais em geometrias entalhadas. Visando analisar os efeitos tridimensionais supracitados na distribuição das tensões locais, foram utilizados 10 diferentes modelos de placa com duplo entalhe em U, onde foi possível observar variações de 6-18% na distribuição das tensões locais obtidas ao longo da espessura do entalhe. Além disso, foi possível constatar uma influência significativa do coeficiente de Poisson na distribuição das tensões locais e consequentemente nos valores de K_t .

Palavras-chave: Fator de Concentração de Tensão, Entalhes, Método de Elementos Finitos, Ansys, Modelagem Computacional.

1. INTRODUÇÃO

Descontinuidades geométricas tais como furos, ranhuras, chavetas, uma mudança abrupta na seção transversal ou até mesmo uma interrupção dos contornos lisos da peça são inevitáveis em projetos. As mesmas estão sempre designadas a desempenhar alguma função no próprio. Estas descontinuidades geométricas são chamadas de entalhes.

Entalhes a descontinuidades geométricas que interrompem o fluxo de forças pela peça (Norton, 2000). Devido a esta interrupção do fluxo de forças ocasionado pelos entalhes é gerada uma concentração de tensão ao redor do mesmo. Nas extremidades de um entalhe a distribuição de tensão não é uniforme.

Grande parte da literatura existente apresenta o problema da concentração de tensão como um problema plano, ou seja, que não apresenta variação das tensões ao longo da espessura. Entretanto, estudos experimentais e numéricos revelam que, à medida que o componente torna-se mais espesso, o estado de tensões varia ao longo da espessura.

A concentração de tensão reduz a resistência mecânica das peças. Valores do fator de concentração de tensão teórico em carregamento estático são denotados por K_t , esses fatores fornecem uma indicação do grau de concentração de tensão ao redor de um entalhe com contorno particular, conforme ilustrado na Fig. 1 a seguir. Fatores de concentração de tensões são utilizados para caracterizar entalhes (Dowling, 2007), e são denotados pela Eq. (1):

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

Onde:

K_t = Fator de concentração de tensão

σ_{max} = Tensão máxima local

σ_{nom} = Tensão nominal

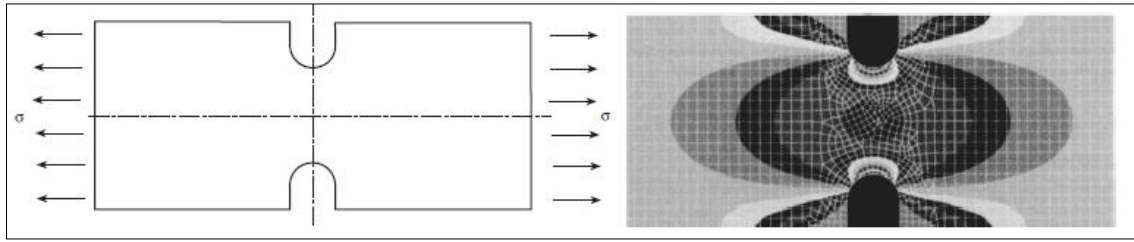


Figura 1. Representação à esquerda de uma peça com duplo entalhe em U sob tração uniaxial e à direita a concentração de tensão gerada pelo entalhe via elementos finitos (Monteiro, 2007).

Estes fatores de concentração de tensão consideram apenas o efeito devido à geometria e o tipo de carregamento o qual a peça está submetida. Não consideram como o material se comporta diante de concentrações de tensões.

Em casos bidimensionais σK_t é uma função dependente apenas da geometria do entalhe e do tipo de carregamento. Para os casos tridimensionais o K_t além de ser uma função dependente da geometria do entalhe e do tipo de carregamento, também é dependente do tipo de material que é caracterizado pelo coeficiente de Poisson (Pilkey, 2008).

Além disso, as tensões desenvolvidas no interior desses componentes espessos são maiores que aquelas desenvolvidas na superfície. Estas tensões chegam a ser 30% maiores no interior da espessura do entalhe (Freire, 2002). Portanto, não considerar essa variação da tensão com a espessura poderia acarretar erros não conservativos.

Devido a esta preocupação em conhecer a distribuição de tensão serão analisados, através do método de elementos finitos tridimensionais, placa com duplo entalhe em U a fim de obter a distribuição de tensões e a variação do K_t ao longo da espessura. Negligenciar os efeitos tridimensionais do entalhe pode ocasionar erros não conservativos tanto para análise estática quanto para análises dinâmicas. Além disso, é de suma importância conhecer os níveis de tensão alcançados na região com concentradores de tensão tendo em vista que a maioria das falhas ocorre devido às trincas que iniciam nesta região.

2. METODOLOGIA E VALIDAÇÃO

2.1. Materiais

O material utilizado na grande maioria das simulações foi o aço SAE 1045 devido a sua grande empregabilidade. Além disso, também foram realizadas simulações utilizando o chumbo comercial e o ferro fundido cinzento, porém em menor escala. A Tab. 1, a seguir, elenca as propriedades de todos os materiais supracitados.

Tabela 1. Propriedade dos materiais (Callister, 2007)

Propriedades	Materiais		
	Aço 1040	Chumbo comercial	Ferro fund. cinzento
Coefficiente de Poisson	0,3	0,44	0,26
Módulo de Elasticidade (GPa)	210	13,5	110 - 138
Limite de Escoamento (MPa)	490	6 - 8	-
Limite de Resistência (MPa)	590	16 - 19	276

2.2. Modelos Analisados

Foram realizadas diversas simulações em diferentes modelos de placas com duplo entalhe em U submetidas à tração uniaxial. A Fig. 2 a seguir, mostra as características desse tipo de entalhe e a placa em uma perspectiva isométrica.

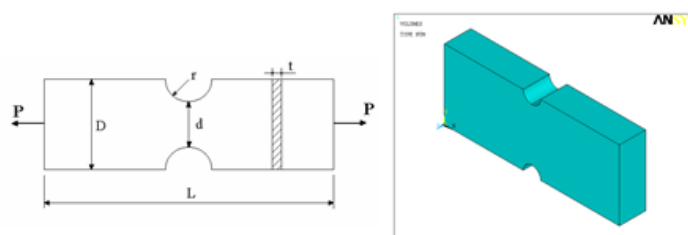


Figura 2. À esquerda placa com duplo entalhe em U submetida à tração uniaxial. À direita perspectiva da placa com duplo entalhe em U.

Devido à simetria existente no modelo foi feita a simulação com apenas 1/8 da geometria do entalhe, Fig. 3, impondo, deste modo, as condições de contorno adequadas para manter a simulação realística. Com essa simplificação melhorou-se o tempo de solução do problema, pois reduziu significativamente o número de equações que o software teria que resolver.

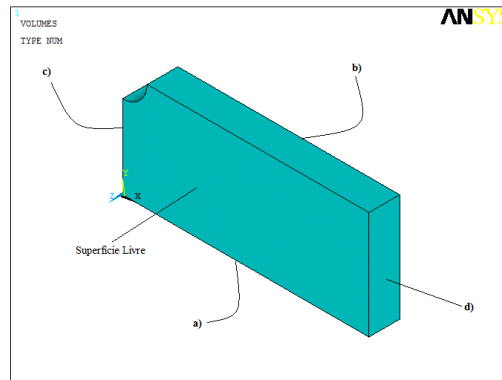


Figura 3. Representação esquemática do quadrante analisado para o modelo com duplo entalhe em U.

Deste modo, as condições de contorno aplicadas ao modelo foram as seguintes:

- Restrição de deslocamento da base da placa na direção y a fim de garantir uniformidade nos movimentos e que a base não se movimenta na direção y (Fig. 3).
- Restrição de deslocamento na direção z no plano xy impedindo o movimento desta superfície na direção z (Fig. 3).
- Restrição de deslocamento na direção x no plano yz do lado oposto onde foi aplicado o carregamento (Fig. 3).
- Foi aplicada uma tensão normal trativa de 30 MPa no plano yz (Fig. 3). A tensão foi aplicada uniformemente em toda a face.

Inicialmente foram criados 4 diferentes modelos de placa com duplo entalhe em U conforme mostrado na Tab. 2 a seguir. Observa-se que, nestes 4 modelos, o único parâmetro que sofreu alterações foi a espessura pois neste casos a intenção foi analisar o comportamento das tensões ao longo da espessura.

Tabela 2. Dimensões das placas com duplo entalhe em U.

Entalhes	L (mm)	D (mm)	t (mm)	d (mm)	r (mm)	D/d	r/d	t/r
U1	100	35	4	27	4	1,3	0,15	1
U2	100	35	8	27	4	1,3	0,15	2
U3	100	35	17,5	27	4	1,3	0,15	4,37
U4	100	35	24	27	4	1,3	0,15	6

Em seguida foram criados 6 diferentes modelos de placa com duplo entalhe em U conforme descrito na Tab. 3. Porém, nestes 6 modelos a espessura foi mantida fixa, ou seja, a razão t/r foi mantida inalterada e o parâmetro que sofreu alteração foi a largura da placa, pois o objetivo era extrair dados a fim de plotar uma curva de K_t para uma dada razão de t/r .

Tabela 3. Dimensões das placas com duplo entalhe em U.

Entalhes	L (mm)	D (mm)	t (mm)	d (mm)	r (mm)	D/d	r/d	2r/D	t/r
U5	100	80	17,5	72	4	1,11	0,06	0,1	4,37
U6	100	40	17,5	32	4	1,25	0,13	0,2	4,37
U7	100	20	17,5	12	4	1,67	0,33	0,4	4,37
U8	100	16	17,5	8	4	2,00	0,50	0,5	4,37
U9	100	14	17,5	6	4	2,33	0,67	0,6	4,37
U10	100	10	17,5	2	4	5,00	2,00	0,8	4,37

2.3. Métodos Utilizados para obter o Fator de Concentração de Tensão K_t

As três formas comumente utilizadas para obtenção de K_t para entalhes específicos são: analítica baseada na teoria da elasticidade, por fotoelasticidade com base nas ferramentas de ajuste de curvas e numérica baseada nos conceitos de elementos finitos. A seguir serão apresentadas de forma sucinta as duas últimas metodologias supracitadas.

2.3.1. Obtenção de K_t por Fotoelasticidade

Conforme mencionado os valores obtidos para K_t presentes nas literaturas consideram que o estado de tensão atuante é o estado plano de tensão. E estes valores em sua maioria foram obtidos experimentalmente através do método de fotoelasticidade e são apresentados na literatura em forma de curvas. Para se obter o valor de K_t através destas curvas é necessário conhecer apenas a geometria do entalhe e o tipo de carregamento que o mesmo é solicitado, conforme mostrado na Fig. 4 a seguir.

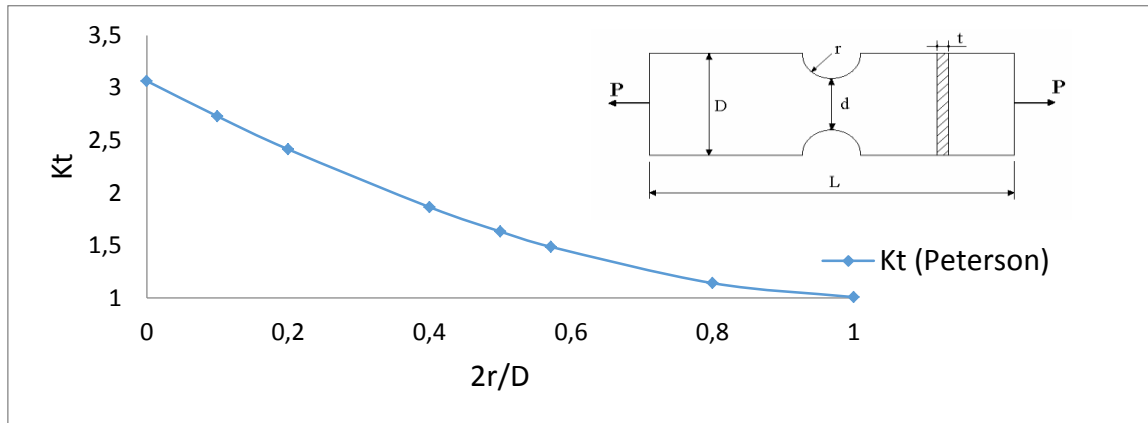


Figura 4. Curva de K_t para placa com duplo entalhe em U submetida à tração uniaxial (Pilkey, 2008).

Em algumas situações K_t é representado na forma de equações de ajuste de curvas obtidas por fotoelasticidade, como é o caso, da Eq. (2) a seguir, que é utilizada para obter o K_t para uma placa com duplo entalhe em U submetida à tração uniaxial. Tal equação é função do tipo de carregamento e da geometria do entalhe.

$$K_t = 3,065 - 3,472 \left(\frac{2r}{D} \right) + 1,009 \left(\frac{2r}{D} \right)^2 + 0,405 \left(\frac{2r}{D} \right)^3 \quad (2)$$

2.3.2. Obtenção de K_t Através do Método de Elementos Finitos

Conforme descrito anteriormente, através da Eq. (1) é possível obter o K_t para um entalhe específico. Logo, é preciso identificar através do MEF o valor correspondente para a tensão máxima local ($\sigma_{\max}$). E por fim dividi-la pela tensão nominal (σ_{nom}) e obter o valor K_t correspondente ao entalhe.

2.4. Método de Elementos Finitos

A fim de se realizar as simulações dos modelos numéricos por elementos finitos foi utilizado o software ANSYS em sua versão 18.0. Para o processo de simulação foram seguidas basicamente três etapas: a construção do modelo, a solução do problema e a análise dos resultados. Estas três etapas também são comumente identificadas respectivamente como: pré-processamento, processamento e pós-processamento (Alawadhi, 2016).

2.4.1. Propriedades dos Elementos

Conhecendo as características da geometria analisada, o carregamento igual a peça está submetida e o estado de tensão predominante foi possível determinar o tipo de elemento a ser utilizado, através da biblioteca de elementos finitos contida no software ANSYS 18.0. O elemento utilizado foi o SOLID 186, elemento sólido tridimensional.

O elemento SOLID 186 possui 20 nós e cada nó possui três graus de liberdade: translação nas direções x, y e z. O referido elemento ao ser colocado em geometrias complexas pode assumir a forma de um tetraedro, pirâmide ou prisma para melhor ajustar-se aos contornos da geometria e fornecer resultados mais precisos, conforme visto na Fig. 5 a seguir.

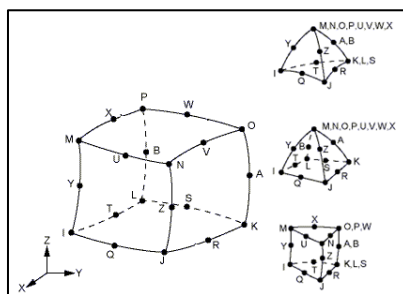


Figura 5. Representação do elemento tridimensional SOLID 186 e suas respectivas variações (ANSYS, 2016).

2.5. Validação

A fim de realizar a validação do método numérico utilizado no presente trabalho foi criado um modelo com as dimensões idênticas ao modelo apresentado por Freire (2002), com o intuito de comparar os resultados e com isso validar o método em estudo. Um esquema básico da geometria do entalhe analisado foi mostrado na Fig. 2 e as dimensões do mesmo foram a do modelo U3 conforme visto na Tab. 2. Freire (2002) encontrou um $K_t = 2,439$ para um modelo idêntico ao modelo U3 supracitado.

Devido à simetria existente, a simulação foi realizada em apenas 1/8 da geometria. Após aplicar as restrições de deslocamentos foi aplicada uma tensão uniaxial de 30 MPa distribuída em toda a superfície.

Com o intuito de se obter uma melhor acurácia nos resultados, maior controle no processo de geração e manipulação de malhas, foi utilizado malha mapeada “mapped mesh” na região de interesse (área 1), proximidades da descontinuidade, e malha livre “free mesh” gerada automaticamente pelo software ANSYS no restante da geometria (área 2). Então, associando a característica do elemento SOLID186 de poder assumir a forma de um tetraedro, pirâmide ou prisma para melhor ajustar-se aos contornos da geometria com aplicação de malhas mapeadas, foi possível obter resultados com ótima precisão.

Para utilizar a malha mapeada foi necessário dividir o 1/8 do entalhe analisado em 2 volumes. Sendo o volume 1 a região próxima da descontinuidade, ou seja, a região de interesse, logo, nesta região foi realizado um controle efetivo das dimensões e distribuição dos elementos. No volume 2 foi utilizada a malha livre, onde esta se organizava a partir da malha mapeada, conforme Fig. 6.



Figura 6. Representação de 1/8 do entalhe analisado dividido em 2 volumes.

Para o modelo em estudo foram realizadas 6 simulações para diferentes dimensões de elementos. A região do volume 2 ficou com as dimensões dos elementos fixas, pois não é a região de interesse. Nesta região, para todas as 6 simulações as dimensões foram sempre 3mm. Já a região de interesse, volume 1, passou por um refinamento, onde os elementos iniciaram com 3mm e foram diminuindo gradativamente até chegarem em 0,5mm (Fig. 7), onde foi possível obter resultados bem próximos do valor obtido por Freire.

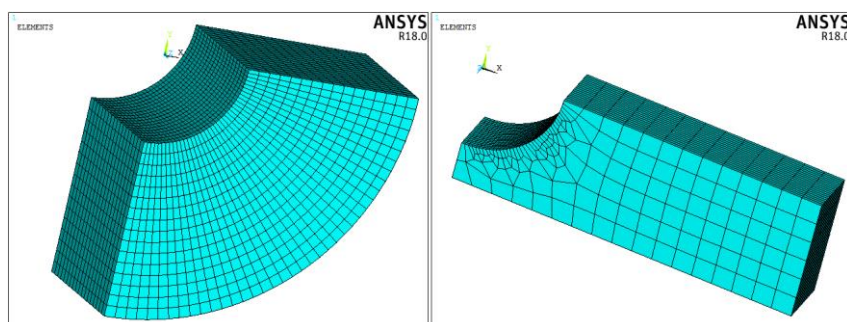


Figura 7. À esquerda está representado o volume 1 com malha na forma mapeada com dimensões de 0,5mm; e a direita está representado o volume 2 com malha na forma livre com dimensões de 3mm.

Para o cálculo do erro numérico foi utilizado a Eq. 3:

$$E_r = \frac{K_t(\text{Freire}) - K_t(\text{MEF})}{K_t(\text{Freire})} \quad (3)$$

Tabela 4. Validação do método numérico.

Ensaio	Nº de Nós	Dimensão dos Elementos (mm)		Tensão Máxima (MPa)	Fator de Concentração de Tensão (Kt)		Erro (%)
		Área 1	Área 2		Resultado Freire	MEF	
1	1321	3	3	84,75	2,439	2,179	10,65
2	2255	2	3	87,51	2,439	2,250	7,74
3	8453	1	3	92,04	2,439	2,367	2,97
4	14535	0,8	3	92,85	2,439	2,387	2,11
5	32917	0,6	3	93,69	2,439	2,409	1,23
6	51531	0,5	3	93,91	2,439	2,415	0,99

Conforme esperado, o ensaio de número 1 com elementos de 3 mm apresentou resultados bastante discrepantes do valor obtido por Freire, apresentando um erro superior a 10%. Porém, à medida que a dimensão dos elementos foi decrescendo os valores obtidos para K_t foram se aproximando dos valores de Freire e consequentemente minimizando o erro entre os dois resultados. Para o ensaio de número 6, onde os elementos estavam com 0,5mm a discrepância entre os resultados foi mínima e o erro numérico foi inferior a 1%. Desta maneira, pode-se afirmar que adoção de elementos finitos tridimensionais, SOLID186, simultaneamente com a malha mapeada fornece resultados totalmente compatíveis com os resultados apresentados por Freire.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 8 a seguir apresenta o modelo U3 após o processo de refinamento e a Fig. 9 representa a solução numérica para a tensão local na direção x (σ_x) para o modelo U3. Os demais modelos comportaram-se de forma análoga. Desta forma, a Tab. 5, a seguir, mostra os parâmetros obtidos para os modelos U1, U2, U3e U4 após o refinamento.

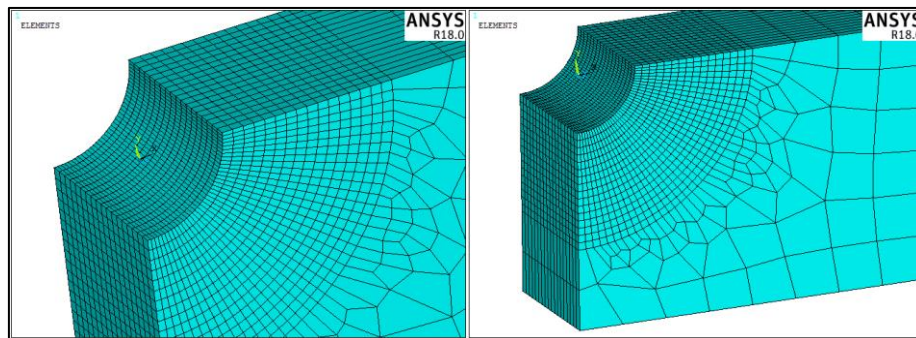


Figura 8. Representação do modelo U3 após sofrer refinamento. As dimensões dos elementos na região 1 é de 0,5mm e na região 2 é de 3mm.

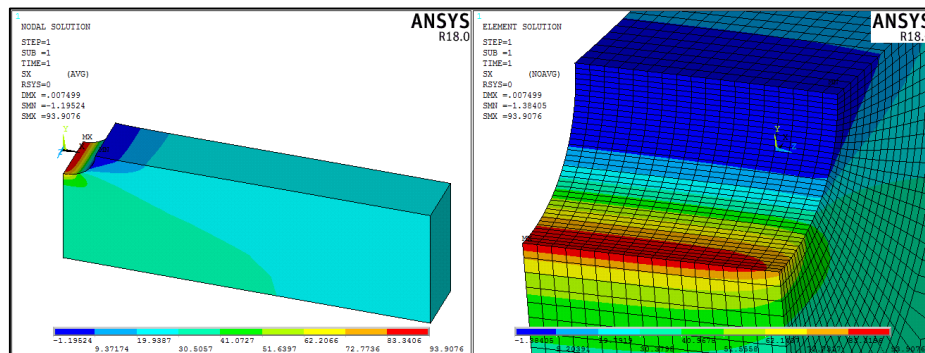


Figura 9. Representação da solução numérica para a tensão local na direção x (σ_x). À esquerda tem-se o modelo U3 completo e à direita tem-se apenas a região do entalhe.

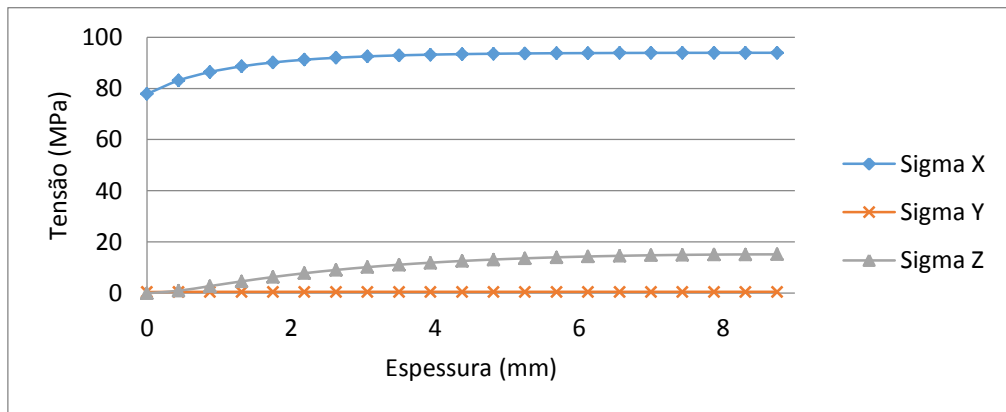
Tabela 5. Parâmetros obtidos para os modelos U1, U2, U3 e U4 após o processo de refinamento.

Modelo	Nº de Nós	Elementos (mm)		Tensão (MPa)		Diferença (%)	Fator de Concentração de Tensão (K_t)		Diferença (%)
		Área 1	Área 2	Mínima	Máxima		Peterson (Eq.2)	MEF	
U1	19187	0,5	1	86,33	92,52	6,69	2,33	2,43	4,3
U2	45703	0,4	3	82,41	94,26	12,57	2,33	2,48	6,1
U3	51531	0,5	3	77,83	93,91	17,12	2,33	2,47	5,7
U4	128863	0,3	3	76,94	93,58	17,78	2,33	2,46	5,4

Foi possível notar uma variação de 6,69% no valor da distribuição da tensão local na direção x (σ_x) ao longo da espessura (direção z) para o modelo U1, de 12,57% para o modelo U2, de 17,12% para o modelo U3 e de 17,78% para o modelo U4. Deste modo, constatou-se que quanto maior a espessura, maior foi a diferença encontrada entre a tensão local (σ_x) na superfície livre e a região central da espessura do entalhe.

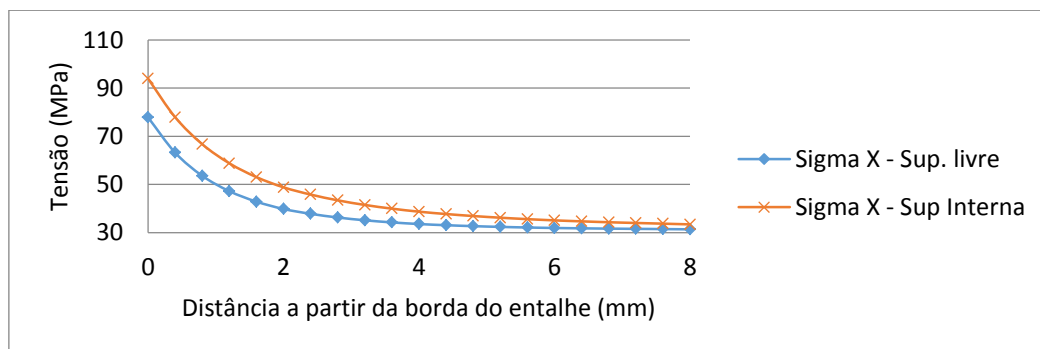
Deste modo, foi possível verificar que para todos os modelos analisados o K_t obtido por Peterson foi sempre inferior ao valor obtido pelo MEF e isso pode provocar erros não conservativos para projetos de engenharia que envolva entalhes em geometrias espessas.

Conforme observado na Fig. 9, existe uma variação na distribuição da tensão local (σ_x) ao longo da espessura, direção z. Logo, isso implica na variação do K_t ao longo da espessura. A seguir, será apresentado um gráfico com a distribuição das tensões locais nas direções x, y e z (σ_x , σ_y , σ_z) ao longo da espessura (Fig. 10).

**Figura 10 - Distribuição das tensões locais nas direções x, y e z (σ_x , σ_y , σ_z) ao longo da espessura, direção z.**

Foi observado que para o entalhe com a razão $t/r=4,37$ ocorre uma variação de aproximadamente 18% entre a superfície livre e a região interna, além do surgimento da tensão na direção z (σ_z).

A Fig.11 mostra o gráfico do gradiente de tensão que ocorre a partir da raiz do entalhe. A partir deste gráfico é possível analisar a diferença entre o gradiente de tensão que ocorre na superfície livre e o gradiente de tensão da região interna do entalhe. Conforme observado as tensões na região interna são maiores. A diferença entre as tensões nas superfícies internas e superfícies livres variam de 7 a 20%. Este aumento de 20% na tensão local (σ_x) na região interna, comparada a região externa do entalhe, associado ao estado triaxial de tensões que surge no interior do entalhe, propicia a iniciação e propagação de trincas nesta região.

**Figura 11. Gradiente de tensão a partir da raiz do entalhe.**

Com o intuito de observar a influência do material no comportamento da distribuição de tensão ao longo da espessura, foram realizadas simulações para modelos com diferentes materiais.

A Fig. 12 mostra um gráfico comparativo da distribuição de tensão ao longo da espessura para diferentes materiais: aço, chumbo comercial e ferro fundido.

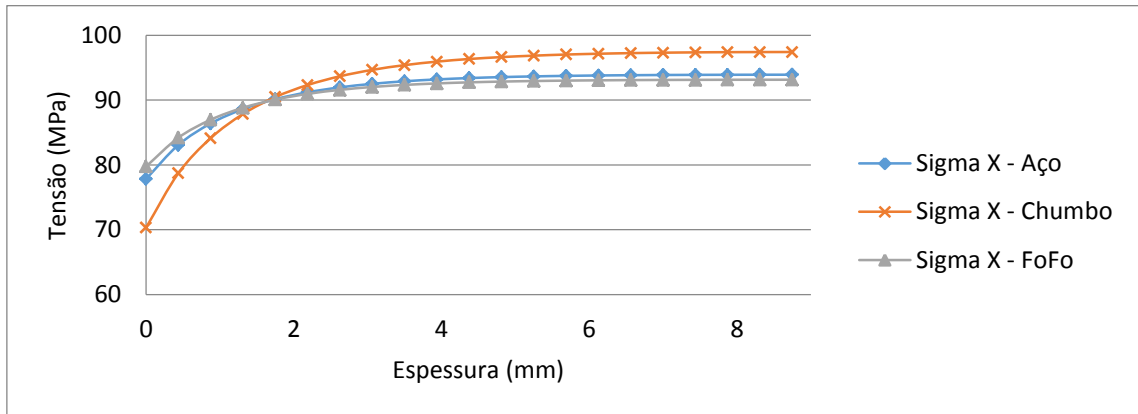


Figura 12. Gráfico comparativo da distribuição de tensão ao longo da espessura para diferentes materiais.

Foi possível observar uma diferença de 14,37% entre a tensão na região de superfície livre e a região interna para o ferro fundido, 17,12% para o aço e 27,81% para chumbo comercial.

A Fig. 13 mostra um gráfico comparativo do K_t ao longo da espessura (direção z) para diferentes materiais: aço, chumbo comercial e ferro fundido.

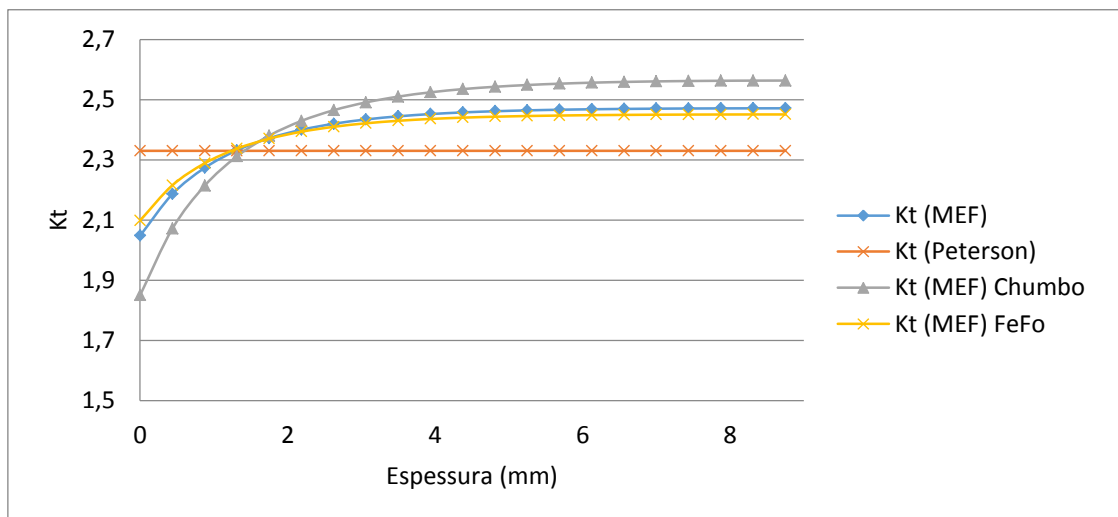


Figura 13. Gráfico comparativo da distribuição do K_t ao longo da espessura para diferentes materiais.

Assim, foi possível observar uma diferença entre o valor obtido para o K_t através da Eq. (2) (Peterson) e o obtido pelo MEF na ordem de: 4,93% para o ferro fundido, 5,72% para o aço e 9,1% para o chumbo comercial.

A fim de construir uma curva de K_t semelhante às presentes na literatura de engenharia foi realizado o gráfico a seguir (Fig. 14). O gráfico é composto de 2 curvas, onde uma curva foi obtida pela Eq. (2) e a outra curva foi obtida através do MEF.

Para a curva obtida através do MEF foram criados 6 diferentes modelos de placa com duplo entalhe em U, conforme descrito na Tab. 3 anteriormente. Porém, nestes 6 modelos a espessura foi mantida fixa, ou seja, a razão t/r foi mantida inalterada e o parâmetro que sofreu alteração foi a largura da placa, pois o objetivo foi extrair dados a fim de plotar uma curva de K_t para uma dada razão de t/r . No presente caso a razão t/r foi igual a 4,37.

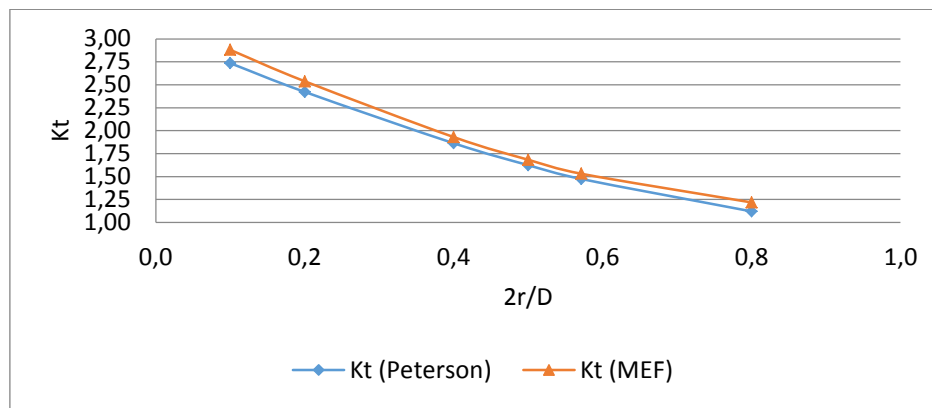


Figura 14. Gráfico comparativo entre curvas de K_t obtidas pelo método de fotoelasticidade (Peterson) e o método dos elementos finitos.

A variação entre a curva de K_t presente nas literaturas e a obtida pelo MEF varia de 5% a 8%. A curva obtida por fotoelasticidade foi plotada através da Eq. (2). É importante ressaltar que ambas as situações a razão t/r é igual a 4,37. Através da Fig. 14, constatou-se que os valores obtidos pela Eq. (2), são sempre inferiores aos valores obtidos pelo método de elementos finitos.

4. CONCLUSÕES

Após uma análise criteriosa a cerca da distribuição das tensões σ_x , σ_y e σ_z ao longo da espessura foi possível notar a existência de um estado triaxial de tensões. Foi observado que para o entalhe com a razão $t/r=4,37$ ocorre uma variação de aproximadamente 18% entre a superfície livre e a região interna. Além disso, foi constatado que uma curva de K_t obtida através do MEF é cerca de 8% maior que uma curva de K_t obtida por fotoelasticidade (Peterson) para um mesmo modelo.

Através dos gráficos foi possível constatar uma influência significativa do coeficiente de Poisson na distribuição das tensões locais e consequentemente nos valores de K_t . Quanto maior o valor do coeficiente de Poisson, maior é o valor da diferença entre as tensões da região interna e da superfície livre. Além disso, foi possível observar que para um mesmo modelo a diferença entre o K_t obtido pelo MEF e o obtido por foto elasticidade (Peterson) apresentou diferença significativa com a alteração do material. Isto mostra a influência que o material representa na determinação do K_t para os casos tridimensionais. Pois, como foi mencionado, o K_t tridimensional além de depender do tipo de carregamento e da geometria do entalhe, também depende do tipo de material. Com isso, realizar análise de tensões em entalhes espessos através do método de fotoelasticidade pode acarretar erros não conservativos, pois a tensão obtida para o material fotoelástico do protótipo irá comportar-se de forma diferente a do material em estudo devido os materiais apresentarem diferentes coeficientes de Poisson.

Em suma, o fato de não considerar a existência de um estado triaxial de tensão no interior do entalhe e de negligenciar o efeito tridimensional da espessura para determinar o K_t , pode acarretar erros não conservadores. Pois, a presença de um estado triaxial de tensão e uma tensão alta na região interna do entalhe dificulta o escoamento e consequentemente favorece a iniciação de trincas, e o baixo gradiente de tensão existente nesta região favorece a propagação das mesmas.

5. REFERÊNCIAS

- Alawadhi, E.M.,(2016), “Finite Element Simulations Using ANSYS”, Second Edition. Editora Taylor e Francis Group, LLC.
- Callister, Jr.,W. D.(2007). “Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”. LTC, 5ª Edição.
- Dowling, N.E. (2007). “Mechanical Behavior of Materials”. Pearson Prentice Hall, Inc, 3 ed., New Jersey, U.S.A.
- Freire, J. L. F., Soares, A. C. C., Cunha, F. J. C. S. “Efeito da Espessura nos Fatores de Concentração de Tensão em Barras sob Tração.” Trabalho apresentado no VII Simpósio de Análise Experimental de Tensões (2002). Salvador – Brasil.
- Monteiro, C.C.C. “Determinaçãocomputacional do factor de intensidade de tensões em fendas na vizinhança de entalhes.” Universidade Técnica de Lisboa, 2007, 103p. Dissertação (Mestrado).
- Norton, R.L. (2000). “Machine Design, an Integrated Approach”. Prentice Hall Inc., 2ed., New Jersey.
- Pilkey, W.D., Pilkey, D.F., (2008). “Peterson’s Stress Concentration Factors.” Editora John Wiley e Sons, Inc., 3ed., EUA.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE VARIATION OF LOCAL STRESSES WITH THE NOTCHES THICKNESS

Carlos Geovane Alves, carlosgeovanealves@yahoo.com.br¹
Jorge Alberto Rodríguez Durán, jorge.a.r.duran@gmail.com¹
Bruno Gomes Tavares, bgt1982@hotmail.com¹

¹Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, CEP: 27.255-125, Rio de Janeiro, Brasil.

Abstract. In function of the notches or stress concentrators are present in virtually all engineering projects, it is extremely important to know how these influence the stress distribution in the parts in which they are located. Many data K_t stress concentration factor are given in the literature, but they have limitations regarding the thickness, as is the case with the circular plate hole, wherein the ratio of the thickness of the hole can be not more than 1.5 and for plates with double U-notches, which is the model studied in this work, there is no specific value for the radius thickness ratio, although it is said that the values present in the literature are for very thin parts. However, in general three-dimensional case is treated as two-dimensional. This simplification is due to the difficulty that appear in both analytical and experimental analysis. However, neglecting the three-dimensional effects can cause non-conservative mistakes both in static analyzes and in dynamics. Then, motivated by these limitations was made a careful study of the distribution of the local stresses, the distribution of the K_t along the thickness by method of three-dimensional finite elements using ANSYS software and finally was made an analysis of the influence of the properties of the materials in the behavior of local stresses in notched geometries. Aiming to analyze the above mentioned three-dimensional effects in the distribution of local stresses, 10 different plates with double U-notches models were used, where it was possible to observe variations of 6-18% in the distribution of local tensions obtained along the notch thickness. Besides that, it was possible to observe a significant influence of the Poisson coefficient on the distribution of the local stress and consequently on the values of K_t .

Keywords: Stress Concentration Factor, Notches, Finite Element Method, Ansys, Computational Modeling.