3. Propagação de Trincas Bidimensionais

3.1. Introdução

As trincas que crescem em várias direções, porém em um mesmo plano, e quando podem ser formuladas matematicamente por duas direções no plano são chamadas de trincas bidimensionais ou 2D. Em geral mudam de forma a cada ciclo de carga.

Geometricamente, as trincas bidimensionais podem ser descritas através de dois semi-eixos *x* e *y*, Figura 3.1, que serão nomeados neste trabalho como semi-eixo *c* e semi-eixo *a*, respectivamente, tendo como componentes do crescimento a largura *c* e a profundidade *a*.

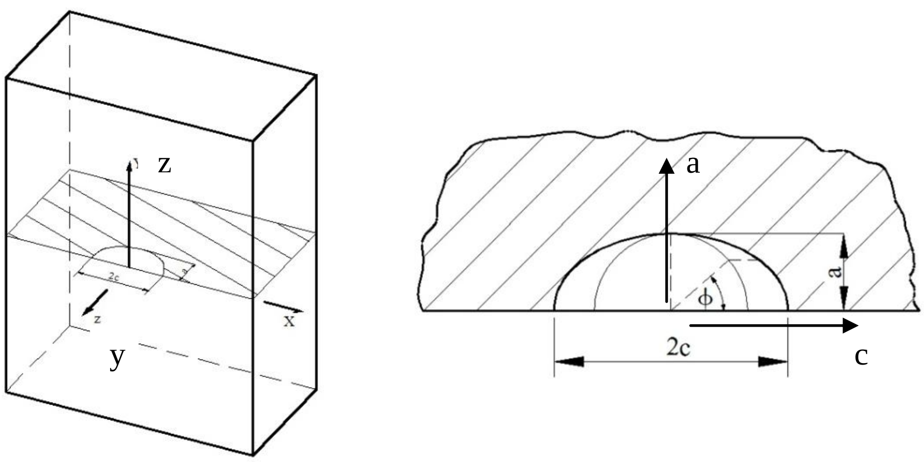


Figura 3.1. a) Barra com trinca semi-elíptica, b) Geometria elíptica da trinca 2D

Dependendo do lugar onde a trinca se gera na estrutura, as trincas superficiais podem se classificar essencialmente em três tipos: de canto ou quarto - elípticas, superficiais ou semi-elípticas e internas ou elípticas, vide Figura 3.2.

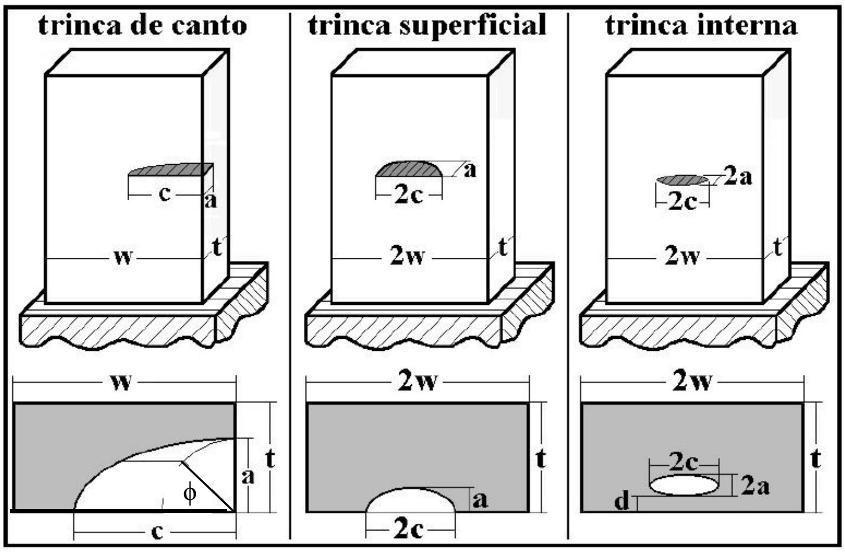


Figura 3.2 - Definição das dimensões *a* e *c* das trincas 2D

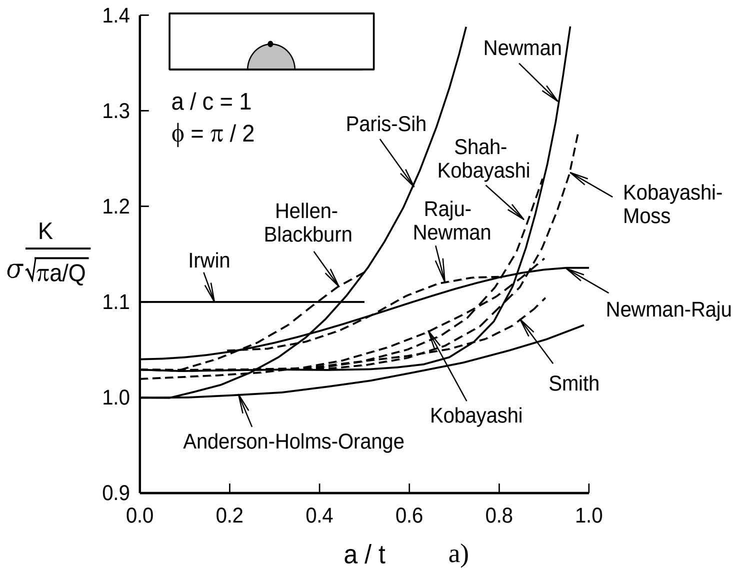
(Fadiga sob Cargas de Serviço, Castro & Meggiolaro, 2009)

Para fazer a previsão de vida das trincas superficiais ao longo da sua propagação são necessárias soluções dos fatores de intensidade de tensão muito precisas para cada configuração de trinca já que ela vai mudando no crescimento. Por isso, devida a complexidade de tais problemas soluções exatas não são disponibilizadas. Ao invés disso, científicos tem que usar métodos analíticos de aproximação, métodos experimentais ou estimativas da própria engenharia para obter os fatores de intensidade de tensão. Nestas estimativas são especificadas variadas razoes tais como: a razão *a/t* para profundidade da trinca *a* e a espessura *t*, a razão *a/c* para largura *c* e profundidade *a*, e outras mais que van dependendo de cada caso e tipo de trinca. Para corpos finitos todas as soluções requerem de métodos analíticos aproximados sendo os mas conhecidos o método dos elementos finitos, o método da integral de contorno e o método alternado. As expressões analíticas que explicam o comportamento da propagação de trincas semi-elípticas em geral são complexas e descritas pelos fatores de intensidade de tensões predominantes $K_I(a)$ e $K_I(c)$ a diferencia do que ocorre com uma trinca unidimensional que é controlada simplesmente por um fator de intensidade de tensão predominante.

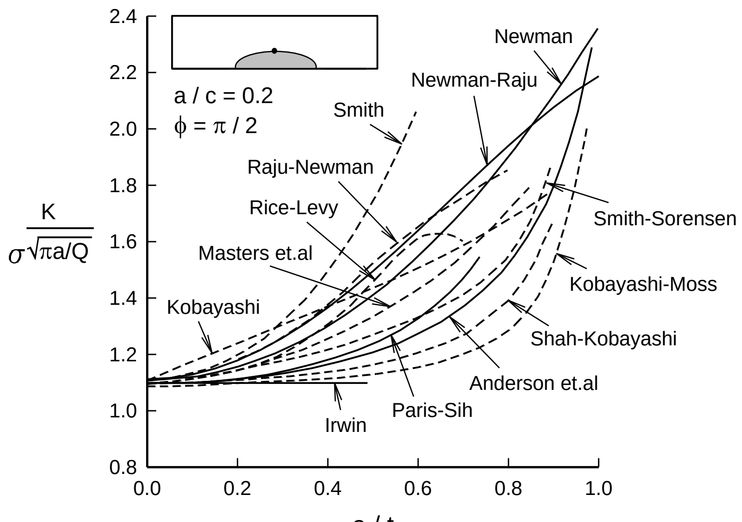
3.2. Trincas Superficiais ou Semi-Elípticas

As magnitudes dos fatores de intensidade de tensão que controlam o crescimento da frente da trinca 2D variam progressivamente de ponto a ponto enquanto ela se propaga, do mesmo modo, cada ponto da frente da trinca tem um fator de intensidade de tensão diferente, valores máximos e mínimos de K_I sempre ocorrem em qualquer um dos semi-eixos da elipse (Castro, 2009). Tanto $K_I(a)$ quanto $K_I(c)$ dependem de outras variáveis, tais como *σ*, *a*/*c*, *a*/*t*, *c*/*w* e *ϕ*, por exemplo, os fatores de intensidade de tensão para trincas superficiais em barras retangulares segundo Newman-Raju (1988) são: $K_I(a) = f(\sigma, a, c/w, a/t, a/c, \phi)$ e $K_I(c) = f(\sigma, c, c/w, a/t, a/c, \phi)$.

Existem vários estudos que tentam ajustar o comportamento da propagação de trincas bidimensionais, no entanto poucas soluções exatas são fornecidas na literatura, autores como Smith, Kobayashi, Sih, Newman têm obtido soluções muito próximas para uma trinca semi-elíptica dentro de um solido infinito submetido a carregamento não uniforme. A Figura 3.3 mostra diversas curvas de comportamento baseadas no chamado fator de intensidade de tensões normalizado que é a razão do fator de intensidade de tensões dividido pela tensão normal aplicada vezes uma expressão numérica *Q* que muda dependendo da geometria do corpo de prova e do tipo de solicitação aplicada. Os casos mostrados descrevem dos tipos diferentes de frentes de trinca bidimensional para um momento especifico da propagação, o primeiro caso para uma taxa *a/c*=1 e o segundo para uma taxa *a/c*=0.2 é assumido que a geometria elipsoidal referida à razão *a/c* fica constante na propagação fica constante. Na realidade esta razão *a/c* muda várias vezes e em diferentes proporções ao longo da propagação da trinca real.



a)



b)

Figura 3.3- Comportamento da frente de uma trinca semi - elíptica para uma razão constante a) a/c=1, $\phi = \pi/2$ b) a/c=0.2, $\phi = \pi/2$ sob tensão remota.
(Raju, Life Prediction Methodology and Validation for SurfaceCracks, 2007)

Sendo assim, Newman & Raju (1984) publicaram para a NASA diferentes expressões para trincas elípticas, semi-elípticas (Figura 3.4) e quarto - elípticas sujeitas à tração.

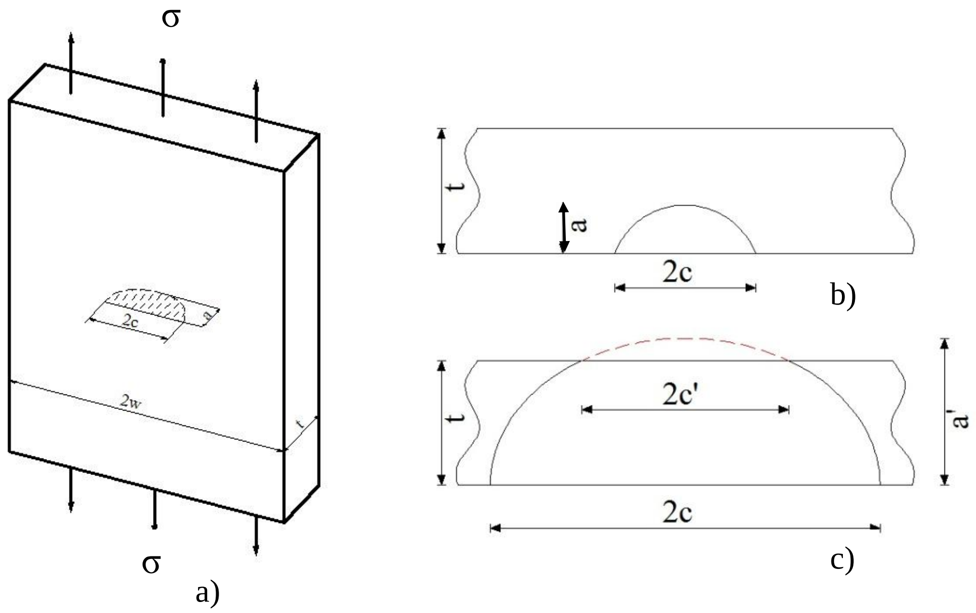


Figura 3.4- Definição das dimensões a e $2c$ das trincas semi-elipticas a)Placa retangular com trinca semi-elíptica b) Trinca 2D semi-elíptica $a/t \leq 1$ c) Trinca 2D semi-elíptica em transição, $a/t > 1$.

3.2.1. Trincas Semi-Elípticas, a/t≤1

Segundo Newman & Raju, as expressões que governam a propagação de uma trinca superficial semi-elíptica de largura $2c<2w$, profundidade $a<t$, a uma razão a/t de 0 até 1, razão de crescimento a/c entre 0.2 até 2, placa retangular de largura $2w$ e espessura t, para uma solicitação a tração (modo I), são:

$$K_I(a) = \sigma\sqrt{\pi a}\cdot F\cdot\frac{M}{\sqrt{Q}}\cdot G \tag{3.1}$$

$$K_I(c) = \sigma\sqrt{\pi c}\cdot F\cdot\frac{M}{\sqrt{Q}}\cdot\frac{a}{c}\cdot G \tag{3.2}$$

$$F(\frac{c}{w},\frac{a}{t}) = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi c}{2w}\cdot\sqrt{\frac{a}{t}}\right)}\cdot[1-0.025\cdot\left(\frac{c}{w}\cdot\sqrt{\frac{a}{t}}\right)^2+0.06\cdot\left(\frac{c}{w}\cdot\sqrt{\frac{a}{t}}\right)^4] \tag{3.3}$$

Se $a \le c$

$$M(\frac{a}{c},\frac{a}{t}) = 1.13-0.09\cdot\frac{a}{c}+\left(-0.54+\frac{0.89}{0.2+\frac{a}{c}}\right)\cdot\left(\frac{a}{t}\right)^2+\left(0.5-\frac{1}{0.65+\frac{a}{c}}+14\cdot\left(1-\frac{a}{c}\right)^{24}\right)\cdot\left(\frac{a}{t}\right)^4 \tag{3.4}$$

$$Q(\frac{a}{c}) = 1+1.464\cdot\left(\frac{a}{c}\right)^{1.65} \tag{3.5}$$

$$G(\frac{a}{c},\frac{a}{t}) = 1.1+0.35\cdot\left(\frac{a}{t}\right)^2 \tag{3.6}$$

Se $a > c$

$$M(\frac{a}{c},\frac{a}{t}) = \frac{c}{a}+0.04\cdot\left(\frac{c}{a}\right)^2+\left(\frac{c}{a}\right)^{4.5}\cdot\left(\frac{a}{t}\right)^2\cdot\left[0.2-0.11\cdot\left(\frac{a}{t}\right)^2\right] \tag{3.7}$$

$$Q(\frac{a}{c}) = 1+1.464\cdot\left(\frac{c}{a}\right)^{1.65} \tag{3.8}$$

$$G(\frac{a}{c},\frac{a}{t}) = 1.1+0.35\cdot\left(\frac{c}{a}\right)\cdot\left(\frac{a}{t}\right)^2 \tag{3.9}$$

3.2.2 Trincas Semi-Elípticas, *a*/*t*>1

Castro & Meggiolaro (2009) mostram expressões para trincas superficiais semi-elípticas, em transição para passante, dentro uma placa retangular de largura *2w* e espessura *t*, de largura *2c<2w* na face dianteira e *2c'* na face oposta (*c'<0.9c*, caso contrario considere trinca passante), com profundidade imaginaria *a'>t*, perpendicular à tensão normal σ (modo I), precisão 3% .

$$K_I(a') = \sigma\sqrt{\pi a} \cdot F' \cdot \frac{M'}{\sqrt{Q'}} \cdot 1.1 \tag{3.11}$$

$$K_I(c) = \sigma\sqrt{\pi c} \cdot F' \cdot \frac{M'}{\sqrt{Q'}} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot G' \tag{3.12}$$

$$a' = \frac{t}{\sqrt{1-\left(\frac{c'}{c}\right)^2}} \tag{3.13}$$

$$\lambda = 1.23\left(\frac{c}{1.23t}\right)^{\frac{2.3-a'/t}{1.3}} \tag{3.14}$$

$$F'(\frac{c}{w}) = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi c}{2w}\right)} \cdot [1-0.025\cdot\left(\frac{c}{w}\right)^2 + 0.06\cdot\left(\frac{c}{w}\right)^4] \tag{3.15}$$

Se $\lambda < 1$

$$M'(\lambda) = \lambda + 0.04\cdot(\lambda)^2 + 0.09\cdot(\lambda)^{4.5} \tag{3.16}$$

$$Q'(\lambda) = 1 + 1.464\cdot(\lambda)^{1.65} \tag{3.17}$$

$$G'(\lambda) = 1.1 + 0.35\cdot\lambda \tag{3.18}$$

Se $\lambda \geq 1$

$$M(\lambda) = 1.09 - \frac{0.09}{\lambda} + \frac{0.89}{0.2+\frac{1}{\lambda}} - \frac{1}{0.65+\frac{1}{\lambda}} + 14\cdot\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)^{24} \tag{3.19}$$

$$Q'(\lambda) = 1 + 1.464\cdot(\lambda)^{1.65} \tag{3.20}$$

$$G(\lambda) = 1.45 \qquad (3.21)$$

A Figura 3.5 ilustra o comportamento de uma trinca bidimensional semi-elíptica usando as expressões formuladas por Newman-Raju com variação de ângulo ϕ para diversas razões de comprimento de trinca versus espessura $a/t = 1$, $a/t = 0.5$, $a/t = 0.25$, $a/t = 0$ e uma razão $a/c = 1$, razão comprimento c e largura w, $c/w = 0.1$, e fator de intensidade de tensões normalizado.

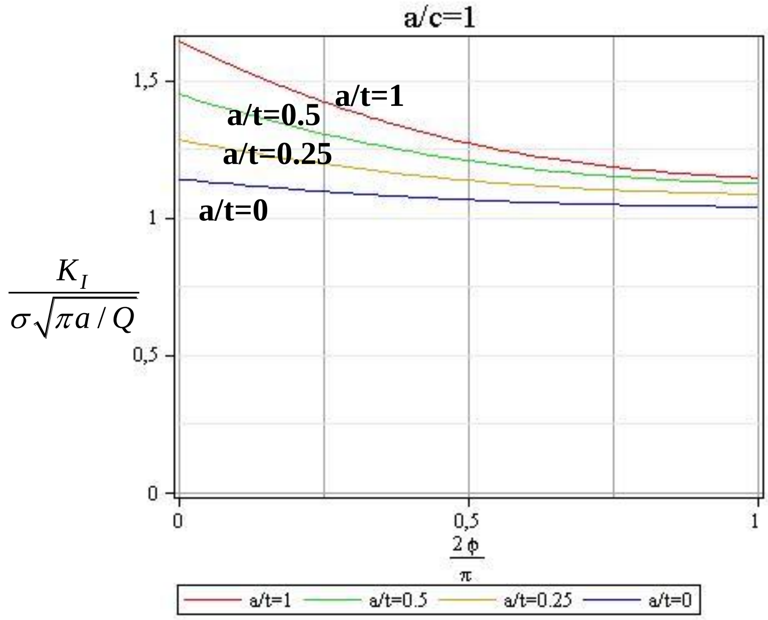


Figura 3.5 – Comportamento trinca semi – elíptica para diferentes razões a/t, $c/w = 0.1$ e $a/c = 1$.

A Figura 3.6 permite apreciar os valores do valor de intensidade de tensões ao longo da trinca para diferentes razoes de a/t=1,0.5,0.25,0.

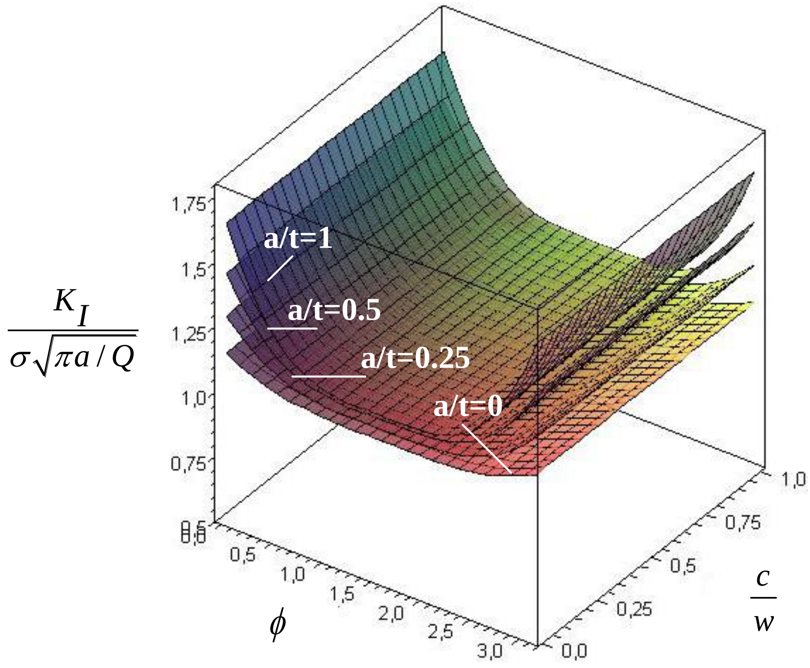


Figura 3.6- Distribuição do fator de intensidade de tensões ao longo da frente da trinca semi-elíptica ($a/c=1$, $a/t=1, 0.75, 0.5, 0$, $c/w=0-1$, $h/w=1$, ϕ= 0-π)

Com o objetivo de ajustar as expressões analíticas formuladas por Newman & Raju que governam a propagação bidimensional uma trinca semi-elíptica é calculada num solido com geometria retangular (2H = 8, 2w = 8, t = 2, a = c = 0.8, σ=1[MPa]) . Ao mesmo tempo, os valores dos fatores de intensidade de tensão são comparados a traves da modelagem numérica (ABAQUS e FRANC3D) para o mesmo modelo. A Figura 3.7 mostras os resultados ao longo da frente da trinca obtidos com uso das expressões e o FRANC3D.

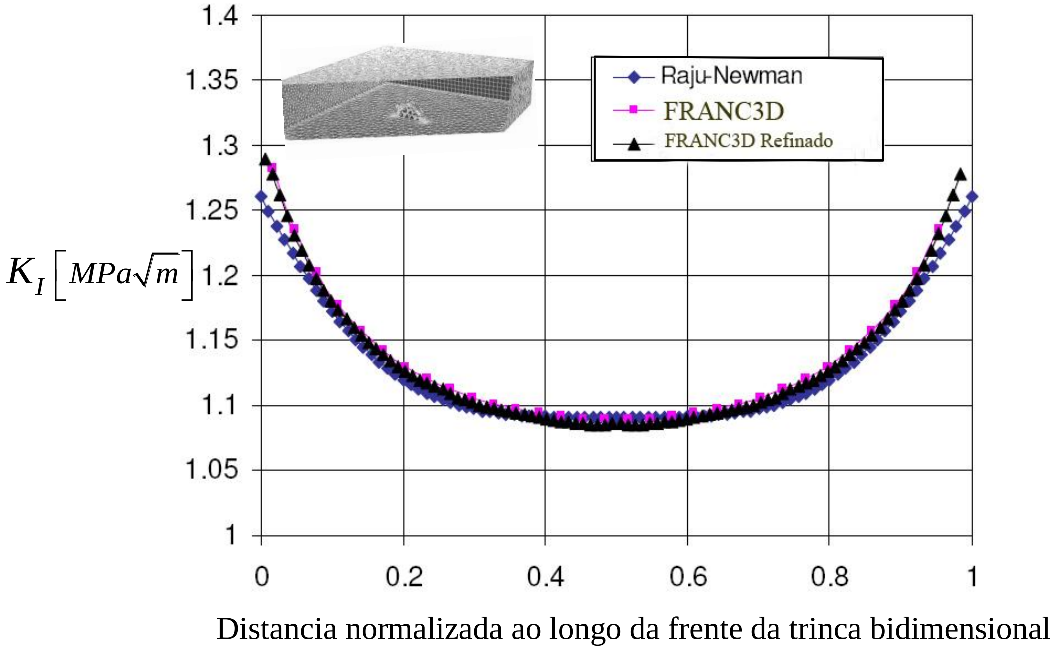


Figura 3.7- Distribuição do Fator de Intensidade de Tensões normalizado ao longo da frente da trinca para uma trinca semi – elíptica (a/c = 1, a/t = 0.4, c/w = 0.1, h/w = 1)

A Tabela 3.1 mostra a comparação dos resultados obtidos para $K_I(a)$ e $K_I(c)$ nos semi-eixos da elipse, FRANC3D versus expressões numéricas Newman –Raju.

Fonte	$K_I(a)$ [Mpa√m]	$K_I(c)$ [Mpa√m]
Newman-Raju	1.26	1.25
FRANC3D	1.28	1.27

Tabela 3.1.- Comparação das expressões analíticas versus os resultados da modelagem para valores predominantes $K_I(a)$ e $K_I(c)$

3.3. Trincas Bidimensionais de Canto ou Quarto-Elípticas

O escopo deste trabalho se concentra no uso de placas com seção transversal retangular como corpos de prova onde são inseridas trincas de canto quarto - elípticas.

A geometria da trinca bidimensional neste tipo de formato é parecida com a da trinca semi-elíptica, exceto que agora consideramos a largura *c* e não 2*c* como o caso de trincas semi –elípticas, na direção *x*; Figura 3.8.

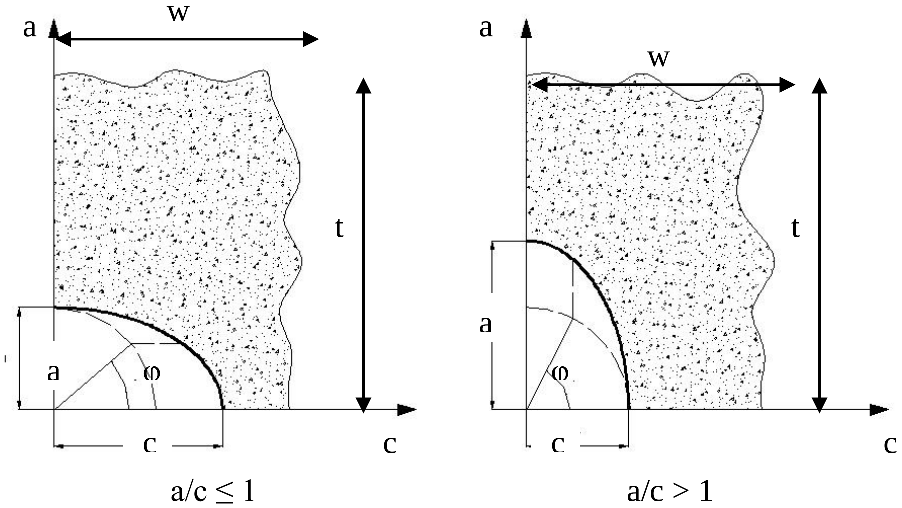


Figura 3.8- Geometria de uma trinca quarto-elíptica. a) $a/c \leq 1$, b) $a/c > 1$

Não existe na literatura informação referida ao estágio da transição de uma trinca bidimensional para unidimensional por fadiga sendo que é um tipo de comportamento que acontece bastante em estruturas reais, as trincas nascem e crescem em duas direções e depois mudam para trincas passantes.

Existem duas razões diferentes com as quais trabalharemos ao longo do trabalho, a primeira e referida à proporção geométrica entre *a* e *c* através das taxas $a/c \leq 1$ ou $a/c > 1$ e a segunda e referida à proporção do avanço de trinca na direção *a* versus a espessura *t* através das taxas $a/t \leq 1$ ou $a/t > 1$, valores compreendidos para a razão $a/t \leq 1$ significa que a trinca ainda esta no estagio de crescimento bidimensional, não existe transição alguma. Valores maiores a $a/t > 1$ se referem a um trinca bidimensional em estagio de transição, a qual muda a unidimensional depois alguns ciclos, Figura 3.9.

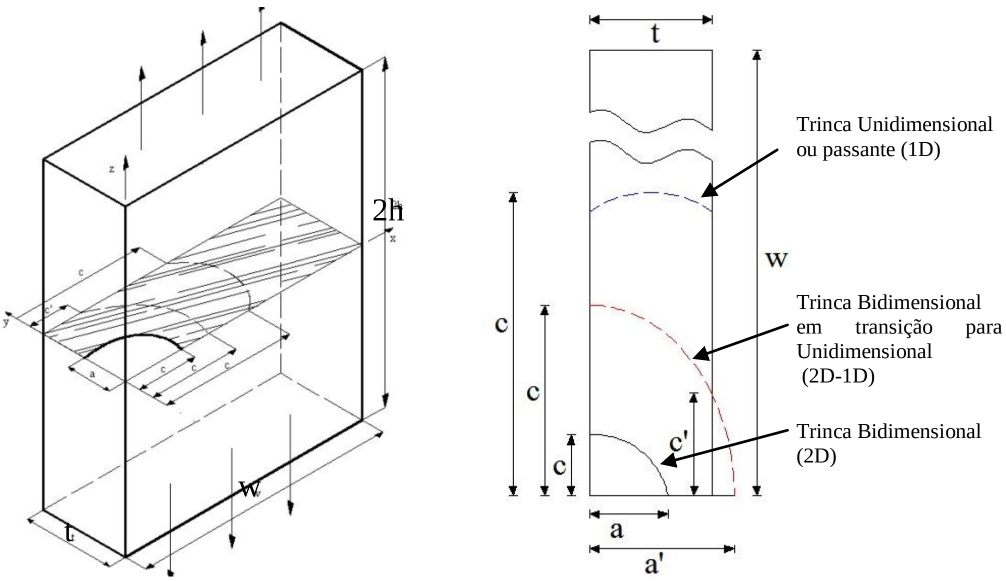


Figura 3.9 - Placa de largura *w*, espessura *t* com trinca de canto quarto-eliptica, em transição para passante, $c/w < 1$- na face dianteira e *c*’ na face oposta ($c'/c \leq 1$).

3.3.1. Trincas Quarto-Elípticas, $a/t \leq 1$

Em 1973 Kobayashi & Enetanya (1976) estudaram um sólido infinito com uma trinca elíptica inserida num canto com aplicação de uma pressão fictícia uniforme, Figura 3.10.

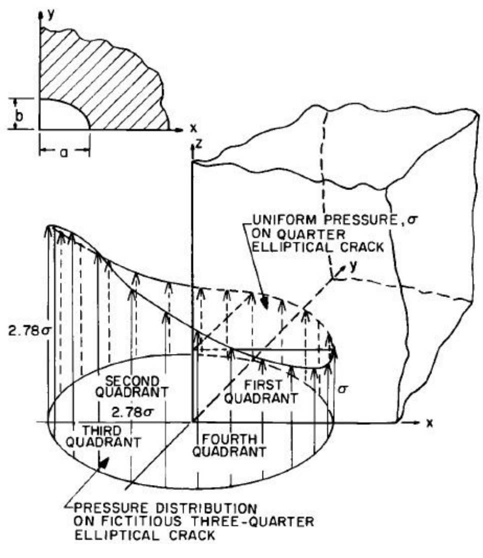


Figura 3.10 – Distribuição da pressão numa trinca quarto- elíptica

Kobayashi & Enetanya também encontraram resultados através do método dos elementos finitos para fatores de intensidade de tensão normalizados e para três razões especificas, a/c = 0.98, a/c = 0.4 e a/c = 1, Figura 3.11. Porém, essas expressões não são totalmente úteis para o estudo proposto neste trabalho, pois tem-se aqui o interesse em conhecer o fator de intensidade de tensões na zona de transição da trinca bidimensional para unidimensional. Newman & Raju também formulam expressões para trincas bidimensionais em função do ângulo.

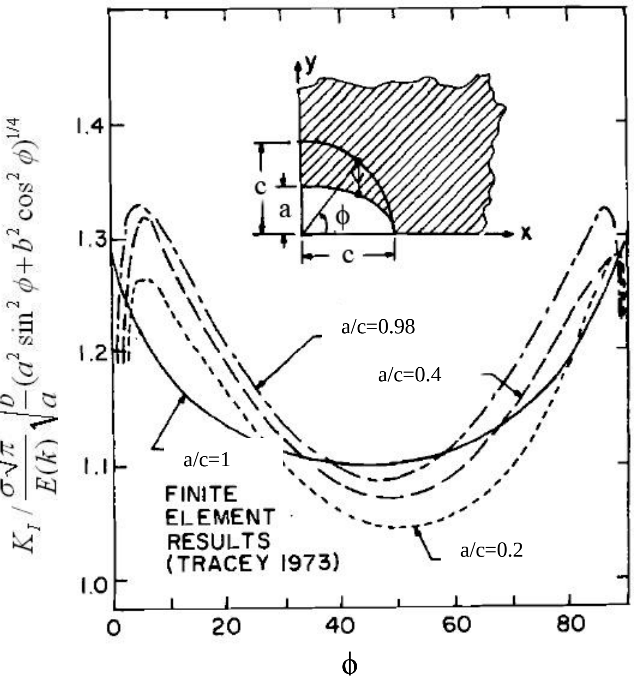


Figura 3.11- Simulação do comportamento de uma trinca quarto-elíptica para *a/c* = 1, *a/c* = 0.98, *a/c* = 0.4, *a/c* = 0.2. (Kobayashi & Enetanya)

As equações para uma trinca quarto-elíptica com valores de $a/t \leq 1$ são função da tensão normal σ, Q e o fator $F_c\left(\frac{a}{t},\frac{a}{c},\frac{c}{b},\phi\right)$. Newman & Raju citam estas expressões que servem para $0.2 \leq a/c \leq 1$, $a/t < 1$ e $0 \leq \phi \leq \pi/2$ para $c/w \leq 0.5$

$$K = \sigma_i \cdot \sqrt{\pi\left(\frac{a}{Q}\right)} \cdot F_c\left(\frac{a}{t},\frac{a}{c},\frac{c}{b},\phi\right) \tag{3.22}$$

$$F_c = \left[M_1 + M_2\left(\frac{a}{t}\right)^2 + M_3\left(\frac{a}{t}\right)^4\right] g_1 g_2 f_\varphi f_w \tag{3.23}$$

Para $(a/c) \leq 1$

$$M_1 = 1.08 - 0.03\left(\frac{a}{c}\right) \tag{3.24}$$

$$M_2 = -0.44 + \frac{1.06}{0.3 + \frac{a}{c}} \tag{3.25}$$

$$M_3 = -0.5 + 0.25\left(\frac{a}{c}\right) + 14.8\left(1 - \frac{a}{c}\right)^{15} \tag{3.26}$$

$$g_1 = 1 + \left[0.08 + 0.4\left(\frac{a}{c}\right)^2\right]\left(1 - sen(\phi)\right)^3 \tag{3.27}$$

$$g_2 = 1 + \left[0.08 + 0.15\left(\frac{a}{t}\right)^2\right]\left(1 - \cos(\phi)\right)^3 \tag{3.28}$$

$$f_w = 1 - 0.2\lambda + 9.4\lambda^2 - 19.4\lambda^3 + 27.1\lambda^4 \qquad \text{Só para } \frac{c}{w} < 0.5 \tag{3.29}$$

onde

$$\lambda = \frac{c}{b}\sqrt{\frac{a}{t}} \tag{3.30}$$

$$Q = 1 + 1.464\left(a/c\right)^{1.65} \quad \text{Para } a/c \le 1 \tag{3.31}$$

$$Q = 1 + 1.464\left(c/a\right)^{1.65} \quad \text{Para } a/c > 1 \tag{3.32}$$

No limite em que $\frac{a}{t}$ se aproxima da unidade, com $\frac{a}{c} = 1$ e $\phi = 0$, o fator de intensidade de tensões se reduz a $K = \sigma\sqrt{\pi c} \cdot 1.11 \cdot f_w$. As Figuras 3.12, 3.14 e 3.16 mostram o comportamento de uma trinca quarto-elíptica para diferentes razões *a*/*c* e diversos valores de razão *a*/*t* para uma razão fixa *c*/*w* = 0.1. Figuras 3.13, 3.15 e 3.17 mostram o comportamento para valores *a*/*c* = 0.2, 0.5,1 e *c*/*w* = 0–1.

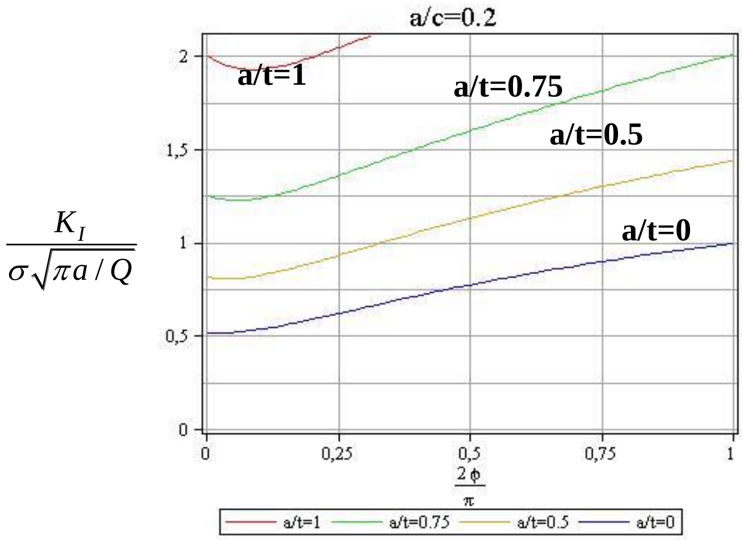


Figura 3.12 - Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca quarto - elíptica ($a/c = 0.2$, $a/t = 1, 0.75, 0.5, 0$, $c/w = 0.1, h/w = 1$)

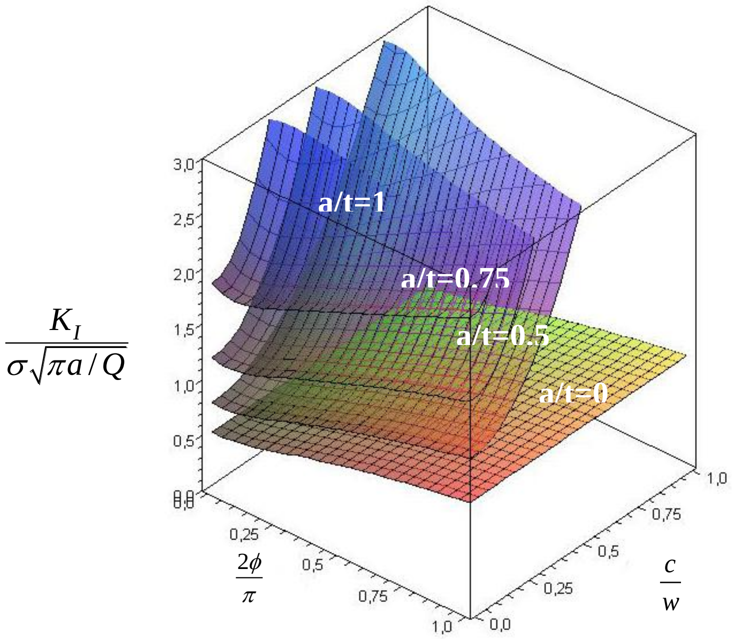


Figura 3.13. Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca para uma trinca quarto – elíptica

($a/c = 0.2$, $a/t = 1, 0.75, 0.5, 0$, $c/w = 0 - 1, h/w = 1$)

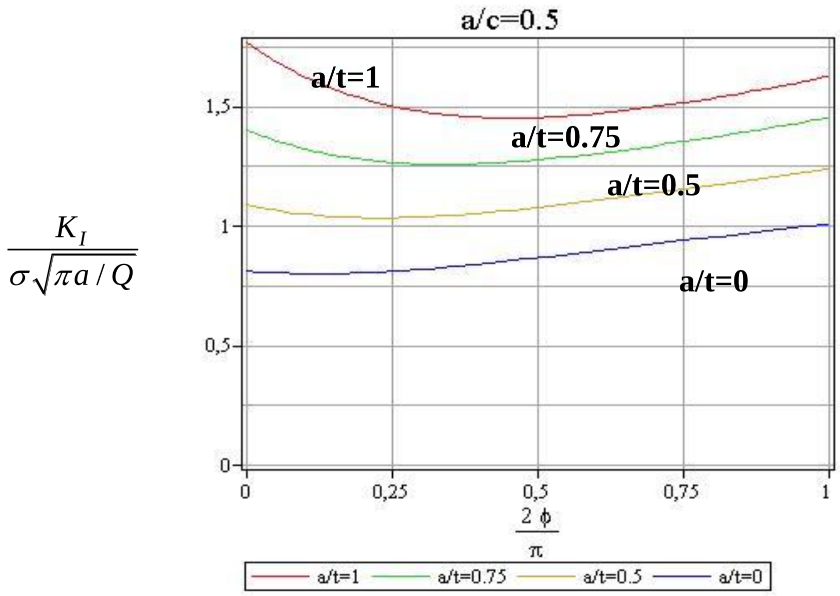


Figura 3.14. Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca quarto-elíptica ($a/c = 0.5$, $a/t = 1, 0.75, 0.5, 0$, $c/w = 0-1, h/w = 1$)

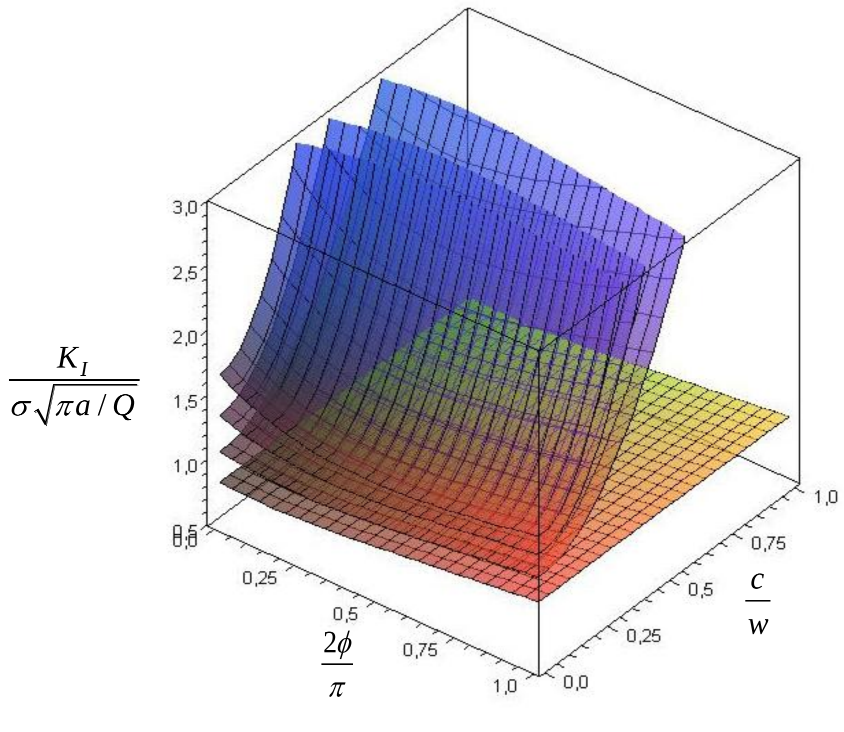


Figura 3.15- Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca para uma trinca quarto elíptica

($a/c = 0.5$, $a/t = 1, 0.75, 0.5, 0$, $c/w = 0-1$, $h/w = 1$)

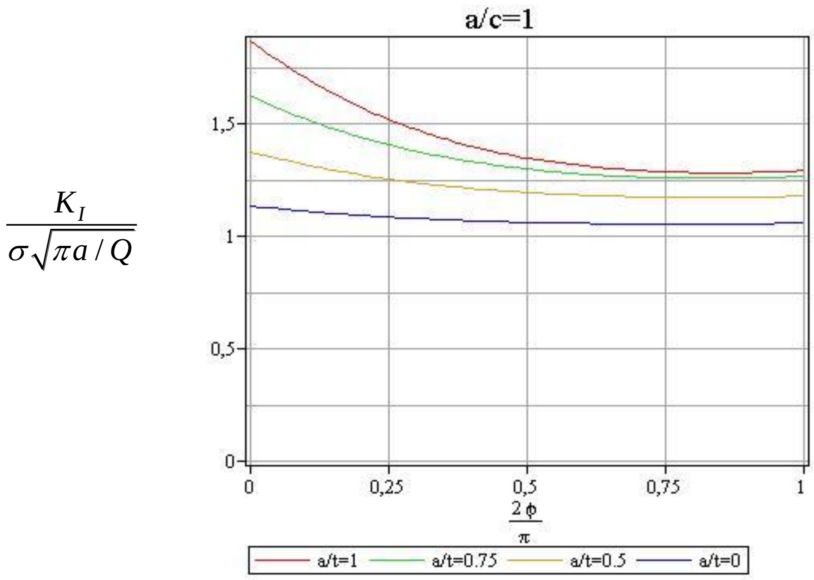


Figura 3.16- Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca para uma trinca quarto elíptica

$(a/c=1,\ a/t=1, 0.75, 0.5, 0,\ c/w=0.1,\ h/w=1)$

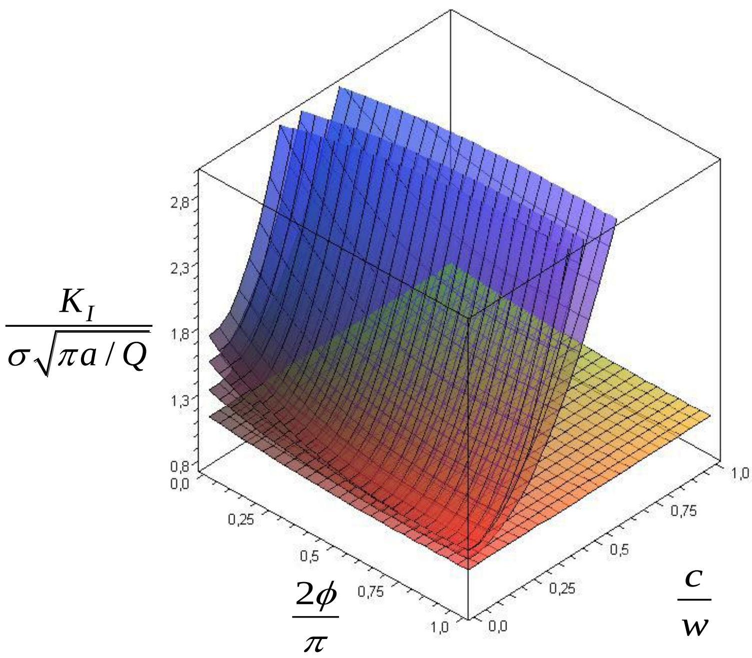


Figura 3.17- Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca para uma trinca quarto elíptica

$(a/c=1,\ a/t=1, 0.75, 0.5, 0,\ c/w=0-1,\ h/w=1)$

A Figura 3.18 mostra uma simulação, onde foi inserida uma trinca virtual bidimensional quarto - elíptica dentro da barra retangular a qual pretende demonstrar a proximidade da modelagem numérica (ABAQUS e FRANC3D) versus as expressões empíricas formuladas por Newman & Raju, a trinca tem comprimento a=c=5[mm], barra retangular com dimensões h=200[mm],w=49[mm],t=10[mm], σ=1[MPa], a/t<1.

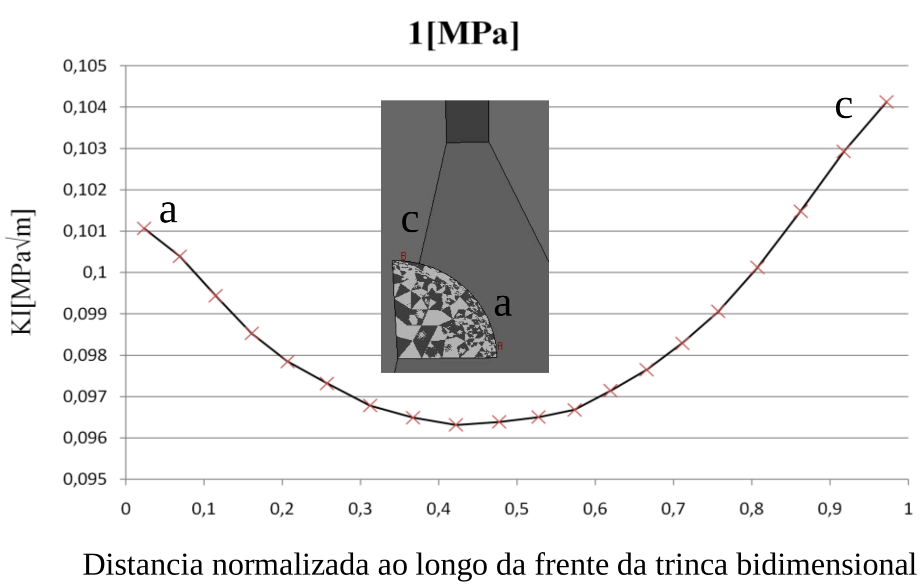


Figura 3.18 - Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca para uma trinca quarto elíptica, a/t≤1.

Os resultados dos fatores de intensidade predominantes $K_I(a)$ e $K_I(c)$ de tensão nos extremos da trinca são mostrados na Tabela 3.2.

Fonte	$K_I(a)$ [Mpa√m]	$K_I(c)$ [Mpa√m]
Newman-Raju	0.11	0.12
FRANC3D	0.10	0.10

Tabela 3.2.- Comparação das expressões analíticas versus os resultados da modelagem pelo FRANC3D para $K_I(a)$ e $K_I(c)$,Trinca Quarto - Elíptica a=c=5[mm], σ=1[MPa], a/t ≤ 1.

3.3.2. Transição de Trincas Quarto-Elípticas, a/t>1

Castro & Meggiolaro (2009) sugerem expressões para calcular os fatores de intensidade de tensão $K_I(c)$ e $K_I(a')$ para taxas *a/ t* >1 usando uma profundidade imaginaria as quais são calculadas em uma placa com seção retangular de largura *w* e espessura t com trinca quarto - elíptica em transição para passante. Largura *c*/*w* < 1 na face dianteira e *c*’ na face oposta (*c*’/*c* < 0.9). Para valores de *c*’/*c* > 0.9, se considera a trinca como passante com profundidade *a*’/*t* > 1 e perpendicular a tensão normal σ (modo I). A variável *c*’ ajuda a determinar o fator de intensidade de tensões $K_I(c')$ o qual influi diretamente no controle da transição da trinca bidimensional para unidimensional. A obtenção experimental dos fatores $K_I(c)$, $K_I(a')$ e $K_I(c')$ ao longo da propagação 2D e transição 2D-1D são o objetivo principal desta dissertação.

A Figura 3.19 mostra as variáveis geométricas usadas nas expressões empíricas.

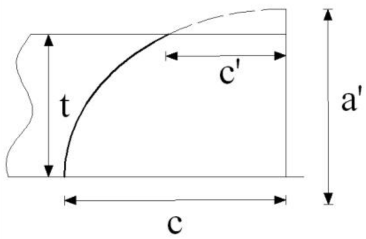


Figura 3.19- Placa retangular com trinca quarto- elíptica em transição para passante, $(c/w<1, a'/t>1)$

$$K_I(a') = \sigma_i \cdot \sqrt{\pi t} \cdot F_q' \cdot \frac{M_q'}{Q'} \cdot G'_{q,a} \tag{3.33}$$

$$K_I(c') = \sigma_i \cdot \sqrt{\pi c} \cdot F_q' \cdot \frac{M_q'}{Q'} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot G'_{q,c} \tag{3.34}$$

$$a' = \frac{t}{\sqrt{1-\left(\frac{c'}{c}\right)^2}} \tag{3.35}$$

$$\lambda = 1.73\left(\frac{c}{1.73t}\right)^{\frac{2.3-a'/t}{1.3}} \tag{3.36}$$

$$F_q' = \sec\left(\frac{\pi c}{2w}\right)\left[0.752 + 2.02\frac{c}{w} + 0.37\left(1 - \sin\left(\frac{\pi c}{2w}\right)\right)^3\right]\sqrt{\frac{2w}{\pi c}\tan\left(\frac{\pi c}{2w}\right)} \qquad (3.37)$$

Para $\lambda \geq 1$

$$M_q' = 0.14 + 0.22\frac{1}{\lambda} + \frac{1.06}{0.3 + \frac{1}{\lambda}} + 14.8\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)^{15} \qquad (3.38)$$

$$G_{q,a}' = 1.23 \qquad (3.39)$$

$$G_{q,c}' = 1.48 \qquad (3.40)$$

$$Q' = 1 + \left(1.464\frac{1}{\lambda}\right)^{1.65} \qquad (3.41)$$

Para $\lambda < 1$

$$M_q' = 1.08\lambda - 0.03\lambda^2 + 0.125\lambda^{2.5} \qquad (3.42)$$

$$G_{q,a}' = 1.08 + 0.15\lambda^2 \qquad (3.43)$$

$$G_{q,c}' = 1.08 + 0.4\lambda^2 \qquad (3.44)$$

$$Q' = 1 + (1.464\lambda)^{1.65} \qquad (3.45)$$

A Figura 3.20 mostra o comportamento de uma trinca quarto - elíptica para diferentes razões $a/t \leq 1$ antes da transição e diversos valores de razão $a/t>1$ no gráfico como *a/t* e *a/t'* respectivamente, mostradas para uma razão fixa c/w = 0.5.

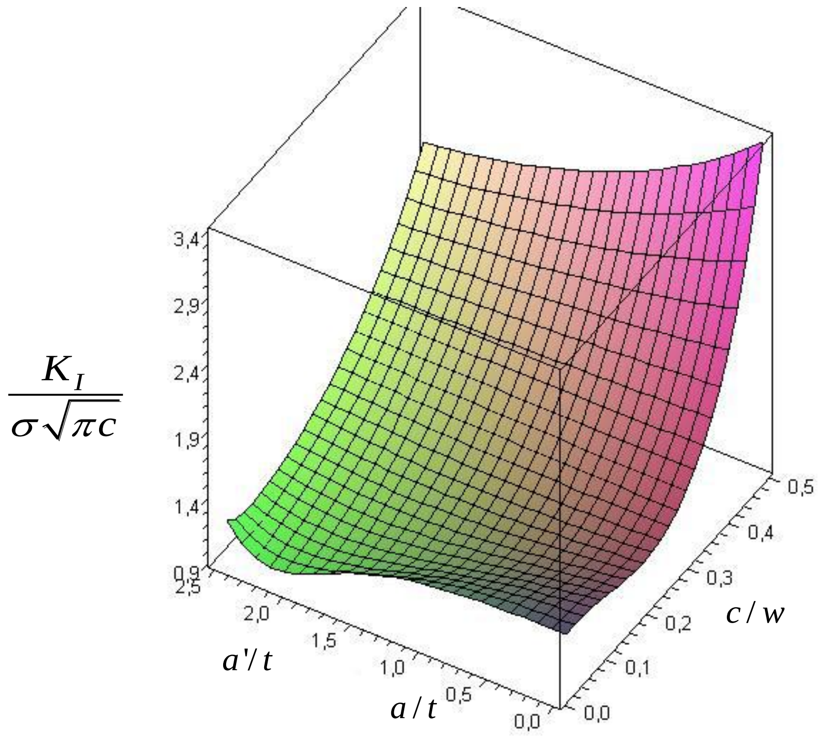


Figura 3.20- Placa com seção retangular com trinca quarto-elíptica em transição para passante, Fator de intensidade de tensões normalizado $K_I(c)/\sigma\sqrt{\pi c}$.

Com a finalidade de comparar as expressões analíticas formuladas por Castro & Meggiolaro versus a modelagem numérica a Figura 3.21 mostra a simulação (ABAQUS e FRANC3D) de uma trinca virtual bidimensional quarto - elíptica em transição, a trinca tem comprimento a'=c=12 [mm], dentro um a barra retangular com dimensões h=200[mm],w=49[mm],t=10[mm], σ=1[MPa], a/t>1. A interseçao da trinca virtual com o modelo fornece diretamente o comprimento c'. Os valores predominantes $K_I(c)$ e $K_I(c')$ são os valores na transição, perceba-se que o valor de $K_I(c')$ e maior do que K_I *(c)* na transição.A parte experimental desta dissertação tem a intenção de demonstrar isso, conhecer o que acontece na transição das trincas bidimensionais para o caso quarto – elíptico, após disso comparar com a parte numérica.

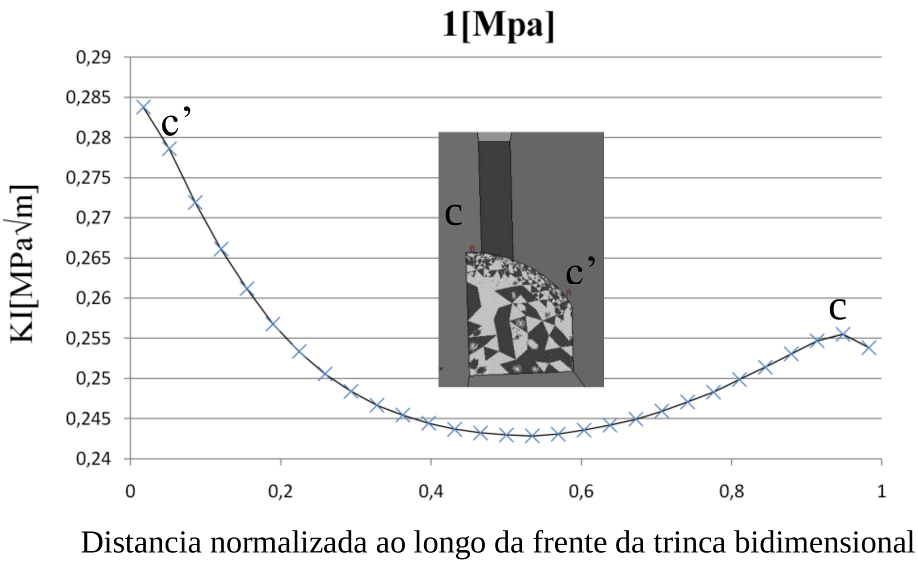


Figura 3.21 - Distribuição do Fator de Intensidade de tensões ao longo da frente da trinca para uma trinca quarto elíptica, *a/t*>1, usando a simulação numérica, FRANC3D.

Os resultados dos fatores de intensidade predominantes $K_I(c)$ e $K_I(c')$ de tensão nos extremos da trinca são mostrados na Tabela 3.4. Perceba-se que não existe um valor $K_I(c')$ que identifique a transição nas expressões formuladas por os autores.

Fonte	$K_I(c)$ [Mpa√m]	$K_I(c')$ [Mpa√m]
Castro & Meggiolaro	0.27	-
FRANC3D	0.25	0.28

Tabela 3.3.- Comparação das expressões analíticas versus os resultados da modelagem pelo FRANC3D para $K_I(c')$ e $K_I(c)$,Trinca Quarto - Elíptica a=c=12[mm], σ=1[MPa], a/t > 1.