

6. Cálculo e Validação de Previsões de Integridade Estrutural de Placas Trincadas por Vários Métodos de FFS

Este capítulo descreve as previsões feitas para uma estrutura tipo placa com uma trinca superficial segundo as principais normas FFS já mencionadas; mostra uma comparação entre cada nível de avaliação de cada procedimento aplicado, e finalmente coteja as previsões com os resultados medidos em testes experimentais para avaliar o conservadorismo de cada procedimento.

6.1. Previsões das Normas FFS

Previsões considerando os três níveis de análise foram desenvolvidos para os seguintes procedimentos :

- BS 7910:2005
- API 579-1/ASME FFS-1
- SAQ 2008:01
- SINTAP

6.1.1. Estrutura analisada

A estrutura analisada é uma placa retangular com uma trinca superficial aproximadamente semi-elíptica, como mostrado na Figura 6.1.

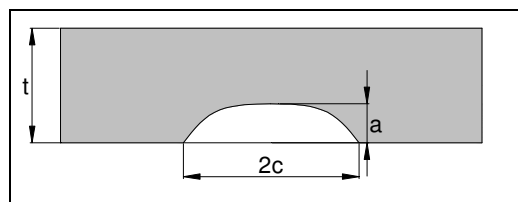


Figura 6.1 – Defeito considerado na placa.

Foram seguidos fielmente os passos de cada um dos procedimentos normalizados de FFS com o objetivo de compará-los e de avaliar o seu nível de conservadorismo frente a resultados medidos em ensaios feitos em componentes reais. Nas várias previsões de FFS foram usados os dados de tenacidade medidos com os níveis de restrição plástica já mencionados anteriormente, calculadas as coordenadas (L_r , K_r) para as quais a estrutura trincada deveria encontrar-se na

situação crítica (sobre a curva FAD), e por fim a carga que deveria causar a falha das placas, para assim poder avaliar o procedimento mais adequado para elas.

Os cálculos foram feitos para placas com espessuras de 8, 10 e 12mm. Os tamanhos dos defeitos nas previsões são tomados das pre-trincas feitas nas placas, com o objetivo de prever a carga de falha de cada uma. A tabela 6.1 mostra as dimensões do defeito para cada uma das 5 placas testadas.

Placa	Espessura t (mm)	Entalhe Inicial		Defeito Final	
		2c (mm)	a (mm)	2c (mm)	a (mm)
A08-01	8	32	2,5	36,3	4,5
A08-02	8	32,5	2,7	60	6
A10-01	10	33	3,28	38,2	5,9
A12-01	12	36,5	4,6	43,5	6,2
A12-02	12	36,6	4,5	43	5,8

Tabela 6.1 – Dimensões dos defeitos nas placas avaliadas.

As previsões foram feitas considerando os diferentes níveis de avaliação dos procedimentos de FFS, como apresentado a seguir :

- BS 7910 : Níveis 1, 2 e 3; curvas FAD A e B
- API 579 : Níveis 2 e 3; curvas FAD A e B
- SAQ : Nível único
- SINTAP : Níveis 0, 1, 3 e 5; curvas FAD A e B

Na estrutura considerada (placa tracionada com trinca superficial semi-elíptica) o tipo de fratura depende de dois parâmetros geométricos, a profundidade da trinca (2a) e o seu comprimento (2c). A seguir será apresentado como exemplo de previsão o cálculo segundo a norma BS 7910 para a placa A12-01.

6.1.2. Avaliação Nível 1

Para calcular a razão de colapso plástico é necessário calcular a tensão de referência (σ_{ref}), a qual para placas com uma trinca superficial semi-elíptica segundo a BS 7910 é dada por :

$$\sigma_{ref} = \frac{P_b + \sqrt{P_b^2 + 9P_m^2 (1-\alpha)^2}}{3(1-\alpha)^2} \quad (6.1)$$

onde P_b , a tensão primária devido à flexão é nula ($P_b = 0$) e α é definido por :

$$\alpha = \frac{a/t}{1 + t/c} \quad (6.2)$$

Considera-se inicialmente uma tensão primária de membrana $P_m = 200$ MPa

$$\sigma_{\text{ref}} = 300 \text{ MPa} \quad (6.3)$$

$$S_f = \frac{S_y + S_u}{2} = 429,7 \text{ MPa} \quad (6.4)$$

Finalmente a razão de colapso plástico para nível 1 é calculada por:

$$S_r = \frac{\sigma_{\text{ref}}}{S_f} = 0,698 \quad (6.5)$$

Para o cálculo de K_I é necessário calcular a tensão máxima de tração :

$$\sigma_{\text{max}} = k_{tm} P_m + k_{tb} [P_b + (k_m - 1) P_m] + Q \quad (6.6)$$

onde $k_{tm} = k_{tb} = 1$, pois não há concentradores de tensão associados à tensão de membrana ou à tensão de flexão, e $k_m = 1$, pois não há na placa tensões induzidas por desalinhamentos.

$$\sigma_{\text{max}} = 200 \text{ MPa} \quad (6.7)$$

O fator de intensidade de tensão é definido segundo a equação 6.8:

$$K_I = (Y\sigma) \sqrt{\pi a} \quad (6.8)$$

$$Y\sigma = M f_w M_m \sigma_{\text{max}} \quad (6.9)$$

onde $M = 1$ e

$$f_w = \sqrt{\sec \left[\left(\frac{\pi c}{2W} \right) \left(\frac{a}{t} \right)^{1/2} \right]} \quad (6.10)$$

$$M_m = \left\{ M_1 + M_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right\} \frac{g f_\theta}{\Phi} \quad (6.11)$$

onde:

$$M_1 = 1,13 - 0,09 \left(\frac{a}{c} \right) \quad (6.12)$$

$$M_2 = \left[\frac{0,89}{0,2 + a/c} \right] - 0,54 \quad (6.13)$$

$$M_3 = 0,5 \cdot \frac{1}{0,65 + a/c} + 14 \left(1 - a/c\right)^{24} \quad (6.14)$$

$$g = 1 + \left\{0,1 + 0,35 \left(a/t\right)^2\right\} (1 - \sin\theta)^2 \quad (6.15)$$

$$f_0 = \left\{\left(a/c\right)^2 \cos^2\theta + \sin^2\theta\right\}^{0,25} \quad (6.16)$$

$$\Phi = \left\{1 + 1,464 \left(a/c\right)^{1,65}\right\}^{0,5} \quad (6.17)$$

Finalmente:

$$M_m = 1,3 \quad (6.18)$$

$$f_w = 1,06 \quad (6.19)$$

$$(Y\sigma) = 275,8 \quad (6.20)$$

$$K_I = 38,5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (6.21)$$

A razão de intensidade K_r é dada por :

$$K_r = \frac{K_I}{K_{\text{mat}}} = \frac{K_I}{K_{J_{IC}}} \quad (6.22)$$

Segundo o procedimento do nível 1, a tenacidade é estimada de acordo ao anexo J, seguindo a seguinte expressão :

$$K_{\text{mat}} = \left[\left(12\sqrt{C_v} - 20\right) \left(25/B\right)^{0,25} \right] + 20 \quad (6.23)$$

Onde:

K_{mat} é a tenacidade estimada do material

$B=15 \text{ mm}$ é a espessura do material

$C_v=41 \text{ Joules}$ [58] é o limite inferior da energia de impacto Charpy à temperatura desejada. Considerando a medida de tenacidade prevista $K_{\text{mat}}= 85 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, tem-se o par (S_r ; K_r) plotado no FAD nível 1.

Na Figura 6.2 pode-se notar que para a geometria avaliada e para as tensões e resistências consideradas acima, os doze pares (S_r , K_r) confundem-se em um só já que foi considerada uma medida única de tenacidade para todos eles.

Eles encontram-se ainda na região segura do diagrama. Já a Figura 6.3 mostra os pontos avaliados na transição da região segura para a insegura, ou seja na região onde o componente deveria falhar. A tensão de membrana primária (que deveria segundo este método de FFS causar a falha da placa com uma trinca superficial quando solicitada por uma tensão uniaxial uniforme) calculada nesse caso foi de $P_m = 230$ MPa. É desta forma que serão calculadas as tensões de falha do componente para cada nível de de cada norma a ser estudada.

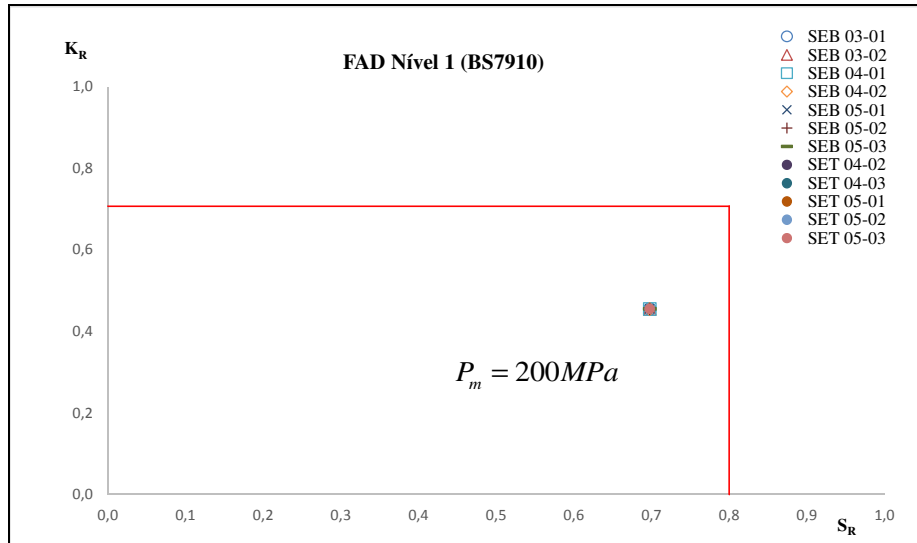


Figura 6.2 – Diagrama Nível 1 (200MPa).

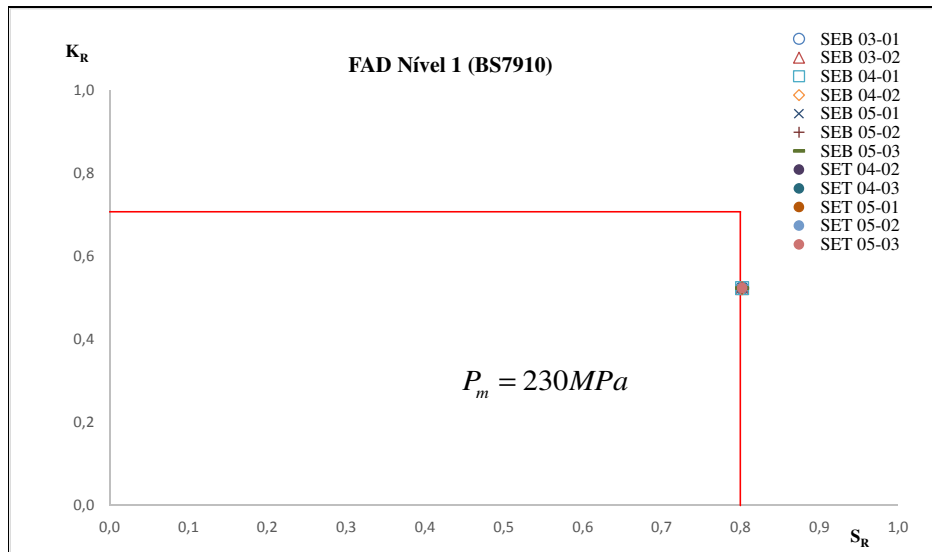


Figura 6.3 – Diagrama Nível 1.

Deve ser mencionada também uma particularidade na análise nível 1 do nosso exemplo. A medida da tenacidade usada nas previsões nível 1 é prevista

segundo a expressão (6.23) , não foram usadas as medidas de tenacidade resultantes dos testes de tenacidade (Tabelas 5.3 e 5.4) devido ao fato deste nível ser o mais conservativo, e de rápida aplicação, o que em teoria não deveria requerer um teste de tenacidade para avaliar a criticidade dos pontos. Porém, em nosso caso não existe uma sensibilidade da tensão de falha à tenacidade. Isto pode ser devido ao formato da curva FAD nível 1 (reto vertical) e à área onde encontram-se os pontos de análise, claramente mais afetados pelo mecanismo de colapso plástico do que a fratura. A figura 6.4 mostra os pontos avaliados no diagrama Nível 1 considerando as tenacidades calculadas, pode ser notada a mesma tensão crítica, porém os pontos ficam na parte inferior do diagrama devido à maior tenacidade calculada nos testes.

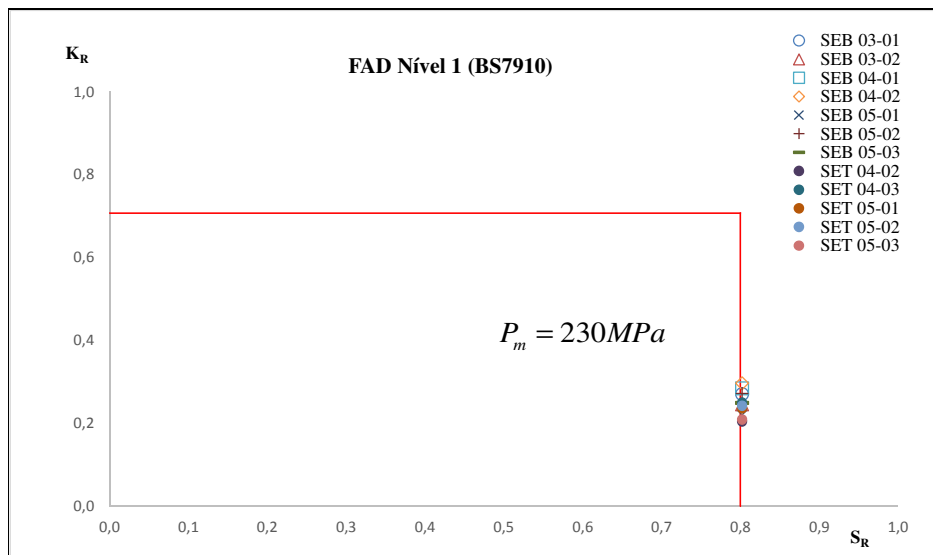


Figura 6.4 – Diagrama Nível 1.

6.1.3. Avaliação Nível 2

A Figura 6.5 mostra os dois diagramas FAD (A e B) considerados no nível 2 da BS 7910. O primeiro é um FAD geral, que segue a seguinte expressão :

$$K_r \text{ ou } \sqrt{\delta_r} = (1 - 0,14L_r^2) \left[0,3 + 0,7 \exp(-0,65L_r^6) \right], L_r \leq L_{r\max} \quad (6.24)$$

Já o segundo diagrama é desenvolvido a partir da curva σ - ϵ do material, seguindo a seguinte expressão :

$$K_r \text{ ou } \sqrt{\delta_r} = \left(\frac{E\epsilon_{\text{ref}}}{L_r S_y} + \frac{L_r^3 S_y}{2E\epsilon_{\text{ref}}} \right)^{-0,5}, L_r \leq L_{r\max} \quad (6.25)$$

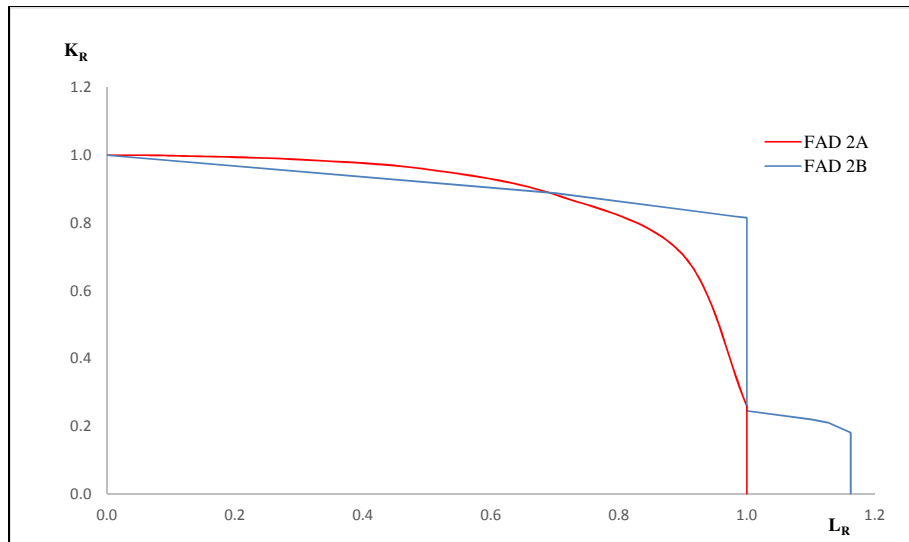


Figura 6.5 – Diagrama FAD Nível 2A e B.

As tensões consideradas (P_m , P_b e σ_{ref}) são calculadas da mesma forma que no nível 1, e a razão de colapso plástico é definida como segue:

$$L_r = \frac{\sigma_{ref}}{S_y} = 0,811 \quad (6.26)$$

Segundo o procedimento usado nas previsões nível 2, a razão de fator de intensidade de tensão K_r é calculada por:

$$K_r = \frac{K_I}{K_{mat}} + \rho \quad (6.27)$$

O cálculo de K_I é feito segundo a equação 6.28:

$$K_I = \left[(Y\sigma)_p + (Y\sigma)_s \right] \sqrt{\pi a} \quad (6.28)$$

$$(Y\sigma)_p = Mf_w \left[k_{tm} M_{km} M_m P_m + k_{tb} M_{kb} M_b \{ P_b + (k_m - 1) P_m \} \right] \quad (6.29)$$

Onde $M = 1$; $M_{km} = M_{kb} = 1$, devido à trinca não se encontrar perto do pé da solda; $k_{tm} = k_{tb} = 1$, devido a não existirem concentradores de tensão associados à tensão de membrana ou de flexão; e $k_m = 1$, devido a não existirem tensões causadas por desalinhamentos. M_m e f_w são fatores que dependem unicamente da geometria do equipamento e do defeito, portanto os valores são os mesmos usados no nível 1. Igualmente para $(Y\sigma)_s$ tem-se a seguinte expressão :

$$(Y\sigma)_s = M_m Q_m + M_b Q_b = 0 \quad (6.30)$$

Onde $Q_b = Q_m = 0$. Então, o valor de K_I é dado por:

$$K_I = \left[(Y\sigma)_p + (Y\sigma)_s \right] \sqrt{\pi a} = 38,5 \text{MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (6.31)$$

O fator de correção plástica é calculado de acordo ao Anexo R da norma BS7910 seguindo o procedimento já indicado no exemplo inicial, então tem-se:

$$K_I^s = (Y\sigma)_s \sqrt{\pi a} = 0 \text{MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (6.32)$$

$$\frac{K_I^p}{L_r} = \frac{(Y\sigma)_p \sqrt{\pi a}}{L_r} = 38,29 \text{MPa}\sqrt{\text{m}} \quad (6.33)$$

$$\frac{K_I^s}{K_I^p / L_r} = 0 = \chi \quad (6.34)$$

$$\rho_1 = 0.1\chi^{0.714} - 0.007\chi^2 + 3.10^{-5}\chi^5 = 0 \quad (6.35)$$

$$\rho = 0 \quad (6.36)$$

Finalmente, a razão de intensidade K_r é dada por :

$$K_r = \frac{K_I}{K_{mat}} + \rho = \frac{K_I}{K_{J_{IC}}} \quad (6.37)$$

Considerando as diferentes medidas de tenacidade e diferentes tamanhos de trinca e CPs tem-se doze pares $(L_r; K_r)$ plotados nos FADs nível 2.

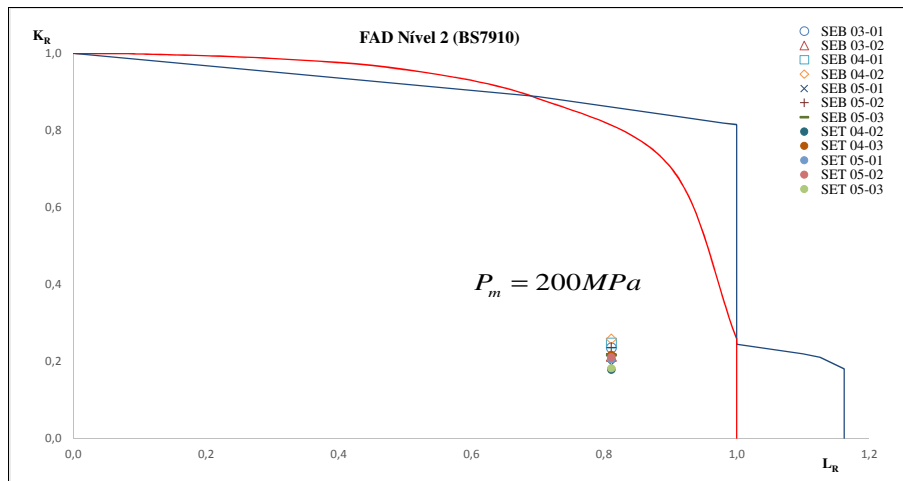


Figura 6.6 – Diagrama Nível 2 (200MPa).

Da Figura 6.6 pode-se notar que os pontos encontram-se na região segura do diagrama. Analogamente ao mostrado no nível 1, a Figura 6.7 mostra os pontos na área de transição, onde a tensão de falha prevista segundo os procedimentos de cálculo do nível 2A foi de $P_m = 247 \text{MPa}$.

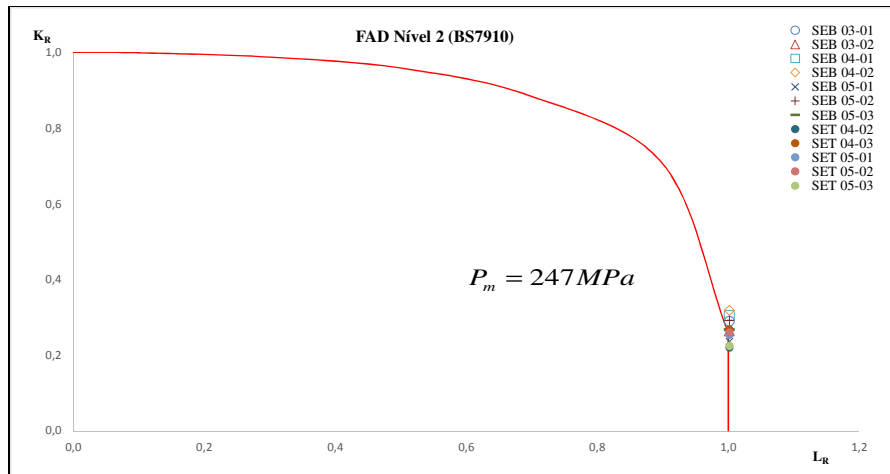


Figura 6.7 – Diagrama Nível 2A.

Pode ser notado também na Figura 6.8 o ponto de tensão onde segundo o Nível 2B aconteceria a falha (considerando o maior valor de tensão entre todos os dados considerados).

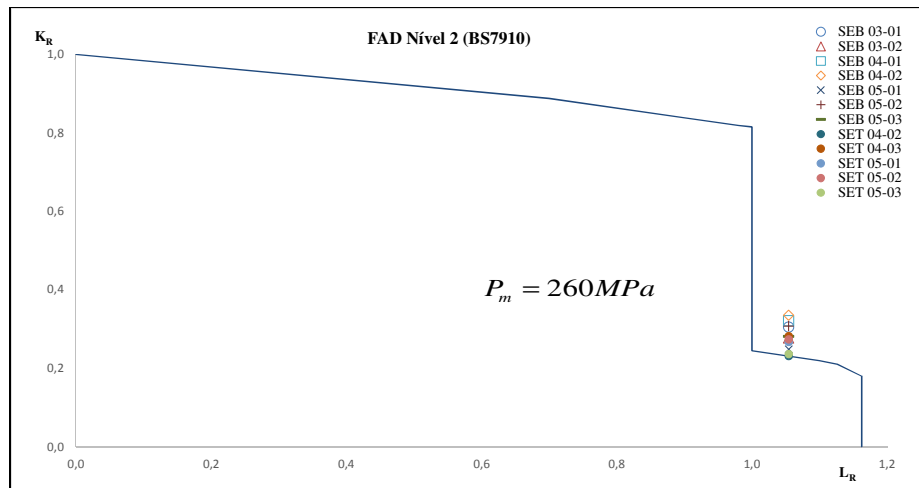


Figura 6.8 – Diagrama Nível 2B.

6.1.4. Avaliação Nível 3

Foram considerados os níveis 3A (curva FAD A) e 3B (curva FAD B) da mesma forma que no nível 2, mas considerando o rasgamento dúctil utilizando como propriedade a curva J_R calculada nos ensaios de tenacidade. As propriedades a considerar são as mesmas medidas nos testes de tração e de tenacidade, e os dados de entrada são os considerados no nível 2. A Figura 6.9 mostra os lugares geométricos dos pares (L_r, K_r) a serem considerados no

diagrama, a maior tensão que faz todos os diagramas ficarem na zona insegura é de 242 MPa para o nível 3A.

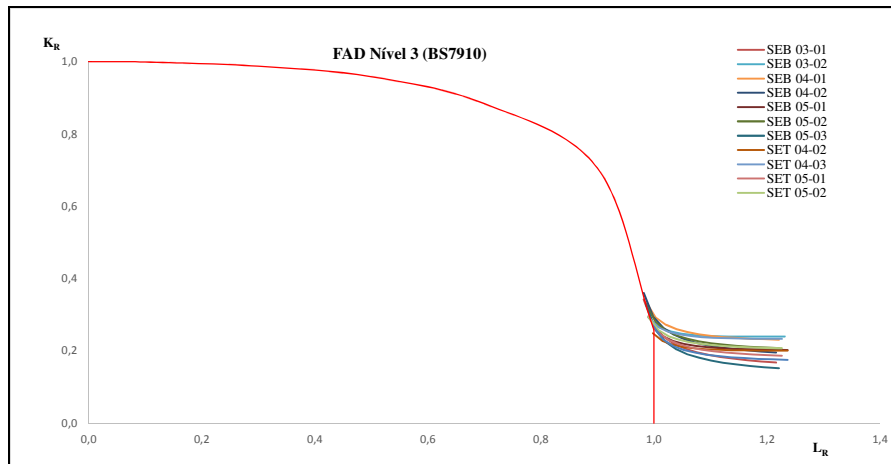


Figura 6.9 – Diagrama Nível 3.

Analogamente na Figura 6.10 são mostrados os lugares geométricos dos pares (L_R, K_R) no diagrama 3B, dessa vez a tensão de transição foi de 258 MPa.

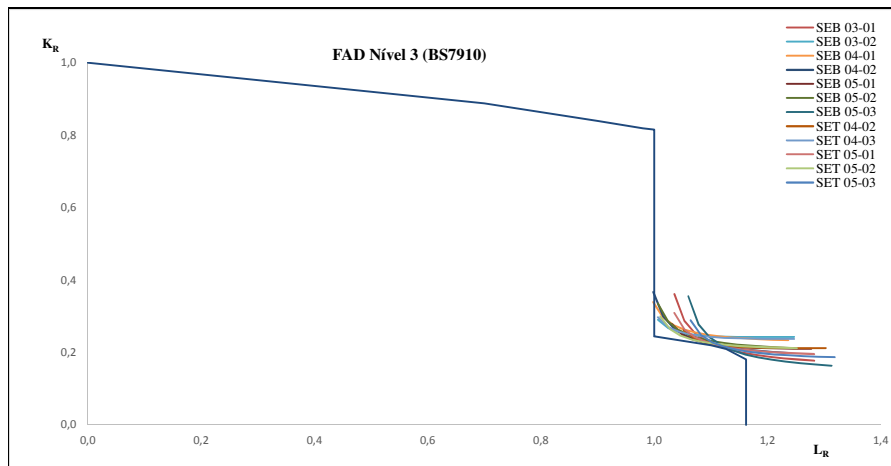


Figura 6.10 – Diagrama Nível 3B.

6.1.5. Resultados e Comparações

Na tabela 6.2 são mostrados os resultados da análise da placa A12-01 para as normas BS 7910 e SINTAP, as quais são as únicas que fornecem um nível 1 com análise FAD. Pode ser notada uma diferença de cerca de 7% nas previsões dos dois procedimentos.

Placa A12-01	
Tensão de Falha (MPa) -Nível 1	
BS 7910	230
SINTAP	247
% Δ máx	7,4

Tabela 6.2 – Tensões críticas no nível 1 – Placa A12-01.

A tabela 6.3 mostra os resultados da análise em nível 1 para 5 placas. A placa A10-02 não foi considerada na análise por ter apresentado uma deformação plástica considerável no pré-trincamento, a qual invalidaria as previsões. Pode ser notado nesta tabela uma diferença aproximada de 7% entre as normas BS 7910 e SINTAP para as placas consideradas.

Tensão de Falha (MPa) - Nível 1					
	Placa A08-01	Placa A08-02	Placa A10-01	Placa A12-01	Placa A12-02
BS 7910	210	141	211	230	237
SINTAP	226	151	226	247	255
% Δ máx	7,6	7,1	7,1	7,4	7,6

Tabela 6.3 – Tensões críticas no nível 1.

Na tabela 6.4 são apresentadas as previsões para o nível 2A da placa A12-01 nos principais procedimentos. Observa-se uma previsão parecida entre as normas BS7910, API 579 e SINTAP, já a SAQ apresenta um valor menos conservativo, o que gera uma diferença máxima entre o maior e menor valor previsto de 26,7%.

Placa A12-01	
Tensão de Falha (MPa)- Nível 2A	
BS 7910	247
API 579	247
SAQ	313
SINTAP	258
% Δ máx	26,7

Tabela 6.4 – Tensões críticas no nível 2A – Placa A12-01.

A tabela 6.5 mostra os resultados da análise em nível 2A para as placas avaliadas. Pode ser notada uma diferença considerável entre o procedimento SAQ e os outros. Essa diferença mostra o menor conservadorismo deste procedimento em relação aos outros para esse nível de avaliação. As diferenças encontram-se na faixa de 23% até 67%.

Tensão de Falha (MPa) - Nível 2A					
	Placa A08-01	Placa A08-02	Placa A10-01	Placa A12-01	Placa A12-02
BS 7910	225	151	227	247	255
API 579	226	151	227	247	255
SAQ	300	252	300	313	315
SINTAP	240	162	238	258	265
% Δ máx	33,3	66,9	32,2	26,7	23,5

Tabela 6.5 – Tensões críticas no nível 2A.

A tabela 6.6 mostra as previsões no nível 2B para a placa A12-01, observa-se uma ligeira diferença entre a previsão da norma SINTAP e as outras, o que gera uma diferença de 6,2%.

Placa A12-01	
Tensão de Falha (MPa) - Nível 2B	
BS 7910	260
API 579	260
SINTAP	276
% Δ	6,2

Tabela 6.6 – Tensões críticas no nível 2B-Placa A12-01.

A tabela 6.7 mostra os resultados da análise em nível 2B. Pode ser notada uma diferença maior na placa A08-02 da ordem de 8,6%.

Tensão de Falha (MPa) - Nível 2B					
	Placa A08-01	Placa A08-02	Placa A10-01	Placa A12-01	Placa A12-02
BS 7910	255	164	250	260	270
API 579	255	162	248	260	270
SINTAP	260	176	257	276	280
% Δ	2,0	8,6	3,6	6,2	3,7

Tabela 6.7 – Tensões críticas no nível 2B.

A tabela 6.8 apresenta as previsões do nível 3A da placa A12-01, onde pode ser observado que quase não existe diferença entre as previsões dos três procedimentos avaliados, uma diferença de apenas 1,7% foi encontrada.

Placa A12-01	
Tensão de Falha (MPa) - Nível 3A	
BS 7910	242
API 579	243
SINTAP	246
% Δ máx	1,7

Tabela 6.8 – Tensões críticas no nível 3A-Placa A12-01.

A tabela 6.9 mostra as previsões do nível 3A. Nota-se uma pequena diferença entre as previsões dos procedimentos avaliados, sendo que a máxima foi de 5,6%.

Tensão de Falha (MPa) - Nível 3A					
	Placa A08-01	Placa A08-02	Placa A10-01	Placa A12-01	Placa A12-02
BS 7910	220	144	222	242	251
API 579	220	144	222	243	251
SINTAP	229	152	227	246	257
% Δ máx	4,1	5,6	2,3	1,7	2,4

Tabela 6.9 – Tensões críticas no nível 3A.

Analogamente nas previsões do nível 3B da placa A12-01, foi encontrada uma diferença máxima de 3,9%

Placa A12-01	
Tensão de Falha (MPa) - Nível 3B	
BS 7910	258
API 579	262
SINTAP	268
% Δ máx	3,9

Tabela 6.10 – Tensões críticas no nível 3B-Placa A12-01.

A tabela 6.11 mostra as previsões de carga de falha em nível 3B, que apresentam uma diferença máxima de 9,3% para a placa A08-02.

Tensão de Falha (MPa) - Nível 3B					
	Placa A08-01	Placa A08-02	Placa A10-01	Placa A12-01	Placa A12-02
BS 7910	242	150	240	258	268
API 579	242	154	241	262	271
SINTAP	247	164	247	268	276
% Δ máx	2,1	9,3	2,9	3,9	3,0

Tabela 6.11 – Tensões críticas no nível 3B.

6.1.6. Comentários ao respeito das comparações

- O nível 1 das normas BS7910 e SINTAP apresentou as menores previsões e o nível único da SAQ mostrou os maiores valores de tensão.
- As previsões dos procedimentos BS7910, API 579 e SINTAP são bem próximas, observou-se diferenças menores a 10%.
- Existe pouca diferença entre as previsões dos níveis 2 e 3, isto pode ser explicado pelo fato de ambos os procedimentos usarem as propriedades da

curva J_R , a qual é recomendada para se aplicar diretamente no nível 3. A alta tenacidade do material testado pode ser outro motivo devido à região onde são plotados os pontos no diagrama FAD.

- Também é observada uma pouca sensibilidade da restrição à deformação plástica nas previsões das diferentes medidas de tenacidade, isso pode ser devido à alta ductilidade do material testado.

6.2. Testes Estruturais de Validação

Com o objetivo de validar as previsões das normas e de avaliar o conservadorismo destes procedimentos, foram usinadas e testadas placas com um defeito central. Essas placas inicialmente foram usinadas sem defeito, como mostrado na Figura 6.11. A redução na área central foi feita com o objetivo de evitar que rompessem em seções diferentes da seção trincada, o que invalidaria o ensaio. Foram usinadas 6 placas idênticas com diferentes espessuras e em grupos de 2, como mostrado na tabela 6.12.

Placa	t (mm)
A08-01	8
A08-02	8
A10-01	10
A10-02	10
A12-01	12
A12-02	12

Tabela 6.12 – Nomenclatura das placas.

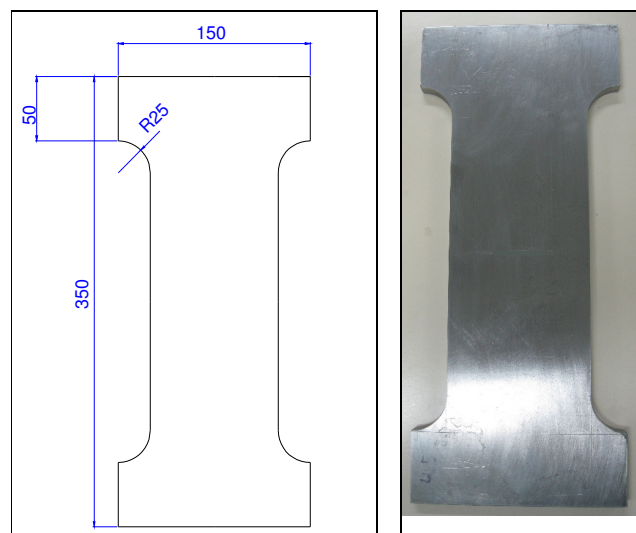


Figura 6.11 – Usinagem das placas, dimensões em mm.

Após a usinagem foi introduzido um entalhe central, como mostrado na Figura 6.12, para induzir o trincamento e ruptura nessa área. As dimensões nominais do entalhe são mostradas na tabela 6.1.

Após o entalhe central foi feita a pré-trinca por fadiga das placas. Esse procedimento foi feito em flexão de quatro pontos numa máquina INSTRON 8501 com capacidade de 100 kN, no laboratório de fadiga da PUC-Rio. A Figura 6.13 mostra uma imagem da máquina usada e da placa montada no equipamento de flexão.



Figura 6.12 – Placas com entalhe central .



Figura 6.13 – Máquina e equipamentos usados no pré-trincado.

O pré-trincamento foi controlado pela variação do fator de intensidade de tensão, segundo [22] para a geometria e o tipo de carregamento (flexão) analisada, a expressão é a seguinte:

$$\Delta K_{I,a} = \frac{3\Delta M}{wt^2} \sqrt{\pi a} \cdot H_{s,a} \cdot F_s \cdot \frac{M_s}{\sqrt{Q}} \quad (\text{na profundidade})$$

$$\Delta K_{I,a} = \frac{3\Delta M}{wt^2} \sqrt{\pi c} \cdot H_{s,c} \cdot F_s \cdot \frac{M_s}{\sqrt{Q}} \cdot \frac{a}{c} \quad (\text{na largura})$$

Onde ΔM é a variação do momento fletor aplicado, a e c representam o tamanho do defeito, $2w$ é a largura do CP e t é a espessura. H , F , M e Q são fatores que dependem da geometria do CP e do defeito. A Figura 6.14 mostra um detalhe da placa entalhada na base de flexão.



Figura 6.14– Detalhe da placa entalhada.

A Figura 6.15 mostra o entalhe usinado na placa A12-01 e sua pré-trinca de fadiga. Note a forma aproximadamente semielíptica igual à considerada nas previsões. As pré-trincas puderam ser visualizadas somente após a quebra das placas.



Figura 6.15 – Pré-trinca aproximadamente semielíptica placa A12-01.

Após o pré-trincado, as placas foram tracionadas até a falha, a qual foi considerada no momento do defeito se tornar passante. A máquina usada para tracionar os CPs de 8 e 10 mm de espessura foi uma Instron 8504 com capacidade de 500 kN. Para as placas de 12 mm de espessura foi usada uma máquina Amsler com capacidade de 1000 kN. A Figura 6.16 mostra a montagem das placas nas

duas máquinas. Os ensaios foram feitos sob controle de deslocamento do pistão, com uma taxa de 0,025 mm/s até a abertura do defeito central. A Figura 6.17 mostra uma sequência do teste da placa A12-01 desde o início do carregamento até a abertura do defeito.



Figura 6.16 – Montagem do ensaio nas duas máquinas.



Figura 6.17 – Início e fim do teste – Placa A12-01.

A seguir serão relatados os resultados dos testes de laboratório e comparadas as tensões de falha com as tensões previstas nos procedimentos FFS. Também será calculado o Fator de Segurança (F.S.) de cada procedimento de previsão para assim avaliar os mais e menos conservativos.

6.2.1.Placa A12-01

A Figura 6.18 mostra o gráfico tensão vs deformação da placa A12-01, a abertura do defeito central aconteceu na tensão de 411.3 MPa como mostrado.

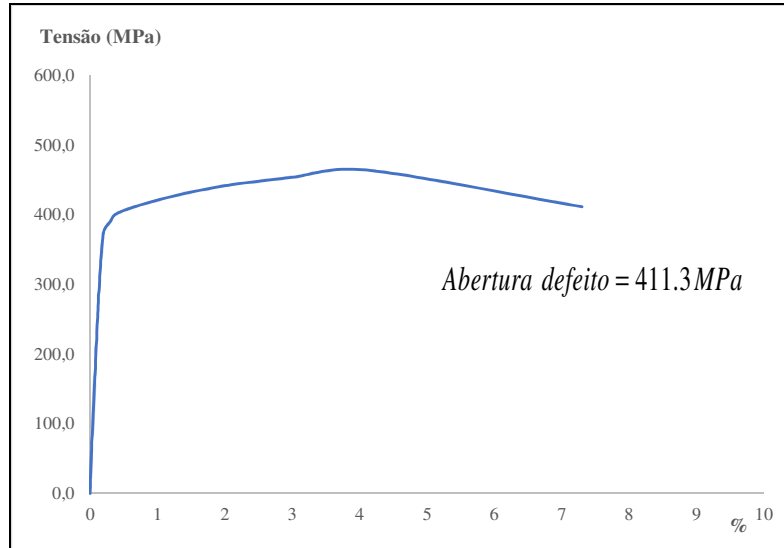


Figura 6.18– Tensão vs. deformação – Placa A12-01.

A tabela 6.13 mostra as tensões de falha (T.F.) prevista pelos diferentes níveis dos procedimentos avaliados e os fatores de segurança (F.S.) em relação à tensão de falha real, medida no teste, para a placa A12-01. A Figura 6.19 grafica os F.S. de cada procedimento. Nota-se ua diminuição do conservadorismo ao auentar o nível de avaliação.

	Nível 1		Nível 2A		Nível 2B		Nível 3A		Nível 3B	
	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.
Real	411,3	--	411,3	--	411,3	--	411,3	--	411,3	--
BS 7910	230	1,79	247,0	1,66	260,0	1,58	242,0	1,70	258,0	1,59
API 579	-	--	247,0	1,66	260,0	1,58	243,0	1,69	262,0	1,57
SAQ	-	--	313,0	1,31	-	--	-	--	-	--
SINTAP	247	1,66	258,0	1,59	276,0	1,49	246,0	1,67	268,0	1,53

Tabela 6.13 – Tensões de falha e F.S. previstos para a placa A12-01.

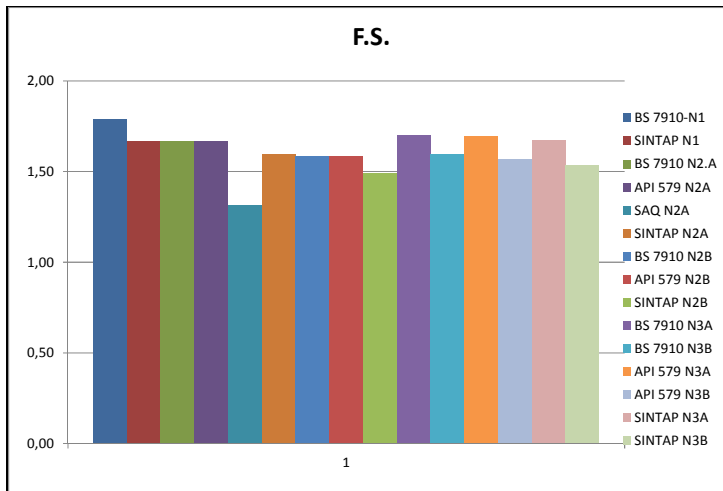


Figura 6.19 – F.S. da Placa A12-01.

6.2.2.Placa A08-01

A tabela 6.14 mostra as tensões de falha real, as tensões previstas e os F.S. para a placa A08-01. A Figura 6.20 mostra os F.S. dos diferentes níveis avaliados.

	Nível 1		Nível 2A		Nível 2B		Nível 3A		Nível 3B	
	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.
Real	436,7	--	436,7	--	436,7	--	436,7	--	436,7	--
BS 7910	210	2,08	225	1,94	255	1,71	220	1,98	242	1,80
API 579	-	--	226	1,93	255	1,71	220	1,98	242	1,80
SAQ	-	--	300	1,46	-	--	-	--	-	--
SINTAP	226	1,93	240	1,82	260	1,68	229	1,91	247	1,77

Tabela 6.14 – Tensões de falha e F.S. previstos para a placa A08-01.

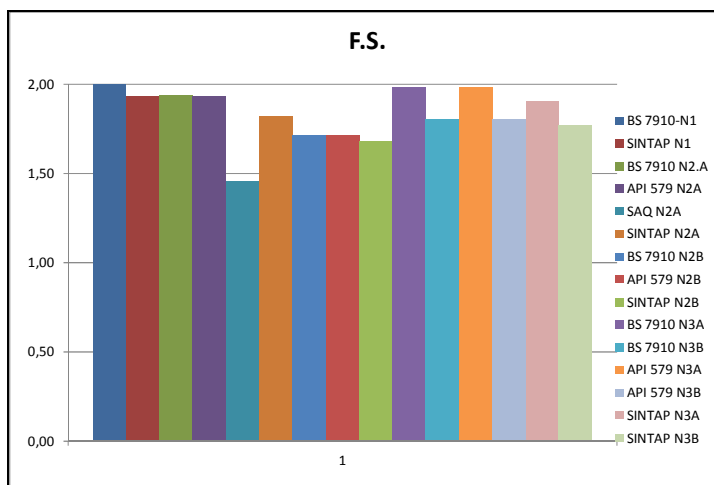


Figura 6.20 – F.S. da Placa A08-01.

6.2.3.Placa A08-02

A tabela 6.15 apresenta as tensões de falha real, as tensões previstas e os F.S. para a placa A08-02. A Figura 6.21 mostra os F.S. dos diferentes níveis avaliados.

	Nível 1		Nível 2A		Nível 2B		Nível 3A		Nível 3B	
	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.
Real	397,7	--	397,7	--	397,7	--	397,7	--	397,7	--
BS 7910	141	2,82	151	2,63	164	2,43	144	2,76	150	2,65
API 579	-	--	151	2,63	162	2,46	144	2,76	154	2,58
SAQ	-	--	252	1,58	-	--	-	--	-	--
SINTAP	151	2,63	162	2,46	176	2,26	152	2,62	164	2,43

Tabela 6.15 – Tensões de falha e F.S. previstos para a placa A08-02.

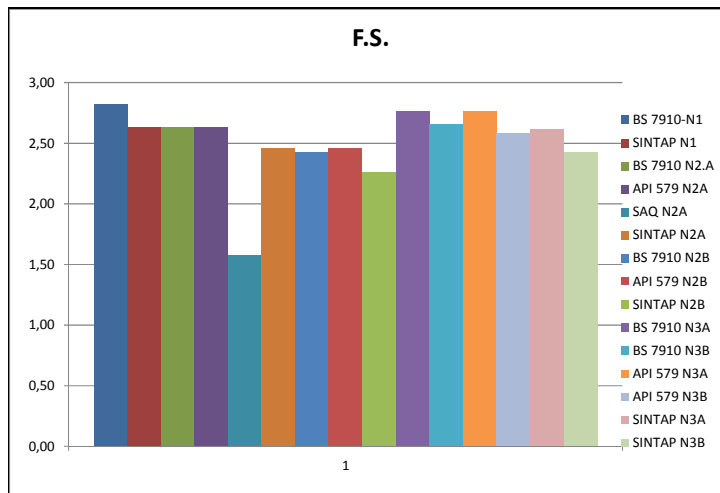


Figura 6.21 – F.S. da Placa A08-02.

6.2.4.Placa A10-01

A tabela 6.16 mostra as tensões de falha real, as tensões previstas e os F.S. para a placa A10-01. A Figura 6.22 mostra os F.S. dos diferentes níveis avaliados.

	Nível 1		Nível 2A		Nível 2B		Nível 3A		Nível 3B	
	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.
Real	387,3	--	387,3	--	387,3	--	387,3	--	387,3	--
BS 7910	211	1,84	227	1,71	250	1,55	222	1,74	240	1,61
API 579	-	--	227	1,71	248	1,56	222	1,74	241	1,61
SAQ	-	--	300	1,29	-	--	-	--	-	--
SINTAP	226	1,71	238	1,63	257	1,51	227	1,71	247	1,57

Tabela 6.16 – Tensões de falha e F.S. previstos para a placa A10-01.

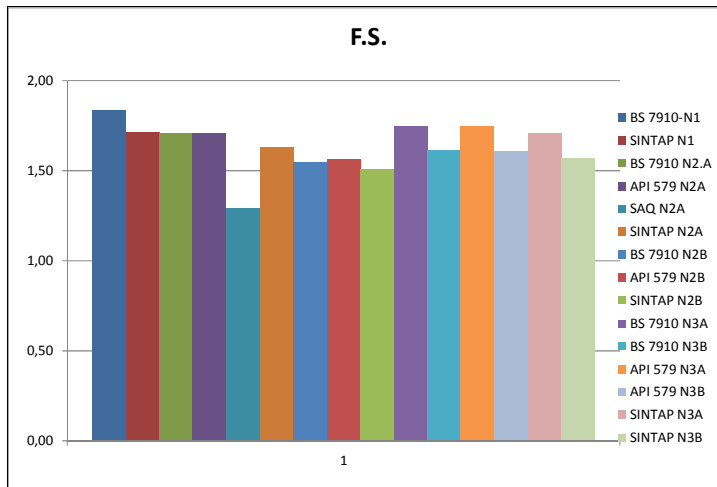


Figura 6.22 – F.S. da Placa A10-01.

6.2.5.Placa A12-02

A tabela 6.17 mostra as tensões de falha real, as tensões previstas e os F.S. para a placa A12-02. A Figura 6.23 mostra os F.S. dos diferentes níveis avaliados.

	Nível 1		Nível 2A		Nível 2B		Nível 3A		Nível 3B	
	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.	T.F.	F.S.
Real	392,2	--	392,2	--	392,2	--	392,2	--	392,2	--
BS 7910	237	1,65	255	1,54	270	1,45	251	1,56	268	1,46
API 579	-	--	255	1,54	270	1,45	251	1,56	271	1,45
SAQ	-	--	315	1,24	-	--	-	--	-	--
SINTAP	255	1,54	265	1,48	280	1,40	257	1,53	276	1,42

Tabela 6.17 – Tensões de falha e F.S. previstos para a placa A12-02.

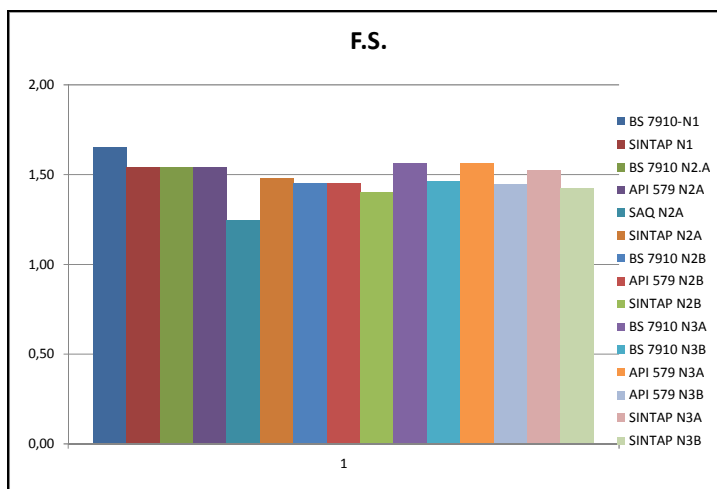


Figura 6.23 – F.S. da Placa A12-02.

Finalmente, a Tabela 6.18 compara as maiores e menores previsões feitas para as várias placas analisadas.

	Placa A08-01	Placa A08-02	Placa A10-01	Placa A12-01	Placa A12-02
BS 7910 N1	210	141	211	230	237
SAQ NU	300	252	300	313	315
% Δ	42,9	78,7	42,2	36,1	32,9

Tabela 6.18 – Maiores e menores previsões nas placas.

6.2.6.Comentários a respeito dos Testes Estruturais de Validação

- As previsões mais conservativas são as do nível 1, o que era esperado devido ao fato de ser o nível mais básico enquanto a elaboração do diagrama FAD, fator de segurança e dados de entrada.
- O nível 1 da BS 7910 apresentou os maiores valores de F.S. os quais variaram entre 1,65 e 2,82 dependendo da placa analisada.
- As previsões menos conservativas são as do Nível 2B e 3B , as quais utilizam como dados de entrada de tenacidade K_{JIC} e a curva J_R .
- A norma menos conservativa foi a SAQ no seu nível único (equivalente ao 2A da BS 7910), a qual alcança F.S. entre 1,24 e 1,58 dependendo da placa analisada.
- As diferenças entre as menores e maiores previsões alcançam valores de 78,7% no caso da placa 08-02 segundo a tabela 6.18.
- A maior dificuldade encontrada na condução dos testes foi a inserção da pré-trinca nas placas testadas. A principal causa é o arredondamento nos cantos do entalhe usinado o que não permite uma boa concentração de tensões na região e consequentemente um estado de tensões menor ao esperado para nascimento da trinca .