

6

Comportamento Pós-Crítico de Placas Dobradas sob Compressão

Neste capítulo apresenta-se um estudo paramétrico do comportamento pós-crítico de placas dobradas, analisando o efeito da geometria e condições de contorno no caminho pós-crítico e na evolução do estado de tensões. O efeito de imperfeições geométricas é também analisado.

6.1.

Estudo Paramétrico do Comportamento Pós-Crítico

6.1.1.

Variação do Ângulo de Dobra (θ)

Estuda-se inicialmente o comportamento pós-crítico de uma placa dobrada com θ igual a 15° , 90° , e 165° sob compressão axial para (a) todos bordos simplesmente apoiados e (b) bordos carregados simplesmente apoiados e os demais livres.

6.1.1.1.

Todos os Bordos Apoiados

Nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 são apresentados os caminhos pós-críticos de equilíbrio de uma placa dobrada com todos os bordos apoiados para alguns valores de α e para θ igual a 15° , 90° , e 165° , respectivamente. Os resultados relativos à carga e modo crítico foram mostrados no capítulo 5. Verifica-se que, independente da geometria, todas as placas apresentam bifurcação simétrica estável com uma elevada reserva de rigidez pós-crítica. O comportamento é bastante similar ao de placas isoladas simplesmente apoiadas em todos os bordos, como mostrado no capítulo 4.

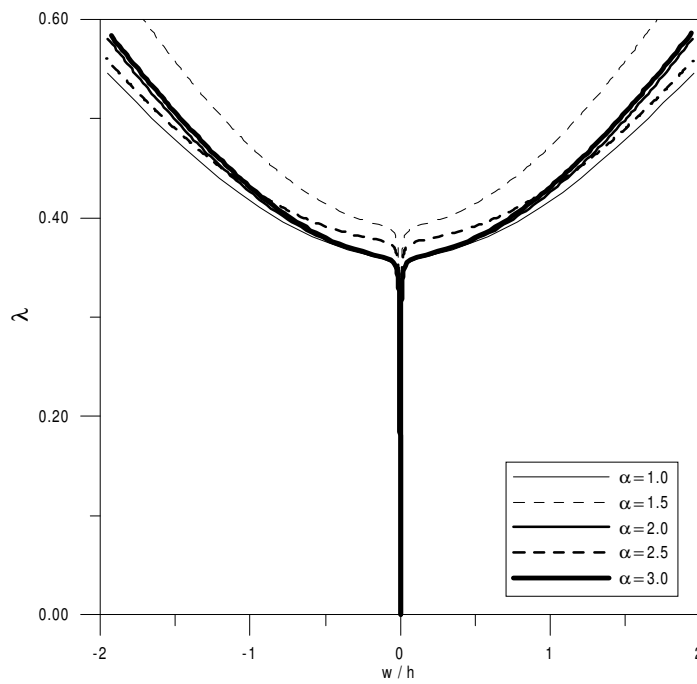


Figura 6.1 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para alguns valores de α e $\theta = 15^\circ$.

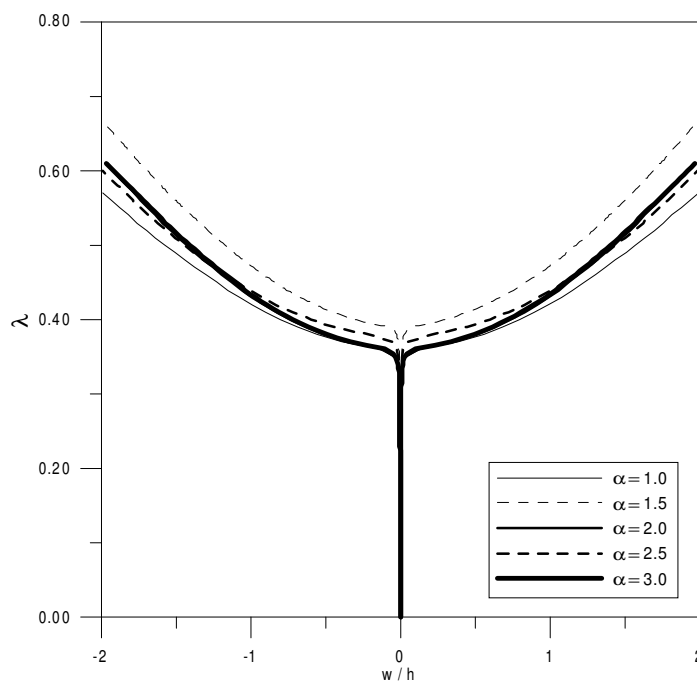


Figura 6.2 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para alguns valores de α e $\theta = 90^\circ$.

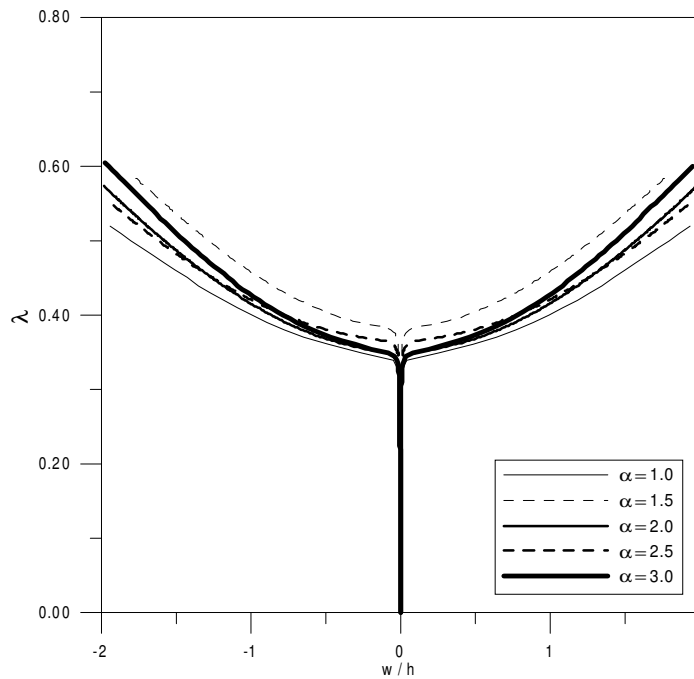


Figura 6.3 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para alguns valores de α e $\theta = 165^\circ$.

Na Figura 6.4 tem-se os caminhos pós-crítico de equilíbrio para $\alpha = 3.0$ e $\theta = 15^\circ$, 90° e 165° . Notase que há pouca influência do valor de θ nos resultados.

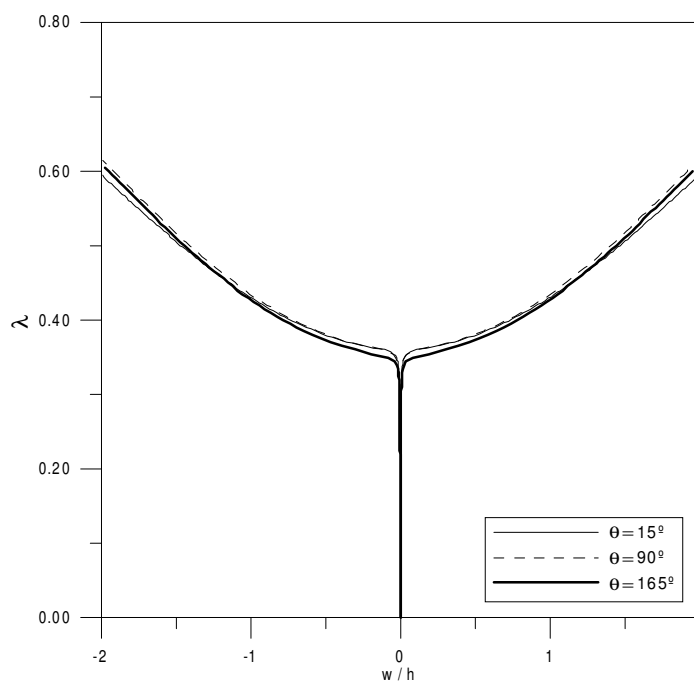


Figura 6.4 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para $\alpha = 3.0$ e $\theta = 15^\circ$, 90° e 165° .

6.1.1.2.

Bordos Carregados Apoiados e os Demais Livres

Nas Figuras 6.5, 6.6 e 6.7 são apresentados os caminhos pós-críticos de equilíbrio de uma placa dobrada com os bordos carregados simplesmente apoiados e os demais livres para alguns valores de α e para θ igual a 15° , 90° , e 165° , respectivamente. Os resultados relativos à carga e modo crítico foram mostrados na Figura 5.17. Neste caso observa-se que todas as placas exibem uma bifurcação simétrica estável, mas, comparando com a placa apoiada em todos os bordos, tem-se uma menor reserva de rigidez pós-crítica. Verifica-se também que, a medida que α aumenta, aumenta a curvatura inicial do caminho pós-crítico.

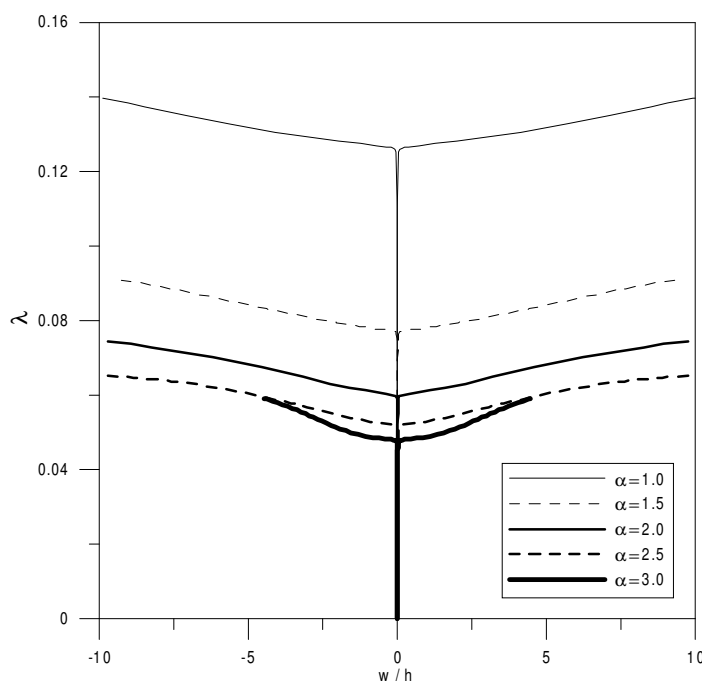


Figura 6.5 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para alguns valores de α e $\theta = 15^\circ$.

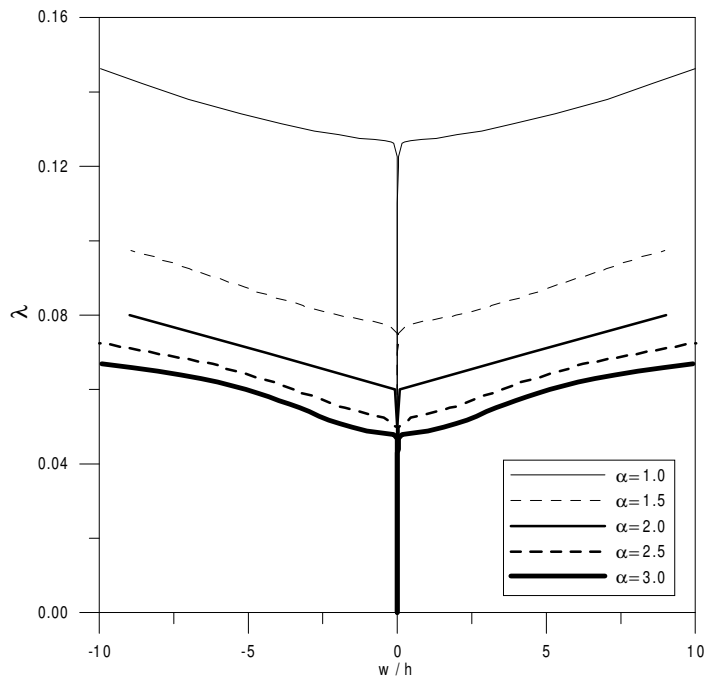


Figura 6.6 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para alguns valores de α e $\theta=90^\circ$.

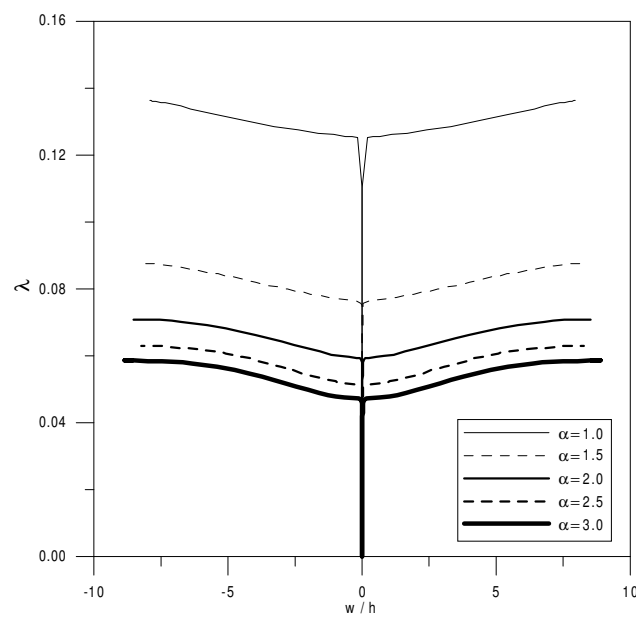


Figura 6.7 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para alguns valores de α e $\theta=165^\circ$.

Na Figura 6.8 tem-se o caminho pós-crítico de equilíbrio para $\alpha=3.0$ e $\theta=15^\circ$, 90° e 165° .

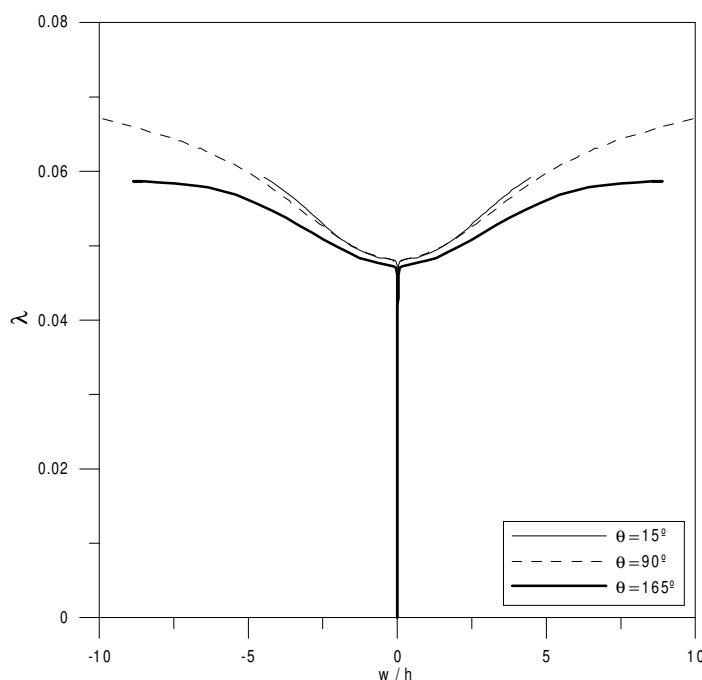


Figura 6.8 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para $\alpha = 3.0$ e $\theta = 15^\circ$, 90° e 165° .

6.1.2. Ângulo de Dobra igual a 90° - Variação de H

Estuda-se neste item o comportamento pós-crítico de uma placa dobrada com θ igual a 90° sob compressão axial para (a) todos bordos apoiados e (b) bordos carregados apoiados e os demais livres, considerando uma aba com largura fixa, b , e outra com largura variável, H . Variou-se H de 250mm até 1000mm, com incrementos de 250mm ($H/b = 0.25, 0.50, 0.75$ e 1).

6.1.2.1. Placa com Todos os Bordos Apoiados

Nas Figura 6.9 à 6.13 são apresentados os caminhos pós-críticos de equilíbrio de uma placa dobrada com $\theta = 90^\circ$ para valores crescentes de α . Em cada caso varia-se o valor do parâmetro H/b . Nota-se em todos os casos que, apesar da pequena diferença no valor da carga crítica, todas as placas apresentam um comportamento pós-crítico semelhante.

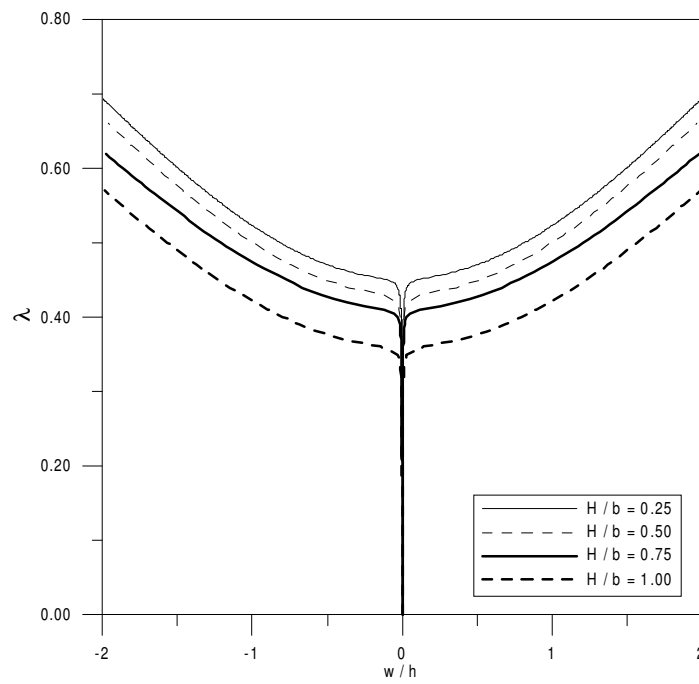


Figura 6.9 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para H/b variável e $\alpha = 1.0$.

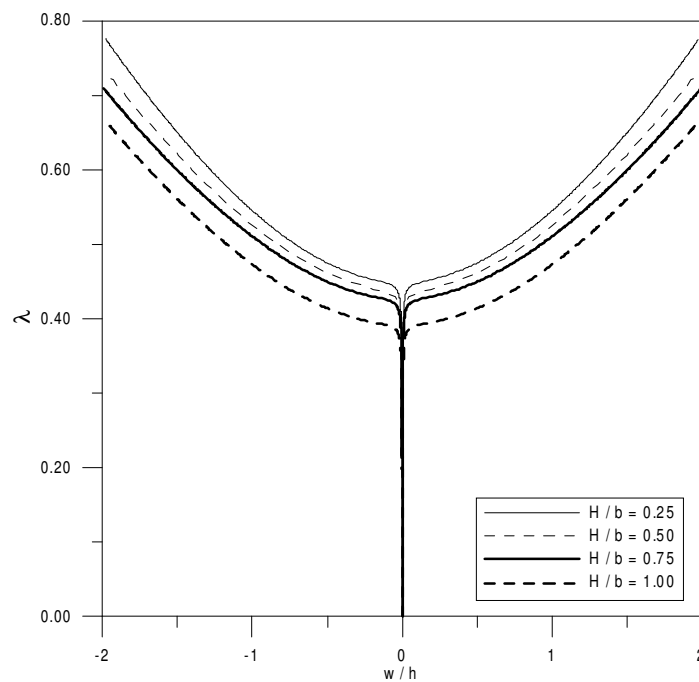


Figura 6.10 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para H/b variável e $\alpha = 1.5$.

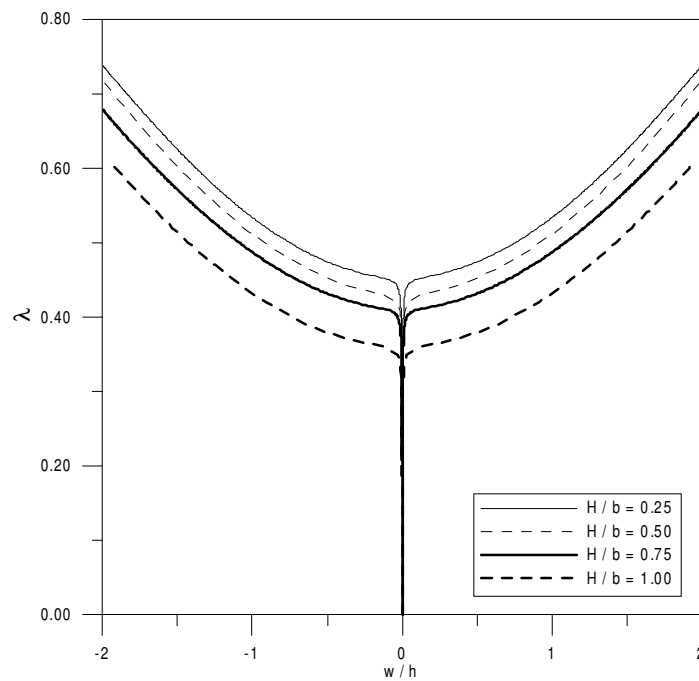


Figura 6.11 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para H/b variável e $\alpha = 2.0$.

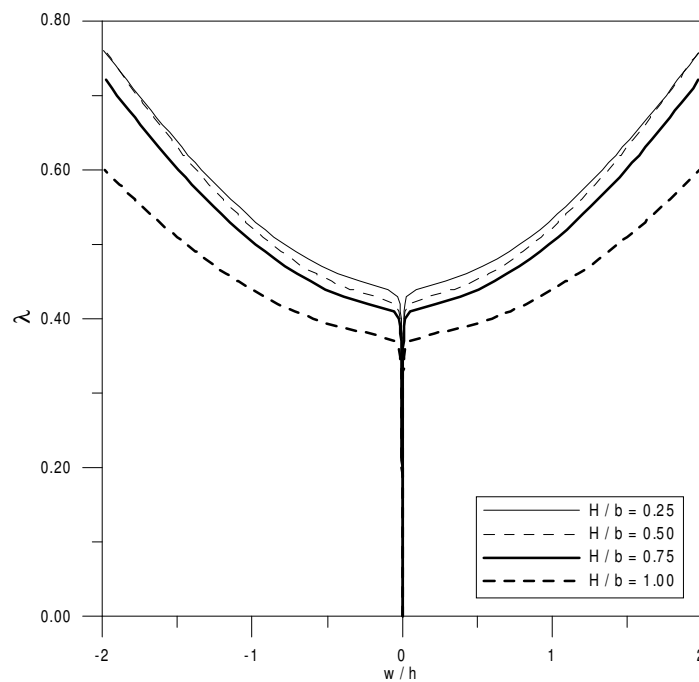


Figura 6.12 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para H/b variável e $\alpha = 2.5$.

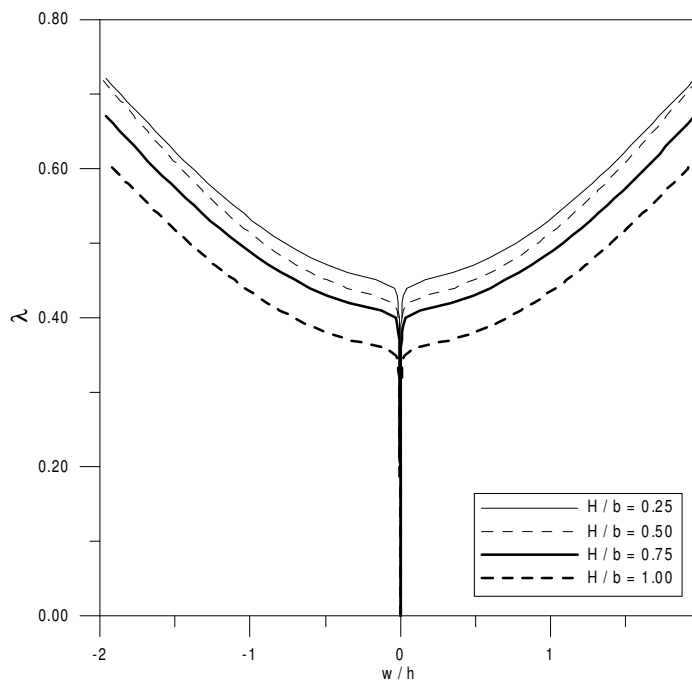


Figura 6.13 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com todos os bordos apoiados para H/b variável e $\alpha = 3.0$.

6.1.2.2.

Bordos Carregados Apoiados e os Demais Livres

Nas Figura 6.14 à 6.18 são apresentados os caminhos pós-críticos de equilíbrio de uma placa dobrada para $\theta = 90^\circ$ e valores selecionados α , variando em cada figura a relação H/b . Neste caso as placas têm os bordos carregados simplesmente apoiados e os demais livres.

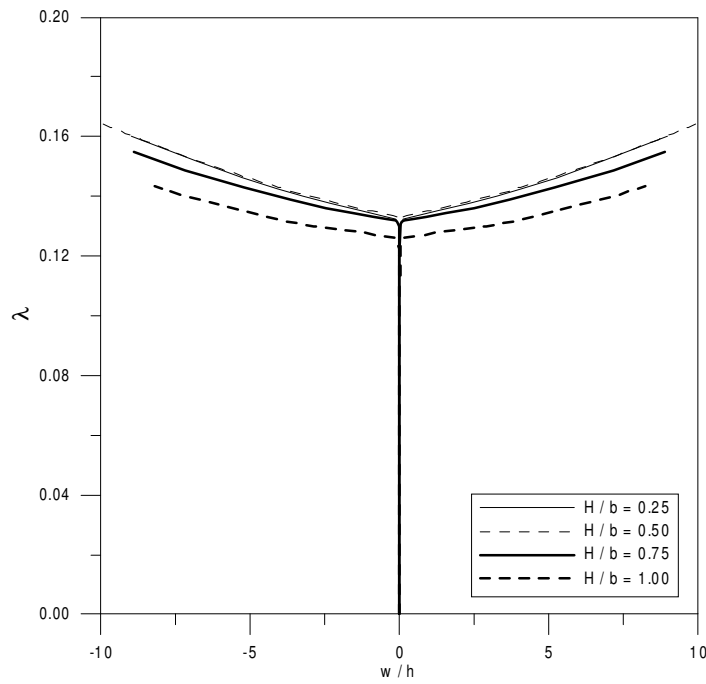


Figura 6.14 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para H/b variável e $\alpha = 1.0$.

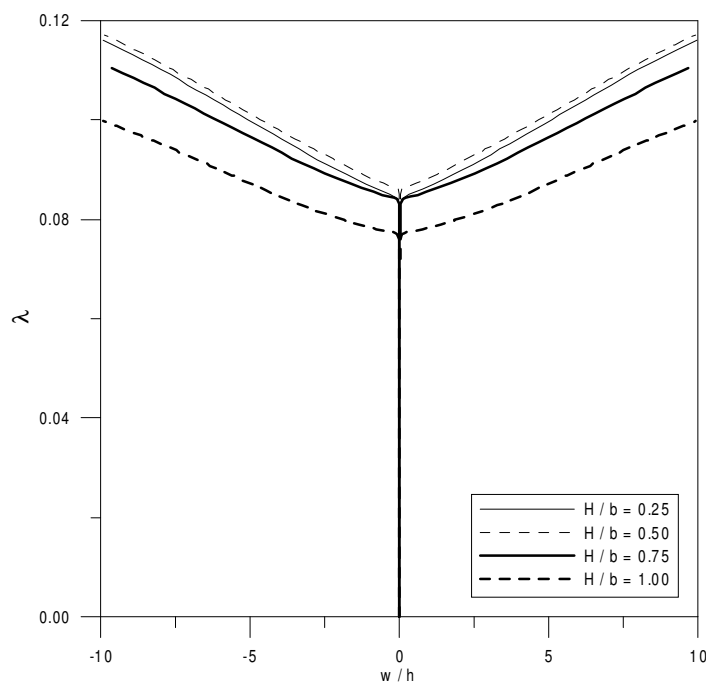


Figura 6.15 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para H/b variável e $\alpha = 1.5$.

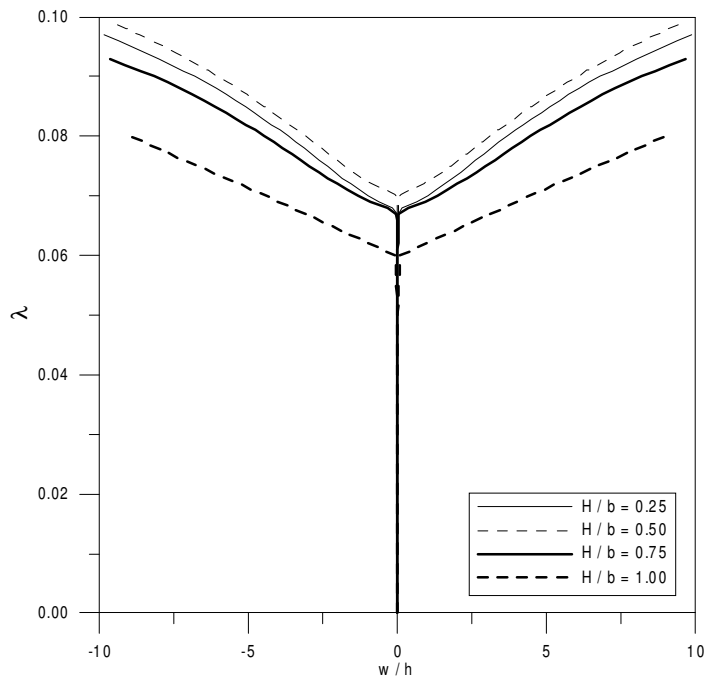


Figura 6.16 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para H/b variável e $\alpha = 2.0$.

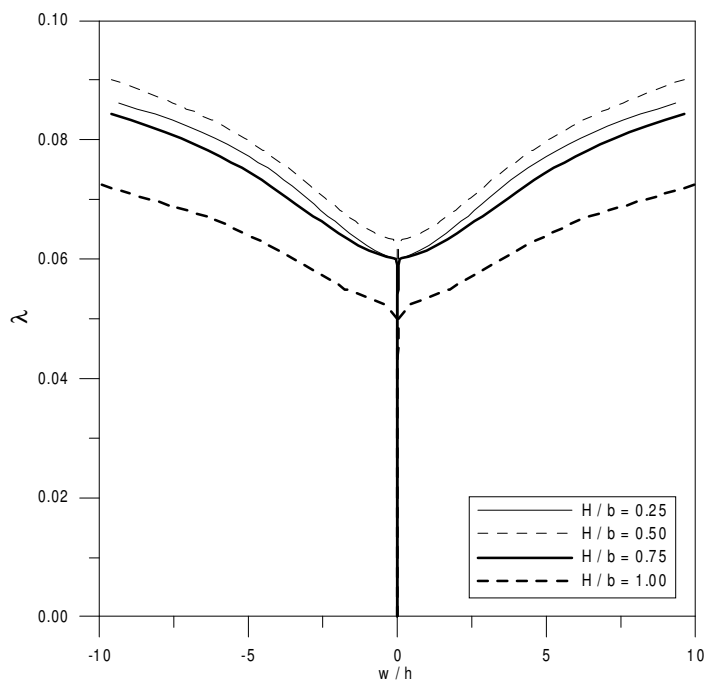


Figura 6.17 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para H/b variável e $\alpha = 2.5$.

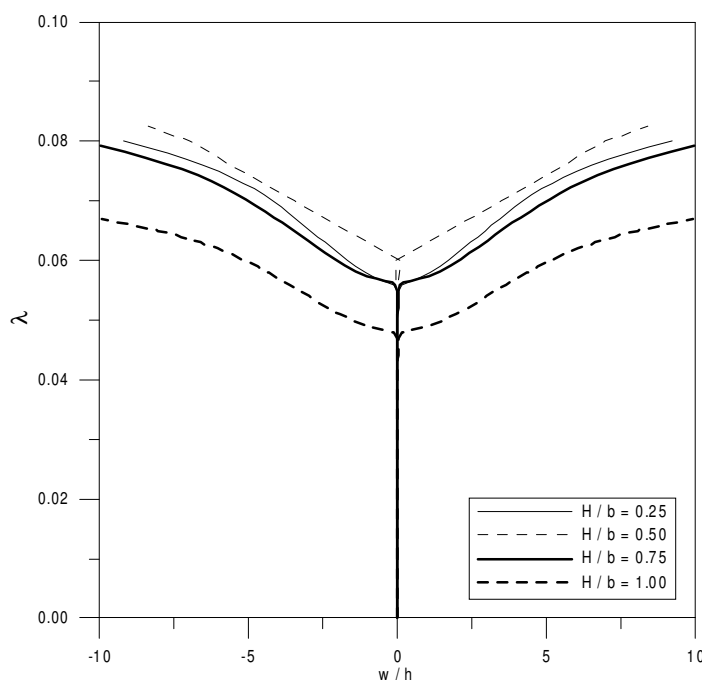


Figura 6.18 – Caminhos pós-críticos de placas dobradas com apenas os bordos carregados apoiados para H/b variável e $\alpha = 3.0$.

Observa-se em todos os casos analisados que, independente do valor de H/b e de α , a placa sempre exibe uma bifurcação simétrica estável, com praticamente o mesmo comportamento pós-crítico. As diferenças entre as curvas são em grande parte devidas ao valor diferenciado da carga crítica.

6.2. Evolução do Estado de Tensões em Placas Dobradas

6.2.1. Variação do Ângulo de Dobra (θ)

Estuda-se neste item a evolução do estado de tensões em placas dobradas com θ igual a 15° , 90° , e 165° sob compressão axial para (a) todos bordos apoiados e (b) bordos carregados apoiados e os demais livres. Adotou-se como exemplo $\alpha = 3.0$ e alguns valores de λ .

6.2.1.1.**Todos os Bordos Apoiados**

As Figuras 6.19 e 6.20 mostram a distribuição das tensões na face positiva ($z=+h/2$) e negativa ($z=-h/2$) da placa para $\theta=15^\circ$ e valores crescentes do parâmetro de carga λ/λ_{cr} . Para este caso $\lambda_{cr} = 0,36140$. Nota-se que até atingir a carga crítica a distribuição de tensões é praticamente uniforme. Cabe lembrar que as pequenas variações observadas no estado de tensões antes de se atingir a carga crítica devem-se à pequena imperfeição inicial, tomada na forma do modo crítico, necessária para se obter pelo ABAQUS o caminho não-linear de equilíbrio. Ao se ultrapassar o valor da carga crítica há uma mudança brusca na distribuição de tensões em virtude dos efeitos de segunda ordem.

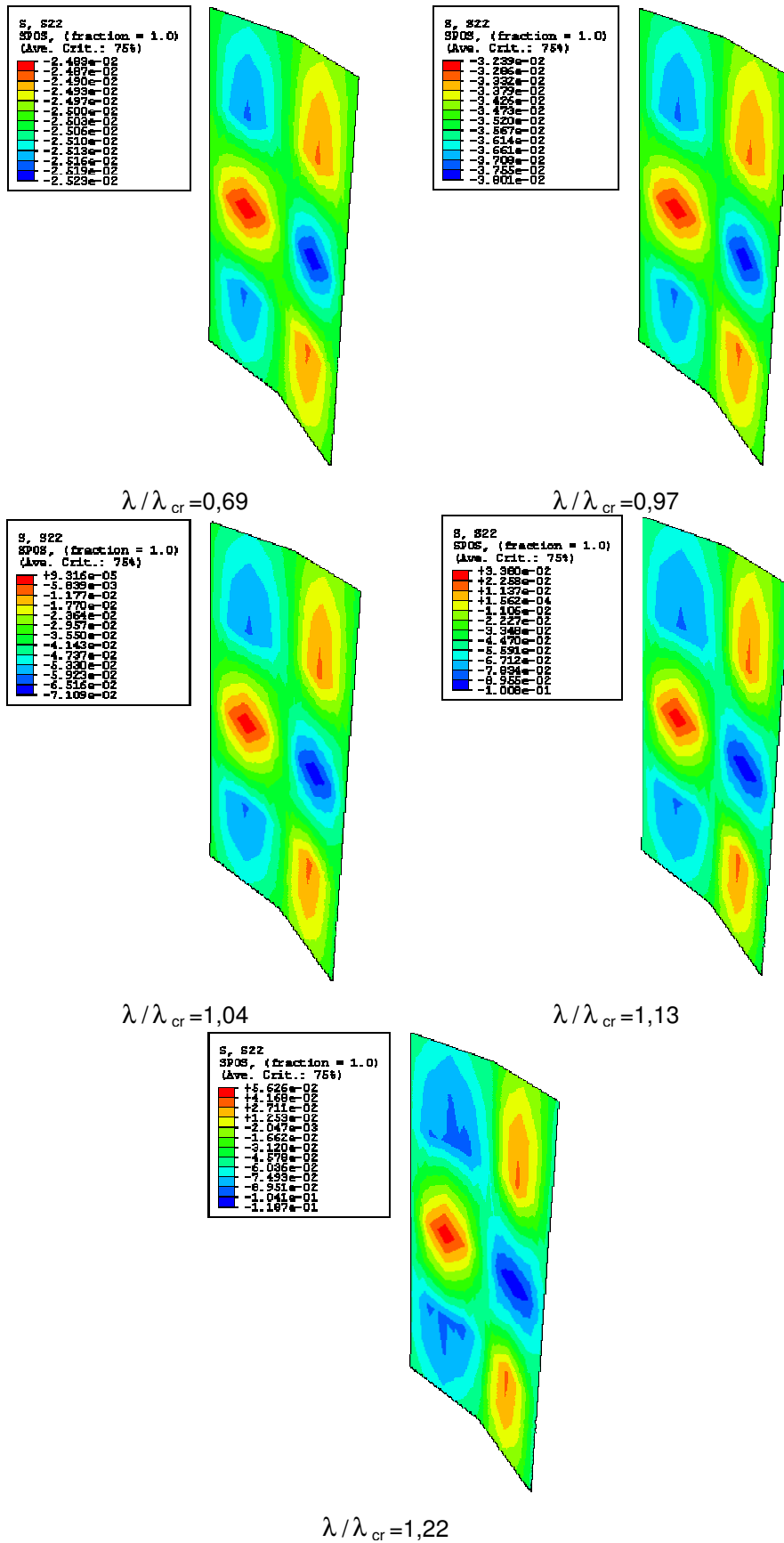


Figura 6.19 – Distribuição das tensões na face positiva de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3,0$ e $\theta = 15^\circ$.

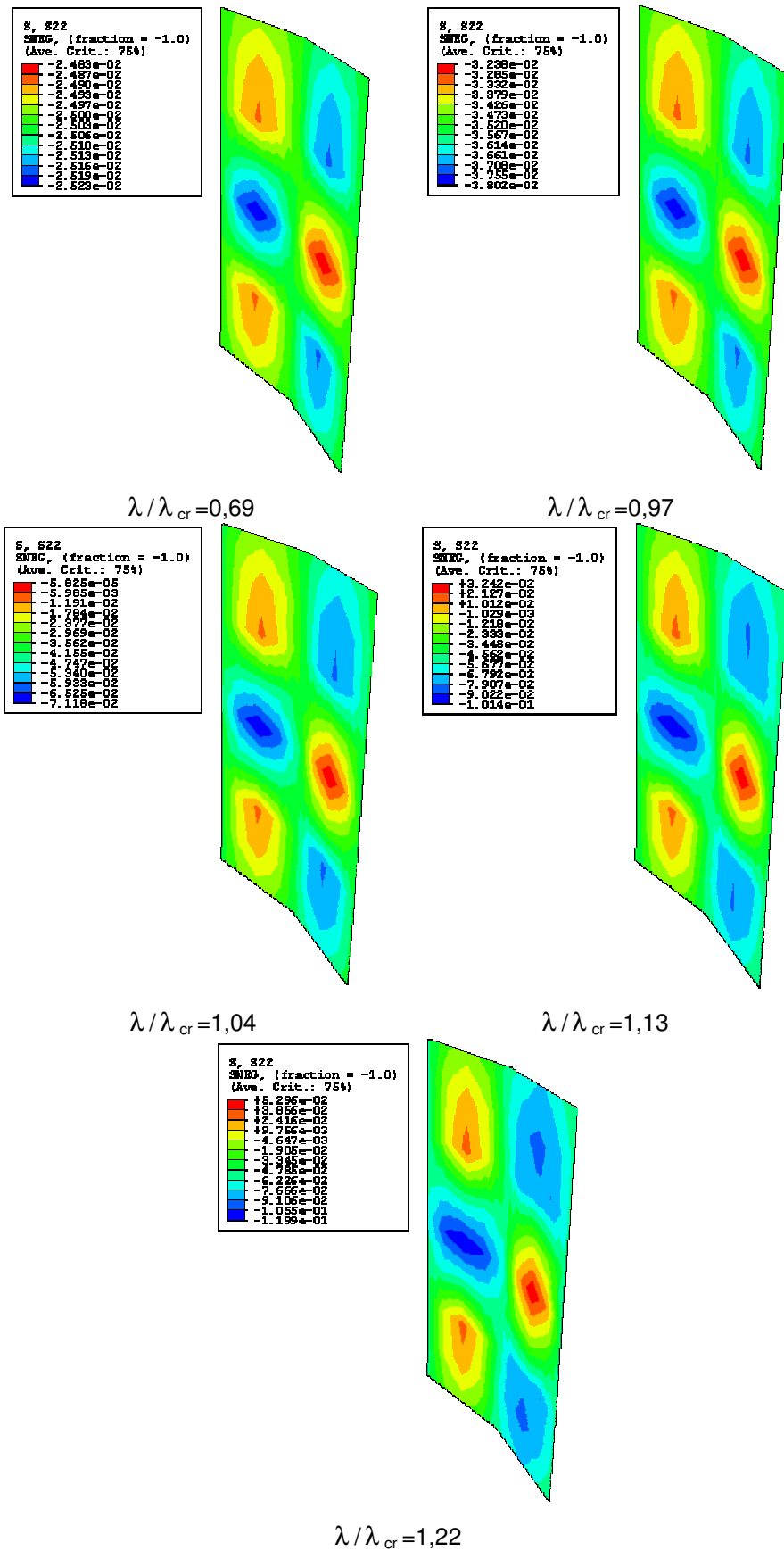


Figura 6.20 – Distribuição das tensões na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3.0$ e $\theta = 15^\circ$.

Nas Figuras 6.21 e 6.22, tem-se a distribuição das tensões na face positiva ($z=+h/2$) e negativa ($z=-h/2$) da placa a meia altura ($y=a/2$), respectivamente, para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo estes valores iguais aos das Figuras 6.19 e 6.20. Nota-se que a Figura 6.22 é um espelho da Figura 6.21. Isto era esperado em virtude da forma do modo crítico. Observa-se que, em virtude do efeito da flexão, as tensões crescem rapidamente logo que se atinge o valor da carga crítica e que as maiores tensões de tração e compressão ocorrem no centro de cada aba, ocorrendo a tensão máxima no lado comprimido. Neste ponto inicia-se o processo de plastificação da placa. Como comentado anteriormente, pode-se considerar para fins práticos que a placa atingiu sua capacidade máxima de carga quando esta tensão se igualar à tensão de plastificação do material. Verifica-se que a região próxima aos bordos e à junção são as maiores responsáveis pela rigidez pós-crítica da placa, o que está de acordo com a idéia de largura efetiva usada no cálculo de placas isoladas.

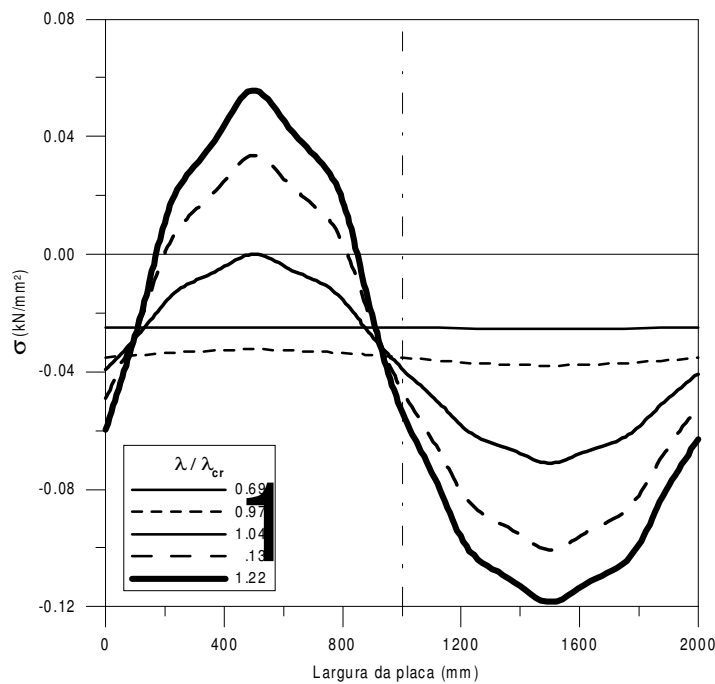


Figura 6.21 – Distribuição das tensões a meia altura ($y = a/2$) da face positiva de uma placa dobrada com $\theta=15^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

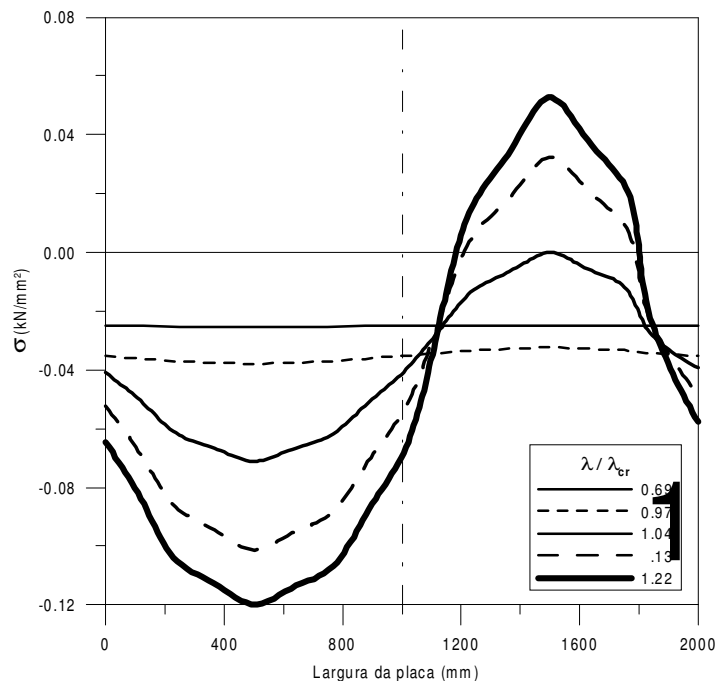


Figura 6.22 – Distribuição das tensões a meia altura ($y = a/2$) da face negativa de uma placa dobrada com $\theta = 15^\circ$ e $\alpha = 3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} .

Nas Figuras 6.23 e 6.24, tem-se a distribuição das tensões junto ao bordo ($y=0$) da placa dobrada com $\theta = 15^\circ$ e $\alpha = 3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} . As pequenas variações observadas devem-se às deformações junto ao bordo da placa.

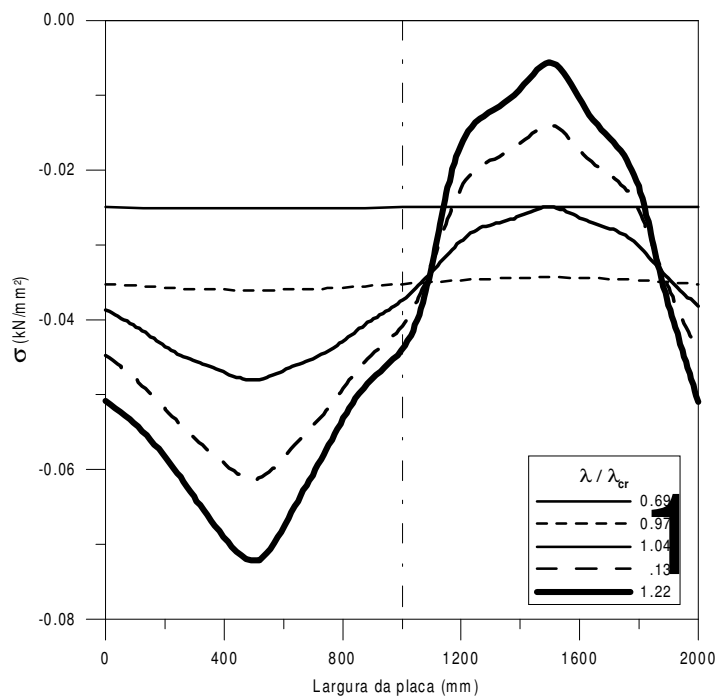


Figura 6.23 – Distribuição das tensões no bordo. Face positiva de uma placa dobrada com $\theta = 15^\circ$ e $\alpha = 3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} .

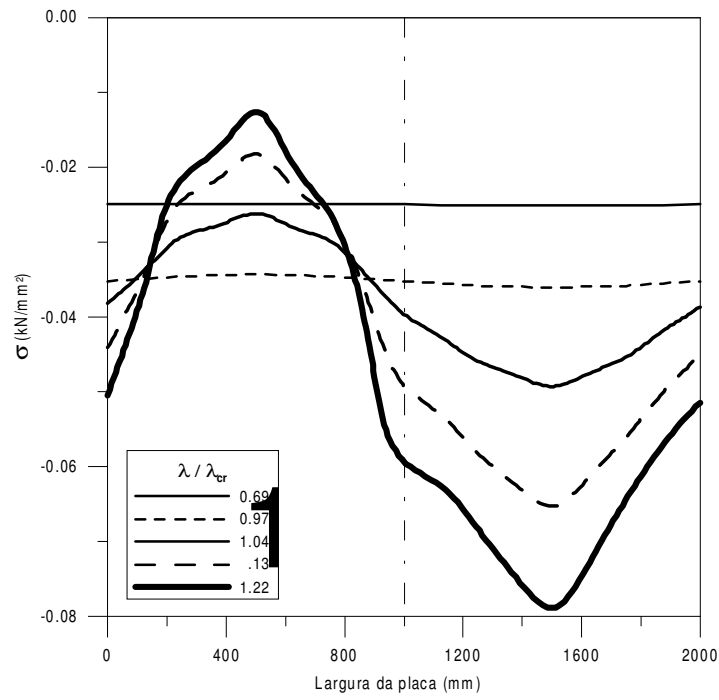


Figura 6.24 – Distribuição das tensões no bordo. Face negativa de uma placa dobrada com $\theta = 15^\circ$ e $\alpha = 3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} .

Nas Figuras 6.25 e 6.26 tem-se a distribuição das tensões para uma placa com $\theta=90^\circ$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,36098$.

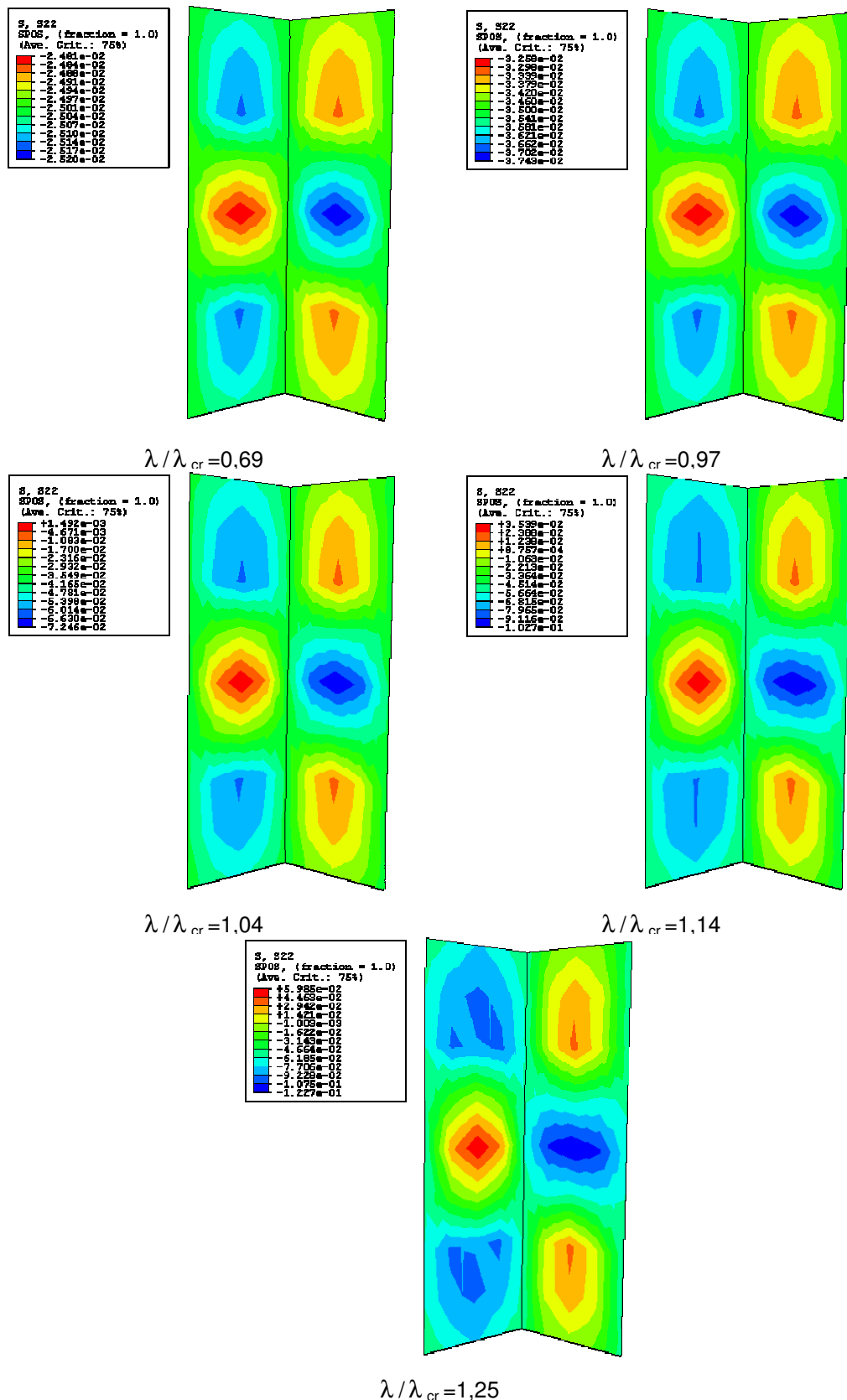


Figura 6.25 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3.0$ e $\theta = 90^\circ$.

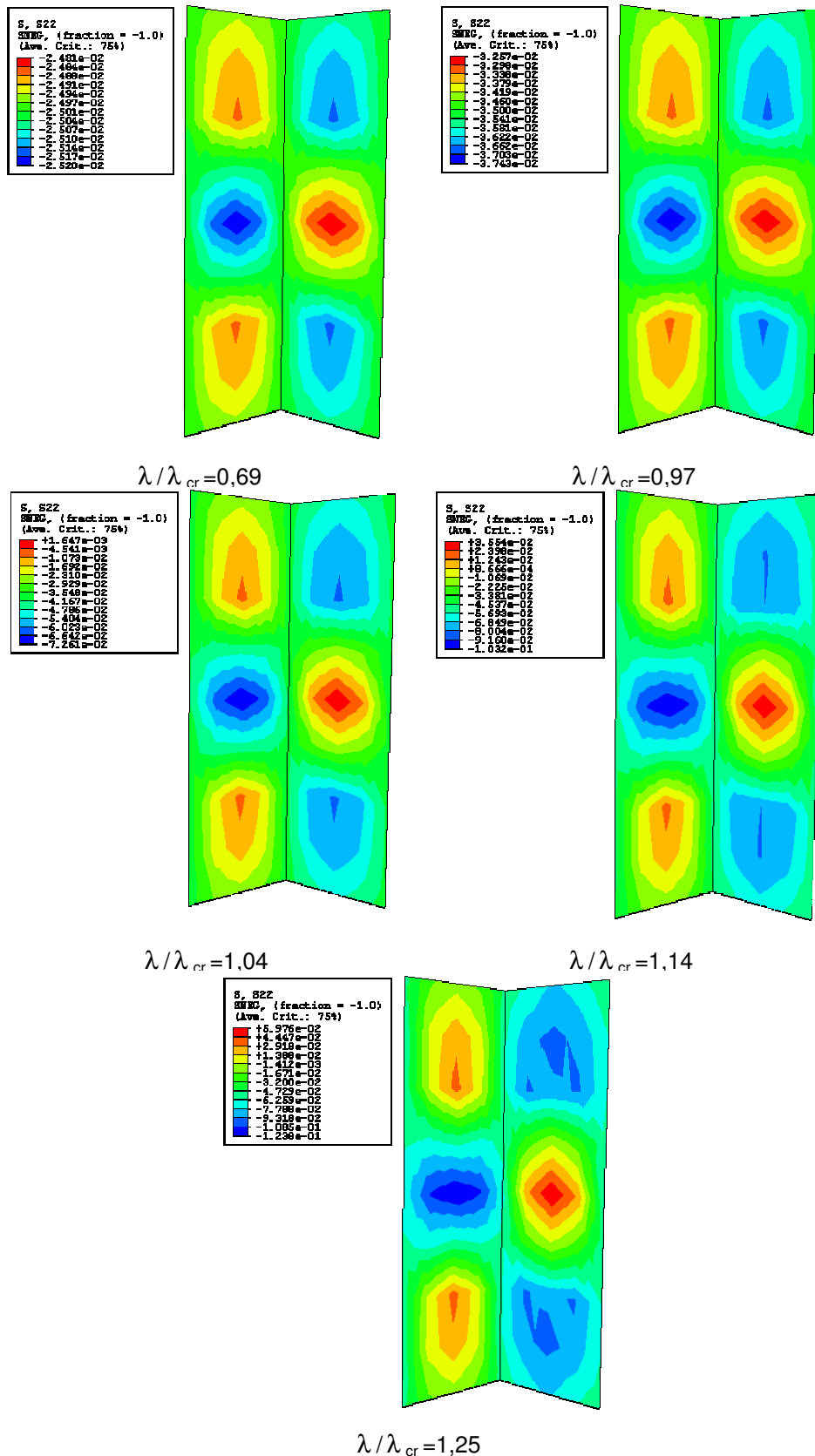


Figura 6.26 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3$ e $\theta = 90^\circ$.

Nas Figuras 6.27 e 6.28, tem-se a distribuição das tensões a meia altura ($y=a/2$) das faces positiva e negativa, respectivamente, da uma placa dobrada para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo estes valores iguais aos das Figuras 6.25 e 6.26.

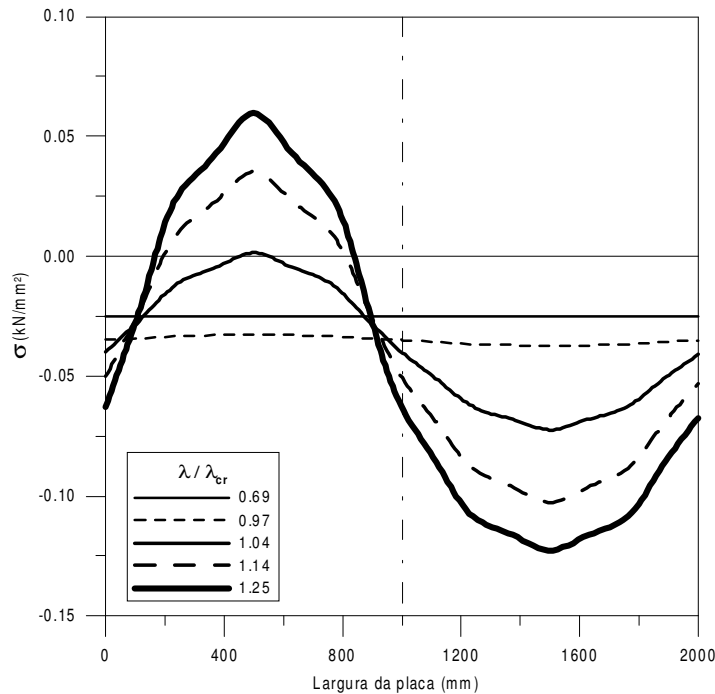


Figura 6.27 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $\theta=90^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

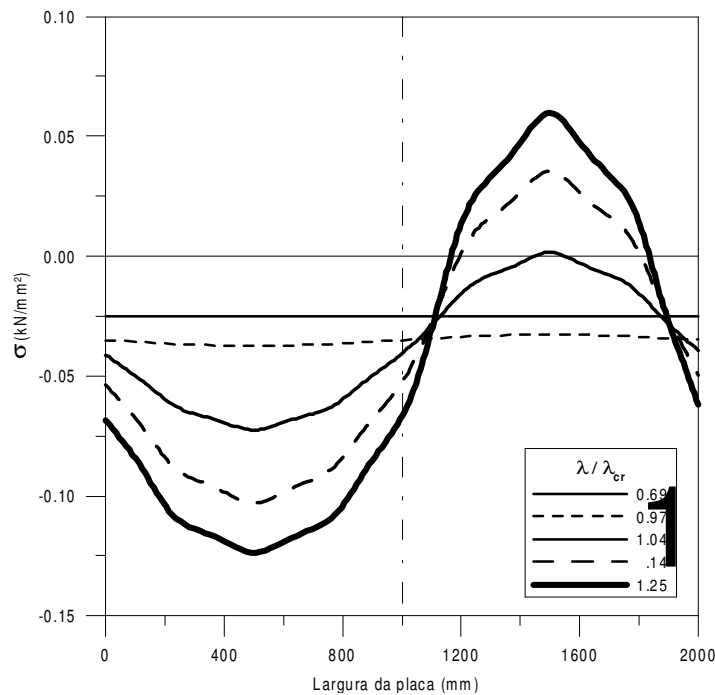


Figura 6.28 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $\theta=90^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Nas Figuras 6.29 e 6.30 observa-se a distribuição das tensões para $\theta=165^\circ$. Para este caso $\lambda_{cr}=0,35347$.

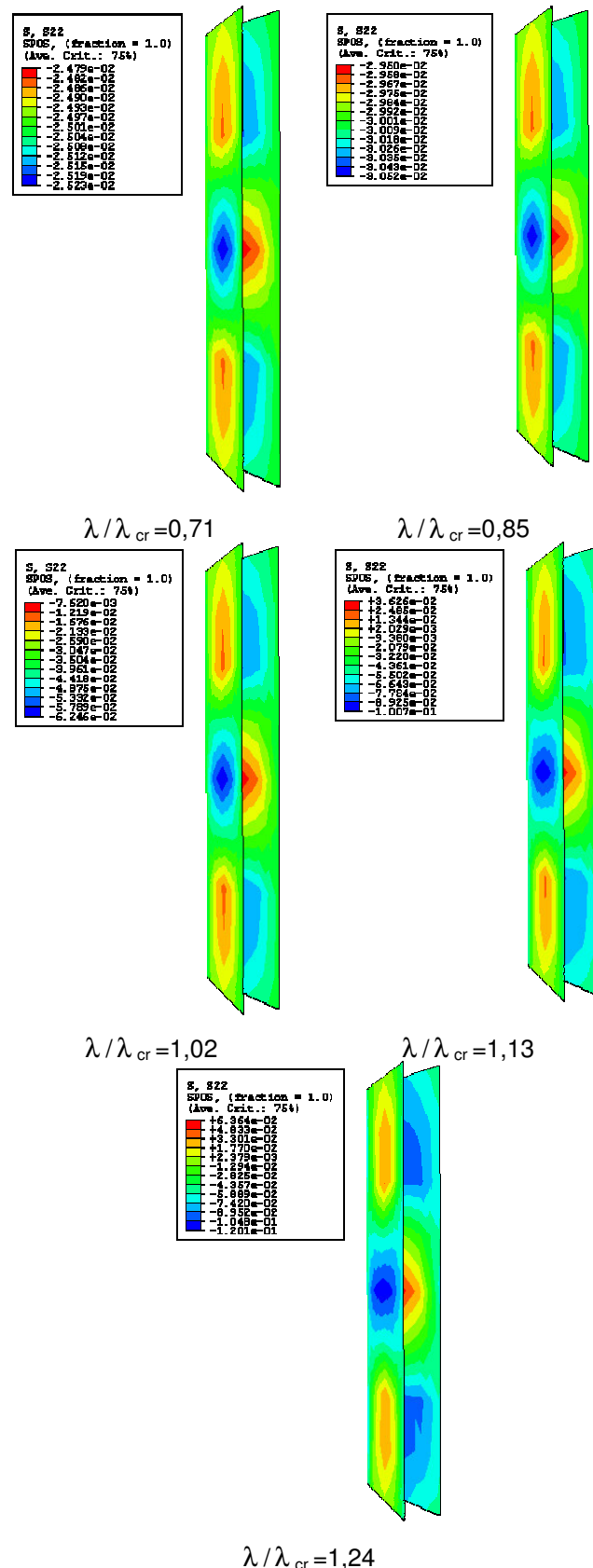


Figura 6.29 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha=3$ e $\theta=165^\circ$.

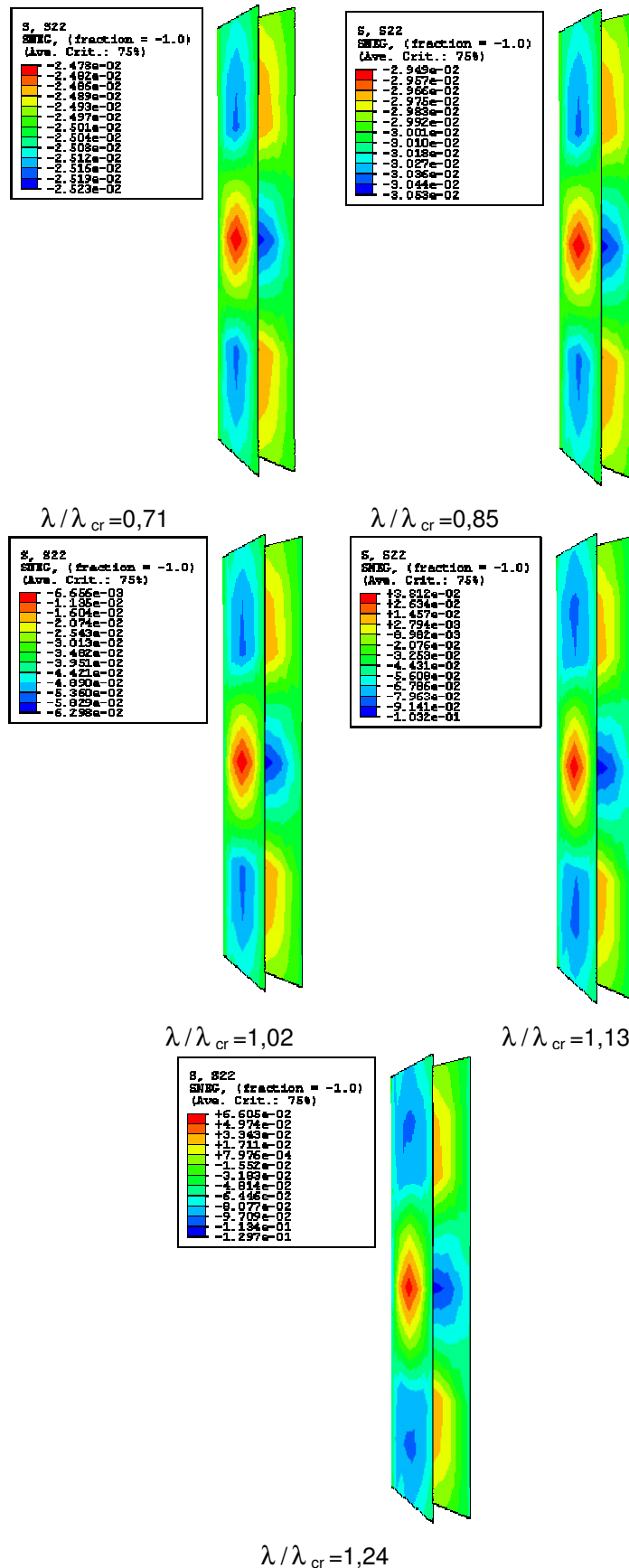


Figura 6.30 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha=3$ e $\theta=165^\circ$.

Nas Figuras 6.31 e 6.32 tem-se a distribuição das tensões a meia altura ($y=a/2$) das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada com $\theta=165^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo os valores de λ iguais aos das Figuras 6.29 e 6.30.

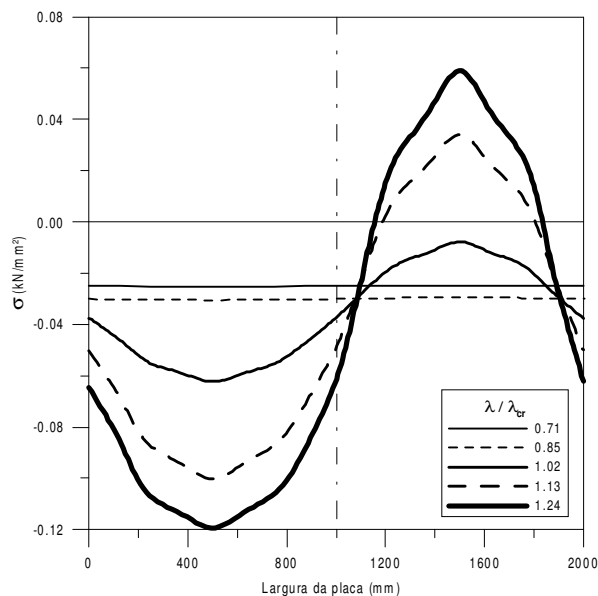


Figura 6.3.1 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $\theta=165^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

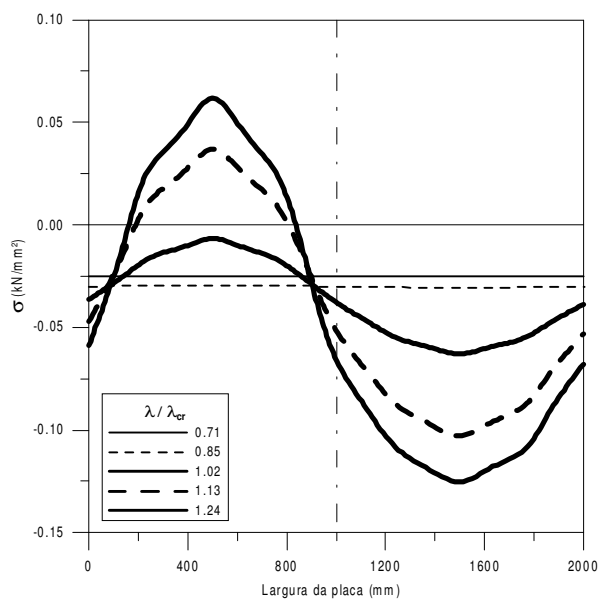


Figura 6.32 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $\theta=165^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Comparando-se os resultados para os três valores de θ analisados, verifica-se que há pouca influência do seu valor na distribuição de tensões. Cabe entretanto ressaltar que a presença da dobra tem uma profunda influência no comportamento do sistema.

6.2.1.2.

Bordos Carregados Apoiados e os Demais Livres

Pelas Figuras 6.33 e 6.34 observa-se a distribuição das tensões para $\theta=15^\circ$ na face positiva ($z=+h/2$) e negativa ($z=-h/2$) da placa. Para este caso $\lambda_{cr} = 0,04814$.

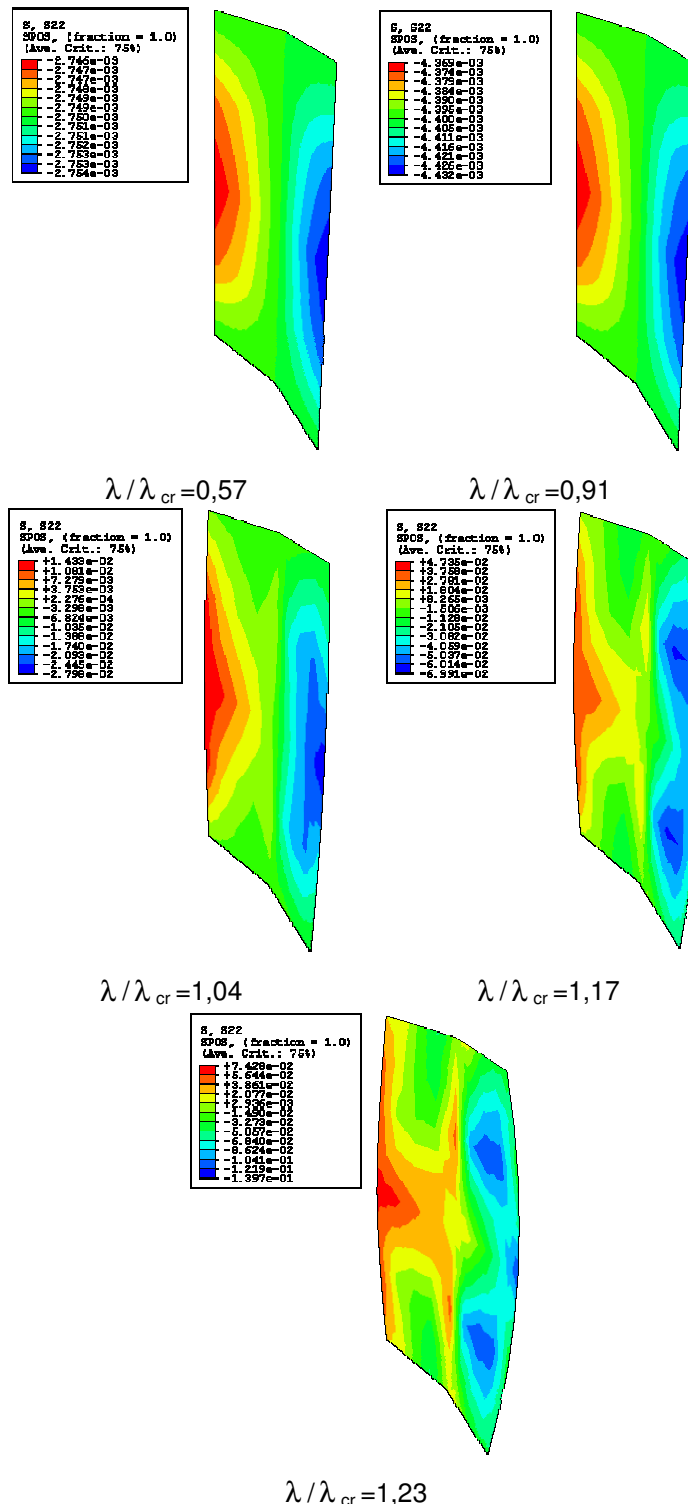


Figura 6.33 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha=3,0$ e $\theta=15^\circ$.

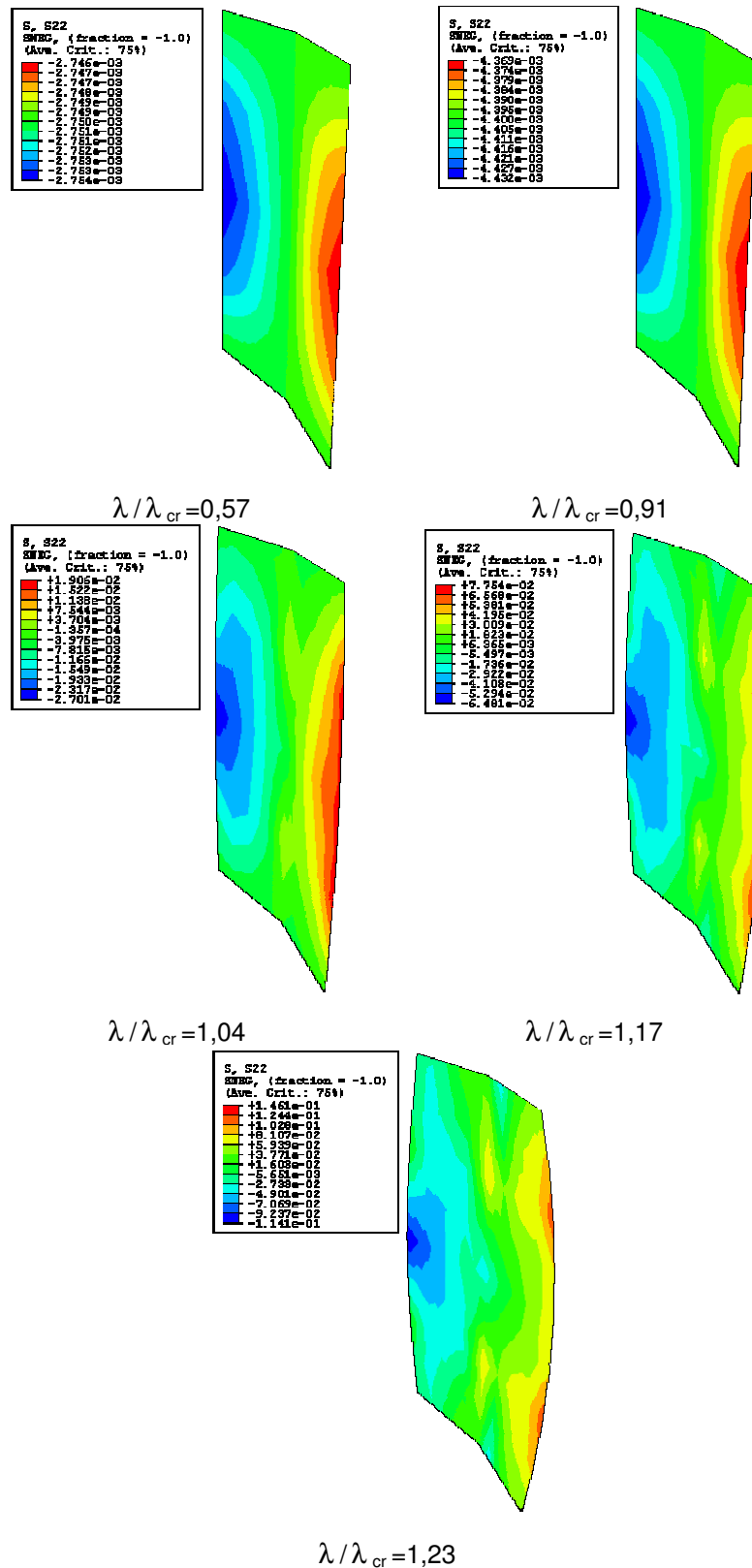


Figura 6.34 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3.0$ e $\theta = 15^\circ$.

Nas Figuras 6.35 e 6.36, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva ($z=+h/2$) e negativa ($z=-h/2$), respectivamente, de uma placa dobrada com $\theta=15^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo os valores de λ iguais aos das Figuras 6.33 e 6.34. Neste caso as tensões máximas ocorrem nos bordos livres, sendo a região da junção a maior responsável pela rigidez pós-crítica da placa. Neste caso a distribuição de tensões nas duas faces não é exatamente simétrica, como no caso anterior, em virtude da rotação da placa dobrada.

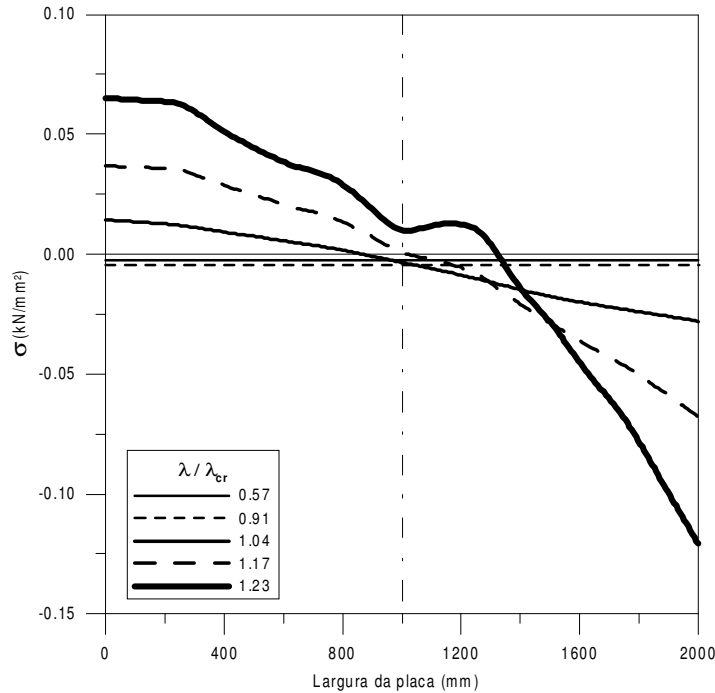


Figura 6.35 – Distribuição das tensões a meia altura $y = a/2$ da face positiva de uma placa dobrada com $\theta=15^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

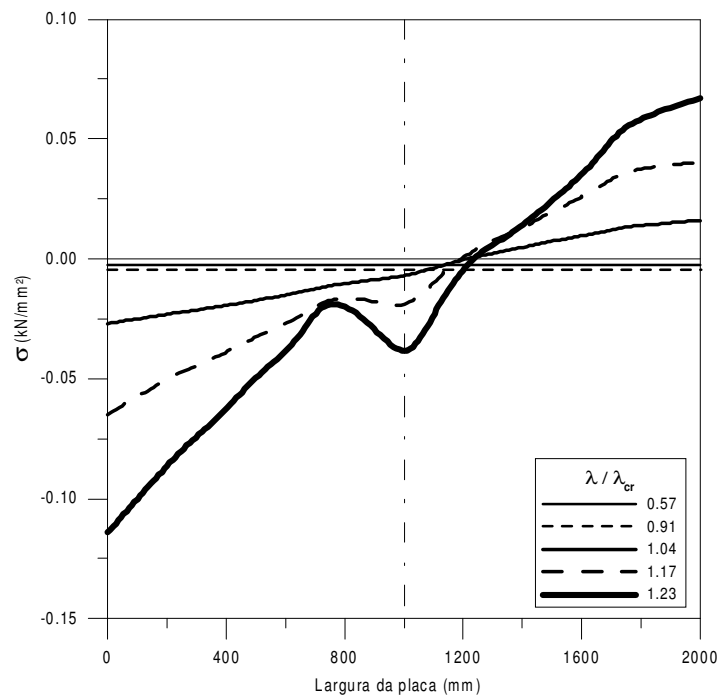


Figura 6.36 – Distribuição das tensões a meia altura $y = a/2$ da face negativa de uma placa dobrada com $\theta = 15^\circ$ e $\alpha = 3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} .

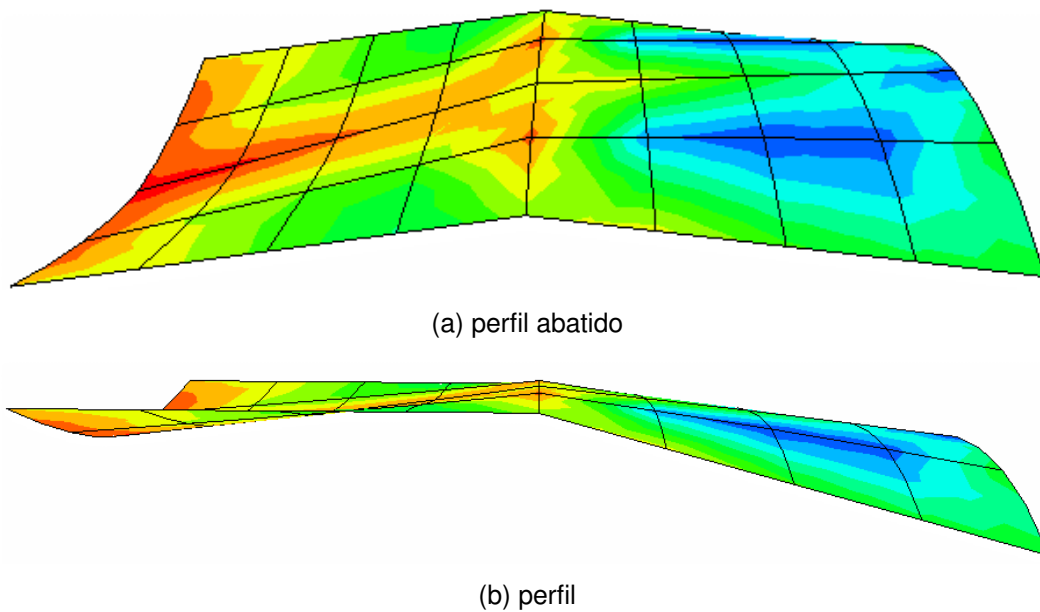
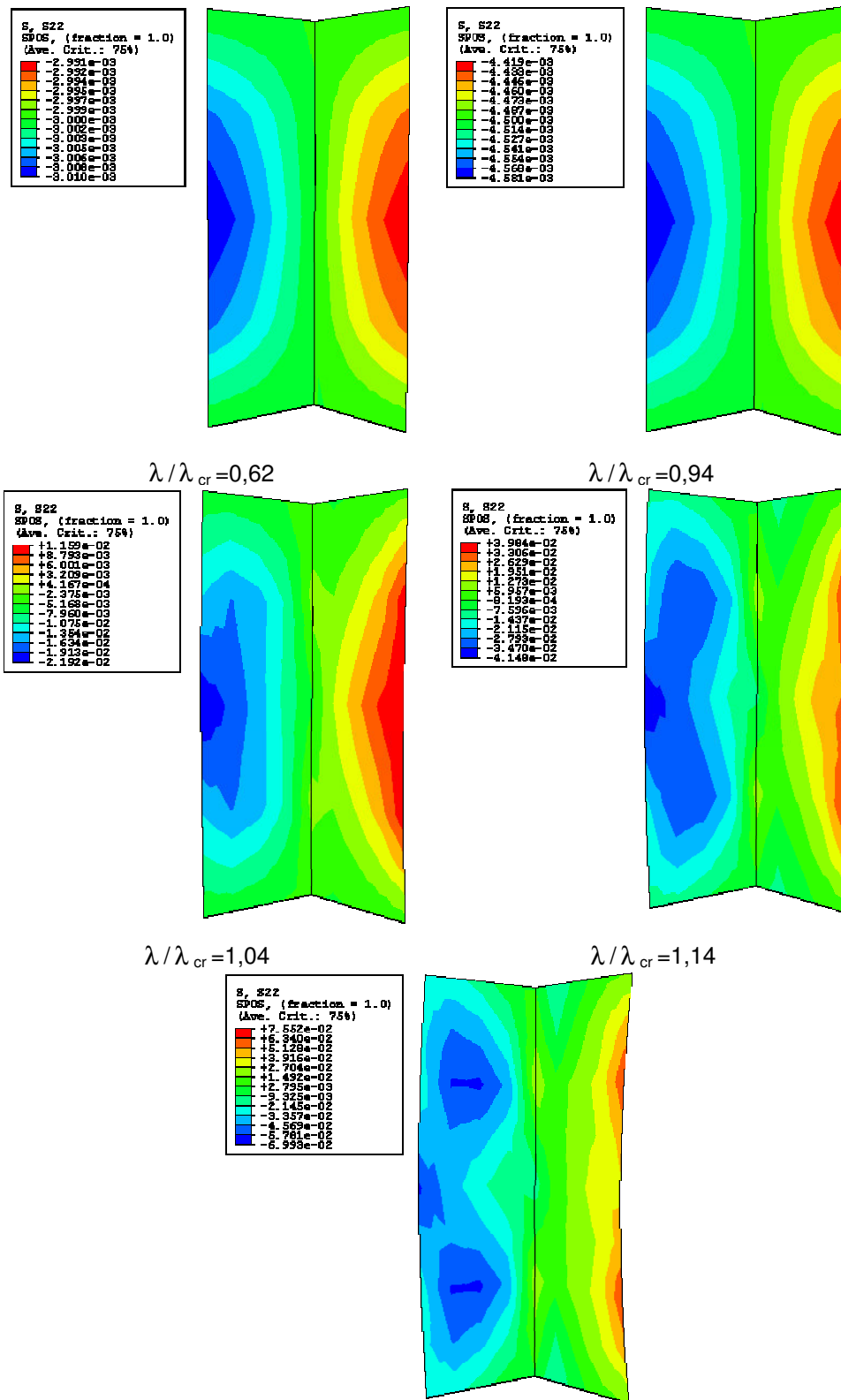


Figura 6.37 – Placa dobrada com $\theta = 15^\circ$ e $\alpha = 3.0$.

Nas Figuras 6.38 e 6.39 tem-se a distribuição das tensões para $\theta=90^\circ$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,04809$.



$\lambda/\lambda_{cr}=1,25$

Figura 6.38 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha=3.0$ e $\theta=90^\circ$.

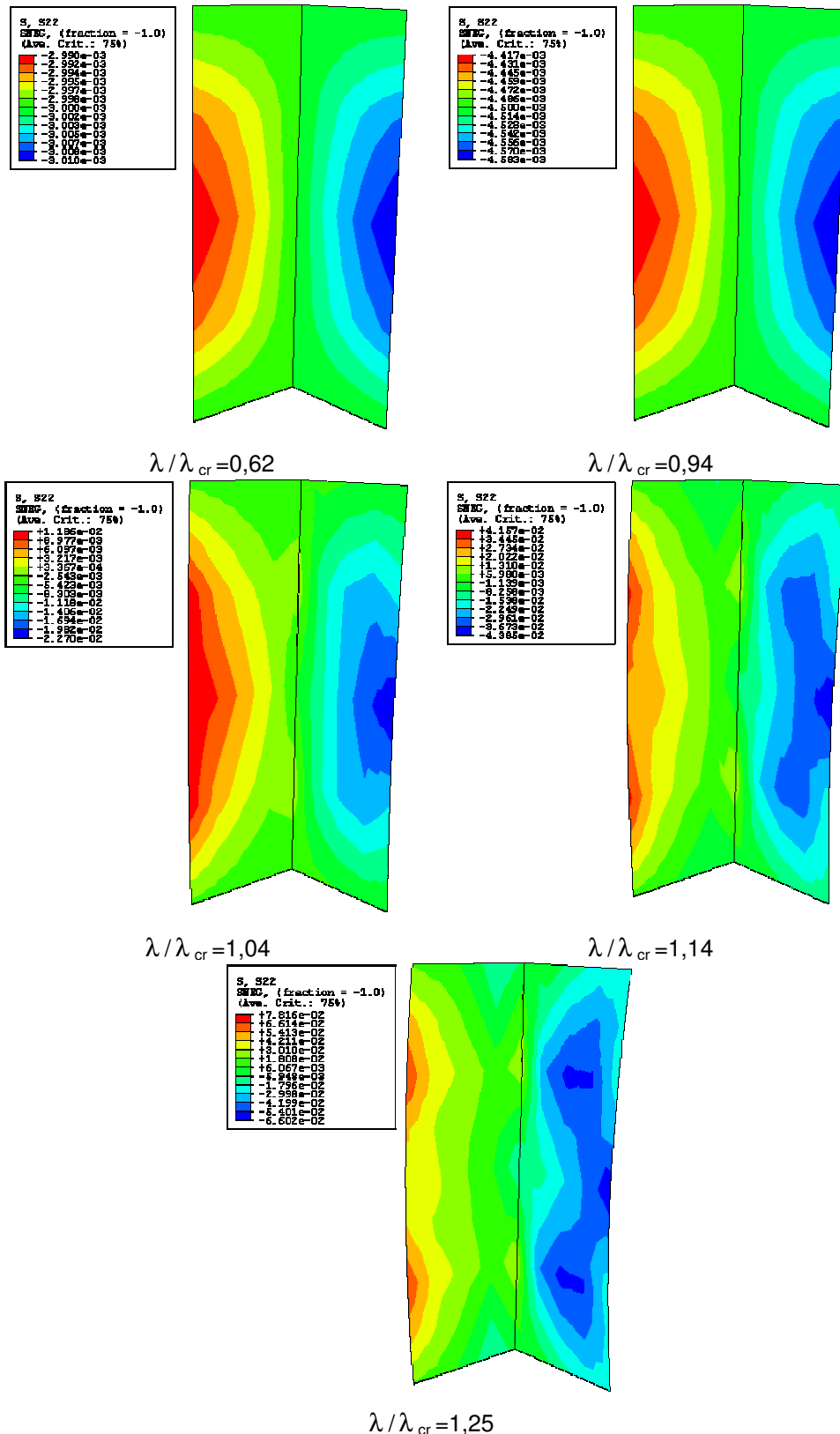


Figura 6.39 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3.0$ e $\theta = 90^\circ$.

Nas Figuras 6.40 e 6.41, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva ($z=+h/2$) e negativa ($z=-h/2$), respectivamente, de uma placa dobrada com $\theta=90^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo os valores de λ iguais aos das Figuras 6.38 e 6.39. Novamente, as maiores tensões ocorrem no bordo e a meia altura da placa, onde se inicia o processo de plastificação.

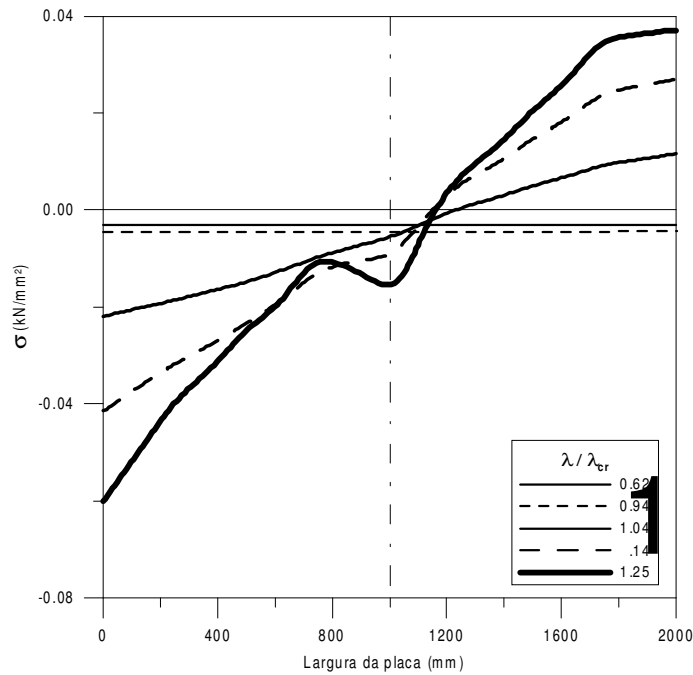


Figura 6.40 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $\theta=90^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

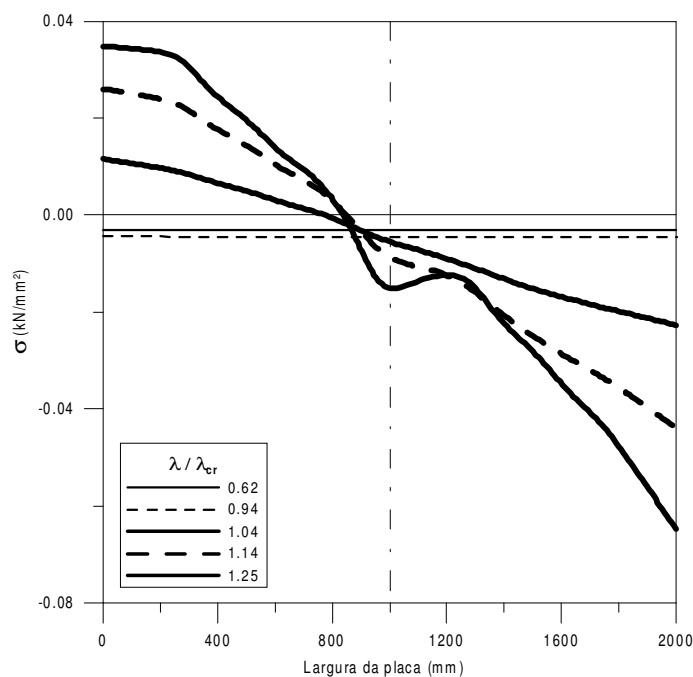


Figura 6.41 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $\theta=90^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Nas Figuras 6.42 e 6.43 observa-se a distribuição das tensões para $\theta=165^\circ$. Para este caso $\lambda_{cr} = 0,04741$.

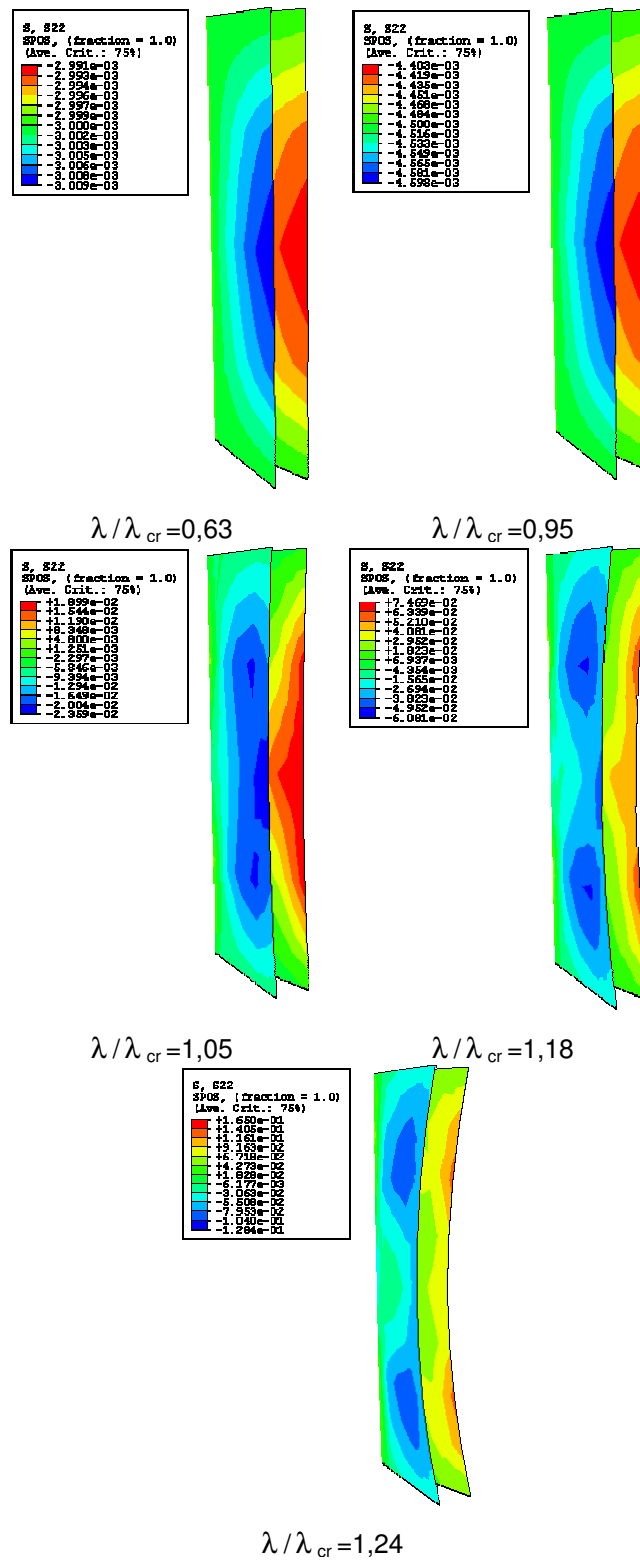


Figura 6.42 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha=3.0$ e $\theta=165^\circ$.

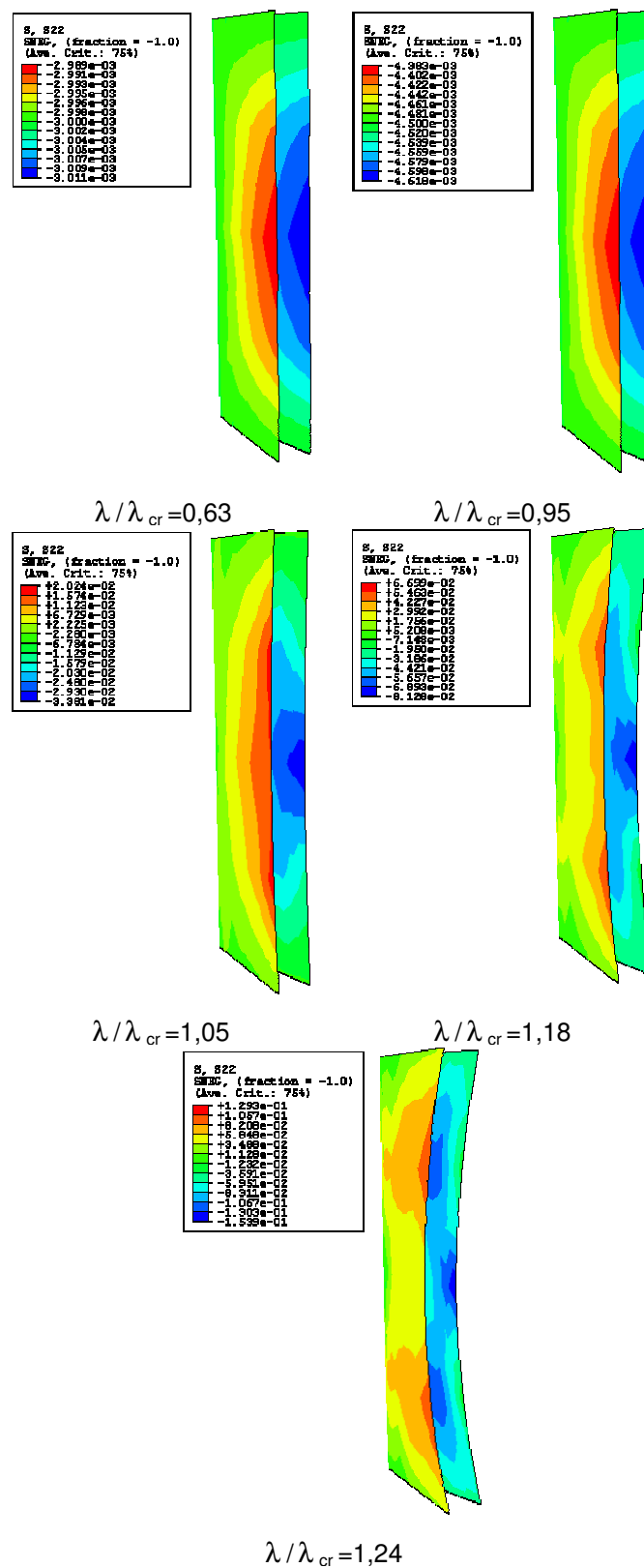


Figura 6.43 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada sob compressão axial com $\alpha = 3.0$ e $\theta = 165^\circ$.

Nas Figuras 6.44 e 6.45, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada com $\theta=165^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo os valores de λ iguais aos das Figuras 6.42 e 6.43.

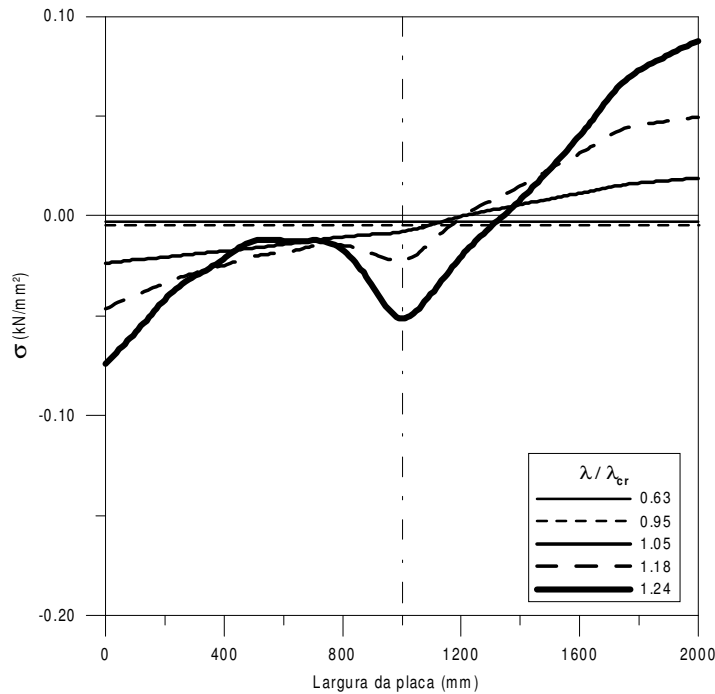


Figura 6.44 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $\theta=165^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

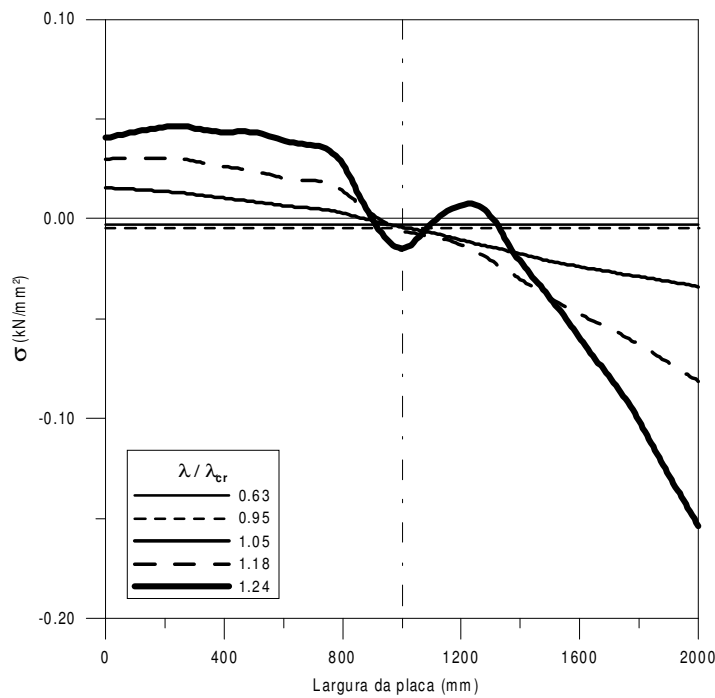


Figura 6.45 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $\theta=165^\circ$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Em todos os casos analisados neste item, nota-se que para as placas com bordos livres, as tensões crescem rapidamente ao longo do caminho pós-crítico. Isto é explicado pela curvatura pouco acentuada do caminho pós-crítico. Assim, um pequeno aumento de carga, leva a um grande aumento das deflexões, o que, por sua vez, leva a um aumento dos efeitos de segunda ordem, isto é, dos momentos causados pelo carregamento axial.

6.2.2.

Ângulo de Dobra igual a 90° - Variação de H

Estuda-se agora a evolução do estado de tensões em placas dobradas com θ igual a 90° sob compressão axial para (a) todos bordos apoiados e (b) bordos carregados apoiados e os demais livres, considerando-se a dimensão de uma das abas variável (H). Variou-se H de 250mm até 1000mm, com incrementos de 250mm ($H/b = 0.25, 0.50, 0.75$ e 1).

6.2.2.1.

Todos os Bordos Apoiados

Nas Figuras 6.46 e 6.47 observa-se a distribuição das tensões para $H/b=0.25$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,44918$.

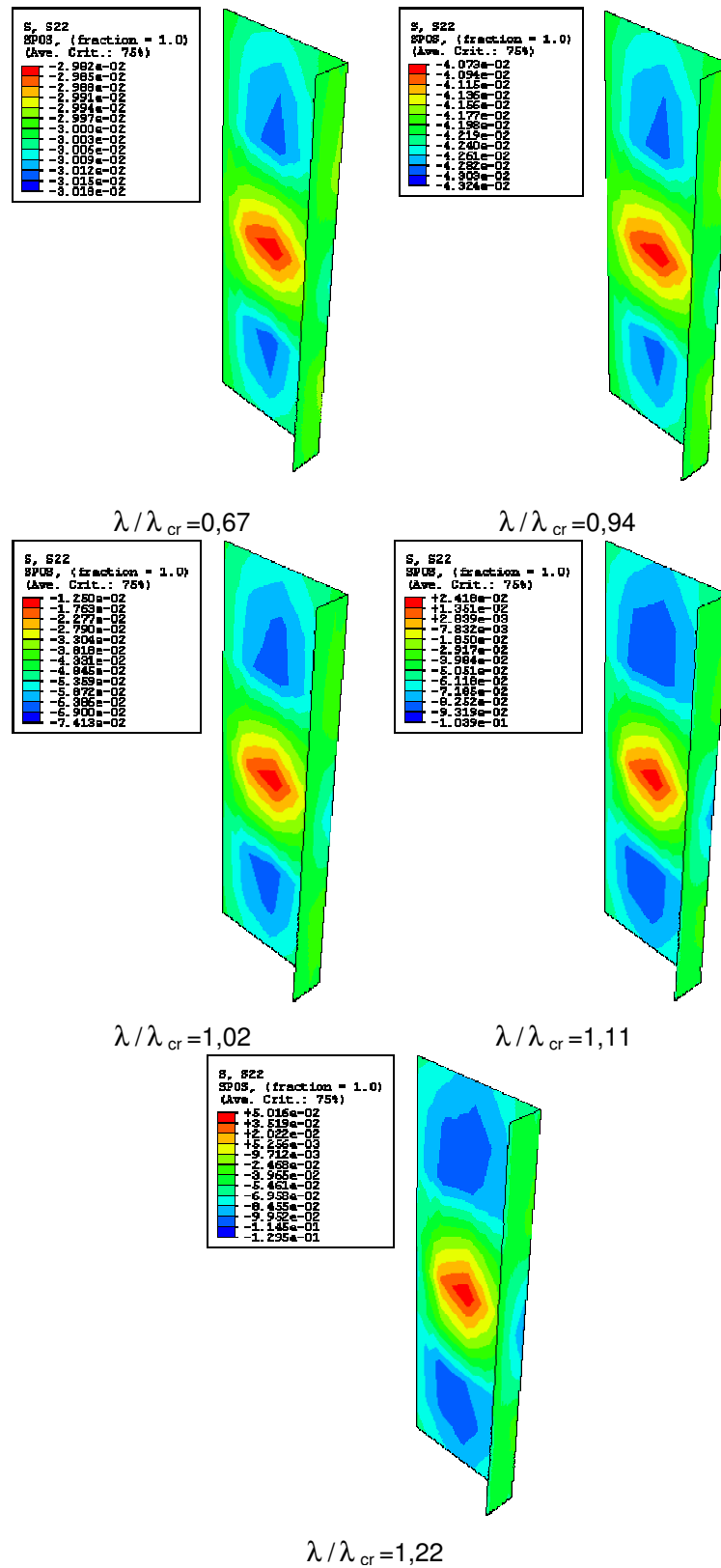
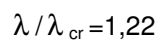


Figura 6.46 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada sob compressão axial com $H/b=0.25$.



PUC-Rio - Certificação Digital N° 0310978/CC

Nas Figuras 6.48 e 6.49, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada com $H/b=0.25$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo os valores de λ iguais aos das Figuras 6.46 e 6.47.

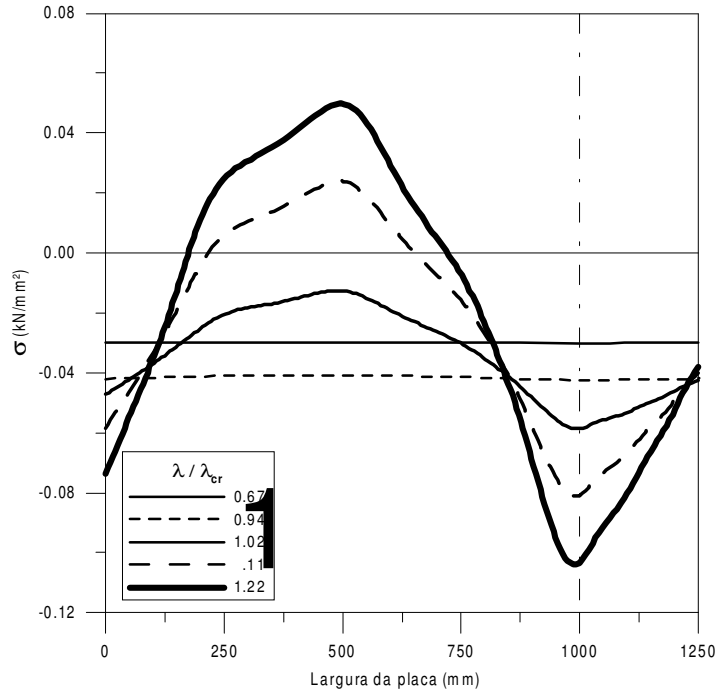


Figura 6.48 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.25$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

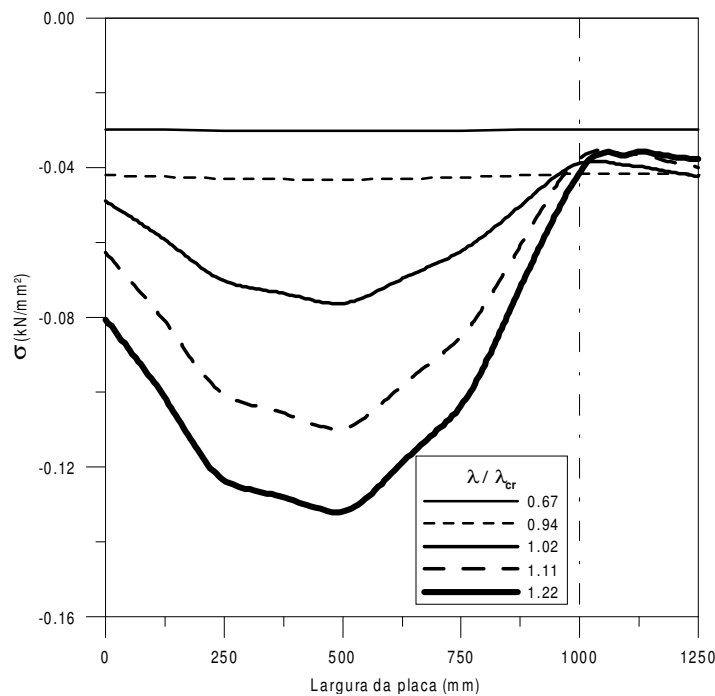


Figura 6.49 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.25$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310978/CC

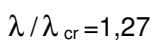


Figura 6.50 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.50$.

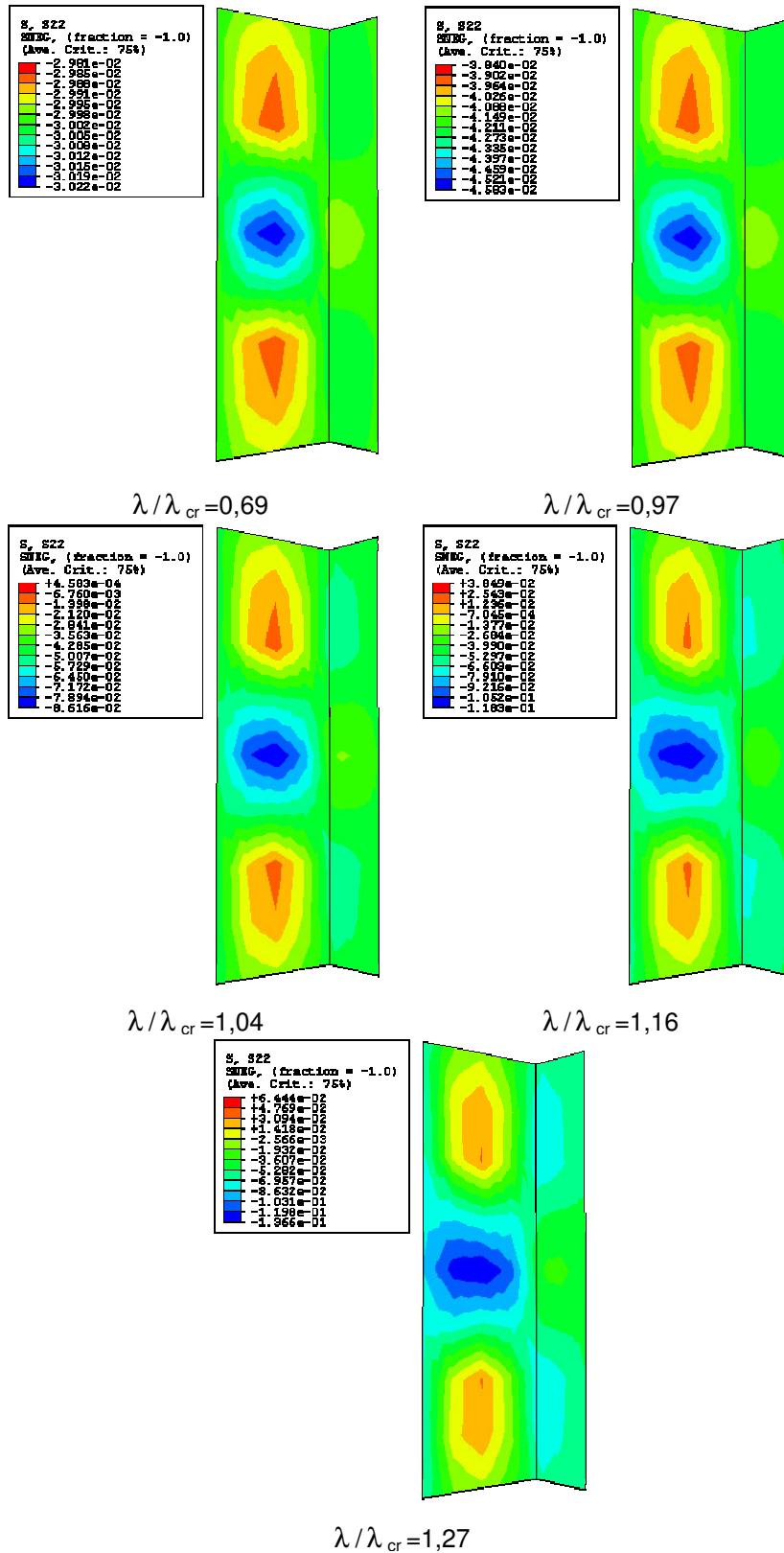


Figura 6.51 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.50$.

Nas Figuras 6.52 e 6.53, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada com $H/b=0.50$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

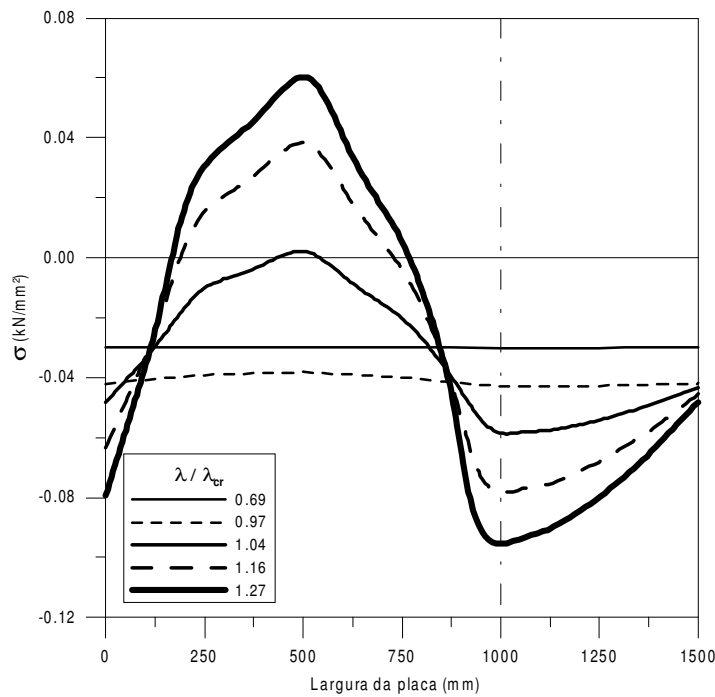


Figura 6.52 – Distribuição das tensões a meia altura ($y = a/2$) da face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.50$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

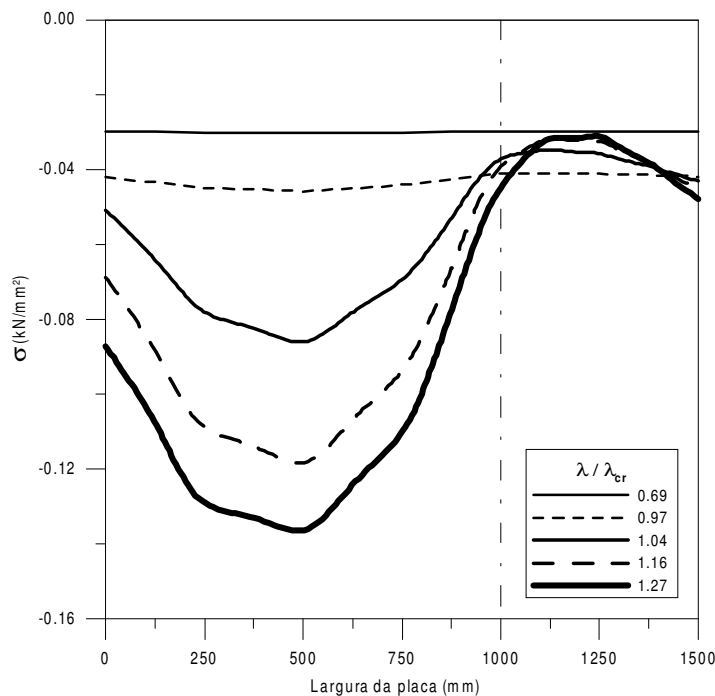


Figura 6.53 – Distribuição das tensões a meia altura ($y = a/2$) da face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.50$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Nas Figuras 6.54 e 6.55 observa-se a distribuição das tensões para $H/b=0.75$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,41235$.

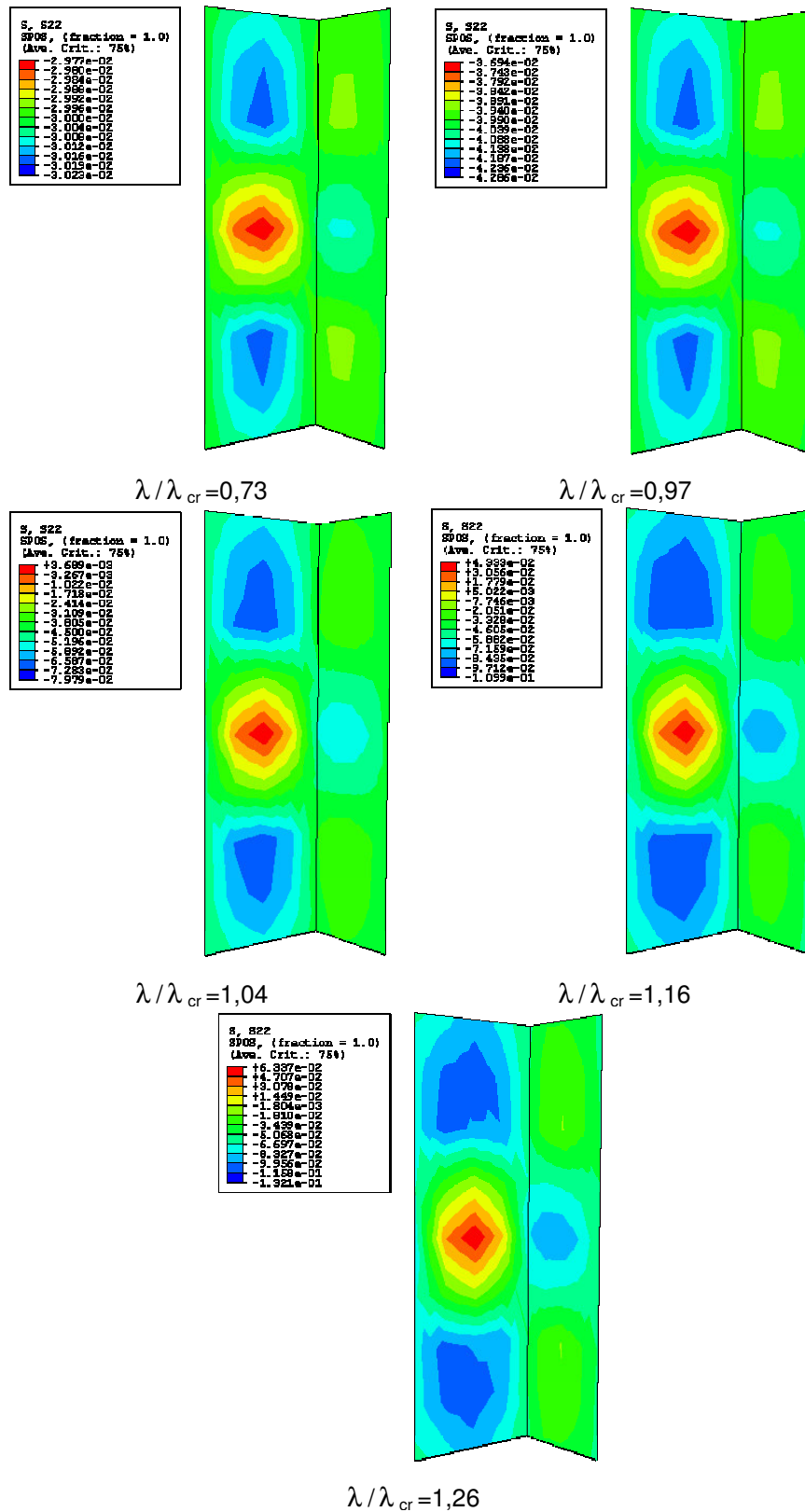


Figura 6.54 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.75$.

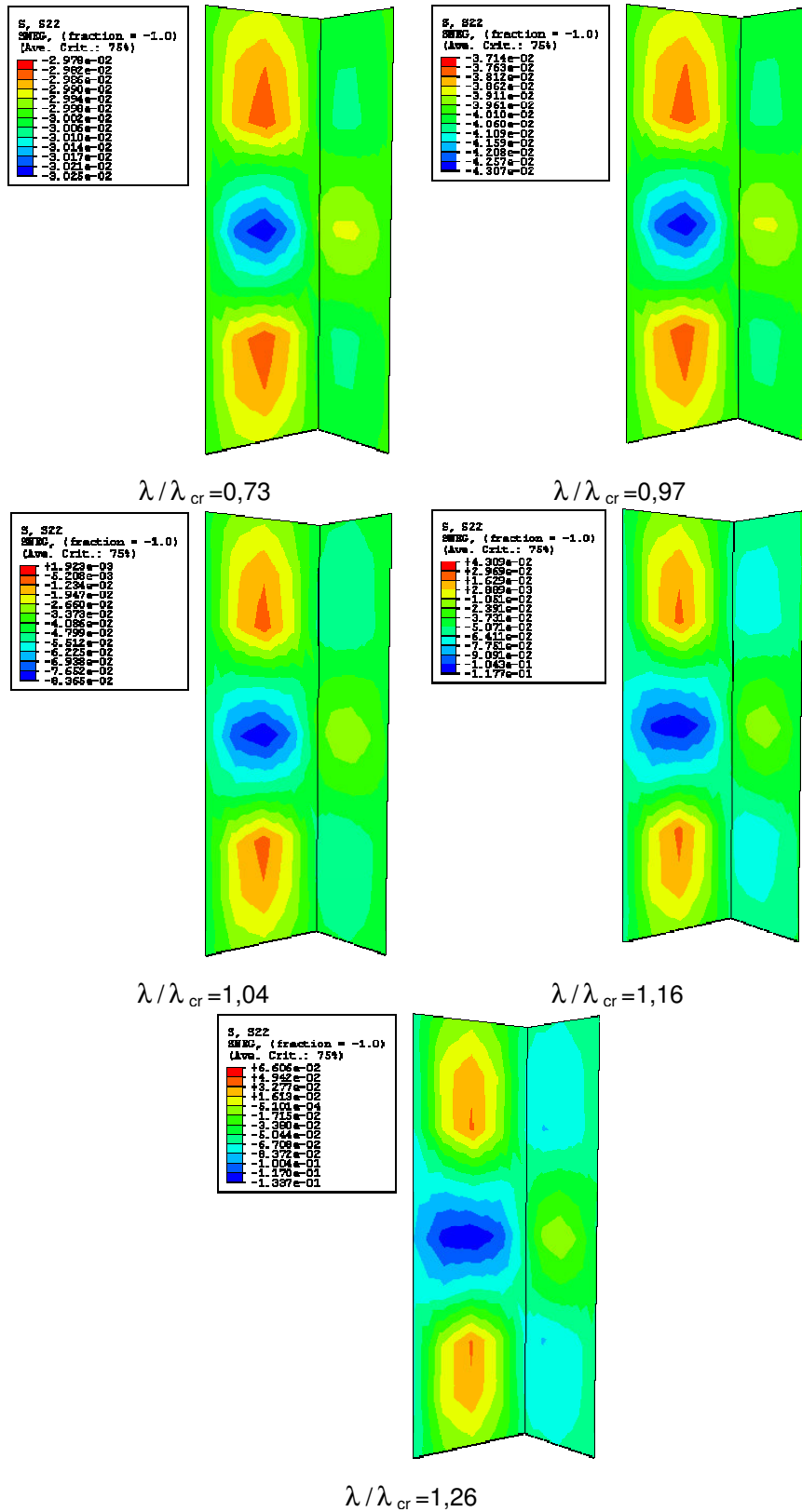


Figura 6.55 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.75$.

Nas Figuras 6.56 e 6.57, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada com $H/b=0.75$.

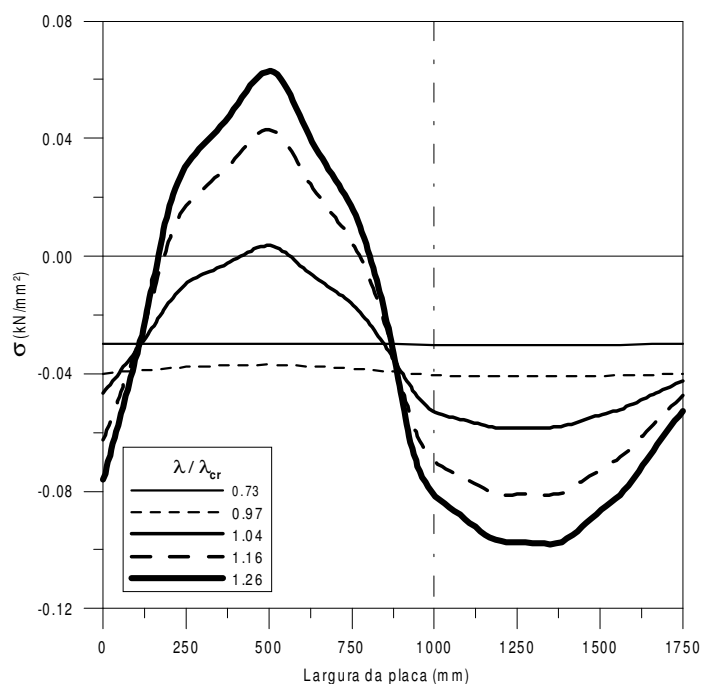


Figura 6.56 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.75$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

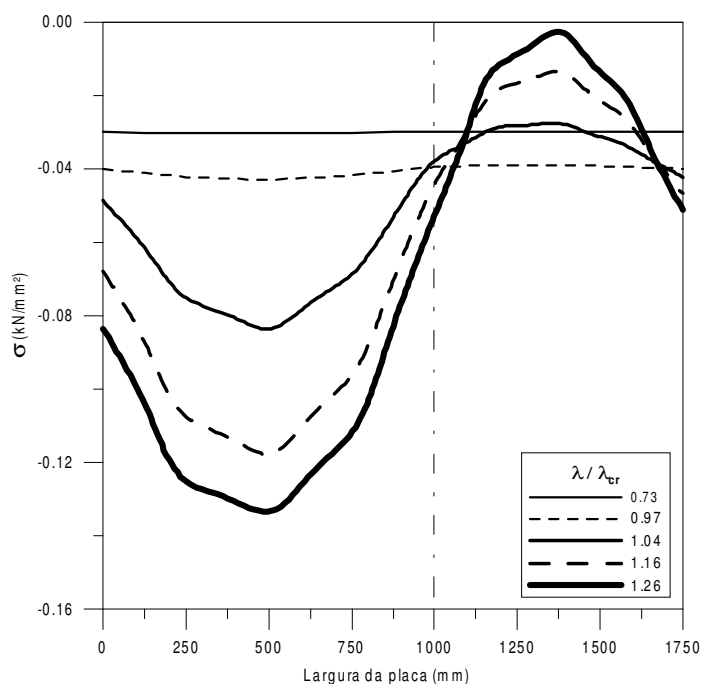


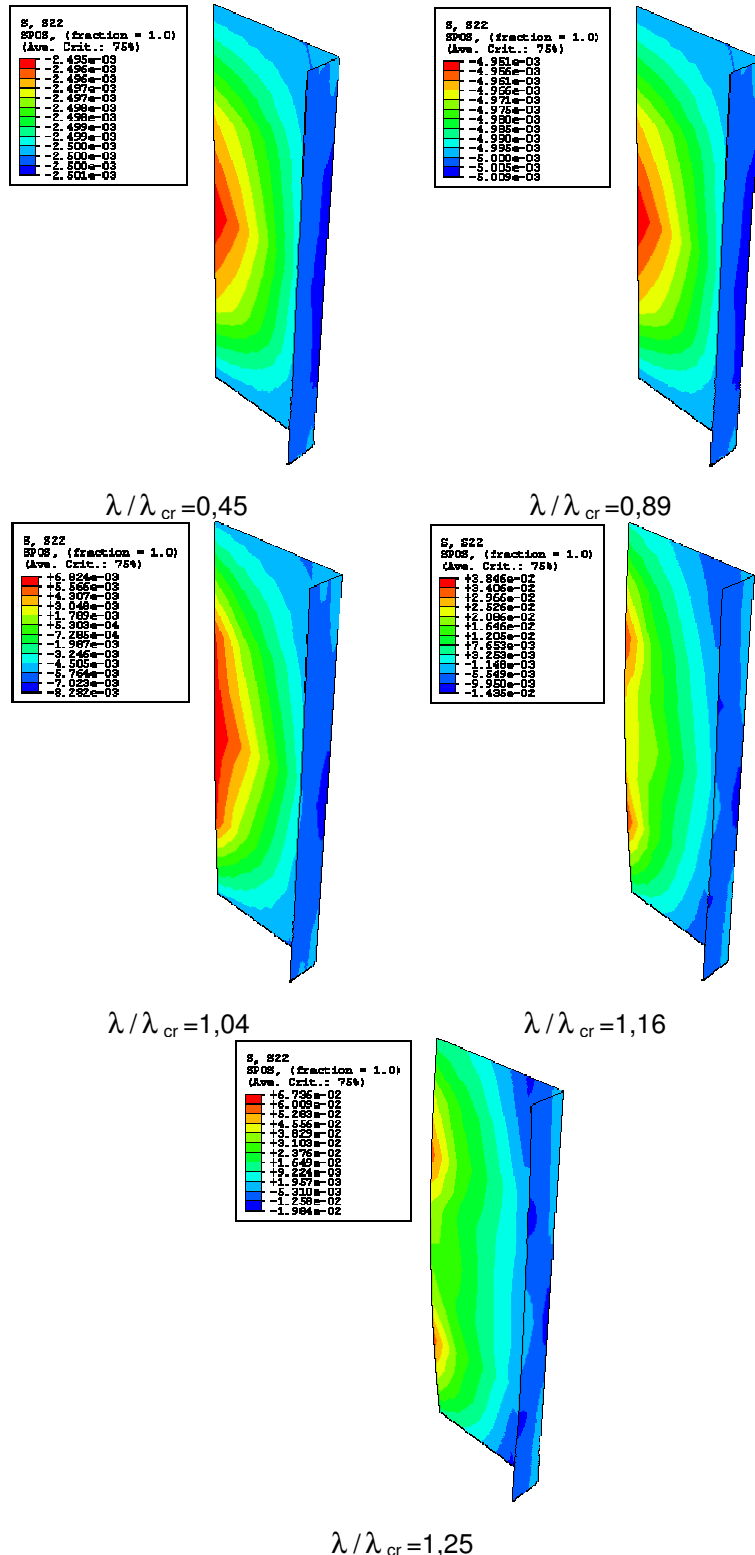
Figura 6.57 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.75$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Observa-se nestes exemplos que para a placa simplesmente apoiada em todos os bordos e H variável que as maiores tensões ocorrem na aba maior, sendo a menor responsável por grande parte da rigidez pós-crítica.

6.2.2.2.

Bordos Carregados Apoiados e os Demais Livres

Nas Figuras 6.58 e 6.59 observa-se a distribuição das tensões para $H/b=0.25$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,05590$.



$\lambda/\lambda_{cr} = 1,25$

Figura 6.58 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.25$.

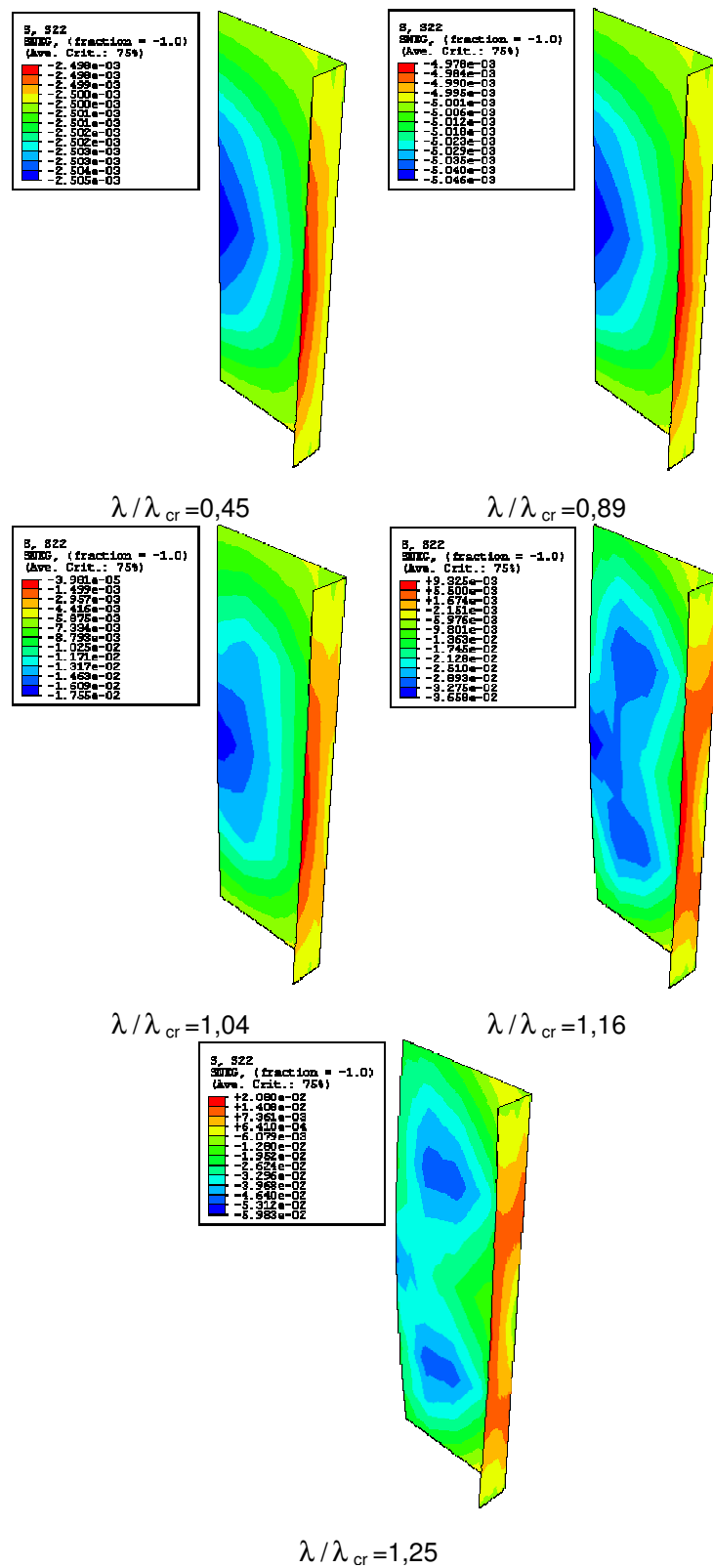


Figura 6.59 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0,25$.

Nas Figuras 6.60 e 6.61, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada com $H/b=0.25$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} , sendo os valores de λ iguais aos das Figuras 6.58 e 6.59.

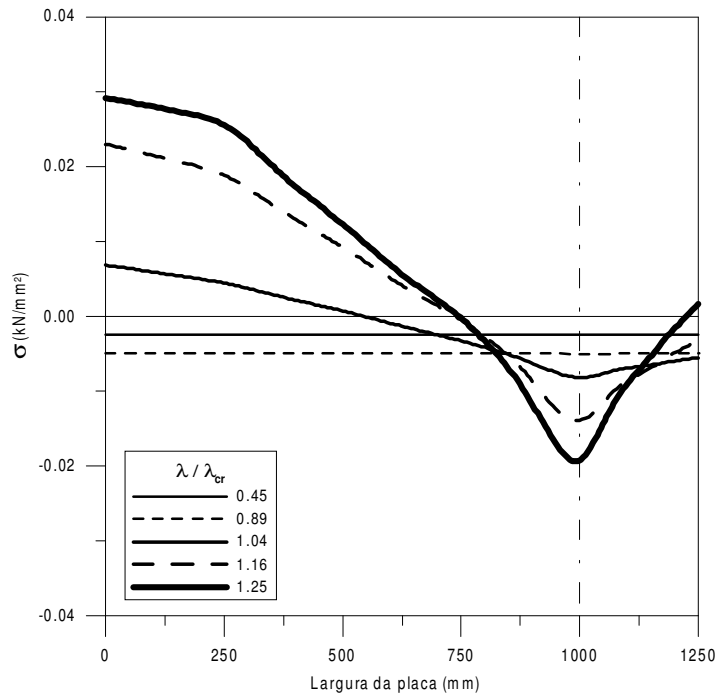


Figura 6.60 – Distribuição das tensões a meia altura ($y = a/2$) da face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.25$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

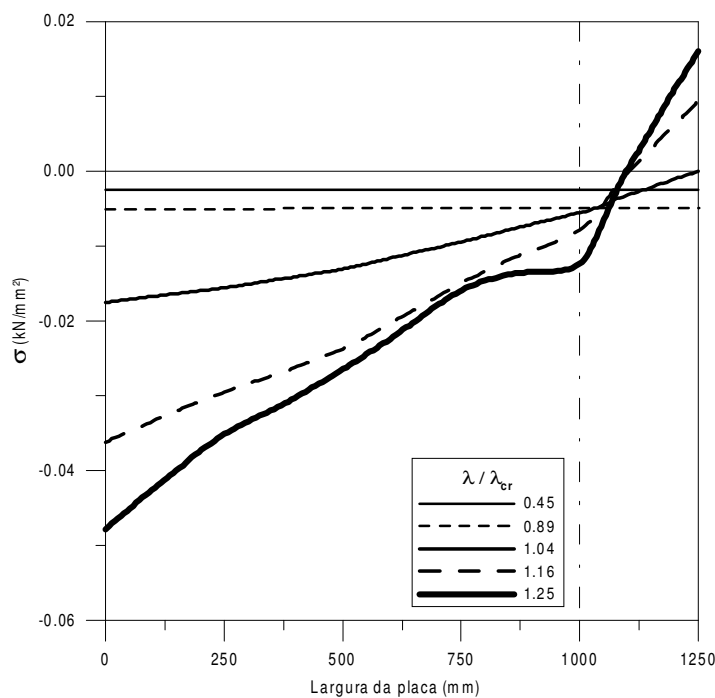


Figura 6.61 – Distribuição das tensões a meia altura ($y = a/2$) da face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.25$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

Nas Figuras 6.62 e 6.63 observa-se a distribuição das tensões para $H/b=0.50$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,05941$.

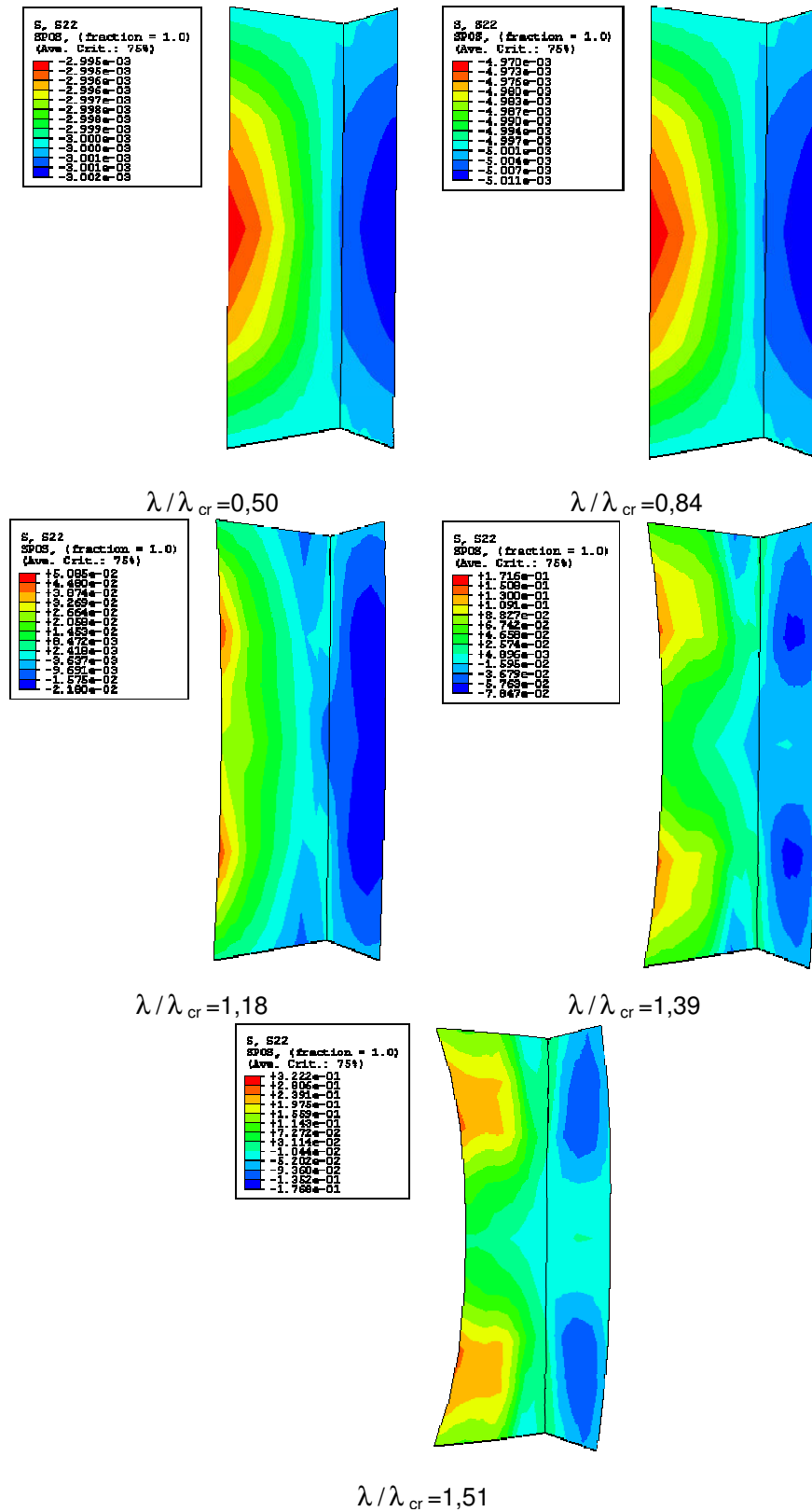


Figura 6.62 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.50$.

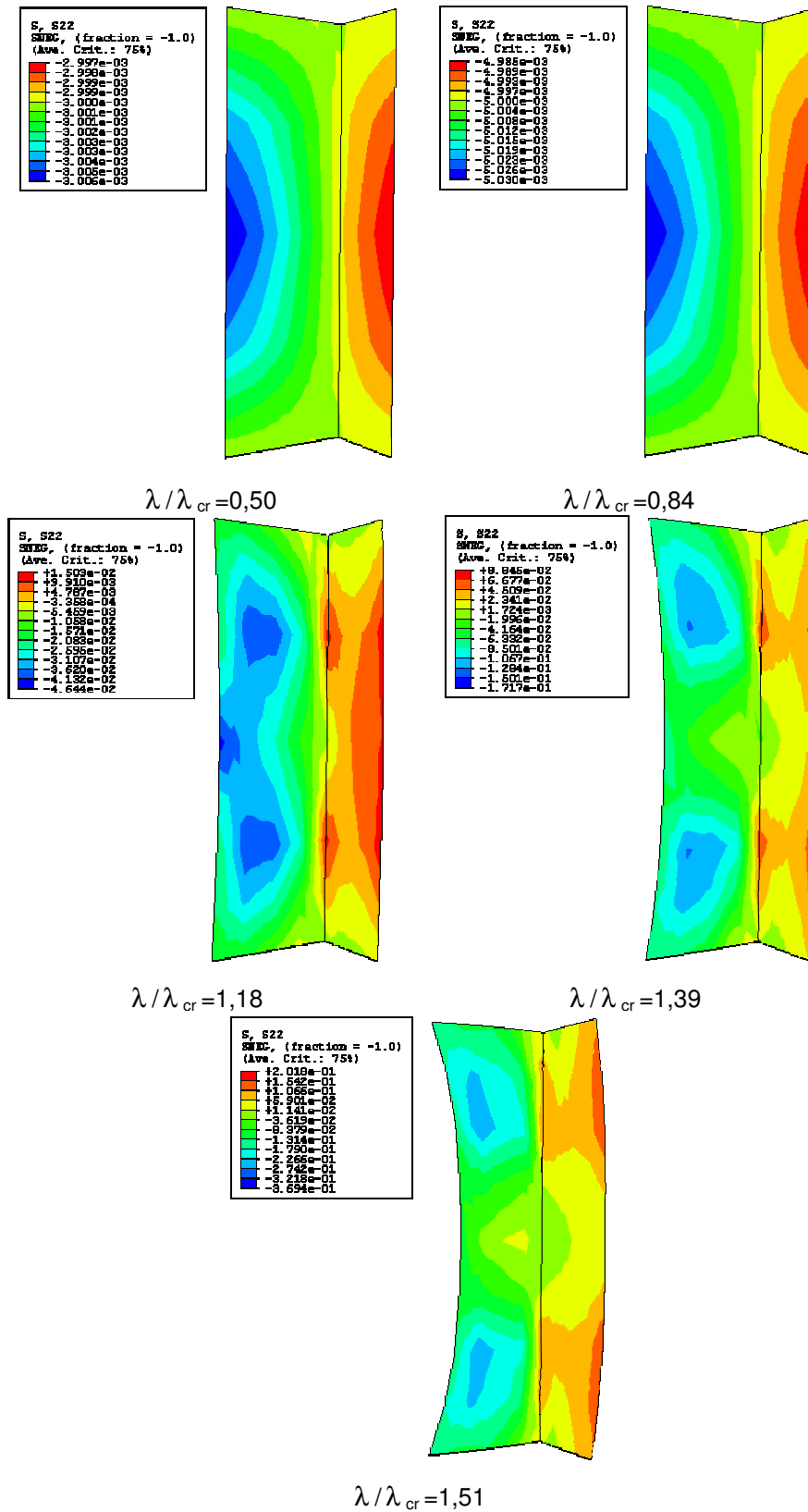


Figura 6.63 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.50$.

Nas Figuras 6.64 e 6.65, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada de $H/b=0.50$.

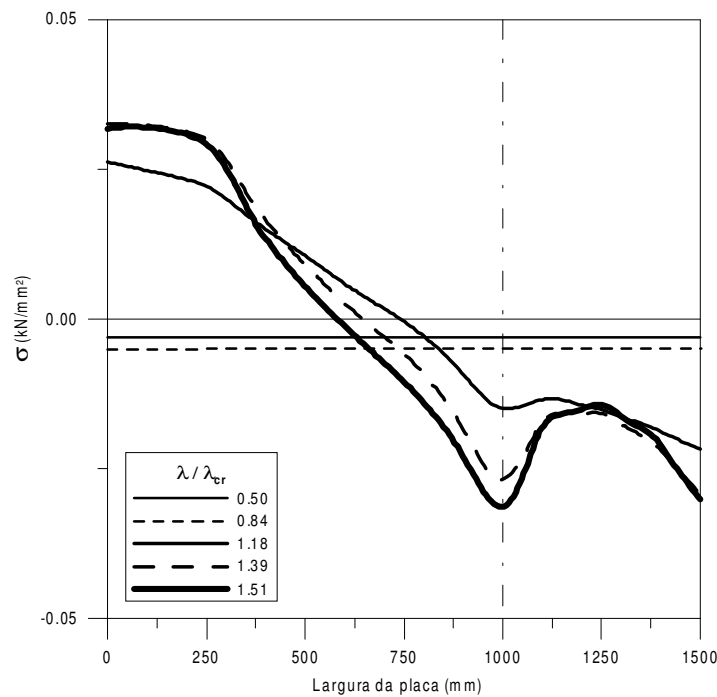


Figura 6.64 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.50$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} .

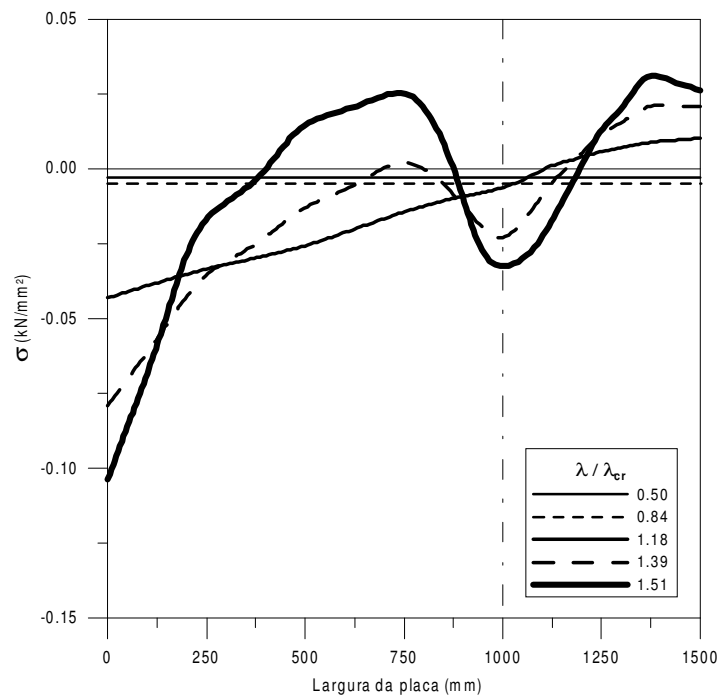


Figura 6.65 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.50$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ / λ_{cr} .

Nas Figuras 6.66 e 6.67 observa-se a distribuição das tensões para $H/b=0.75$. Neste caso $\lambda_{cr} = 0,05625$.

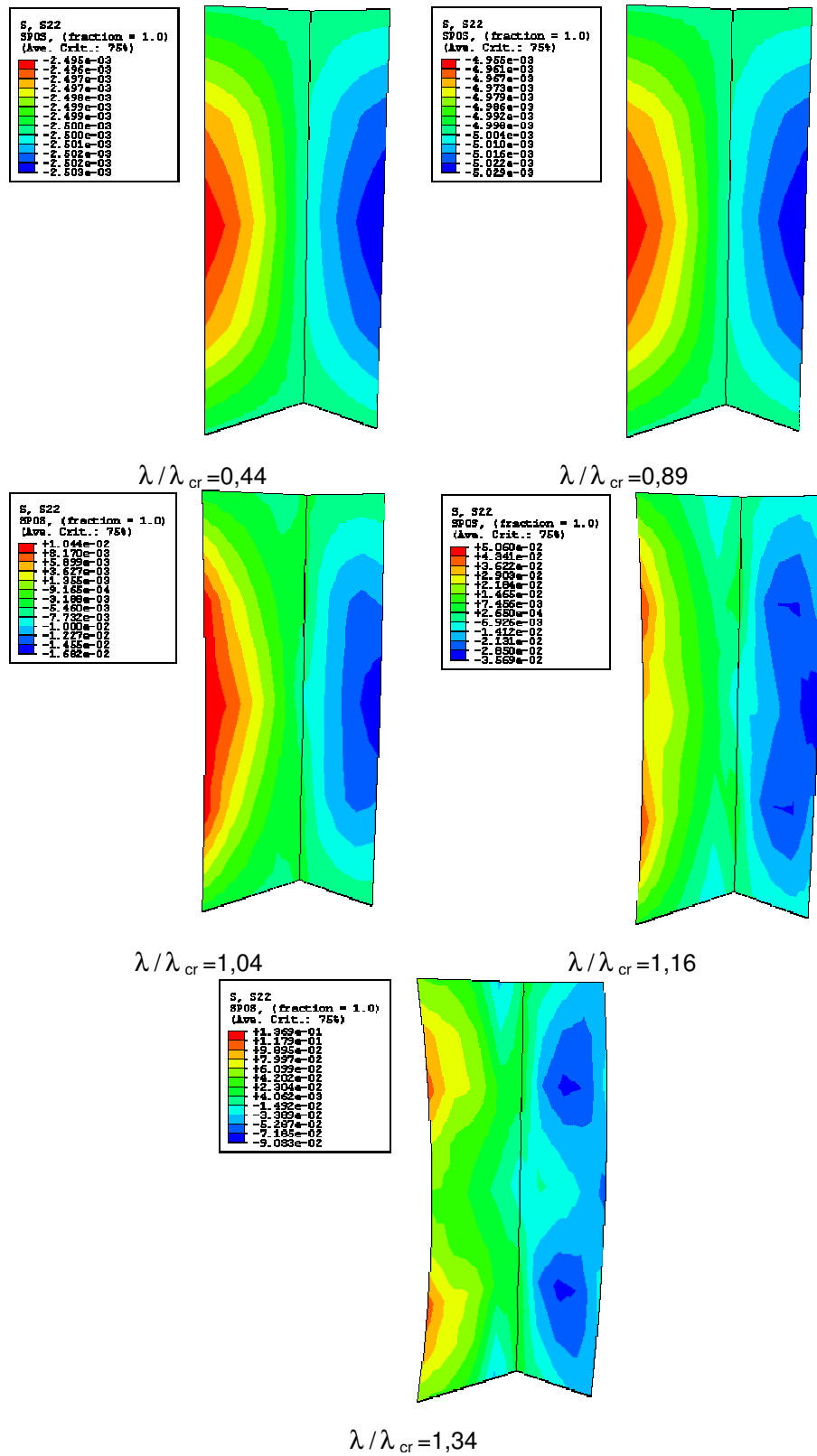


Figura 6.66 – Distribuição das tensões, na face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.75$.

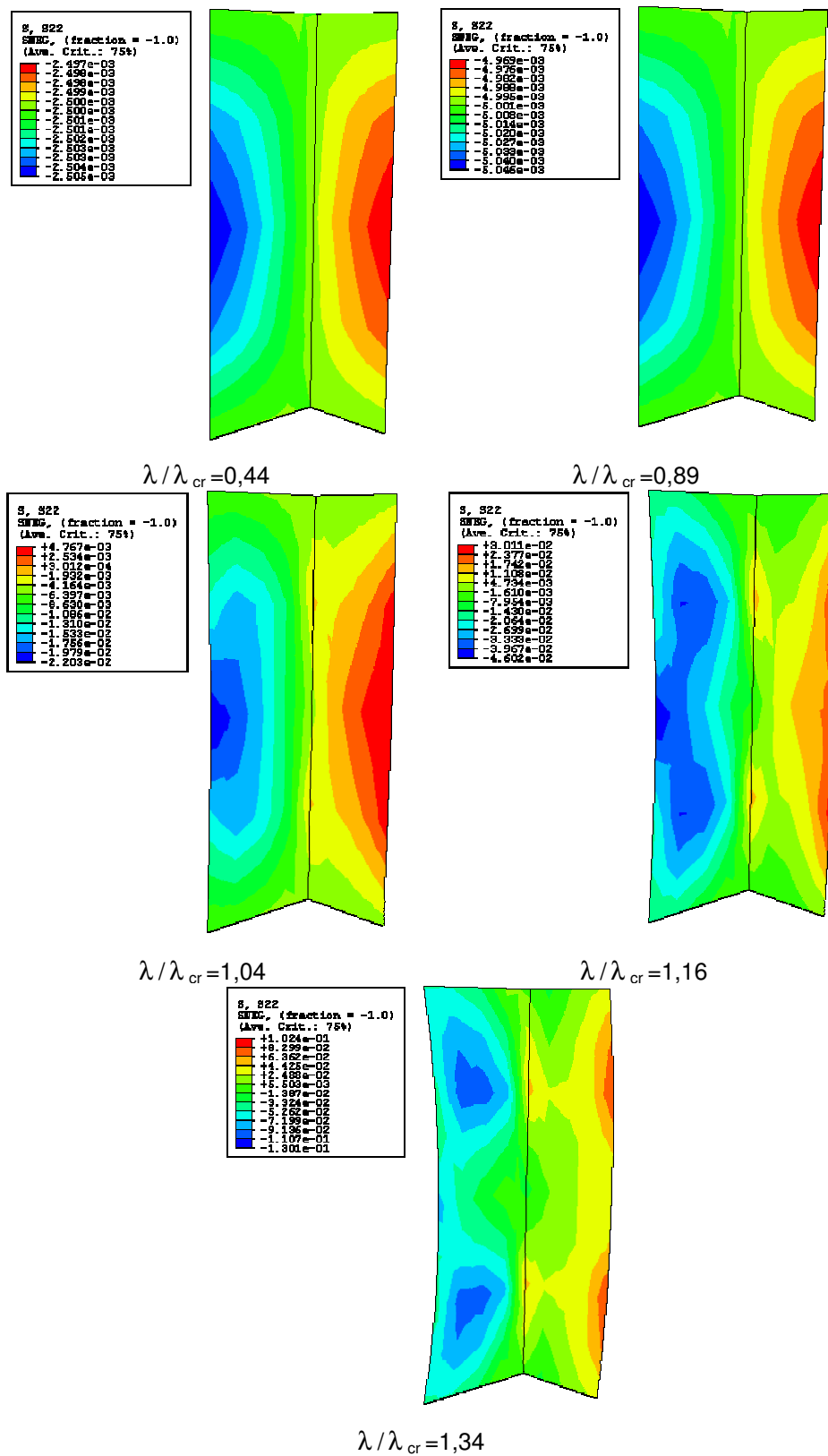


Figura 6.67 – Distribuição das tensões, na face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.75$.

Nas Figuras 6.68 e 6.69, tem-se a distribuição das tensões a meia altura $y=a/2$ das faces positiva e negativa, respectivamente, de uma placa dobrada de $H/b=0.75$. Observa-se que as maiores tensões ocorrem, como esperado, no bordo livre da placa maior. Fica assim claro que nestes casos a aba menor funciona como um enrijecedor.

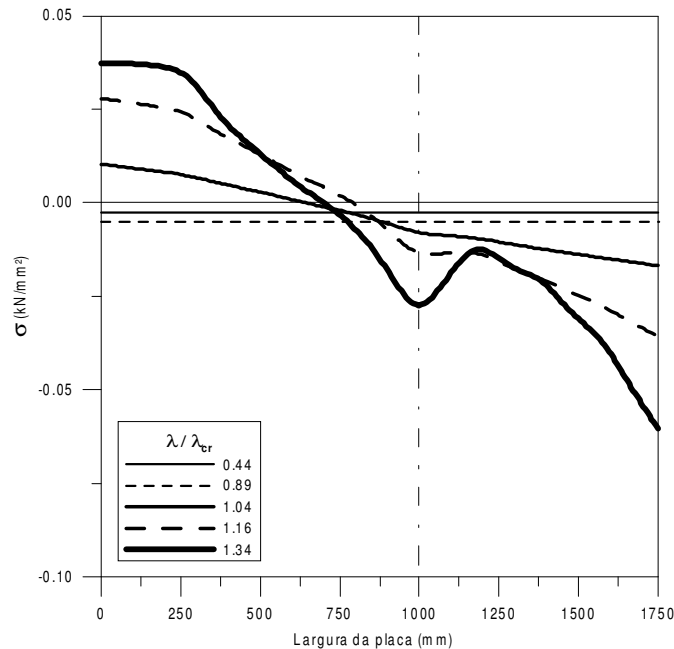


Figura 6.68 – Distribuição das tensões a meia altura da face positiva de uma placa dobrada com $H/b=0.75$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

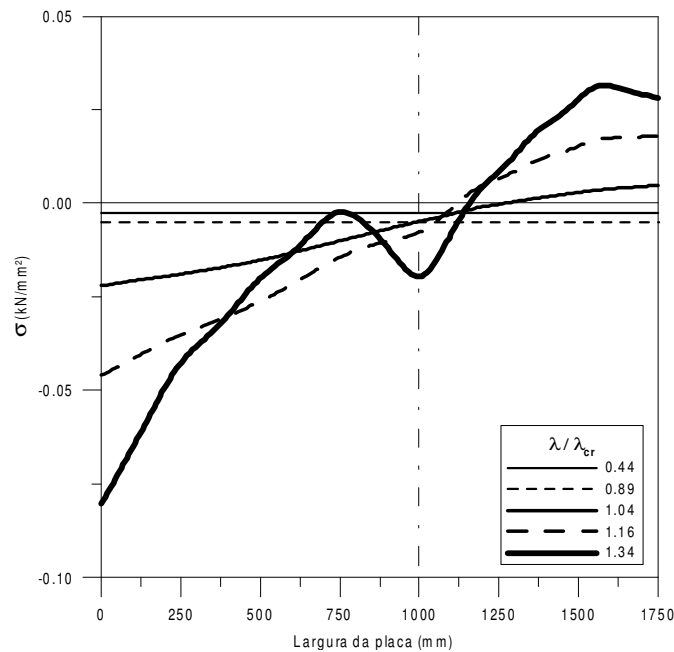


Figura 6.69 – Distribuição das tensões a meia altura da face negativa de uma placa dobrada com $H/b=0.75$ e $\alpha=3.0$ para algumas relações de λ/λ_{cr} .

6.3.

Influência da Dobra no Comportamento de Placas

Vale ressaltar que a dobra é muito importante na placa, pois influencia diretamente os modos de flambagem, a forma do caminho de equilíbrio, aumentando significativamente sua carga de bifurcação e rigidez pós-crítica. Observa-se também uma grande influência na evolução do estado de tensões. As Figuras 6.70 à 6.74, onde estuda-se uma placa isolada quadrada e com bordos verticais livres e posteriormente a mesma placa, porém dobrada com $\theta=15^\circ$, mostram claramente esta influência.

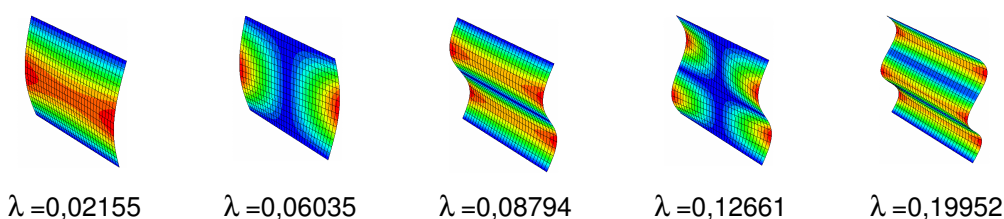


Figura 6.70 – Cinco primeiros modos de flambagem de placa retangular com $\alpha = 1.0$.

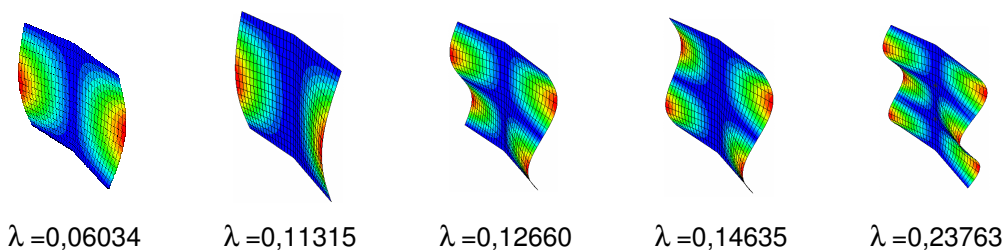


Figura 6.71 – Cinco primeiros modos de flambagem de placa dobrada com $\alpha = 2.0$.

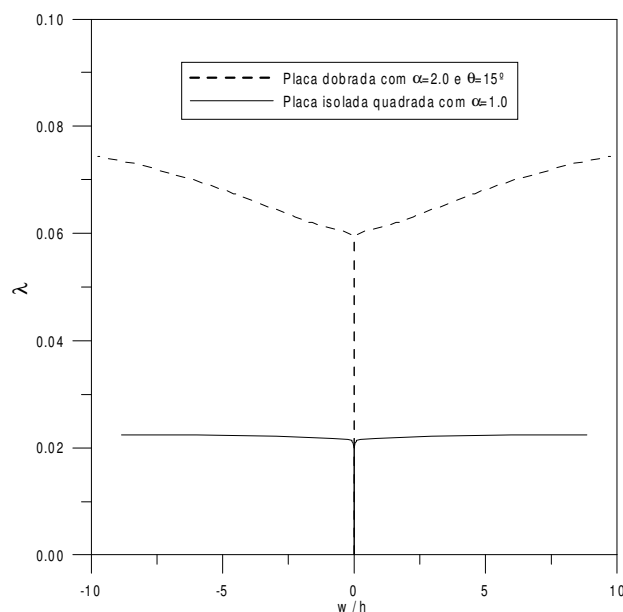


Figura 6.72 – Caminho pós-crítico de uma placa isolada quadrada e placa dobrada com $\theta=15^\circ$ sob compressão axial, com apenas os bordos carregados apoiados.

Pelas Figuras 6.70 à 6.72, nota-se que a carga crítica de flambagem da placa dobrada é bem superior ao da placa isolada, correspondendo aproximadamente à segunda carga de flambagem da placa isolada.

Nas Figuras 6.73 e 6.74 tem-se a distribuição das tensões ao longo da largura da placa.

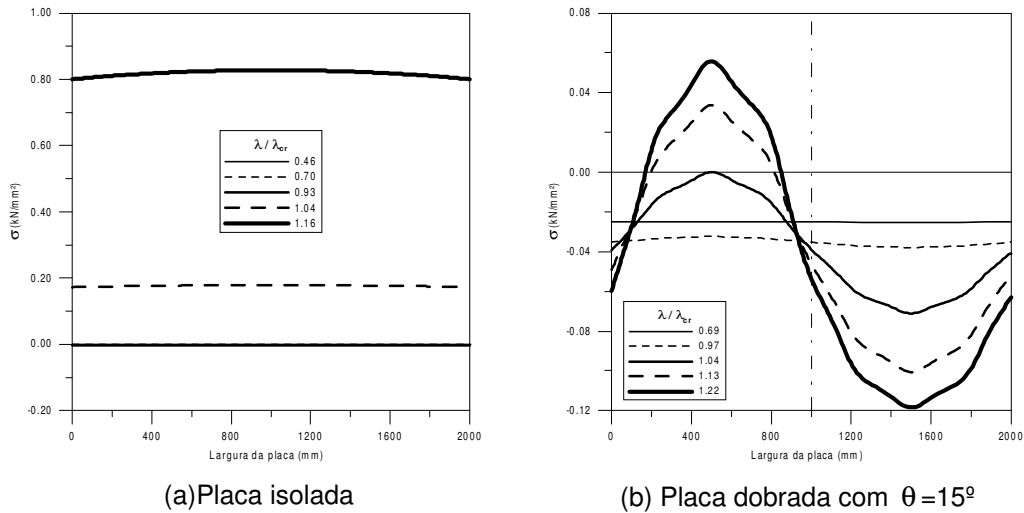


Figura 6.73 – Distribuição das tensões no centro $y = a/2$ da face positiva.

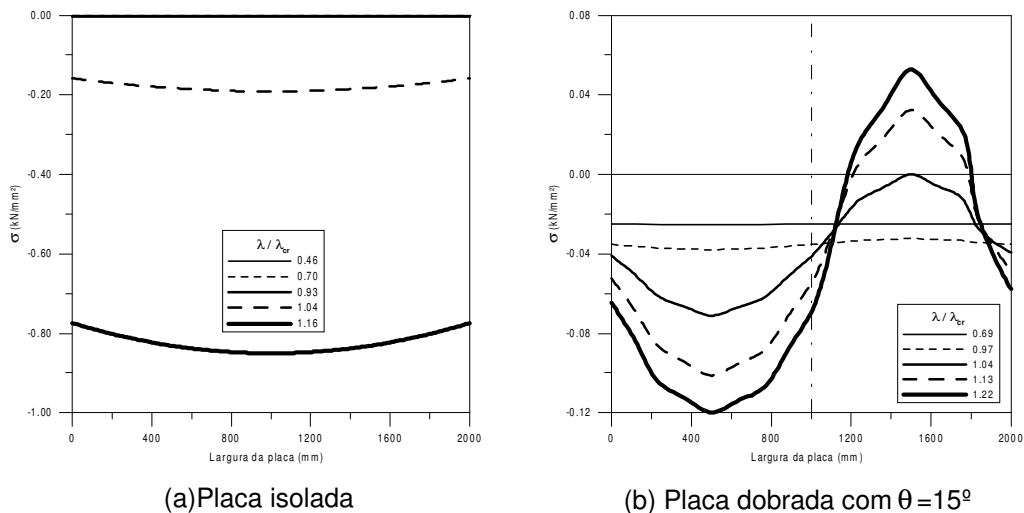


Figura 6.74 – Distribuição das tensões no centro $y = a/2$ da face negativa.