

7

Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões do estudo realizado e algumas recomendações para trabalhos futuros com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas nos Capítulos 4, 5 e 6.

7.1

Conclusões

O presente trabalho apresentou um resumo da teoria não linear de placas de von Kármán e da teoria de Marguerre para cascas esbeltas, destacando as diferenças básicas e a influência da curvatura nos esforços e equações de equilíbrio. A seguir foi apresentado o processo de discretização em elementos finitos usado na análise paramétrica.

No Capítulo 4, os esforços solicitantes da casca conoidal foram analisados para as diferentes condições de contorno, curvaturas e dimensões. Para o modelo engastado nos bordos (mais rígido **EEEE**), os momentos fletores são praticamente nulos na região central, havendo uma concentração próxima aos bordos, onde o momento cresce bastante devido ao chamado efeito de bordo. No caso da flexão em x e torção, a concentração se dá nos bordos curvos, havendo uma ligeira tendência de maiores esforços ao longo do bordo com menor curvatura. Analisando os esforços de membrana, percebe-se que estes são predominantes em relação aos esforços de flexão e torção. Na direção x , há novamente uma concentração no meio do vão do bordo de menor curvatura, enquanto que no bordo oposto, as magnitudes são bem reduzidas. Na direção y , nota-se uma faixa mais concentrada no meio do vão, tendendo para o bordo mais baixo da casca. A geometria curva e esbelta da casca conoidal apresenta um comportamento estrutural de membrana, onde há predominância dos esforços normais. Quanto mais curvo o bordo da casca, menores são os esforços de flexão nela presentes. Para uma casca simplesmente apoiada ao longo dos dois bordos retilíneos e livre

nos bordos curvos (**SASALL**), os esforços de flexão M_{xx} e M_{yy} também são de baixa magnitude, porém nos bordos livres não há concentração de esforços. Além da concentração de esforços nas faixas dos bordos retilíneos, mais próximas aos apoios, pode-se perceber uma concentração também no meio do vão, com sinal oposto. Os esforços de torção são praticamente nulos para estas condições de contorno da casca conoidal, exceto no encontro do bordo livre de menor curvatura com o bordo rotulado. Os esforços de membrana se concentram na direção y e são maiores na faixa próxima ao bordo menos curvo. Analisando a distribuição dos esforços solicitantes na casca conoidal em função da curvatura, observa-se que, conforme vai aumentando sua curvatura, a magnitude dos esforços vai diminuindo. Este impacto é maior em relação aos esforços de membrana e menor em relação aos esforços de flexão e cortantes. Aumentando-se o comprimento da casca conoidal, observa-se que os esforços solicitantes aumentam de magnitude, porém concentram-se na parte mais baixa da casca, ou seja, onde a curvatura é menor. Comparando-se os esforços na casca com os de uma placa de mesmas dimensões, observa-se um decréscimo acentuado nos esforços de flexão devido à curvatura inicial da estrutura e o aparecimento dos esforços de membrana, que se tornam dominantes.

No Capítulo 5, na análise dinâmica, variando-se a curvatura da casca, observa-se que, para os três primeiros modos de vibração, quanto menor a curvatura da casca, menores são as frequências naturais de vibração. Assim, pode-se dizer que as cascas com maior curvatura apresentam melhor comportamento dinâmico sob cargas ambientais que as cascas com menor curvatura, considerando as mesmas condições de contorno. Quanto à variação das condições de contorno, observa-se que a frequência natural mais baixa varia de 20,42 Hz para uma casca engastada nos quatro bordos (E-E-E-E, caso mais rígido) até 3,11 Hz para uma casca simplesmente apoiada ao longo dos dois bordos retilíneos e livre nos bordos curvos (**SASALL**, caso mais flexível dentre os aqui analisados). Comparando este último resultado com o da casca engastada ao longo dos dois bordos retilíneos e livre nos bordos curvos (**EELL**), observa-se que a frequência natural mais baixa varia de 6,42 Hz a 3,11 Hz. Na maioria dos casos práticos da engenharia, onde os bordos curvos são livres, a rigidez dos apoios retilíneos dependerá da rigidez

relativa da casca e do próprio apoio. Assim, considerando-se uma casca com apoios elásticos, pode-se dizer que as frequências naturais da mesma irão variar na faixa entre as observadas para os casos EELL e SASALL. Quanto ao comprimento, observa-se que para as condições de contorno mais rígidas, há um decréscimo significativo nas frequências naturais para os três primeiros modos de vibração, conforme a casca se torna mais longa.

No Capítulo 6, na análise da estabilidade, conclui-se que, na comparação dos dois modelos (mais flexível e menos flexível), a relação entre as cargas limite é aproximadamente igual a 10. Isto demonstra a influência significativa das condições de contorno no comportamento estrutural da casca conoidal e sua importância no cálculo e dimensionamento da mesma. Conclui-se também que, quanto maior a curvatura, tanto maior será a carga crítica, ou seja, a carga limite da casca conoidal. Percebe-se que o formato curvo confere à estrutura uma grande rigidez e conseqüente excelente capacidade de carga. Para modelos com diferentes comprimentos, percebe-se que, para a condição de contorno mais rígida, ou seja, para o caso de engaste nos quatro bordos, quanto mais curta a casca conoidal, maior será a sua carga limite e, portanto, sua capacidade de carga, mantendo fixas todas as outras dimensões.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como continuação natural deste trabalho, sugere-se a análise não linear da casca conoidal e obtenção dos caminhos não lineares de equilíbrio.

Sugere-se também o desenvolvimento de um programa numérico para análise de cascas conoidais abatidas pelo método de Ritz ou Galerkin, usando como funções de interpolação os polinômios propostos por Ribeiro em *Nonlinear vibrations of simply-supported plates by the p-version finite element method* (2005) para análise não linear de placas.

Dando continuidade à análise dinâmica, propõe-se também desenvolver a análise dinâmica não linear de cascas conoidais abatidas, e complementar o estudo com uma análise experimental, comparando os resultados obtidos.