

6

Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação do estudo de flambagem de placas com uso de elementos enriquecidos com funções adicionais, com a elaboração de um modelo computacional com o uso do software *Maple*.

A partir dos resultados obtidos e da análise dos mesmos, apresentadas no capítulo 5, é possível chegar às seguintes conclusões:

- As funções adicionais apenas com termos polinomiais são favorecidas pelo fato de permitirem um processamento muito mais rápido. Entretanto, as funções trigonométricas têm potencialmente melhores condições de convergência, no caso de um maior refinamento.
- A utilização de funções adicionais internas e de contorno, ao invés do refinamento de uma malha de elementos finitos, possibilita o cálculo de cargas e frequências com boa aproximação. Além disso, conclui-se que outras formas de funções podem ser inseridas ao modelo desde que as condições de contorno sejam atendidas.
- Ao testar-se o modelo, a partir do uso de elemento retangular MZC (3 graus de liberdade por nó), verificou-se o surgimento de problemas para algumas peças como o de uma placa simplesmente apoiada pelo fato deste elemento não poder atender a todas condições de contorno. Porém, ao inserir o elemento BFS, este problema foi solucionado.
- Outro fato importante a ser descrito diz respeito à quantidade de funções inseridas ao programa. Em princípio, quanto maior for o número de funções incluídas mais convergentes serão os resultados obtidos. Entretanto, como não foi tomado nenhum cuidado para ortogonalizar as funções envolvidas, não foi possível usar uma grande número de funções adicionais, devido ao surgimento de erros de arredondamento. Além disso, o fato de as matrizes serem cheias torna o processamento progressivamente mais lento, e impede na prática o uso de grande número de funções adicionais.
- Foi demonstrado que o quadrado da primeira frequência se aproxima linearmente de zero à medida que a carga se aproxima do valor da carga

crítica. Também, a segunda frequência se reduz de forma aproximadamente linear com o nível de carga. Além disso, foi possível notar que alguns modos de flambagem são semelhantes aos modos de vibração para alguns casos. No exemplo 3, entretanto, o terceiro modo envolve a ocorrência de duas meias-ondas na direção transversal, algo usualmente descartado na literatura.

- O efeito do dano na placa apoiada em todo o contorno (Ex. 4) foi bem mais acentuado que no Ex. 5 (pilar-parede). Isto pode ser explicado por ser a carga crítica elástica mais alta no Ex. 4, similarmente ao que ocorre na carga de colapso elastoplástico de colunas curtas e esbeltas.
- Foi demonstrado que o tratamento linearizado da flambagem com material não-linear leva a resultados consistentes, com redução da carga estimada de flambagem. Tal procedimento permite uma análise teórica completa e tem pouco custo computacional, podendo ser útil em estudos preliminares de projeto e estratégias de otimização do projeto. Naturalmente, permanece recomendável, e mesmo obrigatório em certas situações, fazer a verificação da carga de colapso e do comportamento não-linear em forma a mais completa possível.

Para a continuação desta linha de pesquisa sugere-se os seguintes tópicos:

- Elaborar um estudo para os casos planos de tensões e axissimétricos.
- Utilizar funções localizadas para uma melhor avaliação do efeito do dano do material. Seria também importante incorporar condições de ortogonalidade ao desenvolver tais funções.
- Elaborar um estudo experimental e numérico mais amplo para pilares-parede de concreto armado.
- Ampliar o estudo para cascas, placas sanduíches, vigas-parede.
- Incluir um estudo não linear do efeito de dano.
- Mais estudos sobre estratégias e comparações entre usar elementos finitos enriquecidos com funções internas (matrizes cheias, menor número de graus de liberdade) ou elementos simples com uma malha mais refinada (matrizes em banda, maior número de graus de liberdade) .