

8

Conclusões e sugestões

8.1.

Conclusões

Esta tese propõe técnicas para a dedução de modelos de dimensão reduzida para análise das vibrações não-lineares e estabilidade de cascas cilíndricas esbeltas contendo um fluido não-viscoso e incompressível.

Dentre os aspectos inovadores e contribuições deste trabalho, destacam-se os seguintes pontos:

- a metodologia proposta para se obter de forma analítica os campos de deslocamentos axiais e circunferenciais em função do campo de deslocamentos laterais, satisfazendo as equações de equilíbrio no plano da casca cilíndrica e as condições de contorno, de simetria e de continuidade do problema.

Tem-se assim uma solução mais precisa que as soluções aproximadas encontradas na literatura, em particular aquelas que utilizam a função de tensão. Essa metodologia, além da qualidade da solução, permite reduzir de forma significativa o número de incógnitas do problema, sendo a dimensão final do problema igual ao número de modos utilizados para descrever o campo de deslocamentos laterais.

- a expansão modal proposta, deduzida a partir do emprego de técnicas de perturbação, que atende as condições de contorno relativas ao deslocamento transversal.

O procedimento proposto para a dedução deste campo de deslocamentos permite identificar todos os modos não-lineares que se acoplam com o modo linear através das não-linearidades cúbicas e quadráticas. A importância de cada um desses modos pode ser comprovada através do método de Karhunen-Loève que os classifica de acordo com sua participação na energia total do sistema.

- a utilização do uso simultâneo de técnicas de perturbação com o método de Karhunen-Loève, que é inédita na literatura e permite a dedução de modelos de dimensão bastante reduzida.

Os resultados mostram que um modelo com apenas três modos ortogonais próprios (POMs) permite a obtenção de uma resposta precisa até grandes amplitudes de vibração, da ordem de duas vezes a espessura da casca. A metodologia pode ser facilmente empregada na análise não-linear de outros elementos estruturais, tais como vigas, placas, arcos e cascas com outras geometrias.

- os resultados obtidos com os modelos reduzidos que se comparam de forma favorável com os obtidos usando-se o método dos elementos finitos.

Verifica-se na utilização do método dos elementos finitos a necessidade de um grande esforço computacional para a obtenção de resultados, tais como as relações frequência-amplitude e as curvas de ressonância de uma casca submetida a uma pressão lateral harmônica. Dessa maneira, os modelos de dimensão reduzida demonstram ser uma alternativa para a minimização desse esforço. A qualidade dos resultados obtidos a partir desses modelos de dimensão reduzida justifica o seu emprego, principalmente na análise das fronteiras de instabilidade, dos diagramas de bifurcação, das bacias de atração e nos estudos de concepções preliminares de projeto.

- o estudo da integridade do sistema dinâmico, a partir da evolução das bacias de atração.

Apresentam-se várias alternativas para o estudo da integridade considerando a resposta permanente e transiente do sistema. A proposta de limitar a área da bacia de atração à região compreendida entre as órbitas heteroclínicas, obtidas a partir de um sistema conservativo, mostra-se eficiente e funcional, inclusive para análises em que a resposta transiente se faz necessária.

- a consideração do fluido interno à casca cilíndrica modifica a inércia do sistema casca-fluido, aumentando a massa total e diminuindo as frequências naturais do sistema. Com isto modificam-se as fronteiras de instabilidade paramétrica, os diagramas de bifurcação, as bacias de atração e as curvas de ressonância.

Os modelos de dimensão reduzida utilizados descrevem com precisão a interação fluido-estrutura, inclusive nos casos em que a altura do fluido é variável. Um aspecto importante e ainda não mencionado na literatura é a possibilidade de mudanças bruscas, tanto quantitativas quanto qualitativas, da resposta dinâmica do sistema nos processos de enchimento e esvaziamento de

tanques cilíndricos quando esses encontram-se na presença de cargas axiais harmônicas.

8.2. Sugestões

A obtenção de modelos reduzidos para o estudo da estabilidade e da dinâmica não-linear de estruturas é uma área de grande interesse para a avaliação do comportamento global de estruturas esbeltas. Como pode ser observado no desenvolvimento deste trabalho, existem vários tópicos que devem ser aprofundados, dentre eles:

- análise não-determinística do problema, verificando-se como uma incerteza, por exemplo no carregamento, afetará o comportamento global e os mecanismos de perda de estabilidade de uma estrutura;
- análise estática e dinâmica não-linear de casca cilíndricas feitas com material com gradação funcional; como continuação de estudos preliminares desenvolvidos pelo autor deste trabalho.
- controle de vibrações da casca cilíndrica tendo por base as medidas de integridade propostas neste trabalho;
- estudo do efeito das imperfeições geométricas iniciais no comportamento dinâmico e na integridade da casca cilíndrica;
- estudo do acoplamento entre diversos modos de vibração não-lineares;
- influência das condições de contorno e da geometria da casca no comportamento dinâmico.