

1 Introdução

Este trabalho apresenta um estudo numérico relacionado à estabilidade de sistemas estruturais viscoelásticos submetidos a grandes deslocamentos. O estudo é baseado em um modelo computacional desenvolvido para prever as respostas elástica e viscoelástica dos sistemas e os respectivos mecanismos de instabilidade.

O elemento finito isoparamétrico utilizado pode ser aplicado à discretização de colunas, pórticos, arcos e cascas axissimétricas. É possível, dessa forma, desenvolver um estudo que abrange uma variedade de geometrias e tenta associar, de forma qualitativa, o mecanismo de instabilidade viscoelástica ao mecanismo de instabilidade elástica para diferentes sistemas estruturais.

As geometrias dos modelos exemplificados permitem o emprego da hipótese de pequenas componentes de deformação, embora não exista restrição associada à magnitude dos deslocamentos.

As soluções elástica e viscoelástica são obtidas com o emprego de processos incrementais que envolvem incrementos de carga e incrementos de tempo, respectivamente. As equações incrementais de equilíbrio são deduzidas com base na formulação Lagrangiana total. O efeito viscoelástico é introduzido através da consideração de deformações iniciais.

1.1 Revisão Bibliográfica

Os trabalhos de Flugge (1975), Bazant & Cedolin (1991), Rabotnov (1969) e Odqvist (1974) dedicam capítulos exclusivos à apresentação de exemplos e à discussão de conceitos relacionados à flambagem viscoelástica.

Os primeiros estudos relacionados ao tema surgem nos anos 50. Os trabalhos de Freudenthal (1950), Rosenthal & Baer (1951), Hilton (1952), Libove (1952), Kempner & Phole (1953), Kempner (1954) e Lin (1956) servem como exemplos. Esses estudos tratam basicamente da flambagem por fluência de colunas submetidas a cargas compressivas axiais. Parte desses trabalhos apresenta

resultados de ensaios experimentais realizados com colunas metálicas submetidas a altas temperaturas. Kempner & Phole (1953), no entanto, desenvolvem um importante estudo matemático que comprova a inexistência do tempo crítico para colunas constituídas por material viscoelástico linear.

Como nos artigos listados acima, muitos trabalhos relacionados ao tema costumam abordar problemas específicos e fornecer resultados quantitativos. Para citar apenas alguns exemplos, Hoff (1968) e Honikman & Hoff (1971) estudam a estabilidade de cascas cilíndricas circulares com o emprego de um modelo constitutivo do tipo “power law” para definir o efeito dos expoentes dessa lei constitutiva sobre o tempo crítico. Obrecht (1977) estuda o efeito da fluência sobre o comportamento crítico e pós-crítico de cascas cilíndricas circulares submetidas à compressão axial. Hammerand (1999) estuda o comportamento de placas e cascas constituídas por materiais compósitos poliméricos. A flambagem de uma casca abatida constituída por material viscoelástico não-linear é investigada por Plavnik & Bargmann (2001).

A formulação incremental empregada neste trabalho considera um comportamento cinemático caracterizado por grandes deslocamentos e pequenas componentes de deformação. Os trabalhos de Larsen & Popov (1974), Wood & Schrefler (1978), Wood & Zienkiewicz (1977), Crisfield (1991), Bathe (1995), Waszczyszyn et al (1994), Galvão (2000) e Alves (1995) são úteis para o entendimento dessa formulação.

O comportamento viscoelástico do material é considerado através do modelo empregado por Zienkiewicz et al. (1968). As limitações e vantagens associadas à aplicação de modelos viscoelásticos lineares em problemas envolvendo fluência são discutidas por Rabotnov (1969), Larsen & Popov (1974), Zienkiewicz et al. (1968) e Findley et al. (1976). Em geral, modelos lineares têm a vantagem de oferecer soluções mais simples e podem ser aplicados a materiais como o concreto, por exemplo. No entanto, não são adequados à modelagem de metais sob altas temperaturas.

1.2 Objetivo

O objetivo básico deste trabalho consiste em avaliar as relações existentes entre os mecanismos de flambagem elástica e viscoelástica em diferentes sistemas estruturais. Procura-se contribuir com o tema através de conclusões puramente qualitativas, mas que podem ser aplicadas à avaliação da resposta de sistemas estruturais mais complexos. Além disso, o trabalho é composto por um programa computacional que pode auxiliar trabalhos posteriores.

1.3 Organização do Texto

Alguns conceitos relacionados à teoria da viscoelasticidade linear, exemplos simples de sistemas estruturais submetidos à flambagem viscoelástica e critérios de estabilidade são apresentados no Cap. 2. O procedimento numérico de solução é descrito no Cap. 3. O Cap. 4 apresenta exemplos numéricos e discussões sobre os resultados. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Cap. 5. Nos Anexos A e B, aplicam-se os conceitos do Cap. 3 para um elemento de treliça, com o objetivo de auxiliar o entendimento do processo numérico utilizado.