

Modelização do Comportamento Elasto-Plástico e Dinâmico de Estruturas Tipo Casca

por

Robertt Angelo Fontes Valente

Tese submetida para satisfação dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
e realizada sob a supervisão do

Prof. Doutor Carlos Manuel Balboa Reis Gomes

Resumo

O presente trabalho tem por objectivo a análise e descrição do comportamento de estruturas tipo casca de espessura fina através do Método dos Elementos Finitos. Os algoritmos desenvolvidos contemplam situações *elásticas* e *elasto-plásticas*, tanto em regime *estático* como *dinâmico*.

Uma das possibilidades de modelização dessas estruturas reside no uso dos chamados *elementos degenerados*. Este tipo de elementos, obtidos a partir de elementos sólidos tridimensionais, apresentam uma sobrevalorização dos termos da matriz de rigidez à medida que a espessura da casca diminui, conduzindo a um fenómeno denominado por *retenção* (*locking*). Com o objectivo de atenuar este efeito é utilizado um *campo de extensões assumido*, distinto do campo de extensões usual. Baseado nesta formulação é implementado um elemento bilinear de 4 nós e um elemento quadrático de 9 nós. Nos dois casos é necessária uma correcção da retenção devido a efeitos espúrios das deformações de corte transversal. No segundo caso, devido à curvatura dos elementos, realiza-se uma correcção adicional para anular os efeitos de retenção devido às deformações de membrana. O processo de interpolação aplicado diminui de forma eficiente o acréscimo artificial de rigidez.

Para os modelos com comportamento não linear material e com o objectivo de obter uma taxa de convergência quadrática foi implementado um *algoritmo de integração consistente* das leis constitutivas. A formulação é desenvolvida de modo a ser directamente aplicada aos elementos de casca utilizados e baseia-se numa lei aditiva do campo de extensões.

A análise dinâmica é feita no domínio do tempo utilizando um *procedimento explícito* de avanço, tornando imediato o processo de resolução das equações de equilíbrio. O algoritmo é passível de ser utilizado em conjunto com a análise não linear material.

Finalmente, são apresentados diversos exemplos que certificam a validade dos algoritmos implementados. Os resultados são comparados com os apresentados na literatura especializada e ainda através da utilização de *packages* comerciais de elementos finitos.

Modelling of Elasto-Plastic and Dynamic Behaviour of Shell Structures

by

Robertt Angelo Fontes Valente

Thesis submitted in fulfilment of the Degree of Master in Mechanical Engineering of
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
and accomplished under the supervision of
Prof. Doctor Carlos Manuel Balboa Reis Gomes

Summary

The main goal of the present work is the analysis and description of thin shell structures using the Finite Element Method. Algorithms that deal with *elastic* and *elasto-plastic* behaviours, respecting *static* as well *dynamic* situations are developed.

One of the possible ways of modelling this kind of structures refers to the usage of the *degenerated shell elements*. These elements, based on tridimensional solids, show a pattern of overestimation of stiffness terms as the thickness becomes small. This *locking* behaviour can be attenuated using an *assumed natural strain* (ANS) formulation. Using this method, a 4-node bilinear and a 9-node quadratic elements were implemented. In both cases it is necessary to correct the locking due to the transverse shear strain terms. Additionally, in the 9-node element, a correction of the membrane strain terms is used. This method reveals good performance in most practical cases, leading to an overall stiffness matrix free of locking.

The analysis of the elasto-plastic behaviour was carried out with the adoption of a *consistent integration algorithm* of the constitutive laws. This led to a *quadratic convergence rate* allowing the *use of greater load increments*. The formulation was developed in a way it can be directly applied to the shell elements described, using an additive strain law.

Referring to the dynamic behaviour, an *explicit temporal advance procedure* was used. In consequence it is possible to evaluate directly the solutions of the equilibrium equations involved. The algorithm can be used in conjunction with the material non-linear module.

Finally, several numerical applications are presented in order to verify the accuracy of the implemented processes. The results obtained are compared with benchmark problems published in the literature and also with commercial finite element packages.