6

CONCLUSÕES

O desenvolvimento apresentado nos capítulos anteriores focalizou a obtenção de técnicas de análise não-linear computacionalmente eficientes e suficientemente aproximadas para o projeto de dutos enterrados. O trabalho reportado nesta dissertação é resumido neste capítulo e algumas conclusões são expostas. Sugestões para futuros desenvolvimentos são apresentadas.

6.1

Considerações Gerais

O presente trabalho apresentou no Capítulo 1 alguns critérios e modelos usados para a análise de dutos. Um destes modelos é o modelo de viga, modelo no qual baseia-se esta dissertação. No Capítulo 2, partindo das hipóteses básicas da teoria de vigas de Bernoulli, critério de escoamento de von Mises, um conjunto de relações cinemáticas, formulação Lagrangeana total para a descrição cinemática, e equações de equilíbrio formuladas a partir do princípio dos deslocamentos virtuais, foram apresentadas as expressões analíticas para um elemento viga-duto. As matrizes de rigidez e vetores de forças internas deste elemento foram derivadas numericamente. Neste processo a seção transversal do elemento foi dividida em 20 faixas da mesma largura como apresenta a figura (2.4). No eixo longitudinal foram usados cinco pontos de Gauss para integração das equações de equilíbrio. Discutiu-se também neste capítulo a discretização do elemento finito e a obtenção das funções de interpolação capazes de descrever com precisão deflexões e rotações de elementos unidimensionais sob os mais diversos tipos de restrições e carregamentos.

Alguns métodos de solução para o sistema de equações não-lineares são revistos no Capítulo 3. Adotou-se como método de solução o método de Newton-Raphson modificado.

No Capítulo 4 apresentaram-se vários aspectos da implementação computacional do programa de análise não-linear. Alguns testes foram realizados e seus resultados comparados com soluções analíticas e com outros estudos. Os resultados destas análises foram apresentados no Capítulo 5.

6.2

Conclusões e Sugestões

A metodologia empregada tem como características principais:

1. O emprego do método dos elementos finitos como técnica de discretização do sistema estrutural usando elementos tipo viga de três nós.
2. Adoção de um referencial lagrangeano total.
3. Esquema de solução não-linear incremental-iterativo; e
4. Interação solo-duto através de molas de suporte, levantamento e longitudinais.

É necessário destacar, com relação ao esquema de solução não-linear, que devem ser usados incrementos de carga pequenos para garantir uma solução adequada em regime plástico.

O comportamento não linear do material é solicitado quando uma combinação de forças (pressão interna e cargas externas) e deformações origina tensões maiores que a tensão de escoamento inicial do material. Este comportamento não-linear requer um procedimento especial para a avaliação dos incrementos de tensão.

Em geral poucas iterações numéricas aproximam bem as soluções que utilizam outras implementações.

A implementação computacional desta formulação utilizando elementos de viga com três nós é bastante eficiente

Atesta-se o bom comportamento das funções que interpolam os deslocamentos.

Foram apresentados alguns problemas estruturais envolvendo elementos estruturais unidimensionais, onde a versatilidade e eficiência da presente metodologia, foram plenamente comprovadas.

A inclusão de efeitos introduzidos pelas deformações por cisalhamento, temperatura, e empenamento da seção, na representação do elemento e avaliação de sua influência na resposta da estrutura é uma proposta para outros desenvolvimentos.

Para garantir convergência no processo de cálculo das tensões em regime elasto-plástico, mesmo para incrementos maiores de cargas, sugere-se substituir o algoritmo de cálculo de tensões por outro com melhores características de estabilidade e convergência. Citam-se aqui os métodos implícitos.

Outra contribuição para a eficácia do processo é a adoção de incrementos de carga variáveis, determinados automaticamente pelo processo de análise, que levem em conta o grau de não linearidade presente a cada estágio da análise.