

## 6 Comentários Finais

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema computacional para a otimização de dimensões de estruturas geometricamente não-lineares. Este desenvolvimento exigiu a implementação e a integração dos módulos de programação matemática, análise estrutural e análise de sensibilidade. Cada uma destas etapas foi discutida nos capítulos anteriores e vários aspectos merecem ser destacados:

As equações gerais para o cálculo das sensibilidades incrementais de estruturas geometricamente não-lineares foram apresentadas. Em seguida, foram desenvolvidas as expressões analíticas aproximadas necessárias ao cálculo das sensibilidades em elementos de pórtico formulados com base no procedimento Lagrangiano Atualizado. Utilizando estas expressões é possível calcular as sensibilidades (deslocamento e carga crítica) aproximadas de uma dada malha de elementos finitos em relação às variáveis de projeto de maneira eficiente, armazenando-se apenas a sensibilidade do vetor de forças internas.

Com base nos exemplos analisados, pode-se dizer que o algoritmo de pontos interiores é mais robusto, pois, partindo de um ponto interior, ele sempre converge para a solução. Além disso, mesmo que uma solução ótima não seja obtida, o projeto final sempre é viável.

O algoritmo de programação quadrática seqüencial, embora tenha apresentado sérios problemas de convergência, foi mais eficiente que o algoritmo de pontos interiores, além de poder partir de qualquer ponto.

Os métodos utilizados para a determinação de caminhos de equilíbrio funcionaram de acordo com o esperado. Nenhum dos métodos é o mais indicado para todas as situações, por isso é interessante dispor de diversas alternativas. No processo de otimização foi utilizada a estratégia de iteração a carga constante,

uma vez que é necessário calcular as respostas da estrutura para um nível de carga prescrito.

O método aproximado para a determinação dos pontos críticos apresentou bons resultados. Mas o grande número de pontos gerados próximo ao ponto crítico pode inviabilizar a sua utilização em estruturas de grande porte.

O sistema foi capaz de tratar estruturas lineares e não-lineares de uma maneira uniforme. No caso de estruturas não-lineares, foram otimizadas com sucesso estruturas apresentando grandes deslocamentos e pontos limite. Apesar dos efeitos das imperfeições sobre a capacidade de carga da estrutura não terem sido incluídos de maneira explícita na formulação, a otimização de estruturas com imperfeições prescritas foi realizada com sucesso.

## **6.1** **Sugestões**

A seguir são apresentadas algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Implementar um ambiente gráfico e iterativo para controlar todo o processo de otimização, uma vez que a convergência nem sempre é atingida e, mesmo que o processo convirja, os resultados nem sempre são satisfatórios, podendo o usuário intervir sempre que julgar necessário.
- Incluir restrições sobre os esforços internos, além de outras restrições, tendo em vista uma adequação a aspectos práticos.
- Estudar novos métodos de análise de sensibilidade como o método semi-analítico e o método semi-analítico refinado, bem como aprofundar o estudo de métodos analíticos para o Referencial Lagrangiano Atualizado.
- Implementar a sensibilidade da carga crítica linearizada, devido ao alto custo computacional para a determinação dos pontos críticos e sua sensibilidade através de uma análise não-linear.

- Estudar métodos exatos para a determinação dos pontos críticos (limite e bifurcação) e para o cálculo das suas sensibilidades.
- Estudar novas estratégias de carga e iteração uma vez que, na determinação do caminho de equilíbrio, nem sempre se obteve sucesso com as formulações utilizadas.
- Utilizar novos algoritmos de otimização, incluindo pacotes comerciais. Comparar o desempenho dos diversos algoritmos.