

## 6 Conclusões e sugestões

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para dimensionamento de reforço e de reparo de dutos em materiais compósitos, incluindo os materiais com gradação funcional, através da análise mecânica do conjunto duto-reforço/reparo, com o método de elementos finitos.

A motivação desta pesquisa consistiu da importância, em nível sócio-econômico e ambiental, da manutenção da confiabilidade estrutural de dutos empregados no transporte de gás, petróleo e seus derivados, bem como da bibliografia incipiente com respeito à análise experimental de materiais compósitos empregados no reparo e reforço de dutos, sobretudo os materiais com gradação funcional.

Para fins de validação do modelo desenvolvido pelo presente trabalho e avaliação do comportamento mecânico de linhas de dutos submetidas às solicitações correntes, tais como a sobrecarga do solo, pressão interna e variação da temperatura, além do efeito do reparo e reforço estrutural com material compósito, foram analisados alguns exemplos numéricos.

É importante frisar o aspecto global e precursor da metodologia desenvolvida, face a sua capacidade de contemplar diversas classes de materiais, como o material homogêneo, o material compósito convencional e o material com gradação funcional, assim como diferentes sistemas estruturais (dutos íntegros, danificados ou reforçados; dutos aéreos ou enterrados), incorporando ainda os efeitos da não-linearidade geométrica e física. Além disso, percebem-se as vantagens da referida metodologia, em contraposição às limitações existentes nos outros modelos, como a análise restrita a elementos axissimétricos (elementos finitos gradados); a homogeneização das camadas do duto - AFSAR & SEKINE (2001) - e à excessiva dependência de parâmetros empíricos nos modelos propostos por TUTUNCU & OZTURK (2001).

Apesar do caráter preliminar deste estudo constatou-se, pelo exame dos exemplos numéricos, a convergência das respostas numéricas e teóricas., bem como a uniformidade do comportamento mecânico para níveis de heterogeneidade elevados dos FGMs considerados.

Como sugestões para pesquisas futuras nesta linha de pesquisa, ficam compreendidas:

- Implementação de melhorias no programa desenvolvido por este estudo – REDUCT – como a criação de uma interface gráfica que o torne mais acessível ao usuário, apreciação de outras leis de encruamento condizentes com o material tratado e a consideração de elementos finitos tridimensionais;
- Aprimoramento da análise do duto, contemplando os dutos de parede espessa e os efeitos no oceano, para os casos dos dutos submarinos, além da incorporação de conceitos da Mecânica dos Fluidos, Mecânica das Fraturas, Dinâmica das Estruturas ao modelo e a apreciação dos efeitos da ortotropia dos materiais, da flambagem local à estrutura, dentre outros aspectos relevantes;
- Investigação da aplicabilidade de uma metodologia mais completa, como a desenvolvida por ABOUDI et al (1999), chamada *Teoria de Ordem mais Elevada (Higher-Order Theory - HOT)* na modelagem dos FGMs como reforço e reparo de dutos, uma vez que a referida teoria considera o acoplamento entre a microestrutura e a macroestrutura no comportamento do material (CAVALCANTE, 2006).
- Realização de análise de sensibilidade da resposta de estruturas em FGM aos parâmetros relevantes do material;
- Execução de ensaios experimentais com os materiais com gradação funcional, permitindo uma caracterização confiável dos parâmetros empíricos e corroborando os resultados computacionais.