

6 Conclusão

As duas contribuições mais relevantes deste trabalho estão no contexto de problemas dependentes do tempo e problemas que envolvem materiais heterogêneos com gradação funcional.

Um contribuição preliminar diz respeito à generalização da formulação simplificada do Método Híbrido dos Elementos de Contorno para problemas em domínios multiplamente conexos tanto de potencial quanto de elasticidade linear, como visto no capítulo 3. O Método Híbrido Simplificado dos Elementos de Contorno mostrou ser aplicável a problemas gerais de meio multiplamente conexo bastando para isso fazer uma superposição adequada dos conceitos desta formulação, já consolidados, referentes a problemas em domínios simplesmente conexos e problemas em domínios considerados infinitos.

Observando os resultados numéricos no capítulo 3, esta formulação apresentou grande precisão sem, no entanto, lançar mão de um aumento da complexidade da implementação computacional.

Foi apresentada neste trabalho a formulação no domínio da frequência do Método Híbrido Simplificado dos Elementos de Contorno para a análise de problemas dependentes do tempo. A expansão em séries de frequência assegura que a equação diferencial de equilíbrio dinâmico seja satisfeita no domínio, apesar de não terem sido usados nós internos ou células no domínio, como é geralmente feito no Método dos Elementos de Contorno Convencional.

É importante mencionar também que toda esta formulação é baseada em funções de variáveis reais. Além disso, os resultados em pontos internos são obtidos diretamente como um somatório de funções de interpolação, tornando o pós-processamento uma tarefa fácil e rápida de se obter.

Esta formulação dependente da frequência generalizada e as considerações sobre condições iniciais não-homogêneas e ações prescritas no domínio podem também ser aplicadas ao Método dos Elementos Finitos, como uma contribuição secundária.

A qualidade dos resultados numéricos é evidente, embora os exemplos mostrados no capítulo 4 sejam bastante exigentes, não somente por causa dos contornos irregulares mas principalmente por causa dos casos que consideram condições iniciais não-homogêneas e forças gravitacionais.

O Método Híbrido Simplificado dos Elementos de Contorno mostrou-se também aplicável a problemas de potencial que envolvem materiais com gradação funcional. Como mostrado no capítulo 5, esta formulação considera uma extensa gama de variações possíveis das propriedades do material, variações estas que podem ser do tipo exponencial, quadrática ou trigonométrica.

O MHSEM foi ainda estendido a problemas de potencial dependentes do tempo que envolvem materiais com gradação funcional. Duas contribuições principais podem ser reconhecidas nos desenvolvimentos feitos no capítulo 5.

Em primeiro lugar, a técnica avançada de superposição modal, apresentada no capítulo 4, que tinha sido aplicada positivamente a problemas transientes da elasticidade e de potencial, está pela primeira vez estendida a problemas de potencial envolvendo materiais com gradação funcional. Esta formulação é uma alternativa simples ao método de análise no domínio do tempo e ao método que utiliza transformada de Laplace [26]. Nos exemplos mostrados no capítulo 5, uma série de frequências com apenas 4 termos ($n = 3$) foi suficiente para modelar problemas transientes com saltos de temperatura que requerem a avaliação de modos de frequência muito altos. É de se esperar que o uso de um número mais elevado de termos de frequência, no qual a solução do problema não-linear de autovalores da eq. (4.68) pode se tornar crítico, traga uma melhoria de resultados para análises numéricas mais exigentes.

A segunda contribuição diz respeito não só aos desenvolvimentos acerca da generalização das soluções fundamentais para problemas transientes que utilizam materiais com gradação funcional, em si, mas também aparentemente ponto um ponto final no tema sobre as possibilidades de derivação das soluções fundamentais (funções de Green) correspondentes.

Na realidade, embora haja muitas restrições nas possibilidades de se obterem expressões das soluções fundamentais dependentes da frequência para materiais com gradação funcional, como, por exemplo, supor que o calor específico do material seja proporcional à condutividade térmica, o que foi mostrado no item 5.2 é didático e definitivo.

Além disso, mostra-se que há uma família de soluções fundamentais que variam desde problemas de potencial em regime permanente utilizando materiais homogêneos até problemas transientes de potencial utilizando materiais heterogêneos (FGMs) em duas e três dimensões, o que contribui para a simplificação do desenvolvimento de programas computacionais robustos.

Vários exemplos validam os desenvolvimentos teóricos para domínios simplesmente conexos, infinitos e multiplamente conexos com condições de contorno mistas.