

# 1 Introdução

Desde seu desenvolvimento em 1987 por Dumont [1], o Método Híbrido dos Elementos de Contorno (MHEC) vem demonstrando ser uma ferramenta poderosa na solução de diversos problemas de engenharia. Desde então vários projetos foram desenvolvidos resultando em dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Em 1990, de Carvalho [10] desenvolveu implementações computacionais para a análise de problemas planos de elastostática. No ano de 1992, de Souza [16] abrangeu os estudos no Método Híbrido dos Elementos de Contorno para problemas de elastostática de sólidos. Em 1994, de Oliveira [17] lançou os primeiros elementos teóricos para a abordagem de problemas de dinâmica. No ano de 1998 dois trabalhos consolidaram ainda mais a versatilidade do Método Híbrido dos Elementos de Contorno: Cossio [18] desenvolveu aplicações do MHEC para cálculos de sensibilidade, e Lopes ([19] e [49]) desenvolveu o embasamento teórico para a obtenção de fatores de intensidade tensão no MHEC. Entretanto partes da fundamentação teórica do MHEC estavam pendentes há mais de dez anos.

Até então, a avaliação dos valores absolutos de deslocamentos e potencial, diretamente da solução fundamental, só tinha sido obtida, de maneira indubitável, para problemas com alguma simetria, como de Oliveira [17] desenvolveu em sua tese. Além disso, devido ao fato de que algumas propriedades espectrais, inerentes ao MHEC, não estavam consolidadas, só havia uma solução geral para problemas de meio infinito com condições de contorno de Neumann.

Para superar estas pendências um projeto foi proposto no ano de 1998, que resultou na dissertação de mestrado intitulada “*Estudo do Método Híbrido dos Elementos de Contorno e Proposta de Uma Formulação Simplificada*” [20]. Esta dissertação apresenta três contribuições com desenvolvimentos feitos para problemas de elasticidade, mas prontamente extensíveis a problemas de potencial.

Numa primeira etapa, desenvolve-se uma expressão para os resultados de

deslocamentos no domínio, levando-se em conta corretamente a parcela de deslocamentos de corpo rígido.

A partir deste primeiro desenvolvimento, é proposta uma formulação simplificada do MHEC, na qual uma matriz de deslocamentos é obtida diretamente, num procedimento que dispensa qualquer tipo de integração. Esta nova formulação é extremamente precisa e de simples implementação computacional. No entanto, por não ter uma base variacional ela conduz a uma matriz de rigidez não-simétrica.

Na terceira contribuição, o Método Híbrido dos Elementos de Contorno e o Método Híbrido Simplificado dos Elementos de Contorno (MHSEC) são aplicados a problemas gerais de meio infinito, para qualquer tipo de condições de contorno. Para isto é mostrado que as propriedades espectrais de ambos os métodos estão interrelacionadas.

Posteriormente, no ano de 1999, foi publicado, no 20º Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Métodos Computacionais para Engenharia, o artigo intitulado “*The Simplified Hybrid Boundary Element Method*” que é a consolidação de todas estas realizações.

Esta tese de doutorado consiste, então, na continuação dos estudos acerca da formulação híbrida simplificada dos elementos de contorno. Uma primeira contribuição foi o desenvolvimento de toda a metodologia para o tratamento de problemas em domínios multiplamente conexos através do Método Híbrido Simplificado dos Elementos de Contorno. Tratamento este realizado para problemas de potencial em regime permanente e elastostática, com um número considerável de exemplos numéricos para a validação dos desenvolvimentos teóricos realizados.

Uma segunda contribuição partiu de um estudo para a verificação da aplicabilidade do MHSEC utilizando uma formulação dependente da frequência. Este estudo forneceu os resultados necessários para a elaboração da formulação do MHSEC para a análise de problemas no domínio da frequência.

Logo em seguida, teve início a procura de uma metodologia para a análise de problemas transientes através da formulação dependente da frequência do MHSEC.

Finalmente, motivado com a difusão do conceito “material com gradação funcional” ou simplesmente FGM (do inglês *Functionally Graded Material*),

iniciou-se a pesquisa das bases teóricas para a análise de problemas com esse tipo de material. Desde então já é possível analisar problemas de potencial em estruturas com matérias com gradação funcional, através do MHSEC, inclusive problemas dependentes do tempo.

Apresenta-se no capítulo 2 a formulação do Método Híbrido dos Elementos de Contorno e do Método Híbrido Simplificado dos elementos de contorno, além de serem abordados os requisitos teóricos básicos necessários ao seu entendimento. Apresenta-se ainda, uma expressão que avalia os deslocamentos absolutos de uma estrutura, lançando mão de propriedades de deslocamento de corpo rígido, bem como toda a metodologia necessária para obtê-la e alguns estudos de propriedades espectrais que serão usadas no capítulo 3. São apresentados também exemplos de determinação de valores absolutos de deslocamentos para problemas de elasticidade e valores absolutos de potencial para problemas de potencial, ambos para meio finito.

No capítulo 3 apresentam-se as considerações para obtenção de uma solução para problemas de meio infinito tanto pelo MHEC como pelo MHSEC. A metodologia para a análise de problemas em domínios multiplamente conexos pelo MHSEC e exemplos de problemas da elastostática e de potencial em regime permanente, tanto para meio infinito como para meio multiplamente conexos, também são apresentados neste capítulo.

Apresenta-se no capítulo 4 a formulação dependente da frequência do Método Híbrido Simplificado dos Elementos de Contorno, onde são obtidas soluções fundamentais de variáveis reais. Encontra-se, ainda, no capítulo 4 a formulação para uma análise transiente no domínio do tempo a partir da formulação dependente da frequência do MHSEC. Um grande número de exemplos com resultados satisfatórios são mostrados neste capítulo.

No capítulo 5 encontra-se toda a metodologia para a determinação das soluções fundamentais de problemas de potencial em domínios compostos por materiais com gradação funcional, tanto em regime permanente como dependente da frequência.

Finalmente no capítulo 6 apresentam-se conclusões sobre os resultados obtidos ao longo do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.