

ASPECTOS COMPUTACIONAIS DO MÉTODO DA PARTIÇÃO PARA A ANÁLISE DE SÓLIDOS MULTIFRATURADOS

Igor Frederico Stoianov Cotta¹ & Sergio Persival Baroncini Proença²

Resumo

A análise de sólidos multi-fraturados com o emprego de métodos numéricos tais como o Método dos Elementos Finitos em sua forma convencional, pode demandar um excessivo refinamento da malha, tornando o custo computacional demasiadamente alto. Além disso, a necessidade de obter resultados para diferentes configurações de falhas, fissuras e entalhes, os quais introduzem pontos de singularidades na solução, pode inviabilizar o desenvolvimento de uma abordagem robusta do problema. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional para o Método da Partição, fundamentalmente dedicada à análise da integridade de elementos estruturais, propiciando um método acurado, eficiente e robusto, que poderá ser estendido para consideração da propagação de trincas e fissuras, bem como dos efeitos de fadiga do material. Dentre os recursos numéricos específicos empregados para atingir esta finalidade, destaca-se o Método dos Elementos Finitos Generalizados (MEFG), particularmente eficiente para a captura dos altos gradientes de tensão próximos às singularidades.

Palavras-chave: Método dos Elementos Finitos. Método da Partição. Método dos Elementos Finitos Generalizados. Fratura. Fadiga.

COMPUTATIONAL ASPECTS OF THE SPLITTING METHOD TO THE ANALYSIS OF SOLIDS WITH MULTISITE DAMAGE

Abstract

The analysis of multisite crack solids, particularly when are used numerical methods such that Finite Element Method, requires an excessive refinement of the mesh, which may become too high the computational effort. Furthermore, the need to obtain results for different configurations, like sharps and fissures that introduce singular points in the structure can make it impracticable to obtain an adequate study of the problem. The objective of this work is to develop a computational tool for the method of Partition, mainly devoted to the analysis of the integrity of structural elements, providing an accurate, efficient and robust method, which can be extended to consider the propagation of cracks and fissures, and also the effects of fatigue from the material. Among the features specific numerical employed to accomplish this purpose, we highlight use of the Generalized Finite Element Method (GFEM), particularly effective for capturing the high voltage gradients near the singularities.

Keywords: Finite Element Method. Splitting Method. Generalized Finite Element Method. Fracture. Fatigue.

Linha de Pesquisa: Métodos Numéricos.

¹ Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, igorcotta@usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, persival@sc.usp.br



1 INTRODUÇÃO

Este trabalho traz o desenvolvimento do Método da Partição (*Splitting Method*), originalmente proposto por Babuška e Andersson (2005), para análise bidimensional de sólidos elástico-lineares contendo múltiplas fissuras. Este método está fundamentado nos Princípios de Sobreposição e de Bueckner, e propõe a decomposição do problema original em três subproblemas que, uma vez sobrepostos, permitem a determinação dos fatores de intensidades de tensão do problema original, como também dos campos de tensão e deformação.

O problema original, assim como todos os subproblemas referentes ao Método da Partição, pode ser resolvido pelo Método dos Elementos Finitos em sua formulação convencional. Porém, esta análise exigiria um elevado refinamento da malha, o que culminaria com um excessivo custo computacional. Assim, a fim de aumentar a eficiência da análise sem, contudo, diminuir a precisão dos resultados obtidos, utiliza-se o Método dos Elementos Finitos Generalizados para enriquecimento da solução, principalmente no entorno das pontas das fissuras, nos quais os gradientes de tensão são consideravelmente elevados. Esta metodologia proporciona resultados satisfatórios, ainda que utilizada em malhas poucos refinadas, reduzindo o custo operacional.

A importância de propor um método eficiente para a análise de estruturas contendo fissuras, falhas entalhes e fraturas, reside no fato de que estes detalhes na geometria são agentes concentradores de tensão, e influenciam consideravelmente a resistência dos elementos estruturais nos quais estão inseridos. Não obstante, pode ser de fundamental importância definir qual a configuração crítica em relação à presença de um determinado número de fissuras, o demandaria um custo alto na análise.

Diante do exposto, acredita-se ser de grande contribuição o desenvolvimento do Método da Partição como um método robusto para análise de problemas concernentes à Mecânica de Fratura, e que também deverá ser estendido ao longo da pesquisa para abordar problemas relacionados à fadiga do material e à propagação.

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho consistiu na programação do Método da Partição no programa SCIEEnCE, desenvolvido no Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos, pelo grupo de pesquisa que leva o mesmo nome, sob a orientação do prof. Titular Sergio Persival Baroncini Proença. O referido programa foi implementado em linguagem Python®, a qual consiste de uma linguagem orientada a objetos. Esta característica permitiu o aproveitamento do programa, originalmente elaborada para realizar a análise estrutural utilizando-se o Método dos Elementos Finitos Generalizados, para o desenvolvimento de módulos voltados à subdivisão do problema original nos subproblemas referentes ao Método da Partição.

Com o código computacional em aprimoramento, os resultados obtidos para os problemas propostos foram comparados com os resultados extraídos da análise no programa ANSYS®, que utiliza o MEF convencional. Particular atenção é atribuída à obtenção dos Fatores de Intensidade de Tensão. Durante a consecução do programa, algoritmos foram propostos para abordagem de aspectos particulares tais como a influência das bordas no comportamento dos campos de tensões nas faces das fissuras.

3 DESENVOLVIMENTO

Conforme citado no item 2, foram desenvolvidos módulos para consideração dos subproblemas referentes ao Método da Partição.

O subproblema global $P_G^{(0)}$ reproduz o problema original proposto no que se refere à geometria e condições de contorno, porém sem as fissuras. Em contrapartida, consideram-se, para efeitos de análise, linhas imaginárias dispostas nas posições dos eixos das fissuras originais, calculando-se nelas os vetores de tensão resultantes da análise do subproblema. Cabe mencionar

que poderão ser consideradas fissuras de borda, fissuras a partir de furos e fissuras internas, conforme Figura 1.

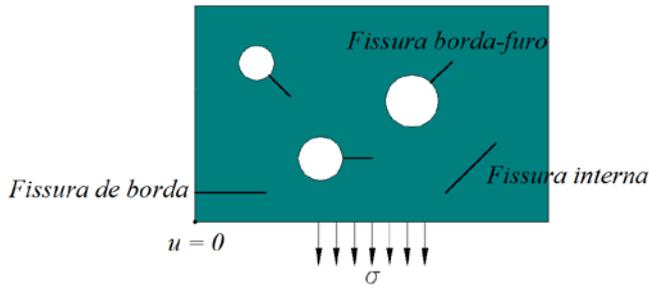


Figura 1 – Subproblema Global $P_G^{(0)}$.

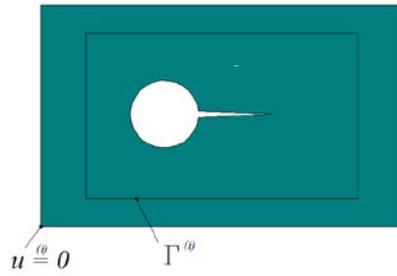


Figura 2 – subproblema Local $P_L^{(k)}$.

No subproblema Local $P_L^{(k)}$, considera-se um problema no qual apenas uma única fissura está inserida no sólido e tal que a distância até a borda seja consideravelmente grande. No entorno desta fissura, define-se um contorno retangular arbitrário $\Gamma^{(i)}$, conforme Figura 2. Nas faces da fissura, deverão ser aplicados separadamente os vetores de tensão, formados por uma base polinomial. De cada uma das análises, deverá ser obtido o campo de deslocamentos no contorno e também os fatores de intensidade de tensão referentes aos modos de abertura I e II.

Finalmente, no Subproblema Global $P_G^{(k)}$, considera-se novamente o problema original, sem a presença das fissuras, mas com os efeitos dos contornos $\Gamma^{(i)}$. É importante perceber que o número de subproblemas globais $P_G^{(k)}$ será idêntico ao número de subproblemas locais $P_L^{(k)}$.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Como exemplo utilizado para elucidação e validação do código desenvolvido, apresenta-se os resultados obtidos da análise da chapa da Figura 4.

Dados do problema:

- Módulo de elasticidade longitudinal: $E = 1.0$.
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0.3$
- Tração nas bordas superior e inferior: $\sigma = 1.0$.

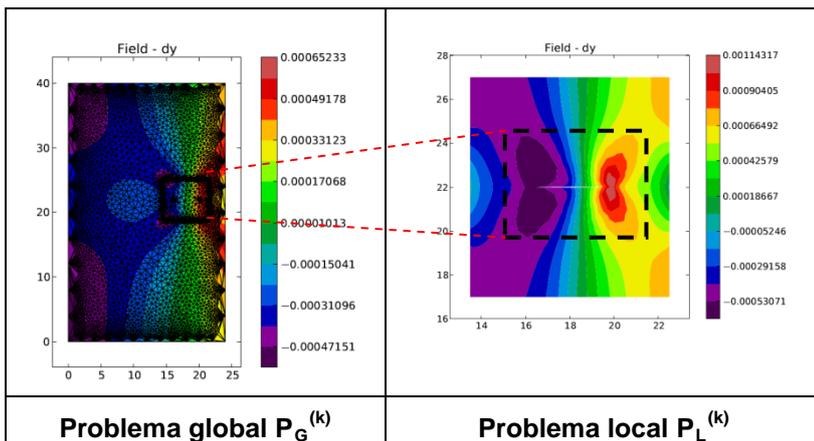


Figura 3 – Exemplos dos subproblemas globais $P_G^{(k)}$ e locais $P_L^{(k)}$.

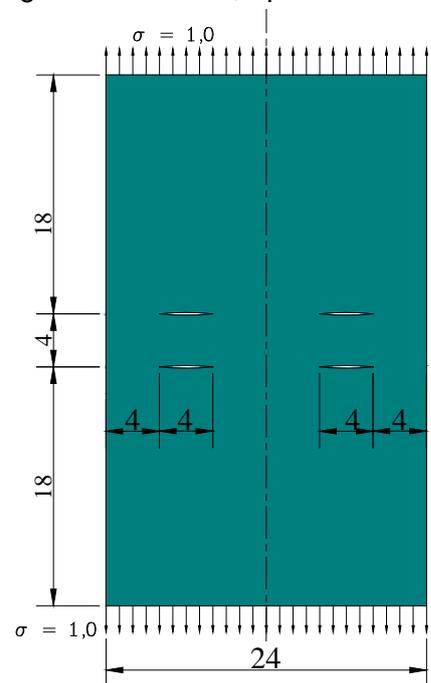


Figura 4 – Chapa multifaturada.

Verifica-se a partir da Figura 3 que nos problemas $P_G^{(k)}$ a geometria da estrutura corresponde ao problema original. As dimensões da estrutura podem ser eventualmente, consideravelmente maiores em comparação com as dimensões das fissuras. Deste modo, a utilização de uma malha menos refinada nos problemas globais $P_G^{(k)}$ pode reduzir substancialmente o esforço computacional e, conseqüentemente, o tempo de processamento.

Tabela 2 – Resultados para os fatores de intensidade de tensão

Localização	Referência (ANSYS)			SCIEnCE			Erro	
	KI	KII	KII/ KI (%)	KI	KII	KII/ KI (%)	KI	KII
Fissura 1 1a. Ponta	2.312	0.1366	5.9%	2.0393	0.1865	9.1%	11.8%	36.5%
Fissura 1 2a. Ponta	2.3209	0.19204	8.3%	2.0785	0.225916	10.9%	10.4%	17.6%
Fissura 2 1a. Ponta	2.3115	0.19939	8.6%	2.1058	0.21144	10.0%	8.9%	6.0%
Fissura 2 2a. Ponta	2.3205	0.12952	5.6%	2.0872	0.193973	9.3%	10.1%	49.8%
Fissura 3 1a. Ponta	2.3029	0.13039	5.7%	2.0689	0.16147	7.8%	10.2%	23.8%
Fissura 3 2a. Ponta	2.3048	0.20321	8.8%	2.0571	0.18833	9.2%	10.7%	7.3%
Fissura 4 1a. Ponta	2.3032	0.19318	8.4%	2.0909	0.18934	9.1%	9.2%	2.0%
Fissura 4 2a. Ponta	2.3175	0.13806	6.0%	2.0512	0.16038	7.8%	11.5%	16.2%

Os valores de referência foram obtidos a partir de uma análise na qual foi utilizado o MEF em sua forma convencional no programa ANSYS®, portanto, também apresenta um certo grau de imprecisão.

Verifica-se a partir da Tabela 1 que os erros mais significativos correspondem aos Fatores de Intensidade de Tensão (FITs) referentes ao Modo II. Contudo, os valores destes são baixos se comparados aos FITs relacionados ao Modo I, para os quais o erro em relação à solução de referência gira em torno de 10%.

5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Até o presente estágio de desenvolvimento do trabalho, foi desenvolvido o Método da Partição para analisar estruturas contendo fissuras internas. Foi possível determinar os Fatores de Intensidade de Tensão para as duas pontas de cada fissura e, comparando-se com a resistência do material, estabelecer um procedimento para propagação.

Estruturas apresentando geometrias complexas podem acarretar em um esforço computacional bastante grande, uma vez que, para cada etapa de propagação, a estrutura deverá ser novamente analisada, principalmente em função da necessidade de adaptar a malha para considerar a nova ramificação da fissura. Com a utilização do Método da Partição, este problema é contornado, uma vez que cada fissura é analisada em um subdomínio consideravelmente mais simples do que a estrutura original. Ainda que se utilize uma malha bastante refinada, o tempo computacional empregado não é alto.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo concessão da bolsa de doutorado.

7 REFERÊNCIAS

- ALVES, M.M. **Método da partição para análise de múltiplas fissuras**. 2010. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- BABUSKA, I.; ANDERSSON, B. The splitting method as a tool for multiple damage analysis, **Siam J. SCI comput**, v. 26, n.4, p. 1114-1145, 2005.
- DUARTE, C.A. **The hp-cloud method**. Tese de Doutorado. The University of Texas at Austin. 1996.
- DUARTE, C.A.; BABUSKA, I.; ODEN, J.T. Generalized finite element methods for three-dimensional structural mechanics problems. **Computers & Structures**. v. 77, n.2, pp 215-232.