

Michell Macedo Alves

**MÉTODO DA PARTIÇÃO NA ANÁLISE
DE MÚLTIPLAS FISSURAS**

**Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos, Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Doutor em Engenharia de Estruturas.**

Orientador: Prof. Tit. Sergio Persival Baroncini Proença

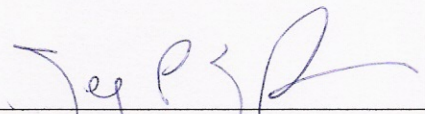
São Carlos – SP

2010

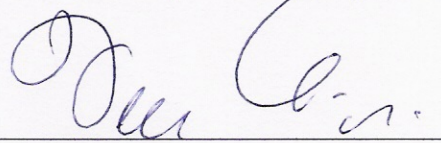
FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro MICHELL MACEDO ALVES.

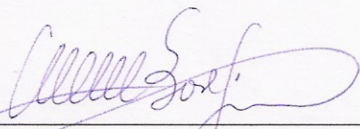
Tese defendida e julgada em 03/09/2010 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Titular **SERGIO PERSIVAL BARONCINI PROENÇA** – (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO



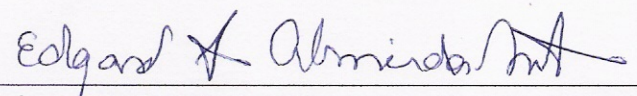
Prof. Dr. **WALTER LIBARDI**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar) APROVADO




Prof. Titular **WALDEK WLADIMIR BOSE FILHO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO.



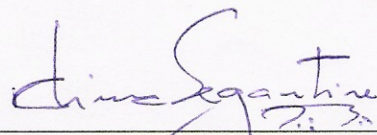
Prof. Dr. **LUIZ EDUARDO TEIXEIRA FERREIRA**
(Centro Universitário das Faculdades de Ensino FAE de São João da Boa Vista/UNIFAE) APROVADO.



Prof. Dr. **EDGARD SANT'ANNA DE ALMEIDA NETO**
(Escola Politécnica/USP) Aprovado



7/ Prof. Associado **MARCIO ANTONIO RAMALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas)



Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Associado Paulo César Lima Segantine
Vice-Presidente da CPG

*Dedico este trabalho a toda minha família e ao meu
Mestre Aloízio de Assis Paniago (In Memoriam),
um homem cujo amor, a paciência e a bondade
mudaram minha vida.*

*“Combati o bom combate,
Percorri o meu caminho,
Guardei a fé.”*

Paulo – II Timóteo 4:7

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado esta oportunidade de crescimento assim como a força necessária para que eu chegasse ao fim da jornada.

À Escola de Engenharia de São Carlos pela oportunidade e por todo o conhecimento que me foi concedido.

À Capes pela bolsa de estudo concedida.

Ao Professor Sergio Persival Baroncini Proença, pela maravilhosa orientação que sempre se fez de forma paciente e atenciosa. Agradeço também pela amizade criada nestes últimos anos, assim como pelo constante incentivo em vencer os obstáculos do caminho. Aos professores Jorge Munaiar e José Samuel Giongo pelo companheirismo e amizade. Ao Professor Felício Bruzzi Barros pela imensa ajuda e boa vontade no auxílio em parte da pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Estruturas: Rosi, Nadir, Toninho, Eli, Silvia e Paccola pelos auxílios prestados que sempre vieram de forma muito gentil.

Aos colegas do Departamento de Estruturas: Marlos Mangini, Dorival Piedade, Edmar Theóphilo, Ronaldo Rigobello, Walter Oliveira, Wesley Góis, Eduardo Toledo, Edson Leonel, Saulo José, Manoel Dênis, Raimundo Amorim, Érica Kimura e Higor Argolo pelos auxílios prestados e principalmente pela amizade.

Aos colegas de República: Robson Caldo, Thiago Galante, Davi Santos, Marcos Bêdo, Daniel Ferreira, Rodrigo Girckus, William Jandoza, Uziel Paulo e Rafaela Fernandes pelo auxílio e amizade criados neste período de convivência.

À Dona Júlia, Dona Eva e Sr. Donizetti pela amizade e por todo o auxílio prestado, tendo me acolhido como um filho em São Carlos.

Aos “mais que amigos” e “mais que irmãos” Marcelo Manzato e Carolina Ferraz que iluminaram meu caminho nos momentos difíceis e trouxeram muitas alegrias neste período de convivência em que juntos lutamos e servimos ao Cristo.

Aos meus familiares: meus pais, meus irmãos, meu vovô Chico, vovó Dilma, vovó Luzia, aos primos Cacá, Marussa, Norton e Sueli, aos tios Carlinhos, Maria Lúcia, Norma, Fátima, Jerlos, Júnia, Abadia, Valério e Jerominho e ao nosso amigo do mundo invisível “Zé Uberaba” que foram meus alicerces e que me apoiaram em cada instante para que eu chegasse

até a vitória. Agradeço também à benção constante de nossa Senhora Aparecida em todos os momentos desta jornada assim como as benções do nosso querido amigo Meishu-Sama.

Aos irmãos da Associação Espírita “Francisco Thiesen” e Posto de Assistência “Irmão Áureo” pela convivência, amizade e aprendizado. O bem que plantamos nestes últimos anos permanecerá vivo no meu coração. E aos novos irmãos da Associação Espírita “Chico Xavier” pela amizade, em especial aos meus grandes amigos Onaldo Campos e Yara Souza.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desta pesquisa.

RESUMO

ALVES, M. M. (2010). Método da Partição na Análise de Múltiplas Fissuras. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Neste trabalho apresenta-se a formulação do problema de múltiplas fissuras baseada numa abordagem de superposição utilizada pelo Método da Partição (*Splitting Method*). Um dos objetivos principais deste trabalho refere-se à aferição da capacidade deste método na obtenção de fatores de intensidade de tensão, tendo em vista o seu desenvolvimento recente e a ausência de outras fontes de pesquisa além daquelas oriundas dos seus próprios autores. Segundo a abordagem do Método da Partição, os fatores de intensidade de tensão finais de uma estrutura podem ser encontrados a partir da sobreposição de três subproblemas. Deste modo, o problema é resolvido mediante imposição de que nas faces das fissuras as tensões que resultam da sobreposição sejam nulas. Sendo assim, apresenta-se a formulação do Método da Partição para uma ou mais fissuras e diversas análises numéricas que contemplam interação entre fissuras submetidas aos modos I e II de abertura. Outra etapa do trabalho refere-se à aplicação do Método dos Elementos Finitos Generalizados (MEFG) num dos subproblemas, dito local, ao invés do emprego do Método dos Elementos Finitos (MEF), que em sua forma convencional pode requerer um refinamento excessivo da malha, particularmente junto à ponta da fissura, aumentando o custo computacional da análise. Exemplos de simulação numérica são apresentados no sentido de comprovar que a utilização do MEFG viabiliza a obtenção de resultados com boa aproximação mesmo com malhas pouco refinadas, reduzindo significativamente o custo computacional de toda a análise. Além disto, é apresentada a formulação do Método da Partição para casos que contemplam também fissuras internas, uma vez que a formulação atual admite somente fissuras de borda.

Palavras-chave: Método dos Elementos Finitos Generalizados, Método da Partição, Mecânica da Fratura, Fator de Intensidade de Tensão.

ABSTRACT

ALVES, M. M. (2010). Splitting Method in the Analysis of Multi-Site Cracks. PhD Thesis – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos.

This work presents the formulation of the problem of multiple cracks based on an superposition approach used by the Splitting Method. The main goal of this work concerns the verification of the ability of this method of obtaining stress intensity factors, in view of its recent development and the absence of other research sources beyond those derived from their own authors. According to the approach of Splitting Method, the final stress intensity factors of a structure can be found from the superposition of three subproblems. Thus, the problem is solved by superposition and then imposing the nullity of the stresses on the faces of cracks. Thus, the formulation of the Splitting Method is presented to one or more cracks and also several numerical simulations that consider the interaction between cracks subjected to opening mode I and II. Another part of this work concerns the application of the Generalized Finite Element Method (GFEM) in the local subproblem instead of the use of Finite Element Method (FEM), which in its conventional form may require an excessive mesh refinement, particularly near the tip the crack, increasing the computational cost of analysis. Examples of numerical simulation are presented in order to show that the use of GFEM enables to obtain results with good approximation even with little refined meshes, thus significantly reducing the computational cost of the entire analysis. Moreover, the formulation of the Splitting Method is presented for cases which also have internal cracks due to the current formulation admits only boundary cracks.

Keywords: Generalized Finite Element Method, Splitting Method, Fracture Mechanics, Stress Intensity Factor.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Navio <i>Liberty</i> que sofreu ruptura frágil..... | 6 |
| Figura 2.2 - Navio <i>Liberty</i> partido em dois..... | 7 |
| Figura 2.3 - Plataforma A. L. Keilland após o acidente..... | 7 |
| Figura 2.4 - A. L. Keilland. Suporte da base quebrado devido à ruptura na solda..... | 8 |
| Figura 2.5 - Boeing 737 com ruptura na fuselagem..... | 8 |
| Figura 2.6 - Boeing 737..... | 8 |
| Figura 2.7 - Modos de abertura de fissuras..... | 9 |
| Figura 2.8 - Chapa de tamanho infinito submetida a carregamento biaxial..... | 11 |
| Figura 2.9 - Sistema de coordenadas do campo de tensões e deslocamentos..... | 11 |
| Figura 3.1 - Princípio de Bueckner..... | 26 |
| Figura 3.2 - Carregamento na face de uma fissura resolvido com o Princípio de Sobreposição..... | 26 |
| Figura 3.3 - Princípio de Sobreposição e Princípio de Bueckner..... | 28 |
| Figura 3.4 - Caso clássico da Mecânica da Fratura dividido em dois subproblemas..... | 28 |
| Figura 3.5 - Método da Partição para uma fissura baseado no Princípio de Sobreposição e Princípio de Bueckner..... | 29 |
| Figura 3.6 - Método da Partição baseado na extrapolação do Princípio de Sobreposição e Princípio de Bueckner para duas fissuras..... | 29 |
| Figura 3.7 - Divisão do segundo subproblema do Princípio de Sobreposição..... | 30 |
| Figura 3.8 - Exemplo de um sólido com múltiplas fissuras..... | 31 |
| Figura 3.9 - Subproblemas segundo o Método da Partição..... | 32 |
| Figura 3.10 - Subproblema $P_G^{(0)}$ | 33 |

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

