

Entenda

os processos de uma das metodologias de análise mais conhecidas

Avelino Alves Filho

Se o engenheiro não souber modelar o problema sem o computador, ele não saberá resolvê-lo no computador

A idéia central do MEF (Método dos Elementos Finitos) é, se um engenheiro ou um técnico quiser avaliar o comportamento de uma viga apoiada em suas extremidades e sujeita à ação de uma carga no seu ponto central, como por exemplo, decorrente da ação de um equipamento

ali pendurado, obterá subsídios na resistência dos materiais. Um bom livro dessa matéria, adquirido por algumas dezenas de reais, apresenta soluções exatas para esses "simples" problemas.

Após um elaborado desenvolvimento matemático se obtém algumas "fórmulas prontas" que fornecem soluções aplicáveis à nossa vida prática. Qual o projetista que já não consultou os manuais de projeto e fez uso dessas soluções? O uso direto delas é bastante confortável e nos permite prever o que acontecerá em todos os pontos da viga. Da mesma forma, se quisermos conhecer o comportamento de uma chapa retangular

sujeita a uma carga de pressão uniforme, como a da figura 01, um livro de teoria de placas e cascas resolverá o problema também de forma exata.

Finalmente, o comportamento estrutural de um corpo sólido de geometria bem regular poderá ser avaliado pela teoria da elasticidade, consultando os livros disponíveis sobre o assunto. Se alguém nos apresentasse um procedimento para calcular essas estruturas dizendo dispor de um método aproximado para resolver nossos problemas certamente questionaríamos: Por que devo usar um método aproximado, se disponho da solução exata? Essa discussão tem tudo a ver com o MEF.

Pena que a maioria dos nossos problemas práticos esteja longe de ser resolvida pelas "simples" fórmulas analíticas. Nunca encontraremos nos livros e manuais de projeto a solução analítica de um chassi, vagão, bloco de motor, suporte fundido de geometria irregular, engate ferroviário etc. Assim, justifica-se o uso de um procedimento aproximado que, se bem utilizado, fornece respostas com um erro desprezível permitindo obter soluções excelentes para os nossos problemas de engenharia.

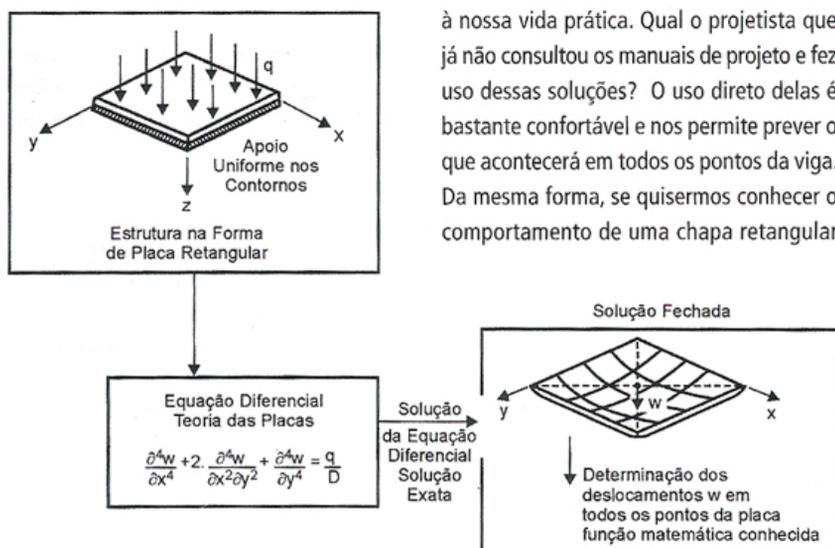


Figura 01 – Cálculo de uma chapa sujeita à pressão externa utilizando as "fórmulas" obtidas da teoria de placas. A resolução deste problema é exata, e não necessita de software de Elementos Finitos. (Solução de um problema de chapa usando a teoria da elasticidade).

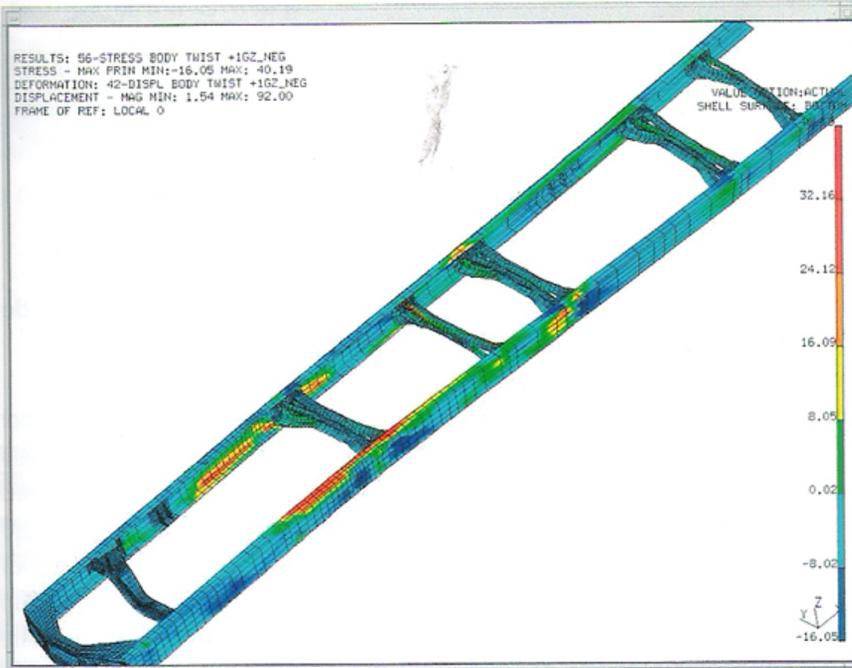


Figura 02 - Modelo de estrutura de chassi de caminhão em Elementos Finitos permite determinar os níveis de deformações e tensões e avaliar sua resistência

É aí que entra em cena o Método dos Elementos Finitos. Com o MEF é possível dividir a estrutura complexa em uma montagem de elementos de geometria simples como triângulos, quadriláteros, tetraedros, paralelepípedos etc., ou seja, a estrutura ou conjunto é formado a partir de uma montagem de elementos individuais, os elementos finitos.

O MEF se baseia na idéia de que a partir do entendimento do comportamento de cada elemento poderemos entender o funcionamento do conjunto. Essa é a idéia central do MEF. A figura 02 mostra alguns modelos de

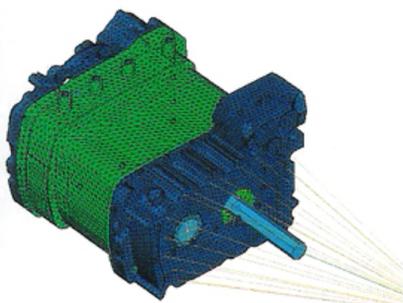


Figura 03 - Modelo de carcaça de transmissão, carcaça de embreagem e tampa com elementos sólidos tetraédricos parabólicos em elementos finitos.

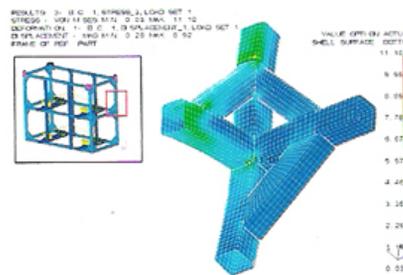


Figura 04 - Modelo de estrutura de "SKID" para operação em plataforma de petróleo em elementos finitos

casos reais de engenharia, nos quais podemos observar a divisão em elementos.

Esses elementos são conectados uns aos outros por intermédio de alguns pontos de conexão chamados "nós". Eis a grande diferença em relação ao mundo analítico. Nos modelos em elementos finitos apenas os deslocamentos desses "nós" são determinados em uma primeira instância e não de todos os pontos da estrutura. Porém, julgamos que esses "nós", se escolhidos em número suficiente (que depende do tamanho dos elementos), permitem determinar as deformações e as tensões na estrutura com precisão

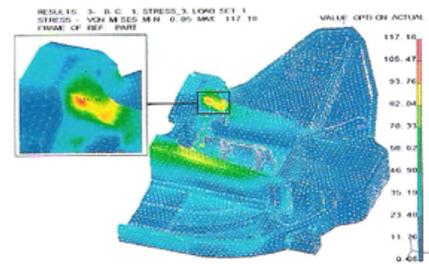


Figura 05 - Modelo de quinta roda veicular, utilizada na conexão entre cavalo mecânico e carreta em elementos finitos

e avaliarmos se ela tem resistência adequada para suportar as cargas de projeto.

Assim, se um modelo de elementos finitos tiver 10000 "nós", o software só calculará os deslocamentos desses 10000 pontos, mas supõe-se que eles sejam suficientes para representar a deformação do conjunto adequadamente. Por isso, dizemos que o modelo é discretizado, pois não considera os infinitos pontos da estrutura que é contínua.

Trabalhando com o software

Dois aspectos chamam nossa atenção e constituem as características principais do MEF: A subdivisão da estrutura em elementos, ou seja, a malha de elementos finitos e a escolha do elemento apropriado para modelar uma dada situação física.

Os softwares que trabalham com elementos finitos oferecem uma biblioteca de elementos, cada qual tentando representar um comportamento físico da mecânica estrutural (elementos de placa, casca, membrana, viga, sólido etc.). Isso é feito por intermédio de funções matemáticas que permitem traduzir o compor-

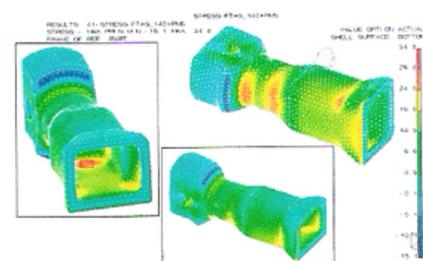


Figura 06 - Modelo de engate ferroviário utilizado na conexão entre vagões em elementos finitos

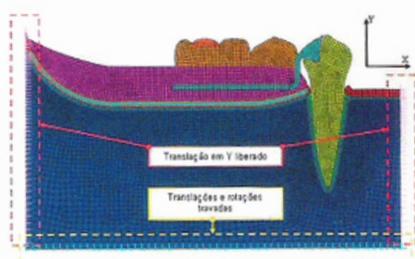


Figura 07 - Modelo de prótese dentária humana em elementos finitos

tamento daquele trecho da estrutura. Dispondo da biblioteca de elementos, podemos avaliar o comportamento da estrutura inteira a partir do comportamento de cada elemento ou de cada trecho. Essa é a elaboração do modelo em Elementos Finitos. Esse conceito é utilizado nas análises de projetos de edificações, barragens, produtos etc. abrangendo as áreas de engenharia naval, aeronáutica, mecânica e bioengenharia.

Os softwares para análise por elementos finitos com recursos de computação gráfica são bastante amigáveis. Os Modelos em Elementos Finitos são gerados "em cima" dos modelos em CAD 3D aproveitando a geometria da peça já construída para gerar os elementos finitos que a representa do ponto de vista de comportamento estrutural.

Mas as coisas nem sempre foram fáceis assim, vale lembrar que a técnica de Elementos Finitos, embora muitos desconheçam esse fato, surgiu antes do CAD. Essa facilidade trouxe no seu bojo muitos problemas, que estão cada vez mais vivos e merecem sérias reflexões. Vamos a elas!

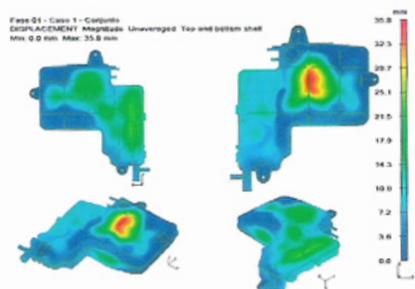


Figura 08 - Modelo de tanque de expansão de caminhão com material plástico em elementos finitos

Lembrando do passado para evitar erros no presente

Quando utilizávamos os softwares de Elementos Finitos na primeira metade da década de 70, ainda não estavam disponíveis os recursos da computação gráfica como auxílio à chamada tecnologia CAE – "Computer Aided Engineering". Neste período, os modelos em elementos finitos de estruturas de navios, veículos rodoviários e ferroviários, componentes mecânicos etc. eram gerados no papel para a posterior digitação e preparação de dados de entrada em cartões para processamento em computadores de grande porte.

Hoje, os recursos da computação gráfica são usados intensamente, é notável que, apesar de tais facilidades, a essência do MEF continua a mesma. Na década de 70 não existiam recursos visuais que pudessem vender a imagem da tecnologia CAE como uma ferramenta mágica e, o engenheiro utilizava o MEF ciente de que a sua utilização deveria ser apoiada em uma base conceitual.

Devido a apelos de "Marketing" as facilidades gráficas que foram surgindo levaram muitas vezes à apologia de que a aprendizagem dos comandos do software é suficiente para a solução da maior parte dos problemas de engenharia, criando uma cultura mais voltada para a forma do que para a essência da solução dos problemas.

Muitas decepções no uso dessa ferramenta de análise decorreram desse enfoque equivocado. As formas, os processos de "conversar" com os softwares evoluem e se modificam, mas a essência e os conceitos permanecem. É interessante comentar o caso fictício de um paciente que vai a um consultório e o médico sugere que não entende muito daquele assunto, mas tem um software de medicina que ao entrar com os sintomas a resposta para o seu mal e os remédios indicados sairão do programa. Se tiver juízo, o paciente levantará e sairá correndo do consultório.

Não há motivo para supor que na área de engenharia de simulação seja diferente, embora haja "pacientes" que acreditem nessa falácia e "médicos" que a vendam.

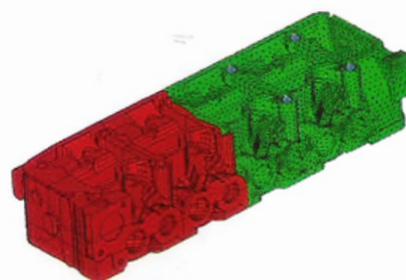


Figura 09 - Modelo de cabeçote de motor em elementos finitos

É importante observar sempre que, dispor de uma ferramenta gráfica poderosa sem base conceitual, pode ser o caminho mais curto para se obter uma resposta errada. O treinamento conceitual, com visão prática de engenharia e a posterior ligação do conhecimento com os recursos do software constituem o alicerce para obter progresso nessa área.

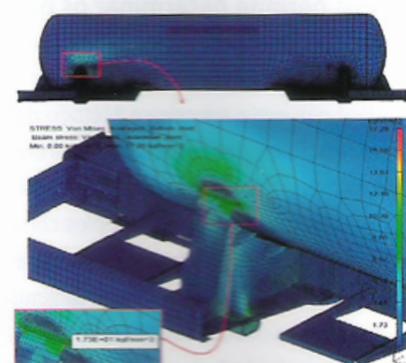


Figura 10 - Modelo de vagão ferroviário em elementos finitos

As empresas que seguiram essa metodologia obtiveram sucesso em tempo relativamente curto. O engenheiro deve ter sempre em mente o caminho para a solução de seus problemas antes de sentar em frente ao computador e usar um software de análise. Em resumo: Se o engenheiro não souber modelar o problema sem o computador, ele não saberá resolvê-lo no computador.

O engenheiro e Prof. Dr. Avelino Alves Filho é diretor técnico do NCE – Núcleo de Cálculos Especiais (www.nce.com.br) e autor dos livros "Elementos Finitos – A Base da Tecnologia CAE" e "Elementos Finitos – A Base da Tecnologia CAE / Análise Dinâmica", pela Editora Érica.