

SIMULAÇÃO FEM DE DEFEITOS EM REPAROS COMPÓSITOS¹

João Vitor Kneubuehler², Daniel Pedro Willemann³

¹ Vinculado ao projeto “Desenvolvimento de tecnologias voltadas à otimização da shearografia como técnica de inspeção não-destrutiva em ambiente submarino”

² Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UDESC/Joinville – Bolsista PROIP/UDESC

³ Orientador, DEPB – UDESC/Laguna – daniel.willemann@udesc.br

A utilização de materiais compósitos está se expandindo de maneira cada vez mais abrangente em diversos setores industriais (aeroespacial, naval, eólico, civil, petróleo e outros), principalmente devido a sua capacidade de mesclar propriedades mecânicas e/ou térmicas de distintos materiais. Por este motivo, os materiais compósitos tendem a exibir maior resistência à corrosão e uma relação resistência/peso mais vantajosa em comparação com materiais metálicos. Devido à ampla adoção dos materiais compósitos, é de suma importância investigar as falhas que esse tipo de material pode apresentar, principalmente, por meio de métodos não destrutivos, que são imprescindíveis na realização de inspeções durante a operação de uma estrutura, ou seja, sem paradas de serviço.

Na atualidade, mantas constituídas de fibras de carbono ou vidro combinadas, por exemplo, com polímeros como a resina epóxi são largamente empregadas na manutenção de estruturas danificadas. A aplicação destes reparos compósitos em tubulações corroídas da indústria do petróleo e gás é realizada de forma manual, o que, por conseguinte, pode ocasionar defeitos como inclusões de bolhas de ar e separações entre camadas. O resultado da falha é uma possível diminuição tanto na capacidade de reforço estrutural quanto na proteção anticorrosiva. Diante disso, torna-se crucial a adoção de técnicas de inspeção não invasivas, como é o caso da *shearografia*. A *shearografia* consiste em um método óptico interferométrico que consegue perceber deformações de ordem micrométrica que surgem na superfície de uma estrutura. Para operacionalizar tal técnica, é necessário submeter a estrutura a uma carga externa (mecânica ou térmica) que propicia a formação de campos de microdeformação, concentrados nas regiões com defeitos, que são registrados pelo equipamento de *shearografia*.

A análise quantitativa destes microdeslocamentos da superfície também é importante, pois possibilita avaliar a capacidade de medição de um equipamento de *shearografia* e suas aplicações/limitações práticas em campo. O Método dos Elementos Finitos (FEM) e as análises estruturais estáticas desempenham um papel fundamental na previsão de como as mudanças na distribuição das forças em uma estrutura podem afetar suas deformações de acordo com o material que a compõe. O objetivo deste trabalho foi o de simular com FEM a magnitude do campo de deslocamentos na superfície de materiais contendo falhas internas. Os modelos virtuais simplificados consistem em placas quadradas com 300mm de lado, espessura de 50mm e furo central não passante (simulando a falha) com diâmetro e profundidade variáveis.

Na busca da otimização do tempo de simulação computacional, iniciou-se o processo de simulações com malhas menos refinadas (com menor quantidade de elementos), onde os parâmetros de tamanho, proximidade e curvatura do elemento foram variados para uma mesma geometria. O procedimento foi repetido até ser encontrada uma malha computacional com repetibilidade da deflexão máxima de $\pm 1\mu\text{m}$, descartando-se a necessidade de uma malha com um número exagerado de elementos. Para as simulações, aplicou-se pressão de 20kgf/cm^2 ($\sim 2\text{MPa}$) em um dos lados da placa e no interior do furo, conforme ilustra a Figura 1a. O valor da pressão de carregamento foi definido com base em recomendações técnicas utilizadas atualmente em campo. A Figura 1b ilustra o campo de deslocamentos do defeito quando a pressão é aplicada na parte interna do reparo.

Neste trabalho, efetuou-se a análise de 70 modelos de diferentes geometrias, variando-se o diâmetro da falha de 5 mm até 50 mm e a espessura da placa na região do furo de 5mm até 35mm. A espessura da placa simula a profundidade do defeito em relação à superfície inspecionada pela

shearografia. As simulações foram realizadas para materiais isotrópicos distintos: metálico (Alumínio) e polimérico (Policloreto de Vinila - PVC), resultando em um total de 140 simulações.

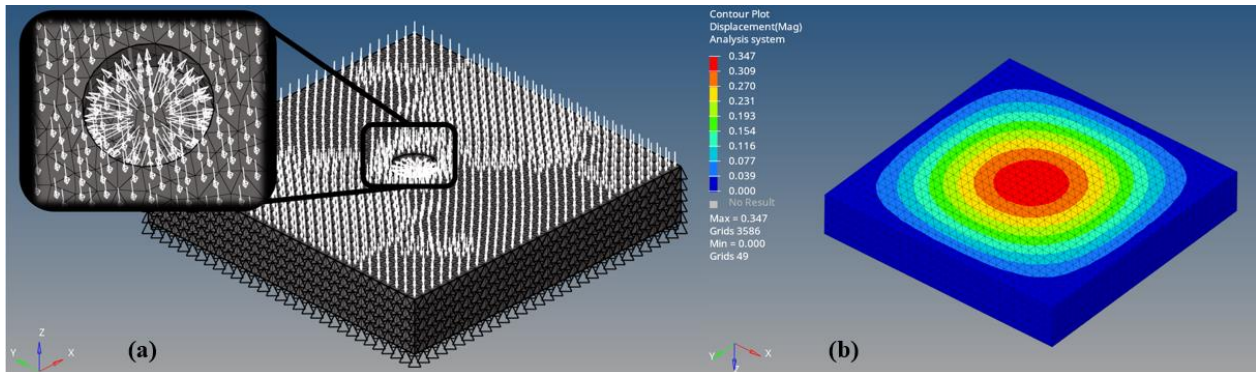


Figura 1. (a) Condições de Contorno: Restrições em preto e carregamento em branco.
(b) Exemplo do padrão de deslocamento de um defeito obtido nas simulações [Unidade: mm].

Os dados retirados das simulações foram os deslocamentos máximos ocorridos no centro do defeito. Obtidos os valores de deflexão máxima para cada modelo, desenvolveu-se um código em linguagem Python que interpola, utilizando um polinômio de nono grau, e traduz os resultados das simulações computacionais em uma superfície. A Figura 2 mostra que os valores de deflexão simulados podem ser detectados pela *shearografia*, pois estão na ordem de dezenas a centenas de micrometros.

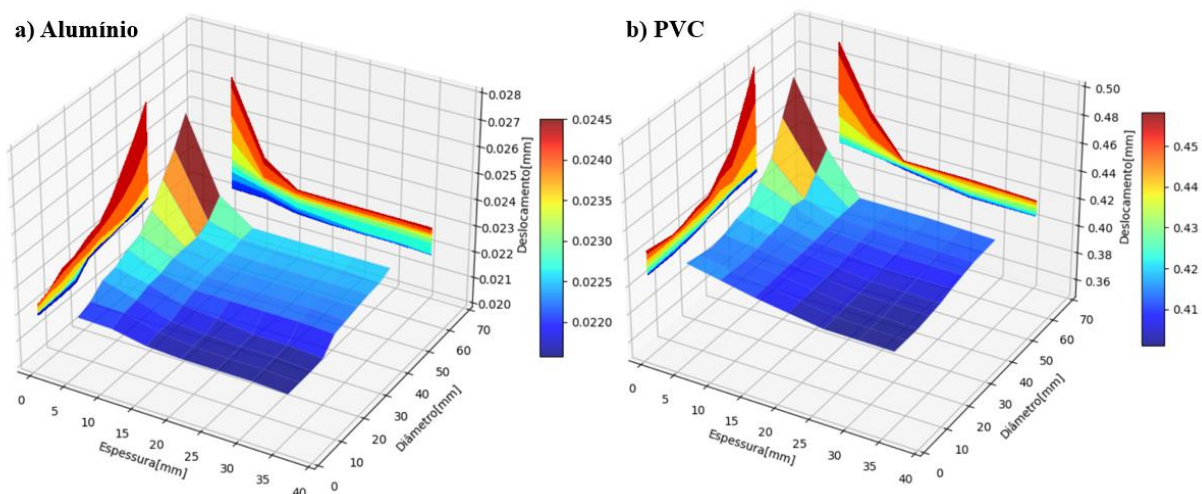


Figura 2. Superfícies de deslocamentos: (a) Alumínio e (b) PVC.

A partir do código desenvolvido, é possível entrar com parâmetros geométricos de um defeito (diâmetro e profundidade) e estimar a deflexão esperada para o material simulado. Desta maneira, é possível inferir se o equipamento de inspeção será capaz de detectar o defeito mínimo esperado, antes de seu envio ao campo. Comparando os resultados entre os materiais simulados, percebe-se a repetibilidade de comportamento das deflexões, porém com magnitudes diferentes, mostrando que a caracterização do material é necessária. A partir desse procedimento, novas simulações com materiais politrópicos e experimentos de validação devem ser realizados. É imprescindível que a *shearografia* e as demais técnicas de inspeção não destrutiva tenham seus limites de detecção muito bem conhecidos contribuindo, cada vez mais, para a maior assertividade das técnicas e o aumento confiabilidade nas inspeções em campo.

Palavras-chave: Materiais compósitos, Shearografia, Simulação com Elementos Finitos.