

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO TOPOLOGICA VIA SOFTWARE

Renann Gimenes ¹; Sergio Kenji Moriguchi ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Neste programa de iniciação científica serão aplicadas técnicas de projeto de peças mecânicas através do uso do método de otimização topológica. Serão utilizados softwares para simulação de aplicação de esforços em peças mecânicas para teste de resistência. Nesse processo será utilizado o método de otimização topológica, que permite uma redução de massa com a utilização otimizada da matéria prima, garantindo a resistência necessária. Como resultado do trabalho, serão geradas formas orgânicas dando opções às convencionais conhecidas.*

Introdução

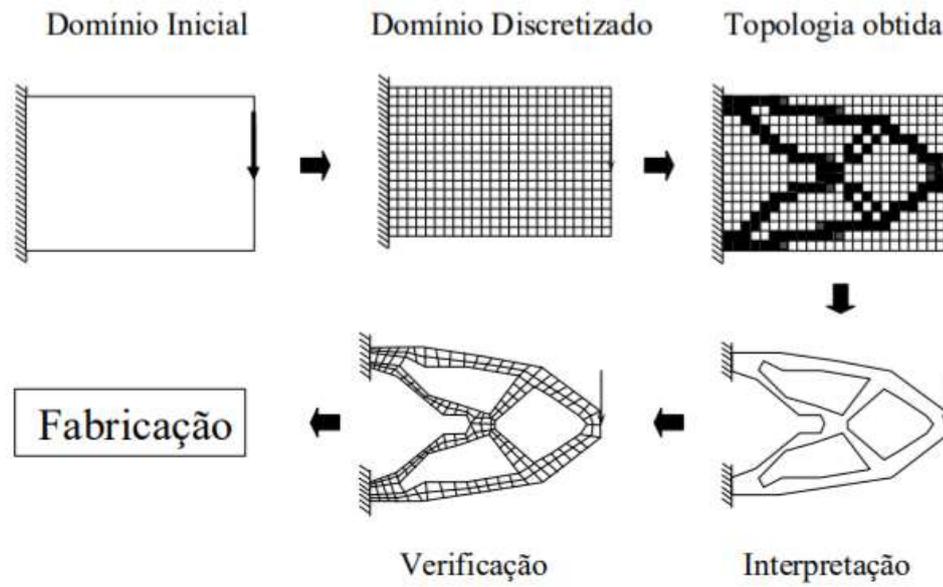
Otimização topológica

Otimização topológica (OT) ou otimização de layout em combinação com o Método de Elementos Finitos, em geral, consiste em encontrar a distribuição ótima de material dentro de um domínio específico de projeto. A distribuição do material é modificada seguindo alguns critérios de comportamento mecânico da estrutura, tal como tensão, flexibilidade, entre outros. Ou seja, o problema é como distribuir o material no interior de um espaço pré-definido de projeto sob determinadas condições de contorno, de modo a minimizar ou maximizar a função objetivo especificada, por exemplo, maximizar a rigidez e minimizar o volume do material. Segundo (BENDSOE, 2003), essa distribuição ótima de material consiste em se determinar em quais pontos do domínio conterão material isotrópico e quais pontos estarão vazios.

O procedimento padrão de projeto utilizando otimização topológica é apresentado na Figura 1. Primeiramente deve-se definir o domínio em que a estrutura pode existir, esse domínio é limitado pelas condições de contorno e pelos pontos de aplicação de cargas na estrutura. No segundo passo o domínio inicial é discretizado pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) e são aplicadas todas as condições de contorno. No terceiro passo, os dados são fornecidos ao software de otimização topológica que realiza um processo iterativo distribuindo o material no domínio considerado, de forma a minimizar (ou maximizar) a função objetivo que visa a minimização da deformação. O resultado obtido é do tipo mostrado na Figura 1 (item “topologia obtida”) onde a cor escura indica a presença de material e a cor branca indica a ausência de material no ponto do domínio. Note que podem surgir pontos com cores intermediárias, denominados de escalas de cinza (ou "gray scale" em inglês). Esses pontos indicam a presença de materiais intermediários que não podem ser implementados na prática e sempre ocorrem, ou seja, a presença do "gray scale" é inerente a obtenção da solução ótima. Uma quarta etapa de interpretação é necessária e pode ser feita utilizando-se métodos de processamento de imagem, ou

simplesmente, desenhando uma estrutura baseada na imagem obtida. A penúltima etapa de verificação por método dos elementos finitos é necessária para confirmar se a otimização foi realizada com sucesso respeitando os requisitos iniciais. A última etapa é a fabricação da estrutura, atualmente é possível realizar a fabricação de geometrias complexas por diferentes métodos, sendo um deles a prototipagem rápida por uma impressora tridimensional (SILVA, 2006).

Figura 1 – Procedimento de projeto de otimização topológica.



O fato de utilizar otimização topológica para trabalhar em um domínio fixo do MEF faz com que a sua aplicação para um domínio tridimensional não acrescente complexidade nem custo no algoritmo a não ser o custo computacional usual do MEF de se estar manipulando um modelo tridimensional (COUTINHO, 2006).

Um ponto importante nos algoritmos de OT é o grau de definição do resultado final. Além do problema das escalas de cinza comentado anteriormente, pode ocorrer também um problema conhecido como tabuleiro de xadrez, ou “checkerboard” em inglês. “Checkboarding” refere-se ao problema em que os resultados da otimização mostram elementos que estão se alternando em um padrão de sólido e vazio, assim como em um tabuleiro de xadrez. Uma ilustração deste problema é mostrada em um problema de otimização bidimensional é produzida pelo código MATLAB descrito em (E. ANDREASSEN, 2011). Pode ser percebido que o padrão quadriculado ocorre na figura 2a e aplicando um filtro de sensibilidade existente na maioria dos softwares de simulação de engenharia comerciais, conhecidos por CAE - MEF atualmente, é possível distribuir o material de forma mais homogênea, como visto na figura 2b. Outra maneira de reduzir tal problema é realizar um refinamento de malha (LARSSON, 2016).

Figura 2 – Ilustração do problema conhecido como tabuleiro de xadrez.

(a) Sem filtro

(b) Com filtro de sensibilidade



Material e Métodos

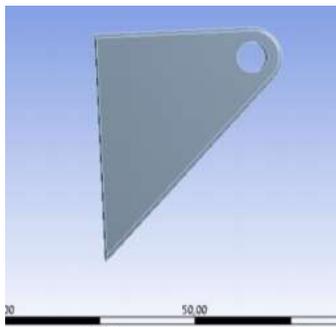
O trabalho realizado neste programa de iniciação científica começou com a aprendizagem de softwares utilizados na modelagem de elementos finitos. Posteriormente foram estudados tutoriais de otimização topológica. Estes foram acompanhados por um estudo da literatura para aumentar o conhecimento de como a otimização topológica é utilizada nos dias de hoje.

O desenvolvimento deste programa pode ser dividido em dois casos que serão descritos a seguir.

Caso 1

O primeiro caso estudado consiste na aplicação de otimização topológica em uma peça de suporte estrutural do assento de um veículo para transporte individual (denominado XD) desenvolvido pela equipe GM PACE – MAUÁ. Neste caso o objetivo foi realizar uma redução de massa e validação da robustez do componente em questão para atender a requisitos iniciais de projeto. O material deste componente é o Alumínio 6061-T6. A figura 3 mostra como era a peça antes de se iniciar o projeto de otimização.

Figura 3 – *Bracket* ou suporte do banco do veículo XD antes da otimização.



O procedimento de otimização realizado nesse caso foi tal qual o descrito em (BENDSOE, 2003), e serão apresentados no item Resultados e Discussão os resultados de cada etapa deste procedimento aplicado à peça estudada.

Caso 2

Na busca de se evitar problemas de lascamento na cerâmica de cobertura em próteses dentárias utilizadas na odontologia, foram estudadas formas geométricas para validar uma nova forma dos componentes do implante. Neste caso, a técnica de otimização topológica foi aplicada em próteses dentárias para a validação da atual forma geométrica de sua subestrutura determinando uma geometria do material de revestimento cerâmico (coroa) com um formato de apoio (pilar) que lhe confira maior resistência

mecânica. Essa configuração geométrica sugerida é simulada via software. A figura 4 mostra os componentes de um implante dentário.

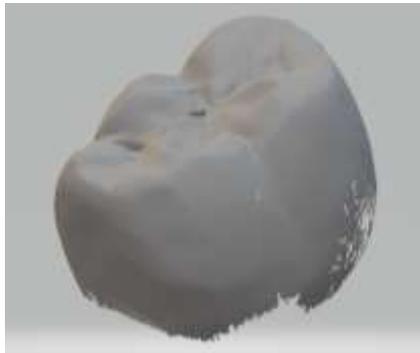
Figura 4 – Componentes de um Implante dentário.



O questionamento consiste em como distribuir o material no interior do revestimento estético de modo a maximizar suas propriedades mecânicas e reduzir as falhas nos componentes do implante.

Para obtenção da geométrica inicial, foi utilizado escaneamento ATOS 3D e softwares CAD e CAE para manipulação de superfícies e aplicação da otimização topológica. A figura 5 mostra o resultado do escaneamento 3D de uma coroa dentária.

Figura 5 – Escaneamento ATOS 3D da coroa dentária.



Resultados e Discussão

Neste item serão discutidos individualmente os resultados obtidos para o caso 1 e 2 respectivamente.

Resultados do caso 1

Inicialmente um domínio de projeto foi discretizado utilizando elementos quadriláteros, e realizando um refino da malha ao redor do furo onde será aplicado o carregamento (figura 6), obteve-se um número de 2.667 elementos e 14.061 nós. Foram aplicadas as seguintes condições de contorno, carga de 1.700 N representativa do peso do usuário sobre a estrutura do veículo (definida pelos requisitos iniciais de projeto) e um engastamento na face de fixação do componente no chassi do veículo como observamos na figura 7.

Figura 6 – Domínio inicial discretizado.

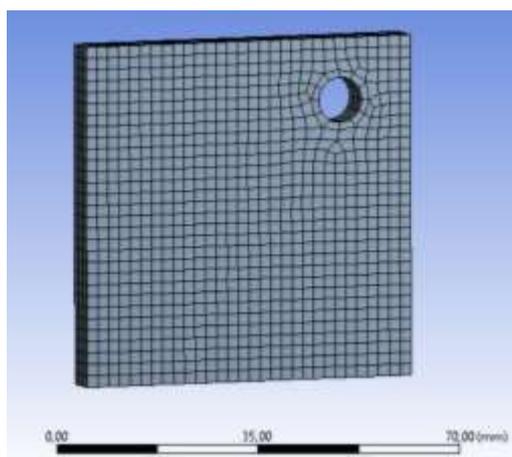
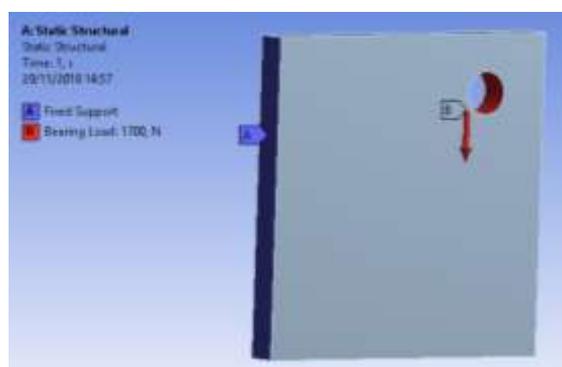
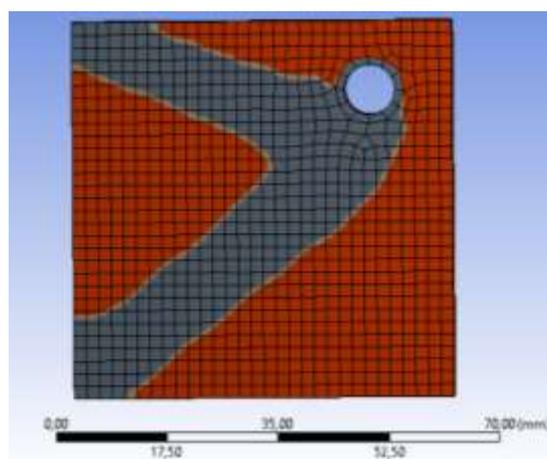


Figura 7 – Aplicação das condições de contorno.



Definindo a função objetivo da otimização topológica como a redução de massa do componente, obteve-se, após um número de 25 iterações, uma topologia obtida vista na figura 8. Nota-se que assim como citado anteriormente neste trabalho, ocorre uma região marginal com a presença de escala de cinza.

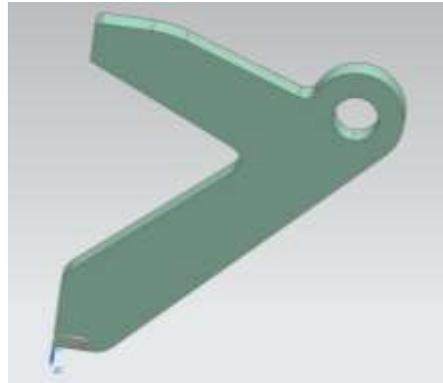
Figura 8 – Topologia obtida da otimização.



Devido a ocorrência de escala de cinza e dificuldade de usinagem de algumas curvas sugeridas pela otimização, o resultado obtido foi interpretado e foram realizados métodos de pós-processamento de imagens para dar forma a geometria final como

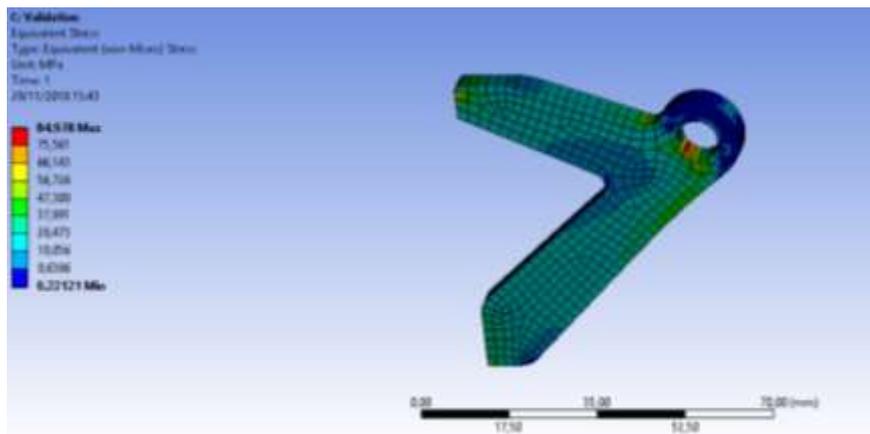
mostrado na figura 9. Foi possível realizar uma redução de 65% de massa em relação a massa inicial do componente.

Figura 9 – Bracket de suporte do veículo XD após otimização.



Por fim, foi realizada a verificação do componente por meio de uma análise estrutural estática. Interpretando os resultados desta análise (figura 10), obtemos como resultado uma tensão equivalente máxima (von-Mises) de 84,98 MPa, portanto, o coeficiente de segurança estático deste componente é de 3,3.

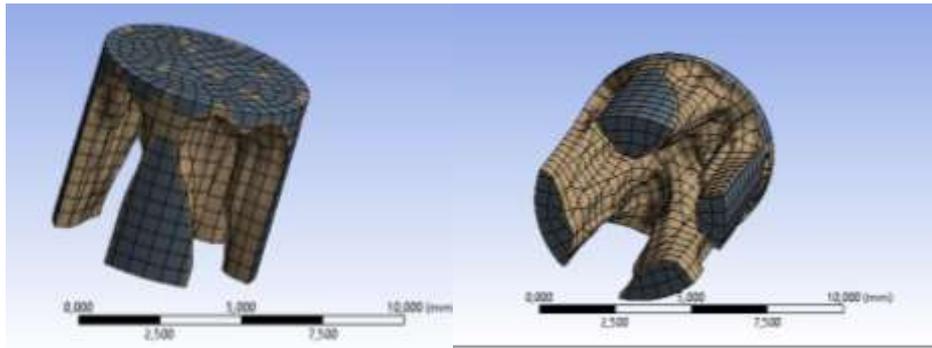
Figura 10 – Verificação: análise estrutural estática.



Resultados do caso 2

Devido a extrema complexidade da malha obtida através do escaneamento 3D do revestimento estético e as dificuldades encontradas para manipulação da mesma, a validação do modelo atual foi realizada a partir de um modelo cilíndrico com dimensões equivalentes as de uma coroa dentária. A figura 11 apresenta a otimização topológica aplicada no modelo representativo, em diferentes ângulos, após um número de 55 iterações. Esta otimização foi realizada a partir da aplicação de esforços representativos resultantes da mastigação e condições de contorno relacionadas a fixação do componente.

Figura 11 – Otimização no modelo cilíndrico.



Após a otimização do modelo representativo, observa-se que o formato ideal no interior da coroa dentária é formado por arcos, sendo que no centro da estrutura, em seu interior percebe-se o formato interno de uma cúpula. A partir destas análises, a estrutura do pilar, deve acompanhar essa tendência de forma para acoplar à coroa. Sua forma sugerida aproxima-se do exterior de uma cúpula para o encaixe no material de revestimento. Essa geometria desenvolvida em formato de arco e com colar cervical apoiado sobre a gengiva (figura 12), confere uma distribuição de tensões otimizada ocasionada pela dissipação das forças atuantes no revestimento e aliviando o carregamento no implante. Fato que contribui reduzindo a ocorrência de falhas nos seu componentes. Os resultados das análises das simulações remetem às geometrias idealizadas pelo Protético Marcelo Villa conferindo uma forma otimizada resultante da OT para os componentes de uma prótese dentária.

Figura 12 – Conjunto completo de uma prótese dentária e estrutura modificada idealizada e confeccionada pelo protético Marcelo Villa.



Conclusões

Este estudo demonstra como técnicas de otimização topológica pode ser aplicada não só no desenvolvimento de novos produtos, como também em produtos que já estão em produção.

Este processo permite o desenvolvimento de projetos agregando melhor resistência mecânica, redução de peso e de custos de matéria prima e processos logísticos.

Esta técnica nos permite determinar geometrias ideais de um determinado produto sem a necessidade de experiência prévia do projetista na área de atuação. As geometrias resultantes nem sempre poderão ser obtidas por processos convencionais de manufatura, sendo necessários ocasionalmente recorrer a processos específicos como a manufatura aditiva.

Referências Bibliográficas

COUTINHO, K. D. **Método de Otimização Topológica em Estruturas**

Tridimensionais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2006.

E. ANDREASSEN, A. C. M. S. B. S. L. A. O. S. Efficient topology optimization in MATLAB using 88 lines of code. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, Janeiro 2011. 1-16.

J. PETTERSON, O. S. **Slope Constrained Topology Optimization**. [S.l.]: International Journal for Numerical Methods in Engineering, v. 41, 1998.

LARSSON, R. **Methodology for Topology and Shape Optimization: Application to a Rear Lower Control Arm**. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. 2016.

M. P. BENDSOE, O. S. **Topology Optimization - Theory, Methods and Applications**. Berlin, New York: Springer, 2003.

SILVA, E. C. N. **Técnicas de Otimização Aplicadas no Projeto de Peças Mecânicas**. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos - Escola Politécnica da USP. São Paulo. 2006.