

Universidade Federal do ABC

Programa de iniciação científica

Edital 04/2022

**Otimização topológica de estruturas
tridimensionais usando o programa
Inventor**

São Bernardo do Campo

Junho de 2022

Resumo

A otimização topológica é um processo que tem como objetivo reduzir o volume de material em peças que desempenham uma função específica. O processo de otimização será realizado através do programa Autodesk Inventor, que aplica o Método dos Elementos Finitos (MEF) e métodos de otimização para determinar o leiaute ideal das peças. Após o processo de otimização, as peças relativas aos projetos ótimos serão produzidas com a ajuda de impressoras 3D para se analisar fisicamente o projeto final. O número de projetos de pesquisa na área de otimização topológica tem crescido consideravelmente, como pode ser visto em trabalhos publicados em congressos de engenharia e em revistas científicas. Este crescimento se deve ao fato de ser muito importante para o mercado de manufatura que se tenha peças com alta eficiência e mínimo custo possível. Como a otimização reduz o volume e consequentemente a massa da estrutura, eliminar partes de peças de forma que sua eficiência não seja prejudicada, é uma área que reduz os custos de produção das peças e aumenta a competitividade do projeto, diminuindo o consumo matéria prima e consequentemente o custo final do produto.

Palavras-chave: Otimização Topológica, Método dos Elementos Finitos, Projeto Ótimo, Métodos Computacionais, Programa AutoDesk® Inventor.

Sumário:

•	Introdução e justificativa.....	4
•	Revisão bibliográfica.....	6
•	Objetivo.....	8
•	Metodologia.....	8
•	Peças a serem otimizadas.....	9
•	Cronograma de trabalho.....	9
•	Referências bibliográficas.....	10

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A otimização topológica é um procedimento numérico usado para modelar a composição mais adequada dentro de uma área especificada, sujeito a um conjunto de forças e condições respectivas ao meio em que se encontra. Dessa forma, na engenharia se trabalha com um grande número de atividades definidas, entre elas a análise, projeto, fabricação, vendas, pesquisas e desenvolvimento de diversos tipos de sistemas mecânicos. A otimização de projeto e o desenvolvimento de metodologias para tal vêm sendo desenvolvidos há muito tempo, tendo requerido muito tempo de pesquisa e investimentos significativos.

A otimização topológica também inclui a análise dos requisitos e objetivos de um sistema estrutural para gerar sua especificação (Figura 1). Após esta análise, é realizado um leiaute preliminar do sistema analisado, seguido de um leiaute mais detalhado. Através de um projeto detalhado, normalmente um protótipo do sistema é produzido e testado em relação às funções desempenhadas pelo sistema. Depois de fazer todos os testes, o leiaute final é concluído, esperando-se uma configuração mais otimizada do que antes.

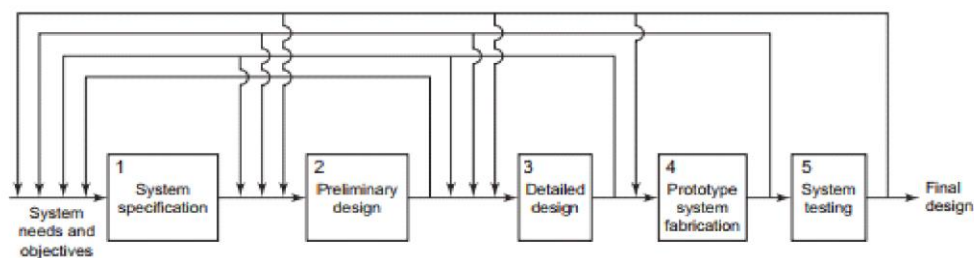


Figura 1 – Esquema do processo de otimização

Existe uma significativa diferença entre o método convencional de projeto e o método de projeto ótimo. O método do projeto ótimo formula o problema como um problema de minimização de massa, ou de minimização de energia de deformação, atendendo às restrições do projeto, enquanto o método convencional, baseado principalmente na experiência do projetista, apenas verifica se a peça atende às restrições.

Otimização é o processo de analisar entre várias opções de um objeto aquela que é a melhor possível dentro dos critérios de escolha, limitações e recursos disponíveis. No projeto de um empreendimento é priorizado o melhor desempenho nas suas diversas disciplinas: análise, projeto, fabricação, vendas, pesquisa, desenvolvimento etc. Essa é praticamente a definição de PROJETO ÓTIMO.

O processo de projeto tradicional consiste na análise de soluções e na viabilidade de sua execução. Neste processo não existe maneira formal de aprimorar um determinado projeto e o projetista pode melhorá-lo baseado em suas experiências profissionais. Com uma solução em mãos, uma decisão precisa ser tomada: aceitar o projeto como final ou refiná-lo. Dessa forma, este método depende fortemente da intuição, experiência e habilidade do projetista.

Por outro lado, o processo de projeto ótimo é mais estruturado. Nesta abordagem, as variáveis de projeto são determinadas primeiro. A função objetivo, a função que mede os méritos relativos da solução e as funções restrições de projeto, dadas pelas restrições existentes, devem ser definidas em termos de variáveis de projeto. Uma vez que essas quantidades são definidas, métodos de otimização apropriados podem ser usados para melhorar os itens inicialmente estimados. O projetista ainda precisa assumir o projeto inicial, mas a melhoria do projeto agora depende não apenas de sua experiência, mas também do algoritmo de otimização. Portanto, um processo de otimização de projeto pode usar um processo computadorizado para produzir soluções mais seguras e econômicas em um período de tempo relativamente curto.

Em termos matemáticos, a otimização se trata de encontrar valores extremos (máximos ou mínimos) de uma função (função objetivo) que depende de uma ou mais variáveis de projeto, com restrições de igualdade ou desigualdade. Este é um campo extremamente amplo de conhecimento e pesquisa que se aplica a todas as áreas de engenharia, ciências gerais, logística e muito mais. Na administração de empresas, às vezes é chamado de pesquisa operacional.

A comparação entre o método convencional e o método ótimo pode ser observada na Figura 2.

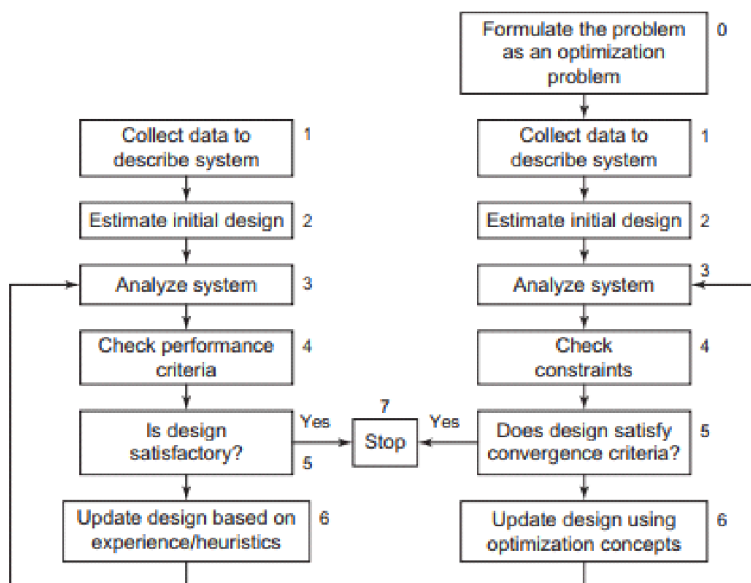


Figura 2 – Comparação do método convencional com o método ótimo.

O fato de trazer uma solução mais econômica proporciona à otimização uma grande vantagem, já que esse é um aspecto muito visado na rotina dos projetos de engenharias. Além disso, através da otimização, existe uma maior sustentabilidade na execução de projetos. Trazendo à tona mais uma vantagem uma vez que, cada vez mais são exigidos projetos sustentáveis, incentivando pesquisas que visam a redução do uso de recursos naturais para a realização dos projetos.

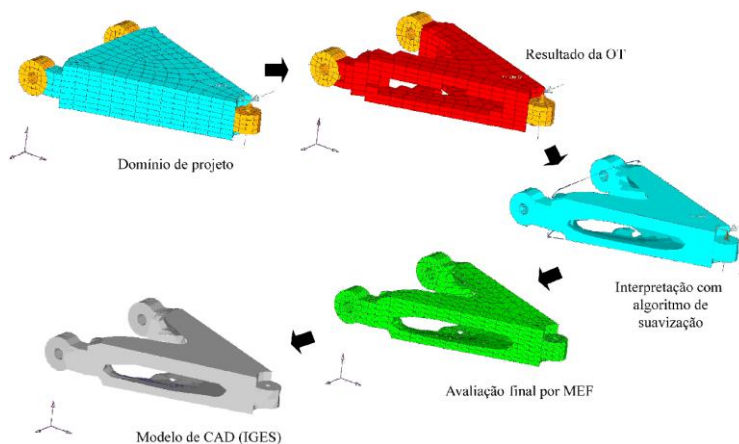


Figura 3 – Exemplo de otimização do braço de suspensão dianteira de um caminhão.

Na Figura 3 é mostrado como funciona o processo de otimização topológica, sendo identificadas as seguintes fases: domínio inicial, resultado da otimização topológica, suavização, avaliação final pelo MEF e modelo de CAD (Computer-Aided Design).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem duas ferramentas principais a serem utilizadas neste projeto que são:

- os algoritmos de otimização;
- a análise de estruturas via o Método dos Elementos Finitos.

A otimização será realizada por meio do programa Autodesk® Inventor. O Autodesk Inventor possibilita projetar, montar, testar e fabricar projetos usando modelos 3D precisos. O Autodesk Inventor fornece um conjunto completo de ferramentas para criar, validar e documentar protótipos digitais completos de forma simples, tornando o programa muito útil nas áreas de engenharia. Com este software é possível otimizar e verificar o desempenho de um produto através de simulações e renderizações com a possibilidade de trabalhar com ou sem movimento por meio de diferentes ângulos, mostrando o funcionamento do projeto em condições reais com verificações rápidas e a análise da eficiência do produto, antes de construir a peça. O Inventor também conversa com muitos outros sistemas CAD, importando dados existentes e compartilhando os dados adquiridos, facilitando o compartilhamento de resultados rapidamente entre os profissionais envolvidos com o mesmo objetivo. O trabalho de Arora (2012) é uma fonte importante para o estudo de vários métodos de otimização mais comumente utilizados no processo de projeto de otimização.

Em relação ao Método dos Elementos Finitos, embora o inventor tenha dado diretamente a solução numérica, ainda é necessário fazer uma revisão bibliográfica. Existem muitos trabalhos nesta área, dos quais podemos destacar técnicas computacionais para modelagem matemática de estruturas disponíveis nos trabalhos de Kikuchi (1986), Burnett (1987), Zienkiewicz e Taylor

(1989). O Método dos Elementos Finitos é amplamente utilizado na engenharia para analisar diversos problemas. Permite estudar as pressões e deslocamentos causados por forças em determinadas partes, barragens, edifícios e casas. O método também é capaz de determinar fluxo de calor, densificação, pressão neutra e muitos outros tipos de análises usadas em engenharia. O ponto comum da análise acima é resolver o problema com base no estabelecimento de equações diferenciais parciais, correlacionar as variáveis básicas de campo em um determinado domínio e satisfazer as restrições das variáveis básicas e suas derivadas na fronteira do domínio (Martha, 1994).

O MEF é baseado em subdividir a geometria em pequenas partes chamadas elementos (Figuras 4 e 5). A divisão em partes menores ajuda a resolver problemas mais gerais, podendo modelar geometrias complexas discretizando-as em partes menores. Estes são chamados de elementos finitos e são conectados por pontos ou nós, e a coleção de elementos e nós é chamada de malha. Este método permite que valores infinitos de variáveis em um domínio contínuo sejam substituídos por um número finito de valores em nós de elementos. Os elementos podem ter formas diferentes, como triângulos e quadriláteros. Como as dimensões desses elementos são finitas, eles são chamados de elementos finitos, que é o nome do método.

As equações matemáticas do comportamento físico são resolvidas de forma aproximada e não de maneira exata pelas subdivisões serem feitas de forma geométrica. A precisão do MEF está vinculada à quantidade de nós e elementos, do tipo de malhas e do tamanho. Isto significa, que quanto menor o tamanho e menor o número de malhas, maior a precisão nas análises.

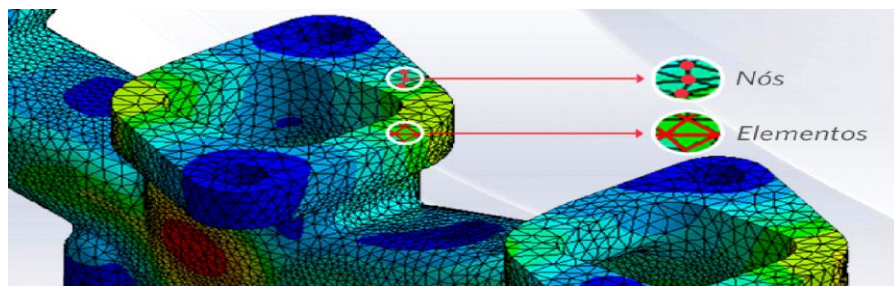


Figura 4 – Exemplo da subdivisão de nós e elementos

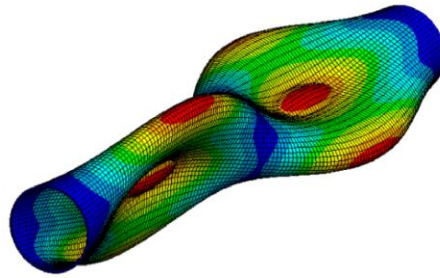


Figura 5 – Análise de uma peça realizada com base em análise de elementos finitos

3. OBJETIVOS

O projeto visa otimizar o domínio da estrutura, e consequentemente sua massa, bem como as dimensões de uma peça tridimensional, aplicando forças externas e restrições de deslocamentos. Com isso, partes da estrutura que sofrem os menores esforços, são removidas e novas simulações realizadas, produzindo assim uma nova peça otimizada que será mais leve. As peças, a aplicação de força e restrição, e a otimização serão feitas no Autodesk Inventor. Um modelo de impressora 3D da peça (sem otimização) e um modelo da peça otimizada serão impressões para comparação visual para se verificar fisicamente os resultados da otimização.

4. METODOLOGIA

Após a realização de uma revisão bibliográfica, o desenvolvimento do estudo ocorrerá em duas etapas principais. A primeira parte decidirá a peça a ser submetida à otimização topológica. Uma vez decidida, seu leiaute otimizado será definido no software do programa AutoDesk® Inventor. O mesmo iniciará o processo de modelagem da peça dentro do programa, a partir de ferramentas especializadas na formação de estruturas 3D. Em seguida, o programa irá passar a simular a funcionalidade da peça e encontrar a melhor forma de manter tanto sua funcionalidade quanto reduzir sua massa o máximo possível.

A segunda parte envolve a impressão 3D da peça original (com o domínio original) e da peça otimizada. Isto proporcionará uma análise visual e tátil do projeto otimizado, buscando tornar a experiência da otimização algo intuitivo.

Serão utilizados os espaços da Universidade Federal do ABC como computadores, bibliotecas e laboratórios para a realização do projeto.

5. PEÇAS A SEREM OTIMIZADAS

As peças utilizadas foram escolhidas priorizando a aplicação na Engenharia Aeroespacial (Figura 6). A peça 1 apresenta uma forma cônica genérica, submetida à compressão. Para esta peça, pode-se ter como exemplo o cone do nariz de um foguete. Porém, para trabalhar com essa estrutura, devem ser considerados outros fatores como a aerodinâmica, a transferência de calor pelo atrito com o ar, entre outras. Já a peça 2, pode ser interpretada como um trem de pouso de uma aeronave de pequeno porte.

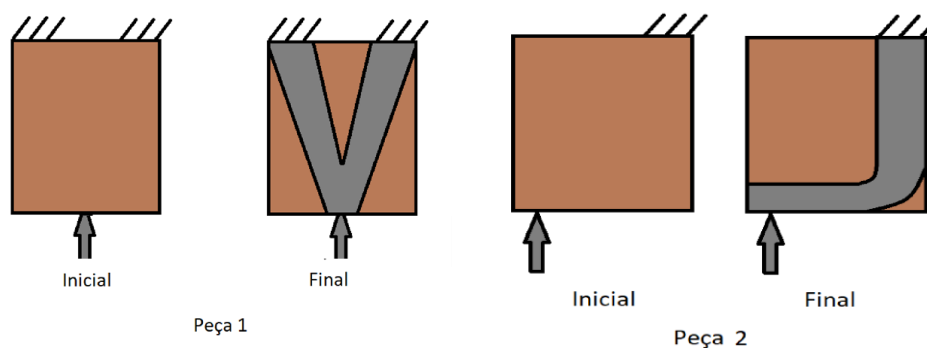


Figura 6 – Peças a serem otimizadas

6. CRONOGRAMA DE TRABALHO

	1º Mês	2º Mês	3º Mês	4º Mês	5º Mês	6º Mês	7º Mês	8º Mês	9º Mês	10º Mês	11º Mês	12º Mês
Revisão Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Desenvolvimento da peça no programa Inventor		X	X	X	X	X	X					
Análise tátil e visual da peça otimizada								X	X	X		
Redação do trabalho final											X	X

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arora, J., (2012), Introduction to Optimum Design. Third Edition. Academic Press.

Burnett, D. S., (1987), Finite Element Analysis, Addison Wesley, USA.

Kikuchi, N., (1986), Finite Element Methods in Mechanics, Cambridge University Press, Cambridge.

Lanes, R. G., (2013), Aplicação de Um Método de Otimização Topológica Evolucionária Desenvolvido em Script Python [Artigo] - Ciência & Engenharia, V. 22, N. 1, P. 01 – 11, Jan. – Jun. 2013.

Martha, L., (1994), Civ 2118 - Métodos Dos Elementos Finitos. Rio De Janeiro, Notas De Aula.

Virtualcae. Otimização Topológica: Entenda O Que É [Online] –

<[Http://Virtualcae.Com.Br/2016/04/20/Otimizacao-Topologica-Entenda-O-Que-E/](http://Virtualcae.Com.Br/2016/04/20/Otimizacao-Topologica-Entenda-O-Que-E/)> Acesso Em 8 De Julho De 2017

Zienkiewicz, O. C. e Taylor, R. L., (1989), The Finite Element Method, fourth edition, McGraw-Hill, London.