

N. CLASS.	M 620.1
CUTTER	F676A
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
THONY CORNÉLIO DA FONSECA

ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS APLICADOS NA INDÚSTRIA MECÂNICA

Varginha
2015

THONY CORNÉLIO DA FONSECA

ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS APLICADOS NA INDÚSTRIA MECÂNICA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. M. Sc. Alexandre Oliveira Lopes.

Varginha

2015

THONY CORNÉLIO DA FONSECA

ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS APLICADOS NA INDÚSTRIA MECÂNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro
Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica
sob a avaliação da banca:

Aprovado em 24 / 10 / 2015

Prof. Me. Sc. Alexandre Oliveira Lopes

Prof. Me. Adilene Soares Tirelli

OBS.:

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha família pela paciência e incentivo, que tudo é possível com determinação, pelo excelente trabalho executado ao longo dos períodos de graduação em auxílios dos professores e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores que fizeram parte dos projetos executados ao longo da graduação, tornando este sonho possível, aos profissionais médicos cirurgiões pela colaboração e troca de conhecimento.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar de novo com mais inteligência.”
(Henry Ford)

Grupo Educacional UNIS

RESUMO

A busca por melhorias de processo a níveis ótimos, teve um aprofundamento da Análise de Elementos Finitos (FEA) sendo aplicada em vários segmentos, como objetivo principal resolver a redução de perdas por tentativas e erros de cálculos, utilizando software específico de modelagem tridimensional a fim de garantir as condições físicas na qual a peça mecânica será submetida. A resolução se dá por meios de entradas fornecidas ao computador, com o usuário modelando no Autodesk Inventor Professional 2015 (licença estudantil). A modelagem é feita respeitando as medidas da peça real, com propriedades mecânicas idênticas, assim garantindo uma confiabilidade dos resultados obtidos, com intuito de aplicação deveras, as análises de elementos finitos poderá prever a quebra em função das forças aplicadas estaticamente ou em modelos dinâmicos. O estudo científico apresentado é para prover o conhecimento da ferramenta poderosa que auxilia os engenheiros quanto ao projeto e confiabilidade de resultado, reduzindo tempo e perda no processo produtivo.

Palavra chave: Análise de Elementos Finitos. Desenho Técnico. Modelagem Tridimensional. 3D. Von Misses.

ABSTRACT

In the midst of process optimization, Finite Element Analysis (FEA) with applications in mechanical engineering aims to resolve the reduction of losses by trial and error calculations, through specific three-dimensional modeling software to ensure the physical conditions in which the mechanical part will be submitted. The resolution takes place by means of inputs provided to the computer with the user informing him in Autodesk Inventor Professional 2015 (student license). The modeling is done using the measurements of the actual piece, with identical mechanical properties, thus ensuring reliability of the results obtained, applying intuited indeed the finite element analyzes may provide the breakdown according to the forces applied statically or dynamic models. The presented scientific study is to provide the knowledge of the powerful tool that helps engineers on the design and reliability of results, reducing time and lost in the production process.

Keyword: *Finite Element Analysis. Technical Drawing. Three-dimensional modeling. 3D. Von Mises.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foco cirúrgico Baumer série quanta 500	16
Figura 2 - Estrutura 3D modelada pelo software Autodesk Inventor Professional 2015 (licença estudantil).....	17
Figura 3 - Detalhamento por desenho técnico da estrutura de fixação para suporte de equipamento.	18
Figura 4 - Atribuição de material a peça de estrutura.....	23
Figura 5 - Ponto de fixação para a análise.....	23
Figura 6 - Ponto de aplicação de força.	24
Figura 7 - Resultado Von Mises	28
Figura 8 - Deformação máxima de 0,44 milímetros da peça submetida à aplicação da força.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Physical	25
Tabela 2 - General objective and settings.....	25
Tabela 3 - Mesh settings	25
Tabela 4 - Materials.....	26
Tabela 5 - Operating Condions Force 1.....	26
Tabela 6 - Reaction Force and Moment on Constraints	26
Tabela 7 - Result Summary	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 ELABORAÇÃO DE PROJETO	13
2.1 Utilização de softwares em modelagem 3D	14
2.2 Desenho técnico.....	14
2.3 Modelagem tridimensional	15
2.3 Modelagem Autodesk Inventor Professional	15
2.4 Desenho tridimensional da estrutura em estudo	15
2.4.1 Modelagem da estrutura	16
2.4.2 Posição de trabalho da estrutura	16
3 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS	19
3.1 Modelagem Matemática.....	20
3.2 Deformação plástica	21
3.3 Estudo da Análise de Elementos Finitos.....	21
3.4 Concepção da Análise.....	22
3.4.1 Passo básico dos elementos finitos.....	22
3.5 Configuração do programa Autodesk Inventor 2015 para o FEA	23
4 RESULTADOS DA ANÁLISE	25
5 CONCLUSÃO.....	30
6 REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Análise de Elementos Finitos pode ser definida como um processo de utilização na mecânica industrial, a utilização se resolve através de modelos matemáticos quanto aos parâmetros estruturais da peça, validando sobre cargas aplicadas em processo estático ou dinâmico. Esses resultados possibilitam a redução de tempo no processo construtivo. Grande parte das falhas das peças é devida aos carregamentos das forças o fadigando, cisalhando e ou fraturando internamente. Existe uma tendência de aumento de estudo desta ferramenta, pois as análises além dos resultados obtidos na ferramenta da engenharia, a modelagem tridimensional resulta em uma economia de tempo e custo para o cliente final. Recentes estudos informam este aumento, a razão é que todos os recursos dentro do software específico contemplam todos os módulos de força em função dos materiais atribuídos e consequentemente o carregamento das forças.

A mecânica dos materiais juntamente com análise de elementos compreende que é a seção que estuda um corpo deformável e seu comportamento diante de cargas externas nele aplicadas, analisando também as tensões e deformações das forças internas atuantes nesse corpo.

O parâmetro e a facilidade de aplicação no segmento industrial mecânico é para influenciar em resultados antecipadamente, ao invés de realizar testes caros e improváveis, uma análise correta traz benefícios à empresa tais como redução de custo de prototipagem, avaliação de estados últimos e limites da peça em função de seu material, correção do fator de segurança, simulação dinâmica, análise de stress, aplicação de forças físicas e ou dinâmicas em conjunto com valores reais previamente mencionados nas análises.

O polo industrial vem crescendo a cada dia e a inovação em ferramentas que podem auxiliar os profissionais em possíveis soluções de problemas mecânicos, assim como consequência reduzir o tempo de usinagem em uma peça aplicada ao setor ou material desnecessário no processo. A aplicação pode ter um impacto enorme para a empresa nos custos finais, portanto a ferramenta de modelagem e Análise de Elementos Finitos (FEA) poderá garantir redução, tempo, quanto à modalidade de peças mecânicas/projeto e dinheiro, assim a tornando essencial para peças de até alta complexibilidade em suas formas físicas que se aplica, obtendo um produto final acessível e com segurança.

Existem experimentos em utilização cirúrgica dental, os resultados visuais nos traz uma gama de gráficos e desenhos técnicos desenvolvidos nas análises, para então facilitar o entendimento para se aplicar ao projeto, os dados obtidos como experimento revelará o ponto

em que se deve chegar para validação com o software da Autodesk Inventor Professional, a fim de resolver o problema e concluir a satisfação da utilização deste método.

Análise de Elementos Finitos aplicado na mecânica industrial é um processo utilizado para otimização de modelos matemáticos quanto aos parâmetros estruturais da peça, validando sobre cargas aplicadas em processo estático ou dinâmico. Esses resultados possibilitam a redução de tempo no processo construtivo. Grande parte das falhas das peças é devida aos carregamentos das forças o fadigando, cisalhando e ou fraturando internamente. Existe uma tendência de aumento de estudo desta ferramenta, pois as análises além dos resultados obtidos na ferramenta da engenharia, a modelagem tridimensional resulta em uma economia de tempo e custo, recentes estudos informam este aumento, a razão é que todos os recursos dentro do software específico contemplam todos os módulos de força em função dos materiais atribuídos e conseqüentemente o carregamento das forças.

A mecânica dos materiais juntamente com análise de elementos compreende que é a seção que estuda um corpo deformável e seu comportamento diante de cargas externas nele aplicadas, analisando também as tensões e deformações das forças internas atuantes nesse corpo.

A evolução destes esforços criou se programas específicos para cálculos estruturais de peças, os resultados obtidos em função de dados enviados para o Autodesk Inventor como programa de modelagem o chamamos de análise de elementos finitos, que se faz a e as validam com coeficiente de segurança estabelecido pelo usuário.

2 ELABORAÇÃO DE PROJETO

Para Shigley et al. (2005) “projetar consiste tanto em formular um plano para satisfação de uma necessidade específica quanto em solucionar um problema”. Se tal plano resultar na criação de algo tendo uma realidade física, então o produto deverá ser:

- a) Funcional: O produto deve apresentar um desempenho que atenda às necessidades e expectativas do consumidor;
- b) Seguro: O produto não deve oferecer perigo ao usuário ou a propriedades vizinhas. Perigos que não podem ser “evitados por projetos” devem se valer de anteparos (envoltórios protetores); se isso não for possível, informações apropriadas ou avisos devem ser fornecidos;
- c) Confiável: Confiabilidade é a probabilidade condicional, a um determinado nível de confiança, de que o produto irá desempenhar sua função proposta satisfatoriamente, ou sem falhar a uma determinada idade;
- d) Competitivo: O produto deve ser competidor em seu mercado;
- e) Utilizável: O produto deve ser amigável ao usuário, acomodando-se a especificações como tamanho, resistência, postura, alcance, força, potência e controle humanos;
- f) Manufaturável: O produto deve ser reduzido a um número mínimo de componentes, adequados à produção em grandes escalas, com dimensões, distorções e resistência sob controle;
- g) Mercável: O produto pode ser comprado, e serviços de assistência técnica devem estar disponíveis para este produto.

No projeto de qualquer estrutura ou máquina, em primeiro lugar, é necessário usar os princípios da estática para determinar as forças que agem sobre os vários elementos, bem como no seu interior. O tamanho dos elementos, sua deflexão e estabilidade dependem não só das cargas internas, mas também do tipo de material de que são feitos.

“Por consequência, a determinação precisa e a compreensão fundamental do comportamento do material serão de vital importância para o desenvolvimento das equações necessárias usadas na resistência dos materiais. Tenha sempre em mente que muitas fórmulas e regras de projeto definidas em códigos de engenharia e utilizadas na prática são baseadas nos fundamentos da resistência dos materiais, e, por essa razão, é muito importante entender os princípios dessa matéria” (HIBBELER, 2010).

2.1 Utilização de softwares em modelagem 3D

Os códigos-fonte de todos os programas de computador utilizadas na resolução de problemas simples ou complexos são de extrema importância. Os programas disponíveis no mercado são testados quanto à sua exatidão, porém a um custo para adquiridos. A comunicação programador que fornece às entradas e o programa que recebe transformando esses comandos em como, por exemplo, uma linha, curva, peça 2d ou peça 3d, assim retirando o método antigo de caneta e papel, assim economizando tempo, protegendo arquivos e transferindo compatibilidade entre outros softwares de mesma categoria.

Existem softwares específicos para quase todos os tipos de aplicação, cálculos, desenhos, estas ferramentas economizam o tempo e minimizam a possibilidade de erros.

2.2 Desenho técnico

Segundo a ABNT NBR 10068 (1995), o desenho projetivo pode ser definido como projeções do objeto sobre o plano coincidente, ou seja, cópia do objeto real para o software de desenho em suas respectivas projeções.

Podemos destacar as vistas ortogonais e as perspectivas que são as vistas projetadas através do eixo ortogonal ou isométrico.

Na elaboração de qualquer desenho técnico é necessário um estágio inicial para a elaboração do esboço, que representa a concepção inicial do desenvolvimento de um projeto que destacamos como, por exemplo, o desenho preliminar, que pode ser alterado e correspondente ao anteprojeto. O croqui que pode ser feito a mão livre e sem escala com finalidade de auxiliar no desenho definitivo, ou seja, transcrever os itens desenhados a mão em uma software de desenho

As reproduções de desenhos podem ser obtidas a partir da original ou cópia, alternando na escala desejada.

O entendimento do desenho técnico é essencial para a construção de um modelo tridimensional, já que explora todos os itens e peculiaridades do mesmo em suas formas geométricas, detalhes, cortes, então assim podendo transcrever para um programa em específico.

2.3 Modelagem tridimensional

Modelos 3D representam um objeto ou várias formas geométricas, tais como linhas, superfícies, curvas ou entidades geométricas unidas a formando um modelo tridimensional. Nesta coleção de dados (pontos e outras informações), os modelos tridimensionais podem ser criados à mão, através de algoritmos por modelagem processual, ou digitalizada, são amplamente utilizados em qualquer lugar. Na verdade, a sua utilização é anterior ao uso generalizado de gráficos 3D em computador pessoais.

Na indústria mecânica já se utiliza para processo de usinagem ou até mesmo na criação de peças por meios de desenhos e detalhamento técnico de peças modeladas, os engenheiros utilizam na concepção de novos projetos ou dispositivos, estes modelos 3D podem ser lidos facilmente por máquina e dispositivos físicos que contemplam as máquinas CNC (Comando Numérico Controlado) e impressoras 3D, o desenvolvimento da peça é importante para análises posteriormente.

2.3 Modelagem Autodesk Inventor Professional

Segundo Ribeiro (2006) correlacionar técnicas de desenho e de representação gráfica a softwares de CAD, utilizar as ferramentas para representação gráfica bidimensional e tridimensional, desenvolver desenhos e modelagem de peças mecânicas utilizando softwares de geração de sólidos são técnicas desenvolvidas no estudo de seu livro.

Costa (2008) ensina todos os passos para a modelagem completa e detalhada no software Autodesk Inventor Professional, com itens bem didáticos.

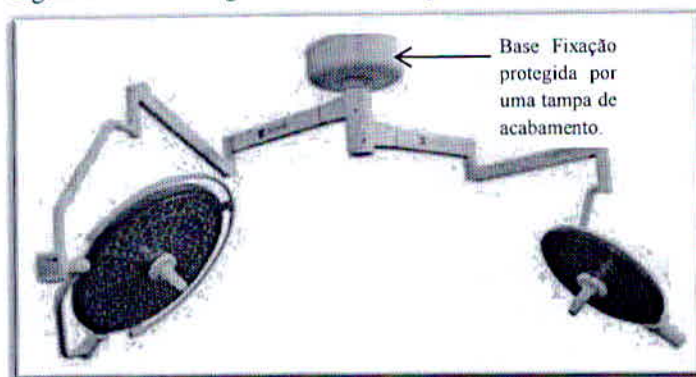
2.4 Desenho tridimensional da estrutura em estudo

Telhados tipo stuck não possui resistência mecânica para sustentação de pesos atirantados na laje, pois são confeccionados de uma tela de aço com uma fina camada de concreto, podemos fazer uma analogia como tipo de laje igual a um rebaixamento de gesso.

Em função deste problema foi desenvolvida uma estrutura a parte para adequação, que é fixada sobre a viga transversal de apoio do telhado. Todos os dados foram coletados in loco com medidas para a elaboração da estrutura de suporte do equipamento foco cirúrgico. Em sua base de fixação são posicionados 04 parafusos soldados para ser interligada a estrutura construída para a base de sustentação do equipamento.

Todo o equipamento pesa aproximadamente 80 quilogramas (80Kg), e possui giro livre para ergonomia e alcance do aparelho perante operabilidade do médico cirurgião.

Figura 1 - Foco cirúrgico Baumer série quanta 500



Fonte: manual instalação foco Baumer serie quanta 2015.

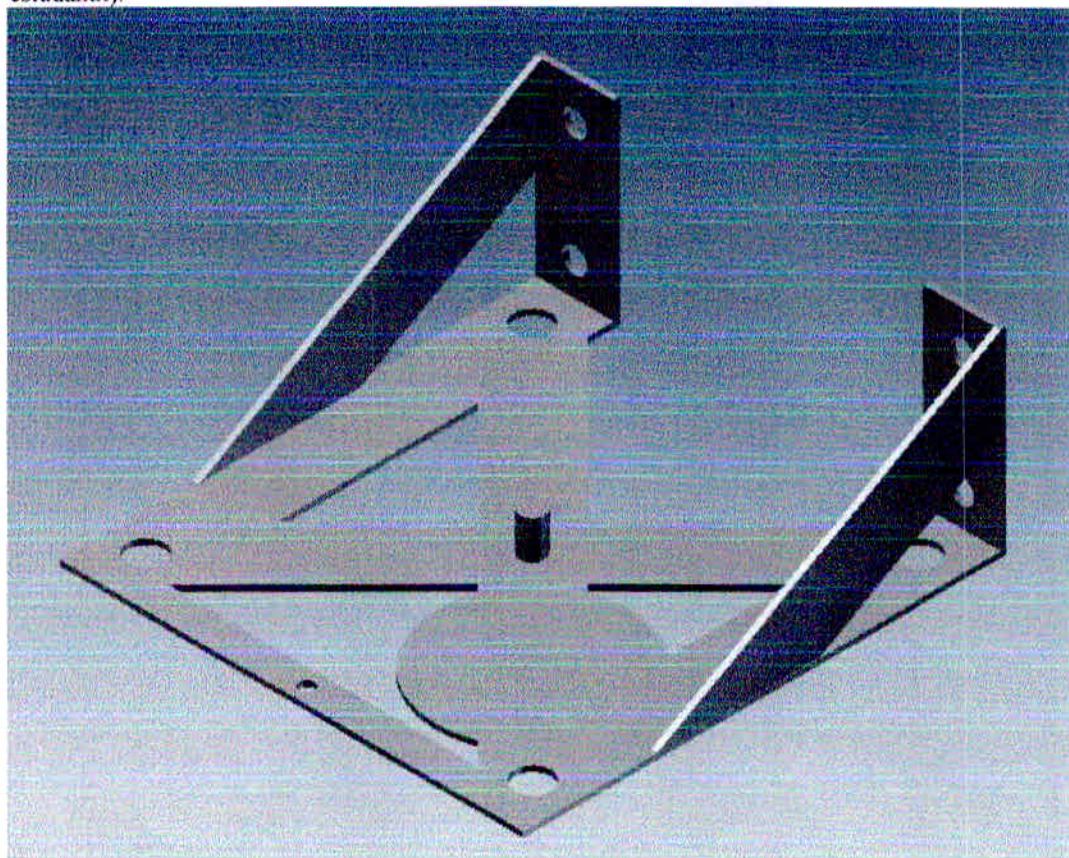
2.4.1 Modelagem da estrutura

A estrutura é composta de material de aço 1020 (tab. 4) soldado por barras chata de 1/8" x 1 1/2", todos componentes desta estrutura foram soldados com eletrodo revestido AWS 6013, as travessas em diagonais chamadas de mão francesa no caso do modelo 3d é a que mais será submetidas aos esforços sendo que o material linear homogêneo e isotrópico tem suas propriedades elásticas determinadas unicamente por qualquer dois módulos dentre estes.

2.4.2 Posição de trabalho da estrutura

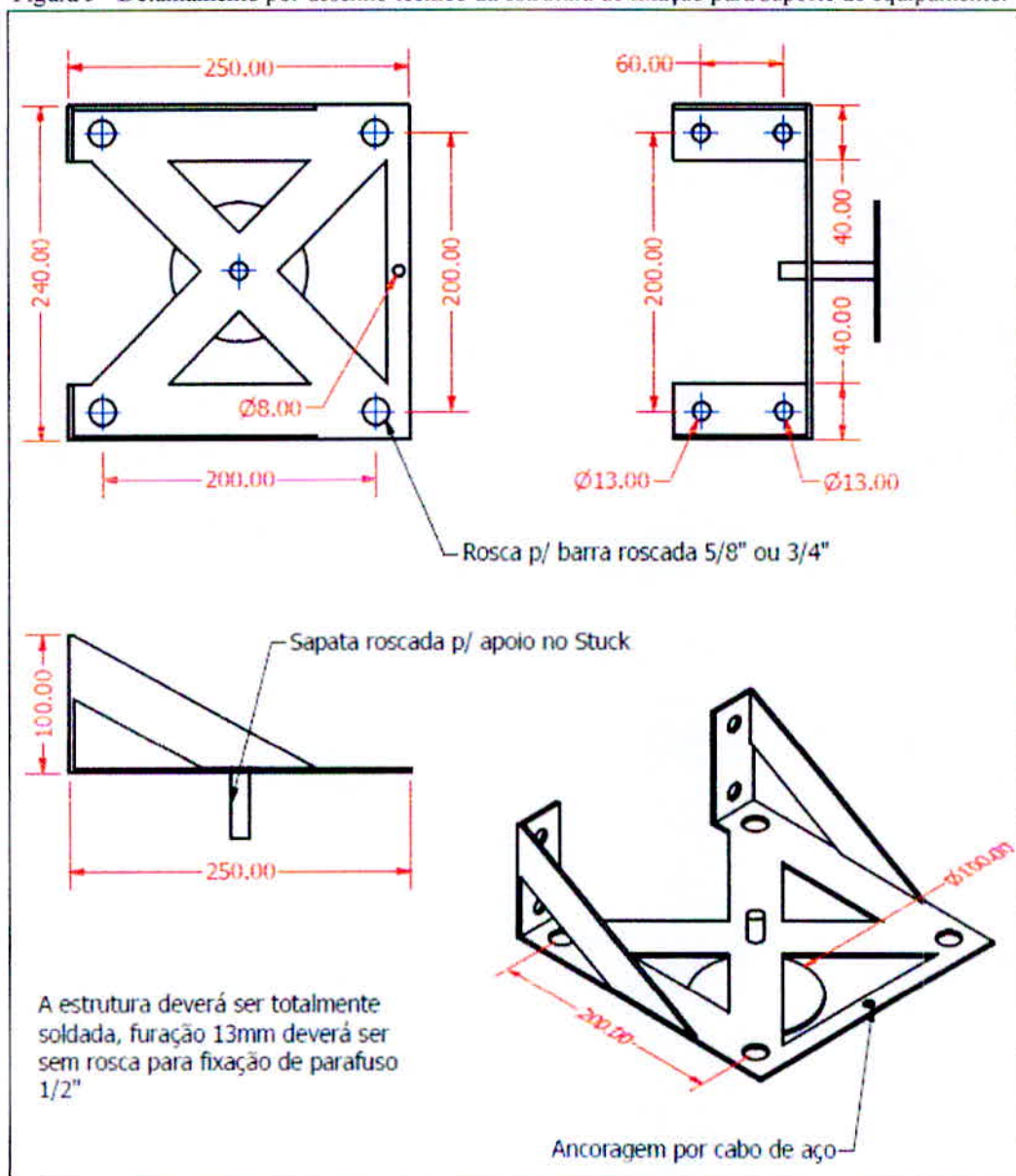
A estrutura fica suspensa por quatro parafusos de 1/2" x 2" classe ASTM A460 no ponto de fixação (fig. 5). A análise visa fixar a peça restringindo seu movimento conforme (fig. 5) e posteriormente aplicar a carga estática perpendicular (fig. 6) que são as forças que a estrutura irá ser submetida.

Figura 2 - Estrutura 3D modelada pelo software Autodesk Inventor Professional 2015 (licença estudantil).



Fonte: o autor.

Figura 3 - Detalhamento por desenho técnico da estrutura de fixação para suporte de equipamento.



Fonte: o autor.

3 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Esforços mecânicos têm sido usados desde 1837 a fim de entender quais pontos de aplicação são mais problemáticas na estrutura da peça. A evolução destes esforços criou se programas específicos para cálculos estruturais de peças, os resultados obtidos em função de dados enviados para o Autodesk Inventor como programa de modelagem o chamamos de análise de elementos finitos, que se faz a e as validam com coeficiente de segurança estabelecido pelo usuário ou pela norma aplicada.

A Análise de Elementos Finitos é utilizada em conjunto com a aplicação do processo de fabricação de um material ou peça que deve ser estudado em função da sua geometria para lhes garantir a otimização necessária, mas devido algumas restrições ou complexidade de cálculos, não é possível esta compreensão e visualizações manualmente. Para obter os resultados é necessário o estudo da geometria da peça que será submetida às análises por meio de softwares.

O método dos elementos finitos é um método numérico que pode ser usado para a solução de problemas de engenharia precisas e complexas. O método foi desenvolvido em 1956 para a análise de problemas estruturais de aeronaves. Depois disso, dentro de uma década, as potencialidades do método para a solução de diferentes tipos de problemas aplicados em ciência e engenharia foram reconhecidos. Ao longo dos anos, a técnica de elementos finitos tem sido tão bem estabelecida, que hoje em dia é considerado como um dos melhores métodos para a resolução de uma ampla variedade de problemas práticos de forma eficiente. Na verdade, o método tornou-se uma das áreas de investigação ativa para matemáticos aplicados. Uma das principais razões para a popularidade do método em diferentes campos da engenharia, uma vez que é um programa de computador é escrito geral, ele pode ser usado para a solução de qualquer problema alterando simplesmente os dados de entrada. O objetivo é apresentar os diversos aspectos do método de elementos finitos aplicados á problemas de engenharia de uma forma sistemática. Tenta-se dar detalhes de desenvolvimento de cada uma das técnicas e princípios básicos de ideias.

Novos conceitos são ilustrados com exemplos simples sempre que possível. Vários programas de computador são dados com exemplos de aplicações para atender as seguintes finalidades:

- Para permitir que o usuário compreenda a implementação do computador na teoria desenvolvida;
- Para resolver problemas específicos;

- Para indicar procedimento para o desenvolvimento de programas de computadores para resolver qualquer outro problema na mesma área. (RAO, 2004)

3.1 Modelagem Matemática

Embora o método tem sido amplamente utilizado no campo da mecânica estrutural, tem sido aplicado com sucesso para resolver vários outros tipos de problemas de engenharia, tais como a condução de calor, a dinâmica dos fluidos, o fluxo de exsudações, e os campos elétricos e magnéticos. Esses aplicativos matemáticos solicitado a usar esta técnica para a solução de valor limite complicada e outros problemas. Na verdade, tem-se estabelecido que o método pode ser usado para a solução numérica de equações diferenciais ordinárias e parciais. (RAO, 2004)

Para exemplificar o modelo matemático por elementos finitos, a equação requer a existência de uma equação integral, de modo que seja possível substituir o integral sobre um domínio complexo de volume (V), por um somatório de integrais estendidos a estes sub domínios (V_i) em função da geometria simples de volume V . Representada pela função (f)

$$\int_V f dV = \sum_{i=0}^n \int_{V_i} f dV$$

Como é possível calcular todos as integrais estendidas aos subdomínios, basta efetuar o somatório correspondente ao segundo membro para se obter a integral estendida a todo o domínio. Cada subdomínio corresponde a um elemento finito de geometria simples como os tipos (segmento de reta, triângulo, quadrilátero, tetraedro, paralelepípedo). O somatório indicado vai dar origem à operação designada à montagem, que apresenta muitas semelhanças com a que é efetuada nas estruturas.

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

f	função
V	volume
V_i	subdomínios do volume

3.2 Deformação plástica

Em nível microscópico, a deformação plástica corresponde ao movimento de discordâncias em resposta à aplicação de uma tensão de cisalhamento externa, um processo conhecido por "escorregamento". O escorregamento ocorre sobre planos cristalográficos específicos, e dentro desses planos, somente em certas direções. Um sistema de escorregamento representa uma combinação de plano de escorregamento-direção de escorregamento, e os sistemas de escorregamento que podem ser operados dependem da estrutura cristalina do material.

A tensão de cisalhamento resolvida crítica é a tensão de cisalhamento mínima exigida para dar início ao movimento das discordâncias; o limite de escoamento de um monocristal depende tanto da magnitude da tensão de cisalhamento resolvida crítica quanto da orientação dos componentes de escorregamento em relação à direção da tensão aplicada. Para materiais policristalinos, o escorregamento ocorre dentro de cada grão ao longo dos sistemas de escorregamento que estão mais favoravelmente orientados em relação à tensão aplicada. Além disso, durante a deformação os grãos mudam de forma, de tal maneira que é mantida uma coesão nos contornos dos grãos (CALLISTER, 2002).

3.3 Estudo da Análise de Elementos Finitos

Como afirmado anteriormente, o método dos elementos finitos foi desenvolvido originalmente para a análise das estruturas de aeronaves. No entanto, a natureza geral da sua teoria torna aplicável a uma grande variedade de problemas de valor de contorno em engenharia. Um problema do valor limite é aquele em que uma solução é procurada no domínio (ou região) de um corpo sujeito à satisfação de limite prescrito (borda) condições sobre as variáveis σ dependentes ou seus derivados. Em um problema de equilíbrio, temos de encontrar o deslocamento de estado estacionário ou distribuição de tensões, se é uma distribuição de problema mecânico, temperatura ou fluxo de calor sólido se é um problema de transferência de calor e pressão ou distribuição de velocidade, se é um problema de mecânica de fluidos. Em problemas de valores próprios também. tempo não aparece explicitamente.

Eles podem ser considerados como extensões de problemas de equilíbrio em que os valores críticos de certos parâmetros devem ser determinados, para além das configurações de estado estacionário correspondentes. Nestes problemas, precisamos de encontrar as frequências naturais ou cargas de flambagem e modos de vibração, se for um sólido

mecânicos ou estruturas problema, a estabilidade de fluxo laminar se é um problema de mecânica de fluidos, e características de ressonância se é um problema de circuito elétrico. A propagação ou problemas transitórios são problemas dependentes do tempo. Este tipo de problema surge, por exemplo, sempre que estão interessados em encontrar a resposta de um corpo sob a força de variação de tempo na área de mecânica dos sólidos e sob aquecimento ou arrefecimento súbito no domínio da transferência de calor. (RAO, 2004).

3.4 Concepção da Análise

No método dos elementos finitos, o corpo real da matéria, tais como um sólido, líquido, ou gás, é representada como um conjunto de subdivisões chamados elementos finitos.

Estes elementos são considerados para ser interligados em junções especificados chamados nós ou pontos nodais. Os nós em geral são os limites dos elementos adjacentes que são consideradas para ser conectado entre eles. Desde a variação real da variável de campo (por exemplo, deslocamento, stress, temperatura, pressão, ou a velocidade) dentro do contínuo não é conhecido, assume-se que a variação da variável de campo dentro de um elemento finito pode ser aproximada por uma função simples. Estas funções de aproximação (também chamados modelos de interpolação) são definidas em termos de valores das variáveis de campo nos nós. Quando equações de campo (como equações de equilíbrio) para todo o contínuo são escritos, as novas incógnitas serão os valores nodais de a variável de campo. Ao resolver as equações de campo, que são geralmente em forma de matriz de equações, os valores nodais da variável de campo vai ser conhecida. Uma vez que estes são conhecidos, as funções de aproximação define a variável de campo em todo o conjunto de elementos.

A solução de um problema contínuo geral pelo método de elementos finitos sempre segue um processo passo-a-passo ordenada. Com referência a problemas estruturais estáticos, o procedimento passo-a-passo.

3.4.1 Passo básico dos elementos finitos

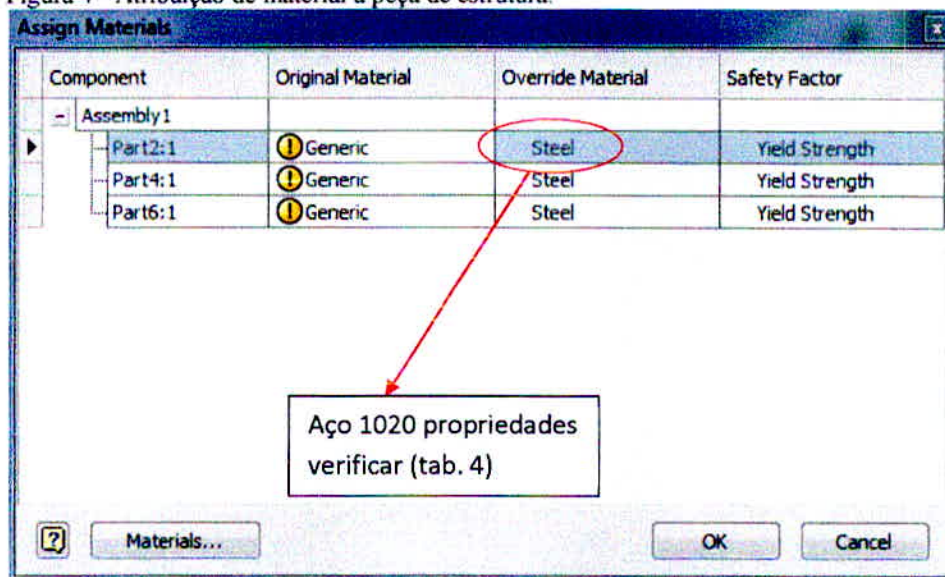
“O primeiro passo no método dos elementos finitos é dividir a estrutura ou a região de solução em subdivisões ou elementos. Por isso, a estrutura a ser modelado com elementos finitos adequados, o número, tipo, tamanho e disposição dos elementos é definida pelo usuário [...]” (RAO, 2004).

3.5 Configuração do programa Autodesk Inventor 2015 para o FEA

FEA Análise de Elementos Finitos

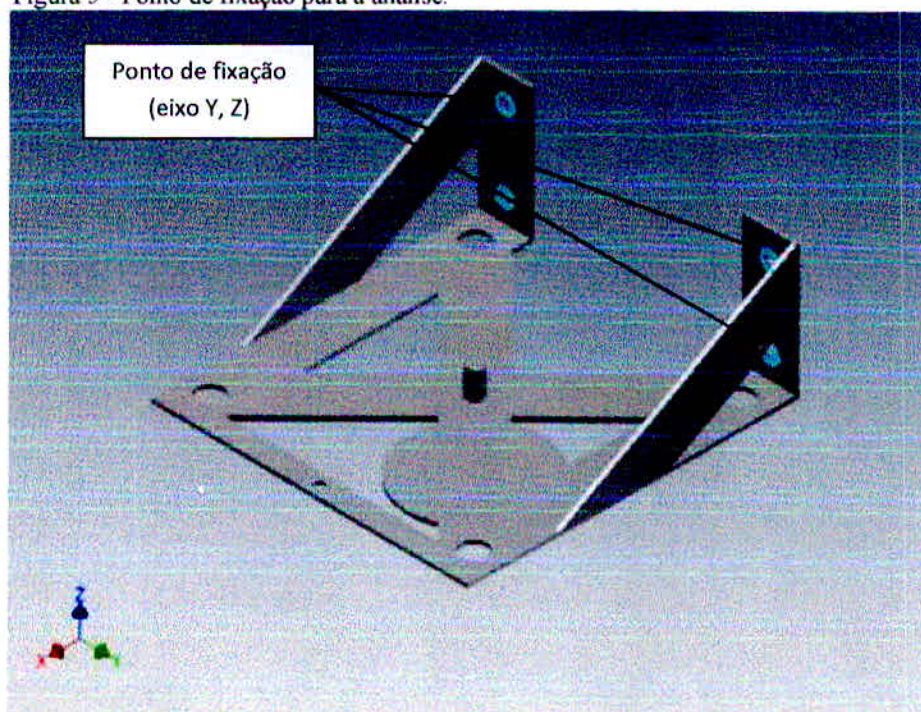
Após concretizado a modelagem tridimensional, o arquivo gerado em formato cad é submetido as análises seguindo as figuras abaixo.

Figura 4 - Atribuição de material a peça de estrutura.



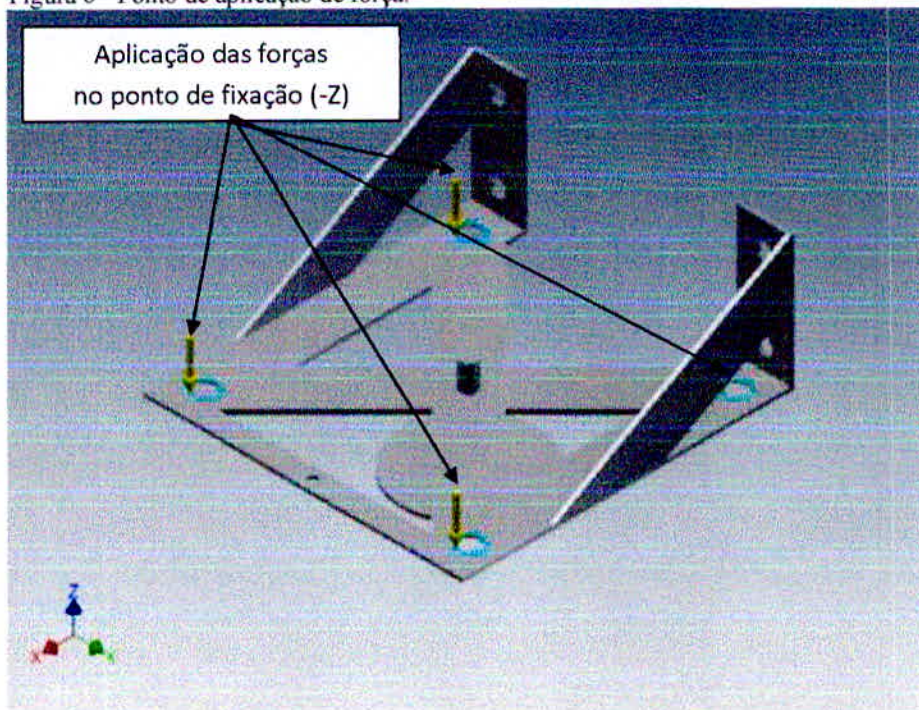
Fonte: o autor.

Figura 5 - Ponto de fixação para a análise.



Fonte: o autor.

Figura 6 - Ponto de aplicação de força.



Fonte: o autor.

4 RESULTADOS DA ANÁLISE

Tabela 1 - Physical

Mass	0,464212lbmass
Área	145506 mm ²
Volume	210563 mm ³
Center of Gravity	x=650,675 mm y=4,47713 mm z=-249,725 mm

Fonte: o autor.

Tabela 2 - General objective and settings

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	23/03/2015, 00:34
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Fonte: o autor.

Tabela 3 - Mesh settings

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,05
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,1
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

Fonte: o autor

Tabela 4 - Materials

Name	Steel	
General	Mass Density	0,283599 lbmass/in ³
	Yield Strength	30043,5 psi
Stress	Ultimate Tensile Strength	50072,6 psi
	Young's Modulus	30479 ksi
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	11722,7 ksi
Part Name(s)		Part2
		Part4
		Part6

Fonte: o autor

Tabela 5 - Operating Condions Force 1

Load Type	Force
Magnitude	44,962 lbforce
Vector X	0,000 lbforce
Vector Y	-0,000 lbforce
Vector Z	-44,962 lbforce

Fonte: o autor

Tabela 6 - Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	44,9618 lbforce	0 lbforce	16,5628 lbforce ft	0 lbforce ft
		0 lbforce		-16,5628 lbforce ft
		44,9618 lbforce		0 lbforce ft

Fonte: o autor

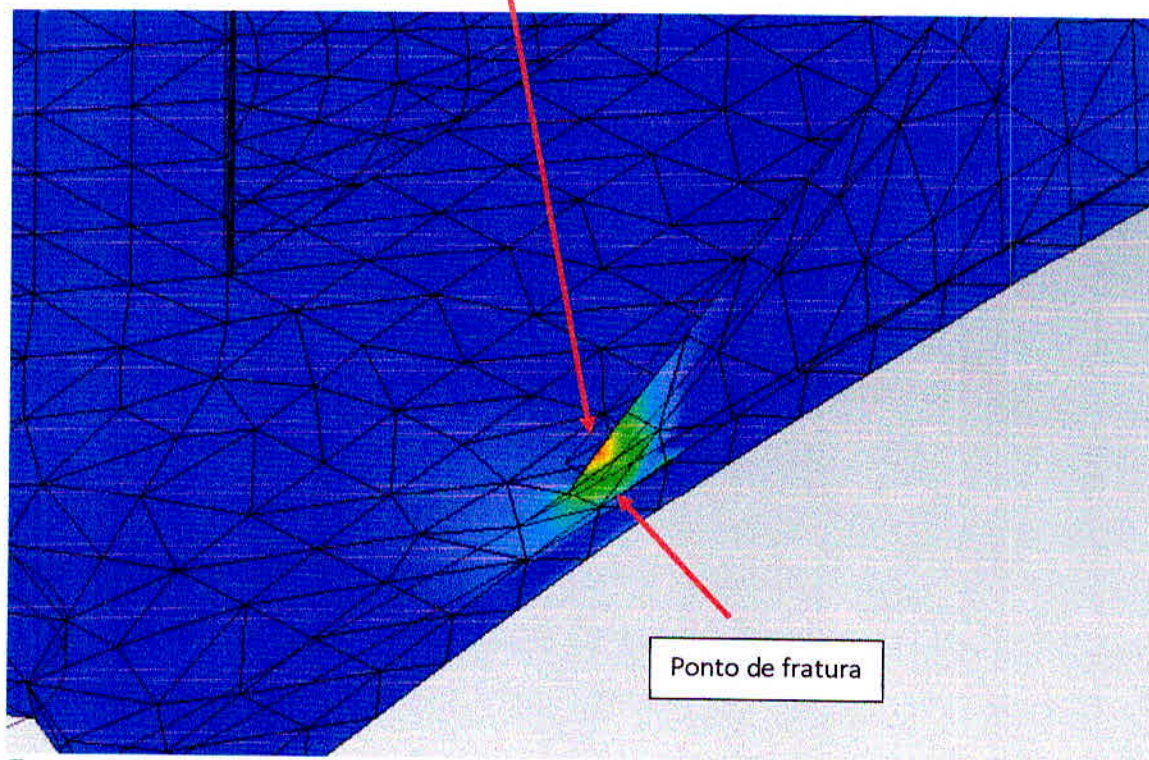
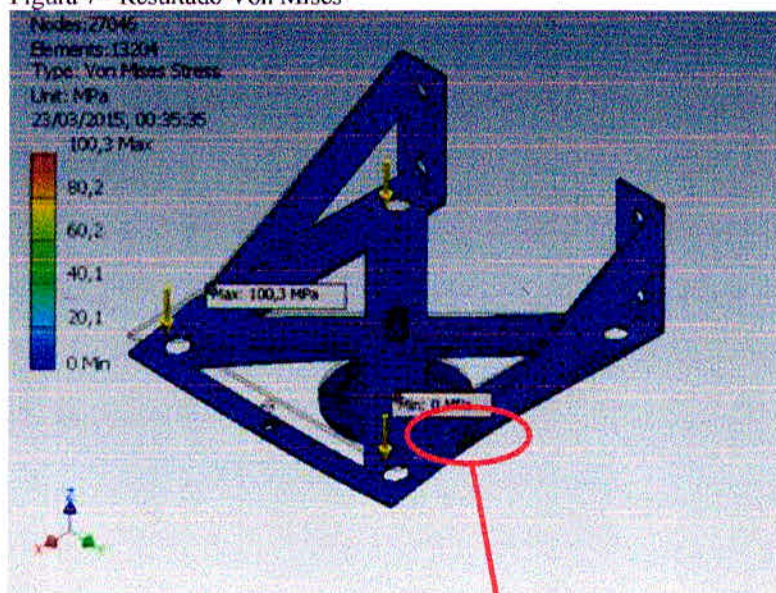
Tabela 7 - Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	210563 mm ³	
Mass	3,64407 lbmass	

Von Mises Stress	0,0000603762 MPa	100,278 MPa
1st Principal Stress	-20,0656 MPa	99,7808 MPa
3rd Principal Stress	-62,4801 MPa	16,896 MPa
Displacement	0 mm	0,444856 mm
Safety Factor	2,06425 ul	15 ul
Stress XX	-42,393 MPa	71,1325 MPa
Stress XY	-21,2317 MPa	16,8772 MPa
Stress XZ	-46,7949 MPa	25,8704 MPa
Stress YY	-50,5832 MPa	33,5749 MPa
Stress YZ	-12,6223 MPa	12,8862 MPa
Stress ZZ	-38,1366 MPa	56,6881 MPa
X Displacement	-0,0290486 mm	0,0164069 mm
Y Displacement	-0,0348855 mm	0,0347513 mm
Z Displacement	-0,444391 mm	0,00326735 mm
Equivalent Strain	0,00000000269105 ul	0,000422833 ul
1st Principal Strain	-0,00000000126856 ul	0,000474672 ul
3rd Principal Strain	-0,00030666 ul	0,00000000600877 ul
Strain XX	-0,000182312 ul	0,000286616 ul
Strain XY	-0,000131434 ul	0,000104478 ul
Strain XZ	-0,000289683 ul	0,00016015 ul
Strain YY	-0,000157441 ul	0,000153947 ul
Strain YZ	-0,0000781378 ul	0,0000797714 ul
Strain ZZ	-0,000163975 ul	0,000197907 ul
Contact Pressure	0 MPa	42,1554 MPa
Contact Pressure X	-38,4859 MPa	34,0126 MPa
Contact Pressure Y	-15,8415 MPa	14,4316 MPa
Contact Pressure Z	-25,1261 MPa	25,4259 MPa

Fonte: o autor

Figura 7 - Resultado Von Mises

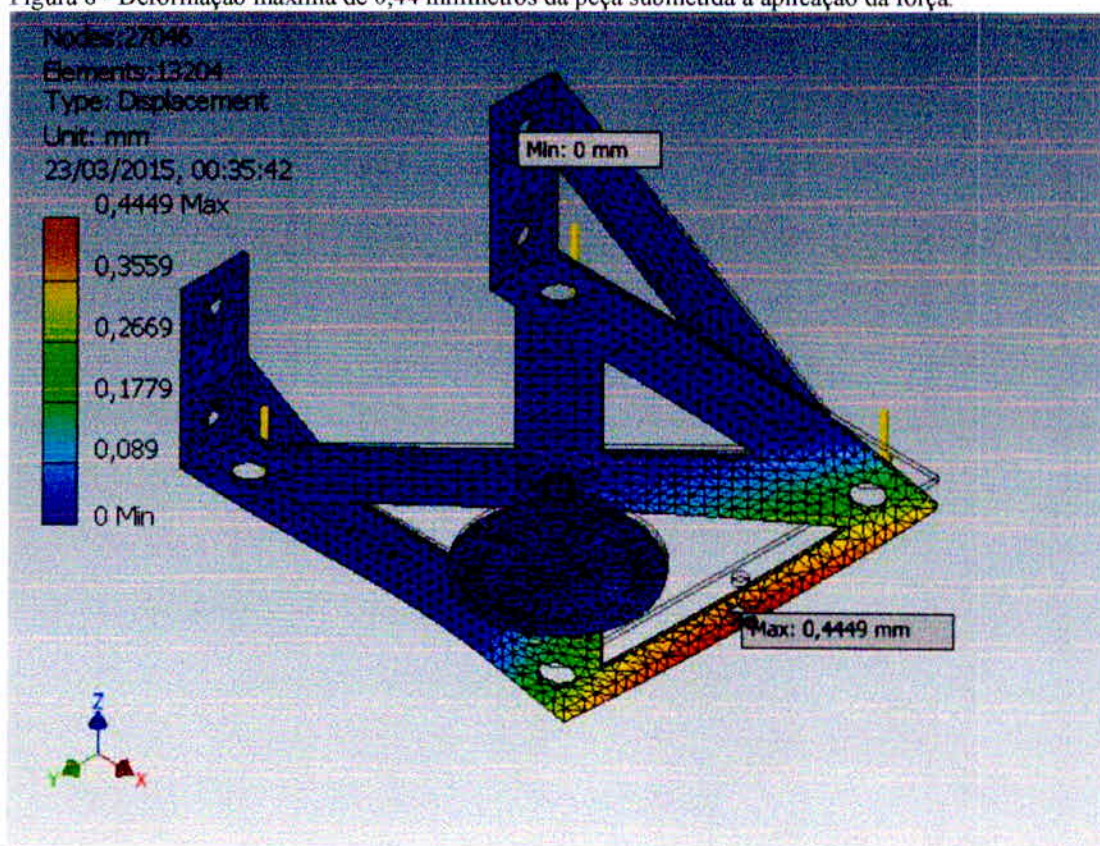


Fonte: o autor.

Em ciência dos materiais e engenharia o critério de escoamento de Von Mises pode ser resumido quando a tensão de escoamento está no seu valor crítico, os resultados Von Misses podem ser melhorados com o refinamento da malha e quanto maior e infinitesimal as malhas forem divididas os resultados consequentemente se aproximaram de sua característica

real com um erro mínimo, assim indicando exatamente o ponto de fratura. [...] onde N' é um número maior do que a unidade. Dessa forma, o material a ser usado para a aplicação específica é escolhido de modo a ter um limite de escoamento que seja pelo menos tão alto quanto esse valor. Alternativamente, uma tensão admissível ou tensão de trabalho, " σ ", é usada em lugar da tensão de projeto. Essa tensão admissível está baseada no limite de escoamento do material e é definida como sendo o limite de escoamento dividido por um fator de segurança N' . (CALLISTER, 2002).

Figura 8 - Deformação máxima de 0,44 milímetros da peça submetida à aplicação da força.



Fonte: o autor.

5 CONCLUSÃO

A Análise de Elementos Finitos teve como objetivo apresentar a aplicação das forças mencionadas em função dos parâmetros, tais como modelo de peça, ponto de fixação, carga estática e ou dinâmica submetida aos esforços. Logo o resultado obtido da correspondente análise foi de 100,3 megapascals, devido ao material utilizado considerado aço 1020 com propriedades de limite de ruptura, e de tensão máximo de aproximadamente 250 megapascals, conclui-se que a solitação de carga é inferior ao limite último de ruptura do material, tornando a estrutura confiável com um fator de segurança em aproximadamente 2,5. O desenvolvimento da Análise de Elementos Finitos (FEA) consiste em estudar uma peça dividida em milhões de partes para verificação, cálculos envolvidos para uma peça com geometria complexa torna impossível de ser calculada a mão, enquanto o programa de análise nos transcreve todas as informações de forma didática e simples, assim podendo ser aplicada a indústria mecânica para os estudos de peças a parte ou em até montagens, sua confiabilidade de resultado é garantida quando bem procedida da modelagem 3d e as aplicações corretamente as cargas de trabalho, é possível reduzir tempo, material e perda no processo produtivo quanto a sua concepção e execução.

6 REFERÊNCIAS

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 10067, Princípios Gerais de Representação em Desenho Técnico. Maio de 1995.

A. Costa, “**Autodesk Inventor - Curso Completo 2ª Edição Atualizada**”, FCA Editora, 2008, ISBN 978-972-722-418-0.

CALLISTER Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**, LTC Ed. 5ª Ed., Rio de Janeiro, 2002.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais I Russell Charles Hibbeler**; tradução Arlete Simille Marques; revisão técnica Sebastião Simões da Cunha Jr.-7. ed. - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.

RIBEIRO, Carlos Tavares et al. **Desenho técnico moderno**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SINGIRESU S., Rao. **The Finite Element Method in Engineering**, 5ª ed. Publisher Elsevier Science & Technology Books, December 2004.

SHIGLEY, J.E. et al. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2005.