

SIMULAÇÃO DE UM COMPONENTE AUTOMOTIVO UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS VISANDO À OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

Guilherme Costa Silva¹
Tassyana Dini de Aguiar²

RESUMO

O mercado automobilístico firma-se mais competitivo, a concorrência está cada vez mais acirrada, e um fator importante é a rapidez em desenvolver e colocar no mercado novos produtos que atendam a necessidade dos clientes. Sendo assim no dia a dia do desenvolvimento dos produtos, os engenheiros e projetistas são colocados diante de problemas técnicos simples e complexos, e tendo que resolvê-los, desenvolvendo produtos com total eficiência, qualidade e baixo custo. Com o intuito de confirmar as hipóteses, esse trabalho aponta como questão norteadora: Como o uso de simulações computacionais utilizando método de elementos finitos pode auxiliar a engenharia no desenvolvimento ou otimização de um produto? O objetivo desse artigo é demonstrar a efetividade do uso do método de elementos finitos na simulação estrutural de um componente para que se obtenha um produto otimizado antes torná-lo físico. Os objetivos específicos são, estudar as técnicas de otimização através do método de elementos finitos; analisar a efetividade da utilização do método de elementos finitos; utilizar uma ferramenta CAE para comparar os resultados obtidos após a otimização realizada através do método supracitado. Essa pesquisa justifica-se pela relevância do uso do método de elementos finitos na engenharia de desenvolvimento de produto como suporte na otimização de um componente antes de torná-lo físico. No que concerne a metodologia, trata-se de um estudo de caso, cuja natureza descritiva, bibliográfica e abordagem quantitativa, que busca comprovar a eficiência da aplicação do método através de um estudo realizado através da comparação de uma simulação estrutural entre dois componentes de um veículo. No presente artigo foi possível comprovar que a aplicação do método de elementos finitos é de grande importância no desenvolvimento de um componente ao possibilitar a otimização de uma peça garantindo a sua integridade estrutural.

Palavras chave: Método de elementos finitos. Simulação estrutural. Otimização.

ABSTRACT

The automobile market is becoming more competitive, competition is increasingly fierce, and an important factor is the speed in developing and placing on the market new products that meet the needs of customers. Thus, in the day-to-day development of products, engineers and designers are faced with simple and complex technical problems, and having to solve them, developing products with total efficiency, quality and low cost. To confirm the hypotheses, this work points out as a guiding question: How can the use of computer simulations using finite element method help engineering in the development or optimization of a product? The purpose of this article is to demonstrate the effectiveness of using the finite element method in the structural simulation of a component to obtain an optimized product before making it physical. The specific objectives are to study the optimization techniques using the finite element method; analyze the effectiveness of using the finite element method; use a CAE tool to compare the results obtained after the optimization performed using the method. This research is justified by the relevance of using the finite element method in product development engineering to support the optimization of a component before making it physical. Regarding the methodology, it is a case study, whose descriptive, bibliographic nature and quantitative approach, which seeks to prove the efficiency of the application of the method through a study carried out by comparing a structural simulation between two components of a vehicle. In this article it was possible to prove that the application of the finite element method is of great importance in the development of a component, thus being able to optimize a part, guaranteeing its structural integrity.

Keywords: Finite element method. Structural simulation. Optimization.

¹ Discente do curso de graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade Ciências da Vida (FCV), Sete Lagoas/MG. *E-mail:* guilheermecsilva@gmail.com

² Docente em Engenharia Mecânica, Mestre em Física e Química de Materiais (UFSJ), Licenciada em Física (UFSJ). *E-mail:* tassydini@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

O mercado automobilístico firma-se mais competitivo, a concorrência está cada vez mais acirrada, e um fator importante é a rapidez em desenvolver e colocar no mercado novos produtos que atendam a necessidade dos clientes. Durante sua vida útil, veículos são submetidos a altas cargas de trabalho, diversos esforços e vibrações causadas por estradas ruins e condições severas, mesmo assim é necessário que os fabricantes desenvolvam produtos que suportem essas variações sem prejudicar a funcionalidade e a integridade até o fim da vida útil estipulada para o produto (BÁNKUTI; PEREIRA, 2016).

Sendo assim, no dia a dia do desenvolvimento dos produtos, os engenheiros e projetistas são colocados diante de problemas técnicos simples e complexos, e tendo que resolvê-los, desenvolvendo produtos com total eficiência, qualidade e baixo custo. Uma tarefa importante no desenvolvimento do produto é garantir a integridade estrutural, desde um simples componente até a estrutura completa do veículo, garantindo que não ocorram falhas, tanto em condições normais como em condições mais severas de uso (ALVES FILHO, 2018; PEREIRA, 2017).

Para isso é necessário que esses componentes passem por diversas etapas de testes e validações, que podem ser através do modelo virtual ou através do protótipo. Uma etapa indispensável no desenvolvimento do produto é a realização de testes virtuais, através de simulação em um *software* durante o desenvolvimento do produto, para garantir a qualidade e eficiência do produto, evitando que ocorram falhas ou que estejam superdimensionados (SOUZA JUNIOR, 2016; WILTGEN, 2019).

O uso de simulações computacionais na área de engenharia tem se tornado essencial para garantir a qualidade e eficiência no desenvolvimento do produto. Conhecido como *Computer Aided Engineering* (CAE), é uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos, com ela é possível analisar a integridade estrutural do modelo CAD, de componentes, máquinas ou sistemas mecânicos antes de construir os protótipos (ALVES FILHO, 2018; SOKEN, 2016).

O objetivo desse artigo é demonstrar a efetividade do uso do método de elementos finitos na simulação estrutural de um componente para que se obtenha um produto otimizado antes torná-lo físico. Os objetivos específicos são: estudar as técnicas de otimização através do método de elementos finitos; analisar a efetividade da utilização do método de elementos finitos; utilizar uma ferramenta CAE para comparar os resultados obtidos após a otimização realizada através do método supracitado.

Essa pesquisa justifica-se pela relevância do uso do método de elementos finitos auxiliado pela ferramenta CAE na engenharia de desenvolvimento de produto como suporte na otimização de um componente. Para comprovar a eficácia de aplicação do método de elementos finitos, apresenta-se a simulação estrutural de dois modelos de suporte de estepe de um veículo comercial e compara os níveis de tensões sobre o componente quando submetido a carregamentos que representam as condições normais de trabalho, utilizando essa ferramenta computacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Segundo Alves Filho (2018) o engenheiro que atua na área de cálculo estrutural, deve assegurar que a estrutura do objeto de estudo não será levada a falhas sob diferentes condições de trabalho. As referências para esta análise são adquiridas através da resistência dos materiais, que se refere à resistência e a rigidez dos elementos das estruturas, utilizando como suporte os Teoremas da Mecânica Geral e especificamente o estudo da estática.

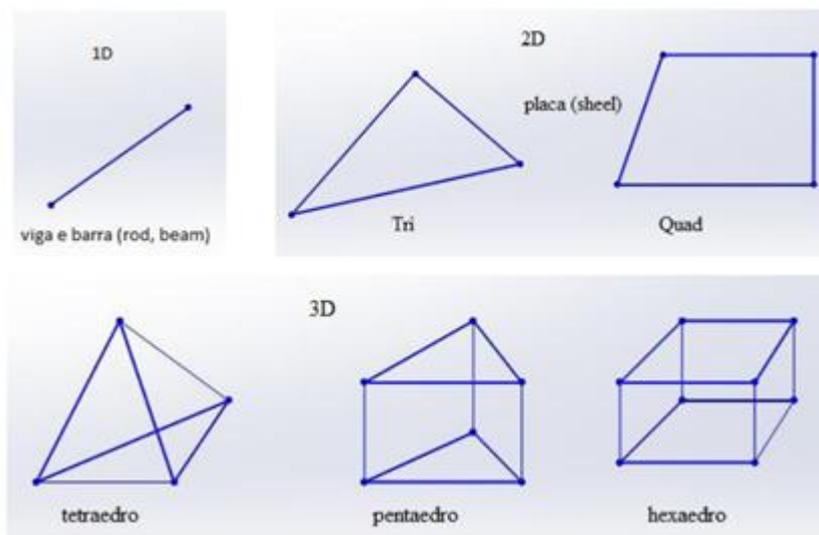
As técnicas analíticas clássicas proporcionam uma resposta precisa de cálculo das tensões, deslocamentos e deformações da estrutura em seus infinitos pontos, contudo essas soluções só podem ser aplicadas para alguns casos, que geralmente não é o que se encontra nas aplicações do dia a dia. Para estruturas complexas, os métodos analíticos simples se tornam inviáveis, diante disso foram desenvolvidos procedimentos aproximados, que são

capazes de aplicá-los de modo geral, sem levar em consideração a forma da estrutura e as condições de carregamento, dando origem ao Método dos Elementos Finitos (ALVES FILHO, 2018).

O método de elementos finitos é um procedimento de cálculo aproximado aplicado em sistemas contínuos, isto é, o componente mecânico, a estrutura, o corpo contínuo é fracionado em números finitos de elementos, ligados mutuamente pelos pontos discretos, nomeados por nós. A disposição desses elementos compõe o modelo matemático, especificando o seu comportamento através de um número finito de critérios. Em particular nas análises de falhas estruturais, o princípio observado são os deslocamentos que são variáveis do problema (ALVES FILHO, 2018).

Para aplicar o método de elementos finitos, devem ser seguidos alguns parâmetros quanto ao tipo de elemento utilizado. Pode se trabalhar com elementos 1D, 2D e 3D. No entanto os elementos 2D são mais utilizados, de casca, ou cúbicos 3D. Os elementos 2D são compostos por 4 nós, já os elementos cúbicos são compostos por 8 nós. Para os dois modelos temos 6 graus de liberdade por nó, sendo translação e rotação nos eixos x, y e z, (VIEIRA, 2015).

Figura 01: Tipos de Elementos



Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

Na aplicação do MEF em análise estrutural, a geometria da peça é subdividida pelo *software* em pequenas partes, em elementos finitos, estes

interligados por nós, cada um dos elementos é interpretado como uma mola que possui a rigidez e o tamanho predeterminados. (ALVES FILHO, 2018)

A relação Força x Deslocamento no âmbito de um elemento é expressa pela Matriz de rigidez do elemento, $[k^e]$, um exemplo simples em que a estrutura é constituída por apenas um elemento, nesse caso a estrutura está fixa em um nó e a força externa F causa na estrutura um deslocamento U que é literalmente proporcional a F . (ALVES FILHO, 2018)

Temos:

$$F = k \cdot U$$

Segundo Alves Filho (2018), onde F é a força externa, k sendo a constante elástica da mola, que contabiliza a rigidez da estrutura e U é o deslocamento. Então conhecendo a rigidez da estrutura e a carga, teremos o componente de deslocamento:

$$U = \frac{F}{k}$$

De acordo com Vasconcelos (2015) o emprego do MEF na indústria automotiva abrange diferentes testes, como a análise de conforto, vibrações, acústica, ampliação da vida à fadiga dos componentes da suspensão, otimização da rigidez do chassi, otimização da aerodinâmica e projeto do motor para que as especificações de tensão e temperatura não extrapolem as admissíveis. Em vista disso, o MEF denomina-se como um recurso diferenciado, eficiente em minimizar custos, tempo de projetos e proporcionando a competitividade entre as empresas.

2.2 ETAPAS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Para a realização de uma análise independente do problema, utilizando o método de elementos finitos, são necessários três passos essenciais para a caracterização e implementação computacional, são eles:

a) pré-processamento – neste passo é de dever do engenheiro responsável, estabelecer os respectivos aspectos: reconhecer a possibilidade de análise pelo método dos elementos finitos, identificar a propriedade da análise (linear, não-linear, elástica, dinâmica, plano de tensão, etc.), idealização e seleção do tipo de elemento (sólido, viga, casca, etc.),

discretização por meio da criação da malha de elementos finitos, caracterização do modelo do desempenho do material, utilização das condições de contorno, criação de arquivos de dados e definição do tipo de saídas necessárias;

b) processamento – este passo é executado pelo solver do software CAE, onde são determinados dados como: elaboração das matrizes características dos elementos, organização das matrizes dos elementos para formar as equações da estrutura, resolução das equações de equilíbrio para gerar valores das variáveis de deslocamentos, processamento de elementos resultantes (deformações);

c) pós-processamento – este passo é de dever do analista responsável: compreender e validar os resultados, caso seja necessário, modificar e executar a análise novamente (ALVES FILHO, 2018; GODINHO, 2017; VERDRAMIN, 2018).

2.3 SIMULAÇÃO VIRTUAL

Decorrente a evolução da tecnologia, a otimização de processos e produtos por meio de simulação virtual apresenta grande utilização. Trazendo inúmeros benefícios, pois, para que se obtenham resultados satisfatórios a partir de simulações não é necessário um computador muito avançado, a análise é rápida e tem um menor custo ao se comparar com testes práticos. Por consequência, a análise estrutural de uma peça específica ou componente pode ser realizada por meio de simulação computacional, para esta finalidade, emprega o método de elementos finitos. No entanto, antes de se desempenhar a análise de uma estrutura, é preciso fazer a sua modelagem (DO CARMO, 2017).

Atualmente em vários setores a aplicação das técnicas de simulação virtual é tratada na engenharia, desenvolvimento de produtos e manufatura agregando produtos com maior qualidade e mais competitivos na sua área de mercado, visto que é notável sua evidência e qualidade dos projetos desenvolvidos em realidade virtual. A realidade virtual é um dos principais

objetivos de estudo, ligado a melhoria da qualidade das decisões, especialmente para manufatura e modelagem que estão diretamente amarrados do custo do projeto (CAVALCANTE, 2019).

Segundo Cavalcante (2019), através da simulação dos produtos é possível estabelecer credibilidade ao produto previamente fabricado. Empresas, desta forma, buscam melhorias e modernização do sistema produtivo propondo o emprego de *softwares* fundamentados em realidade virtual para simulação, prototipagem de produtos e capacitação de funcionários. Testes de performance, diagnóstico de possíveis problemas e agilidade no desenvolvimento de novas amostras são alguns fatores que torna esta ferramenta de modelagem 3D quase inevitável em grandes projetos.

2.4 OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

De acordo com Gonçalves (2017) a otimização estrutural é um seguimento que integra uma série de teorias e métodos que buscam alcançar a estrutura que seja mais eficiente referente a função desejada. Fundamentados especificamente as técnicas de programação matemática que por meio de consecutivas interações atingem à estrutura otimizada.

A otimização estrutural se resume em um método numérico que tem por objetivo atingir uma configuração estrutural que traga uma melhor performance da estrutura considerando critérios de desempenho pré-definidas, por exemplo carga máxima de flambagem, rigidez máxima, dimensões mínimas, flexibilidade mínima, etc. Sendo assim, determinadas restrições devem ser respeitadas, tais como deslocamentos máximos, dimensões mínimas, tensão de falha, entre outros (ARAUJO, 2018).

A otimização estrutural tem como principal objetivo, obter o melhor ajuste possível na criação de uma estrutura atendendo as condições limites. No presente momento, o desenvolvimento de projetos com significativo custo benefício, está diretamente ligada à pratica do projetista. Aplicando se as técnicas de otimização estrutural, busca a concepção de uma metodologia visando a obtenção de um projeto mais adequado (ARAUJO, 2018).

A decifração de problemas de otimização estrutural é de grande finalidade na busca por pareceres estruturais com um menor custo, elevado desempenho, fácil execução e aperfeiçoamento, da mesma forma, mais recente, incluindo aspectos ambientais, desde a concepção até sua utilização. Estes problemas em quase toda sua totalidade apresentam inúmeras limitações de distintas naturezas que é necessário serem resolvidas para que se obtenha um recurso viável (SILVA, 2018).

3 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de caso, cuja natureza descritiva, bibliográfica e abordagem quantitativa. O termo da pesquisa é compreendido como um procedimento do qual, valendo-se da metodologia científica logra-se novos saberes frente aos dilemas apresentados. Desta forma, esse projeto utilizará o método dedutivo para caracterizar a eficácia de utilizar os métodos de elementos finitos na simulação estrutural de um componente para que se obtenha um produto otimizado antes de torná-lo físico. (LAKATOS; MARCONI, 2010).

Segundo Marconi e Lakatos (2010) salientam que a pesquisa bibliográfica é extraída de fontes secundárias como teses, dissertações e artigos. Além disso, a pesquisa bibliográfica se ampara com base em artigos e periódicos já publicados com o tema, como propósito concretizar o referencial teórico e aproveitar como esteio para análise e discursão, como também, para estudos futuros (MASCARENHAS, 2012).

Através de uma verificação e pesquisa bibliográfica em artigos, livros, plataforma online (SciELO, Spell) utilizando os seguintes descritores: simulação virtual, otimização estrutural, métodos de elementos finitos. Tende-se ao observador uma série de informações referente ao assunto abordado que se deseja pesquisar. No qual esse método de ensino tem a intenção de detalhar os acontecimentos e ocorrências de determinada realidade.

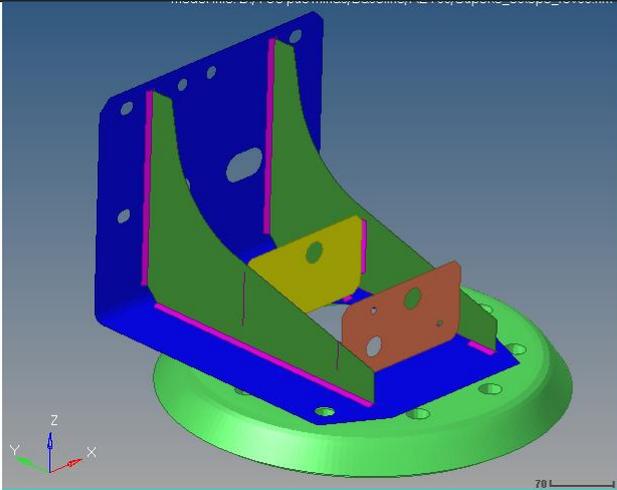
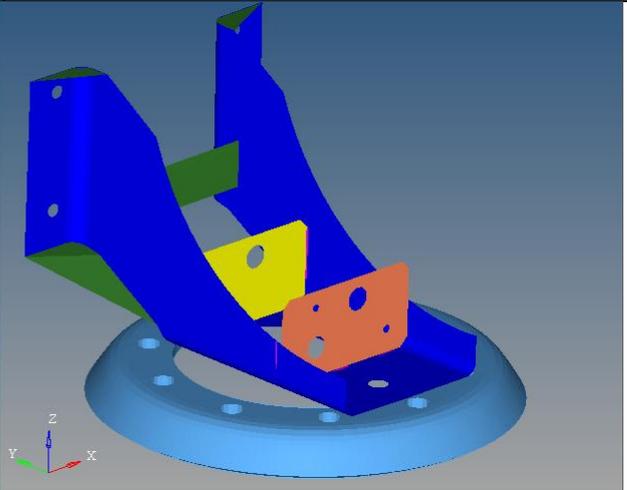
O estudo de caso foi realizado através da comparação de uma simulação estrutural entre dois modelos de um suporte de estepe de um veículo, o modelo A e o modelo B. Para isto, utilizaram-se os programas do pacote *Hyperworks* da *Altair Engineering*. O pacote *Hyperworks* contempla softwares de simulação e otimização estrutural renomados de engenharia utilizados por várias montadoras de veículos e empresas aeronáuticas.

4 RESULTADOS

Foi realizado um estudo comparativo entre duas simulações realizadas através do método de elementos finitos, uma realizada no suporte de estepe de um veículo já existente e a outra em uma proposta otimizada, visando à redução de custos do produto e garantindo a mesma eficácia.

O modelo A é um modelo normal de produção, que atende às solicitações para a aplicação no qual foi projetado. O modelo B é baseado no modelo normal de produção, porém foi proposto uma nova geometria, com redução de aproximadamente 6 kg na massa do componente. Essa ideia foi referenciada através da distribuição das tensões do modelo A. Uma breve comparação entre os dois modelos de elementos finitos está apresentada na tabela 01.

TABELA 01: Detalhamentos dos dois modelos.

| Modelo A- Suporte Inicial | | Modelo B – Suporte Otimizado | |
|---|--------|--|-------|
|  | |  | |
| Massa: 17.08 Kg | | Massa: 11.21 Kg | |
| Detalhes da Malha de Elementos Finitos | | Detalhes da malha de Elementos Finitos | |
| Número de Nós | 33351 | Número de Nós | 29189 |
| Número de Elementos | 28337 | Número de Elementos | 24105 |
| Número de Elementos HEXA | 18360 | Número de Elementos HEXA | 18360 |
| Número de Elementos TRIA3 | 19 | Número de Elementos TRIA3 | 266 |
| Número de Elementos QUAD4 | 9949 | Número de Elementos QUAD4 | 5466 |
| Material: Aço SAE 1020 | | Espessuras: 6.35 mm | |
| Propriedades Mecânicas dos Materiais | | | |
| Limite de Resistência [MPa] | 420 | Coeficiente de Poisson | 0.3 |
| Tensão de Escoamento [MPa] | 250 | Densidade [g/cm ³] | 7.85 |
| Módulo de Elasticidade [MPa] | 210000 | Alongamento [%] | 15 |

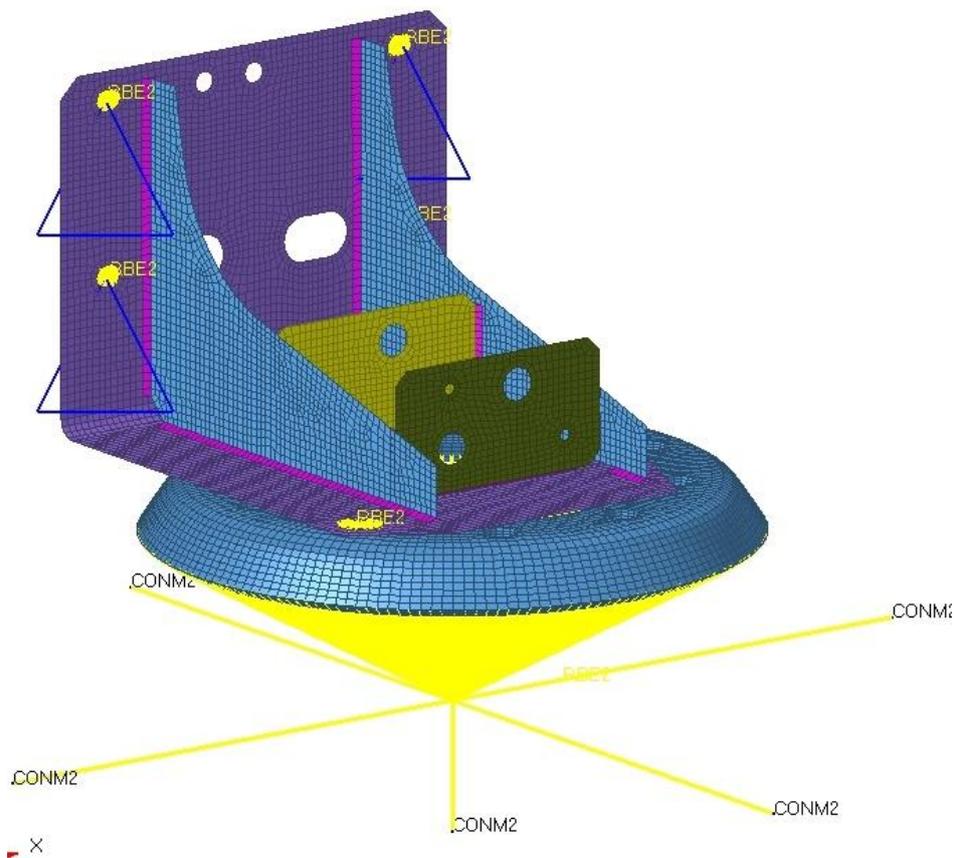
Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

4.1 RESTRIÇÕES E CARREGAMENTOS

Nesta etapa foram adicionadas as restrições e os carregamentos nos modelos de elementos finitos, conforme a sua aplicação. Foram restritos os quatro oblongos que são os pontos de fixação do suporte no chassi do veículo, ou seja, esses pontos de restrições terão deslocamento zero.

O carregamento utilizado foi em condição mais crítica de uso, onde o suporte está recebendo uma massa de 80kg do conjunto Pneu + Roda e Aceleração Gravitacional Longitudinal 3G, Aceleração Gravitacional Lateral 4G e Aceleração Gravitacional Vertical 6G. As acelerações utilizadas nesse estudo são resultado de coletas realizadas em chassis de caminhões, nas condições normais de uso. A figura 02 mostra o modelo FEM com as restrições e os carregamentos aplicados.

FIGURA 02: Modelo com Restrições e Carregamento.



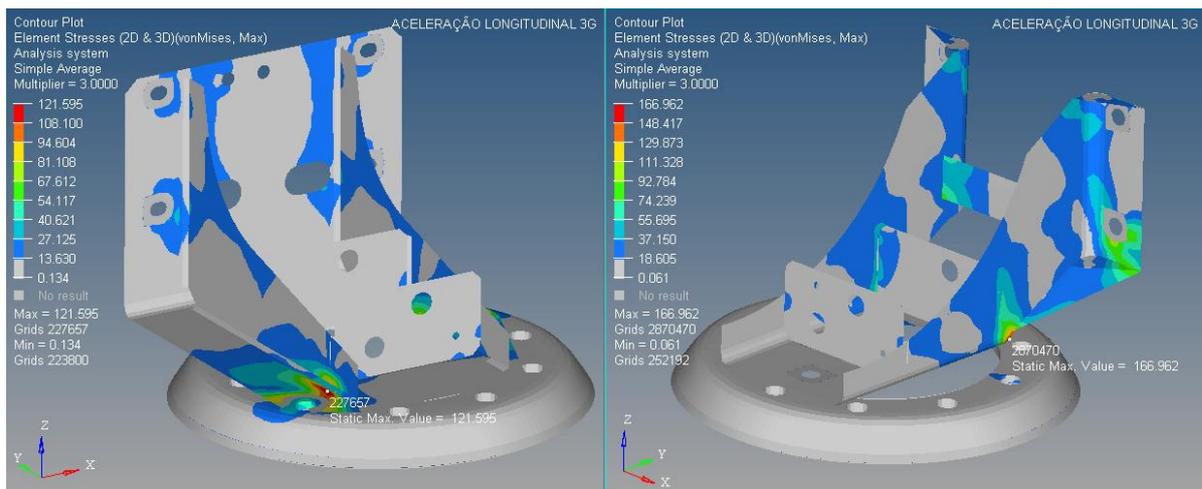
Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

As tensões e deformações encontradas nas simulações estruturais foram analisadas e obtivemos os seguintes resultados:

4.2 ACELERAÇÃO LONGITUDINAL 3G

A figura 03 abaixo mostra o resultado de distribuição de tensão Von Mises sobre os suportes de estepe, na esquerda modelo A e na direita modelo B. O maior valor obtido para o carregamento longitudinal 3G corresponde a 48,6% da tensão de escoamento do material aplicado. E para o modelo B, o maior valor encontrado corresponde a 66,7% da tensão de escoamento do material. Houve um aumento de 18,1% nas tensões no modelo B, mas o valor está de acordo com o esperado, visto que atende ao critério de escoamento do material, o que constata que o componente atende às condições de trabalho requeridas a projeto.

FIGURA 03: Resultados Tensões Von Mises.



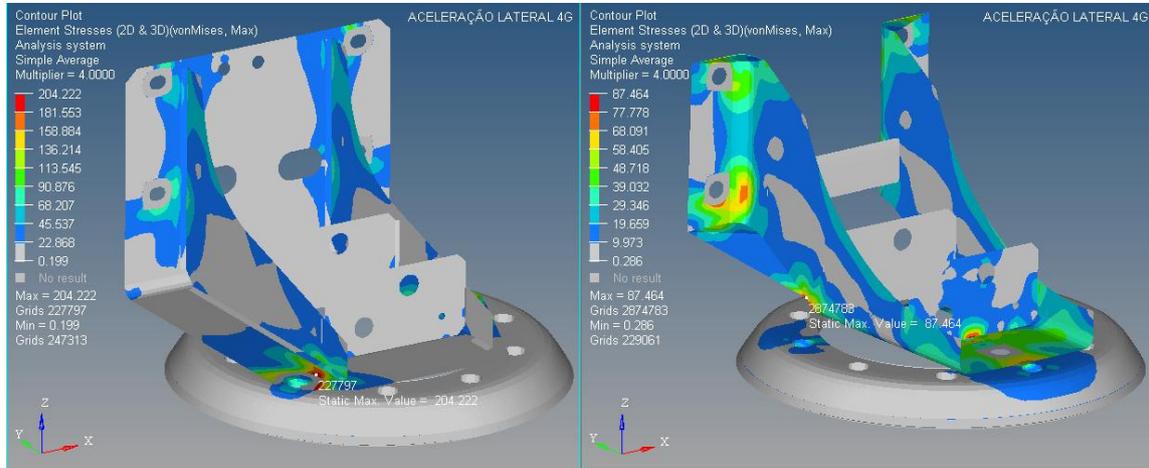
Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

4.3 ACELERAÇÃO LATERAL 4G

Para o carregamento lateral 4G, o maior valor obtido corresponde a 81,6% da tensão de escoamento do material. E para o modelo B, o maior valor encontrado corresponde a 34,8% da tensão de escoamento do material. Houve uma redução de 46,8% nas tensões no modelo B. Os níveis de tensões para o

segundo caso de carregamento atendem aos critérios, pois estão abaixo da tensão de escoamento do material e são menores que os do modelo A.

FIGURA 04: Resultados Tensões Von Mises.

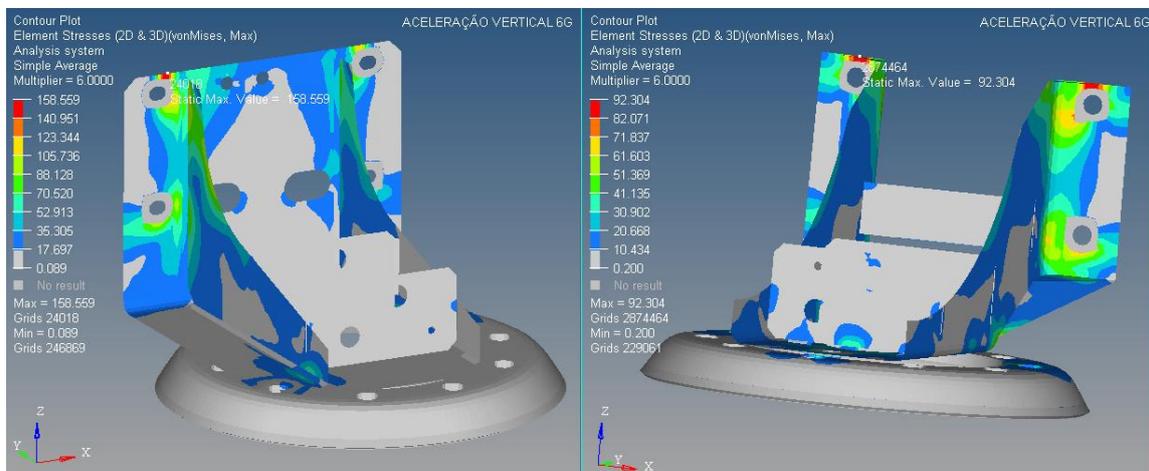


Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

4.4 ACELERAÇÃO VERTICAL 6G

Para o carregamento vertical 6G, comparando os dois modelos, houve uma redução nos níveis de tensões no modelo B e a região de concentração de tensão permaneceu a mesma, mas com níveis de tensões 26,4% menores, comprovando que o modelo B está mais robusto para esse carregamento vertical.

FIGURA 05: Resultados Tensões Von Mises.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

5 CONCLUSÃO

A tabela abaixo mostra um comparativo entre os resultados obtidos nas simulações virtuais para o modelo A e o modelo B.

TABELA 02: Resumos dos Resultados Obtidos

| Aceleração | Modelo A | Modelo B | % |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------|
| Longitudinal 3G | 48% escoamento | 66% escoamento | + 18,1% |
| Lateral 4G | 81,6% escoamento | 34,8% escoamento | - 46,8% |
| Vertical 6G | 63,2% escoamento | 36,8% escoamento | - 26,4% |

Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

Os resultados obtidos na simulação virtual do modelo A são compatíveis com a realidade, visto que este componente não apresenta falhas estruturais, conforme as solicitações de funcionamento requeridas a projeto.

Apenas para o carregamento longitudinal houve um aumento nas tensões Von Mises no modelo B, porém mesmo com esse aumento, as tensões permaneceram abaixo do nível de escoamento do material. Para o carregamento lateral e vertical as tensões no modelo B foram inferiores ao modelo A, com isso pode-se concluir que o modelo B atende suficientemente às solicitações de funcionamento.

Portanto, a análise estrutural virtual pelo método de elementos finitos é parte importante e indispensável para o desenvolvimento ou otimização de um produto, visto que por meio desta ferramenta, proporciona melhor entendimento do componente, antes mesmo da construção de um protótipo e da realização de testes experimentais, outra vantagem é a redução de custos de projeto e a redução de custos por se obter um produto otimizado.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, Avelino. Elementos Finitos—A base da tecnologia CAE. Editora Saraiva, 2018.

ALVES, W. A., Fernandes Júnior, J, & MAGALHÃES Júnior, P. A. A. (2017). Otimização e Análise Estrutural por Elementos Finitos de uma caçamba de entulhos. *Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia*, 2(24), 54-63. <https://doi.org/10.26512/ripe.v2i24.21013>

ARAUJO, Marcelo Vítor Oliveira et al. Teoria de volumes finitos aplicada à otimização topológica de estruturas elásticas contínuas. 2018.

CAVALCANTE, Renan Ferreira. Simulação numérica pelo método de elementos finitos de um disco de embreagem automotiva e análise dos esforços mecânicos associados. 2019.

COSTA, Paulo Sergio; DIAS, Giovanni Augusto Ferreira. Aplicação do método dos elementos finitos para análises estruturais da extremidade da viga de vagões tipo gôndola aplicados na estrada de ferro Carajás.

DOS SANTOS, Karla Fernanda; BARROS, Felício Bruzzi. Método dos elementos finitos generalizados: Um estudo da aplicação em problemas de fratura elástica 3D. 2018

DINIZ, Petterson Sousa. Visualização de modelos de elementos finitos em realidade virtual. 2019.

GODINHO, P. M. ; NASCIMENTO, Bruna. C. ; CARNEIRO, José Rubens G. ; BRITO, Pedro P. . Estudo comparativo das metodologias de análise por elementos finitos de um material cladeado. 2017.

GONÇALVES, Gonçalo Martins. Análise dos problemas de não-linearidade e singularidade em otimização topológica de estruturas e materiais com critérios de tensão. 2017. Tese de Doutorado.

LEMOS, Victor Henrique Bezerra de. Desenvolvimento de uma aplicação de visualização de simulações computacionais em RA aplicando design participativo. 2018.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MASCARENHAS, Sidnei Augusto et al. Metodologia científica. 2012.

NETO, Garibaldi Teixeira. Planejamento da capacidade de produção, empregando simulação computacional e teoria das restrições. 2015.

Pereira, Jaiane Aparecida; Schiavi Bánkuti, Sandra Mara Estrutura de mercado e estratégia: UM estudo na indústria brasileira de baterias automotivas, Revista Ibero Americana de Estratégia, vol. 15, núm. 1, enero-marzo, 2016, pp. 97-115 Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil.

SILVA, Andreis Luvizon da. Proposta metodológica para otimização estrutural de carrocerias de ônibus. 2018.

SOUZA JUNIOR, Edvagner Fustinoni de. Análise estrutural de um chassi de um veículo do tipo buggy. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SOKEN, Nestor Hidetomi. Método de otimização estrutural para montagem de peças plásticas. 2016. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/155418>>.

VENDRAMIN, Rafael. Otimização estrutural de chassi de um veículo guiado automaticamente. 2018.

VERGARA, Sylvia Constant. Métodos de Pesquisa em Administração. São Paulo: Atlas, 2016.

VIEIRA, A. L. Estudo do Campo de Tensão e Deformação em uma Chapa Fina Durante o seu Processo de Conformação por Estampagem Incremental de Ponto Simples. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Católica de Minas Gerais-PUCMG, Belo Horizonte, 2015.

WILTGEN, Filipe. Protótipos e prototipagem rápida aditiva sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. In: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), São Carlos-SP. 2019.