

# Estudo das vibrações de um chassi mini baja por elementos finitos, utilizando-se os aços 1018 e 1020

*Study of the vibrations of a mini chassis baja by finite elements, using the 1018 and 1020 steels*

- <sup>1</sup> Mauricio Quelhas Antolin    
<sup>2</sup> Gisele Duarte Caboclo Antolin   
<sup>3</sup> Fernanda Almeida dos Santos 

- <sup>1</sup> Doutor. Centro Universitário Estadual da Zona Oeste. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<sup>2</sup> Doutora Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<sup>3</sup> Discente. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

## RESUMO

O programa estudantil SAE Brasil tem como o objetivo organizar uma competição na qual os estudantes de engenharia são desafiados a projetar e construir um veículo tipo off-road, que recebe o nome de mini baja. Uma das questões a serem enfrentadas no desenvolvimento desses veículos diz respeito às vibrações a que o veículo está submetido. As análises estruturais e de vibrações de veículos mini baja têm sido realizadas através do emprego do Método de Elementos Finitos, de sistemas computacionais que preveem o comportamento da estrutura e, assim, evitam possíveis falhas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo das vibrações desses chassis, utilizando-se, para isso, os aços 1018 e 1020. Neste estudo, foi realizada a análise modal da estrutura, com a utilização do software de simulação computacional FEMAP. Os resultados mostram que os valores de tensões e de frequências de vibrações encontradas nas simulações para ambos os materiais estão dentro da faixa permitida para esse tipo de estrutura (25 a 80 Hz), o que garante a confiabilidade do projeto. Não foram encontradas diferenças significativas nas análises de tensão e deformação, provavelmente em virtude de os dois materiais propostos não diferirem significativamente em sua composição química. Além disso, os resultados mostram a importância de se realizar análises dinâmicas nesses tipos de veículos.

## Palavras-chave:

Elementos finitos. Vibrações. Mini baja.

## ABSTRACT

The student program SAE Brasil aims to organize a competition where engineering students are challenged to design and build an off-road type vehicle, which is named mini baja. One of the issues to be faced in the development of these vehicles concerns the vibrations to which the vehicle is subjected. Structural and vibration analyzes of mini baja vehicles have been carried out using the Finite Element Method of computational systems that predict the behavior of the structure and thus avoid possible failures. This way the objective of this work was to carry out a study of the vibrations of these chassis using steels 1018 and 1020. In this study a modal analysis of the structure was carried out, using FEMAP computational simulation software. The results show that the stress values and vibration frequencies found in the simulations for both materials are within the allowed range for this type of structure (25 to 80 Hz), which guarantees the reliability of the project. Significant differences were not found in the stress and strain analyses, probably because the two proposed materials do not differ significantly in their chemical composition. In addition, the results show the importance of performing dynamic analyzes on these types of vehicles.

## Keywords:

Finite elements. Vibrations. Mini baja.

## 1 INTRODUÇÃO

Vibração é a oscilação de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio. Todas as estruturas possuem vibrações que são oriundas apenas da massa e da rigidez da estrutura, ao qual chamamos de frequências naturais ou fundamentais. Além dessas vibrações naturais, uma estrutura pode estar sujeita a vibrações forçadas que correspondem às vibrações que ocorrem, quando uma estrutura está submetida à ação de uma força externa (PRAZZO, 2011).

Quando as frequências de vibrações forçadas de um certo corpo são compatíveis com suas frequências naturais, ocorre a ressonância, cujo efeito é promover o aumento da amplitude dos movimentos oscilatórios. Esse fenômeno físico acarreta falhas estruturais e se torna um dos principais motivos do estudo de vibrações na engenharia (SOUZA, 2019).

É comum, em projetos estruturais que envolvam vibrações, a realização de análises com o intuito de prever o comportamento dessas estruturas, quando estão sujeitas a excitações, de forma a determinar suas frequências e modos de vibrar. Tais análises são realizadas utilizando-se um modelo vibracional de *software* para que seja estudado o comportamento dinâmico desse corpo, denominado análise modal.

A análise modal pode ser definida como o processo pelo qual uma estrutura pode ser descrita no âmbito das suas características naturais, sendo elas: frequências naturais, taxas de amortecimento e modos de vibração (CHUVAS, 2012).

Segundo Leme (2014), essa análise pode ser classificada como o estudo das propriedades dinâmicas realizado através de excitações por vibrações. Tais estudos são derivados de medições e análises das respostas dinâmicas da estrutura analisada.

Com a evolução da computação, o estudo das vibrações de estruturas se tornou cada vez mais preciso. Paralelo a essa evolução, o desenvolvimento do Método de Elementos (MEF) permitiu à engenharia o estudo de uma ampla gama de sistemas físicos de forma numericamente mais precisa. Uma das aplicações mais notórias é o estudo relacionado à vibração de sistemas mecânicos, envolvendo estruturas complexas com milhares de graus de liberdade.

O MEF propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas da geometria a ser analisada seja substituído por um número limitado de elementos de comportamento bem definido, tornando o sistema mais simples e possibilitando, ao computador, realizar análises de forma mais eficaz. Dessa forma, no MEF, a geometria do corpo é substituída por elementos finitos com formatos triangulares, quadráticos, tetraédricos ou hexagonais, que são ligados por pontos chamados nós. Esse processo recebe o nome de discretização e o conjunto desses elementos é denominado malha. Para a formulação dos elementos deve-se escolher uma função aproximada que melhor represente cada elemento, feito através do uso de funções polinomiais (ALVES FILHO, 2009).

Após serem cumpridas as etapas anteriores, o *software* monta uma matriz que representa a estrutura, denominada matriz de rigidez estrutural. Essa matriz é modificada de forma a contemplar as condições de contorno do sistema. A solução obtida é mostrada na forma de tabelas e gráficos, a serem interpretados e que fornecerão informações sobre o sistema em análise (ANTOLIN *et al.*, 2021).

O MEF é uma técnica numérica utilizada em várias áreas do conhecimento, e largamente difundido na área de mecânica estrutural, onde *softwares* de análise estrutural vêm se tornando ferramentas importantes em diversas pesquisas. Dentre os *softwares* mais populares, estão o ABAQUS, o ANSYS e o FEMAP (PINHO; MORAES, 2014).

Quando a carga aplicada não varia no tempo, o sistema é considerado estático e, quando o carregamento muda com o tempo, recebe o nome de dinâmico. Os problemas dinâmicos são divididos em duas partes: os que envolvem baixas frequências (até centenas de Hz), chamados de dinâmicos estruturais, e os que envolvem altas frequências (compreendidos entre  $10^3$  e  $10^{12}$  Hz), chamados de problemas de propagação de ondas.

Os problemas de dinâmica estrutural podem ser subdivididos em 2 categorias: determinação e análise de frequências e modos naturais e análise de resposta temporal. A primeira categoria trata da necessidade de termos frequências de carregamento abaixo ou que não sejam iguais às frequências naturais do sistema, de forma a evitar a ressonância. Na segunda categoria, busca-se encontrar a resposta do sistema a cada instante para um dado histórico de carregamento aplicado, o que pode ser feito realizando-se a análise modal, que faz uso das frequências e, modos naturais ou integração direta, que faz uso da discretização de diferenciais finitos no tempo na equação diferencial do movimento do sistema (QUEIROZ, 2010).

Dessa forma, podemos realizar uma análise modal considerando apenas vibrações de uma estrutura utilizando-se para isto o método dos elementos finitos no intuito de buscar soluções aproximadas do fenômeno analisado.

Uma das maneiras de se obter informações ainda mais assertivas é com realização de testes de convergência, nos quais são simuladas mudanças em um parâmetro de escolha, para observar se haverá alguma modificação nas respostas do sistema.

## 1.1 O programa Baja SAE

O programa Baja SAE Brasil é uma competição de engenharia estudantil entre equipes que desenvolvem projetos de construção de carros mini baja. Tem como princípio a aplicação dos conhecimentos teóricos obtidos em sala de aula, por meio de desenvolvimento do estudo, da projeção e montagem dos veículos. Essa competição foi realizada, pela primeira vez, no Brasil, em 1995, e tem sua realização anual no Autódromo de Interlagos, em São Paulo. O programa garante aos dois primeiros colocados o direito de representar o país na prova internacional *Midwest Mini Baja SAE* (GODIM *et al.*, 2019).

O chassi, estrutura principal do mini baja (também conhecido como gaiola), devem ser projetados e testados antes de serem confeccionados, para garantir a total segurança do sistema. A competição SAE Brasil disponibiliza um regulamento no qual estão elencadas as normas técnicas para construção do mini baja (SAE BRASIL, 2019).

Tomando como partida a projeção do chassi, qualquer movimento que se repita ciclicamente, ou seja, após um determinado intervalo de tempo, é chamado de vibração ou oscilação.

Um carro mini baja sofre diversos tipos de vibrações (gaiola, motor, piloto etc.) que podem fazer com que a estrutura se desgaste ou falhe, devido à fadiga ou sofra o fenômeno da ressonância, causando acidentes. Dos componentes citados acima, o motor é a principal fonte de oscilação desse sistema.

A vibração do motor está relacionada à rotação e, à medida que essa rotação aumente, a vibração também aumenta. A Norma ISO 2631 (1985) define e dá valores numéricos para limites de exposição a vibrações transmitidas ao corpo humano, por superfícies sólidas, na amplitude de frequência de 1 a 80 Hz. Já a norma SAE, determina que os motores utilizados nos veículos sejam motores BRIGGS&STRATTON de 10 HP, que possuem frequências naturais de 15 a 25 Hz. Isso faz com que seja necessário que as frequências estruturais estejam acima desse valor, para evitar falhas na estrutura. Além disso, a norma

determina que os materiais utilizados nesses veículos tenham, no mínimo, 0,18% de carbono em sua composição. Cabe destacar que o material a ser utilizado deverá ser simultaneamente leve e resistente, fazendo com que se priorize materiais que possuam baixa densidade linear e boa resistência mecânica para a construção do chassi. Com isso, os aços carbono 1018 e 1020 aparecem como bons candidatos para a fabricação desses veículos.

Dessa forma, buscando-se o melhor desempenho desses veículos durante a competição, é necessário prever qual o efeito da utilização desses dois materiais nos testes de vibração.

Sendo assim, este trabalho realizou um estudo das vibrações de um chassi mini baja através de simulações computacionais, utilizando-se, para isso, os aços 1018 e 1020.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira parte do trabalho consistiu na modelagem do chassi em conformidade com o regulamento da competição. O chassi foi desenhado no *Software Solid Edge Student* e importado para o *software* de processamento FEMAP (*Finite Element Analysis*), nos quais as propriedades, tal como o material que compõe o chassi em cada caso (aço 1020 e aço 1018) e as forças atuantes no sistema foram inseridas.

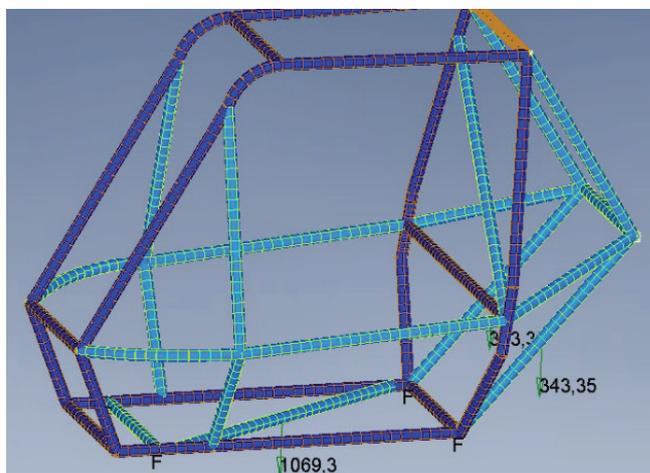
Para a realização das simulações, foram representadas duas forças no chassi de acordo com o regulamento técnico do SAE Brasil. A primeira força que se localiza na parte inferior da estrutura representa o piloto (1069,29 N). O motor foi representado como a outra força, na parte superior do carrinho (343,35 N).

Esse procedimento possibilitou a realização de diversas análises numéricas, tais como o cálculo das tensões e deformações, a análise modal e o teste de convergência através do modelo de elementos finitos gerado.

## 3 RESULTADOS

Na Figura 1 é possível observar o desenho do projeto obtido através do *software Solid Edge*, que foi, posteriormente, importado para o FEMAP.

Figura 1 - Estrutura do chassi.



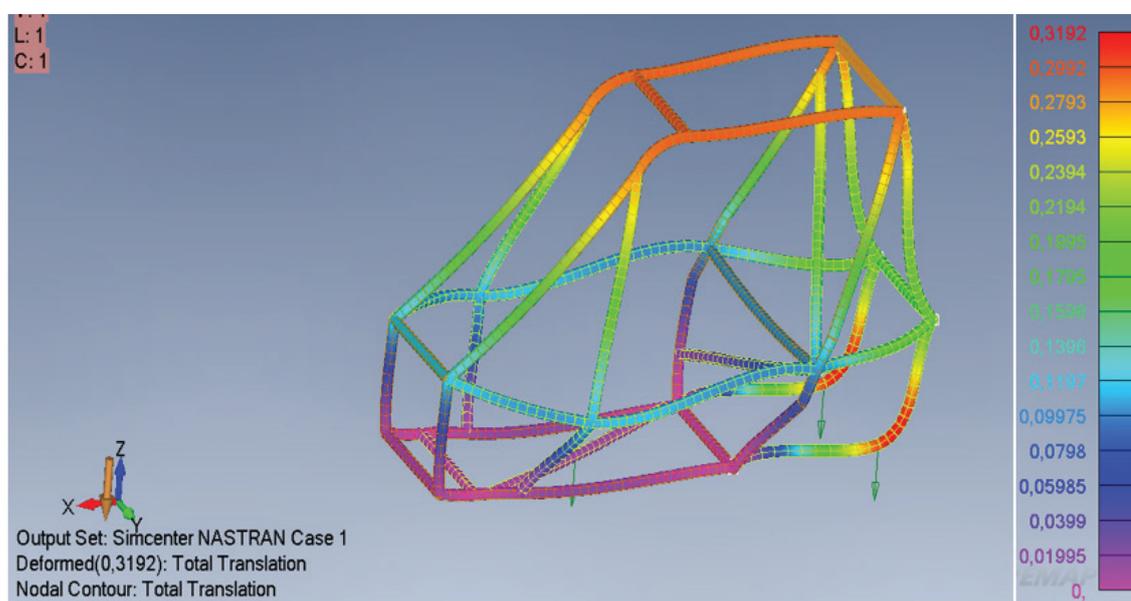
Fonte: Autor (2022)

As Figuras 2 e 3 mostram os resultados encontrados para as deformações adquiridas nas análises dos diferentes aços. Nessas imagens, estão presentes as escalas de cores que representam os valores de deformação e tensão, nas quais a estrutura está sendo submetida. A escala parte dos menores valores de deformação a partir do zero, representados pela cor violeta, até os mais elevados, representados pela cor vermelha. Isso demonstra que as partes que apresentam a cor vermelha no chassi, provavelmente, seriam as regiões mais vulneráveis e suscetíveis a falhas estruturais.

Conforme pode ser observado, a estrutura foi submetida a duas forças: ao peso do condutor e ao peso do motor. A existência das forças associadas ao motor e ao condutor do veículo geram na estrutura esforços de flexão e torção que, por sua vez, geram vibrações estruturais que precisam ser estudadas, para que o projeto não venha sofrer falhas catastróficas. Ademais, as equações que regem o comportamento em flexão e torção da estrutura dependem do módulo de elasticidade do material que, por sua vez, dependem de sua composição química. Isso nos leva a crer que a seleção correta dos materiais para compor essa estrutura é etapa crucial no desenvolvimento do projeto.

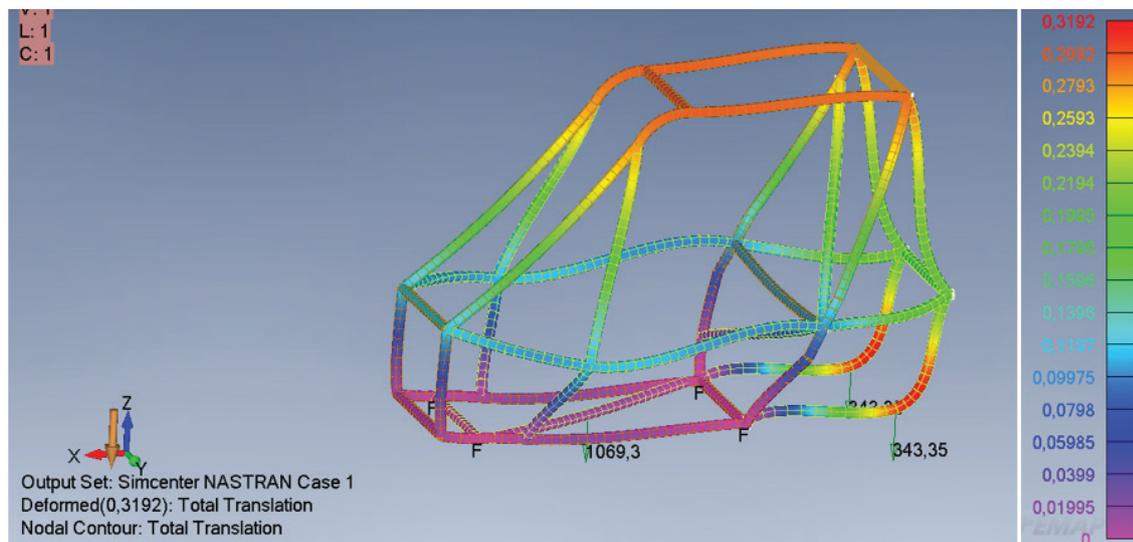
Conforme apontado por Queiroz (2018), o comportamento dinâmico e vibracional de um veículo é extremamente afetado pela rigidez do chassi. A rigidez de um material representa sua resistência a um certo tipo de carregamento aplicado, que é dependente das propriedades dos materiais e da geometria do sistema. Dessa forma, sobre as mesmas condições de carregamento e geometria, é de se esperar que a rigidez esteja associada ao tipo de material empregado.

Figura 2 - Gráfico de deformação para o aço 1018



Fonte: Autor (2022)

Figura 3 - Gráfico de deformação para o aço 1020

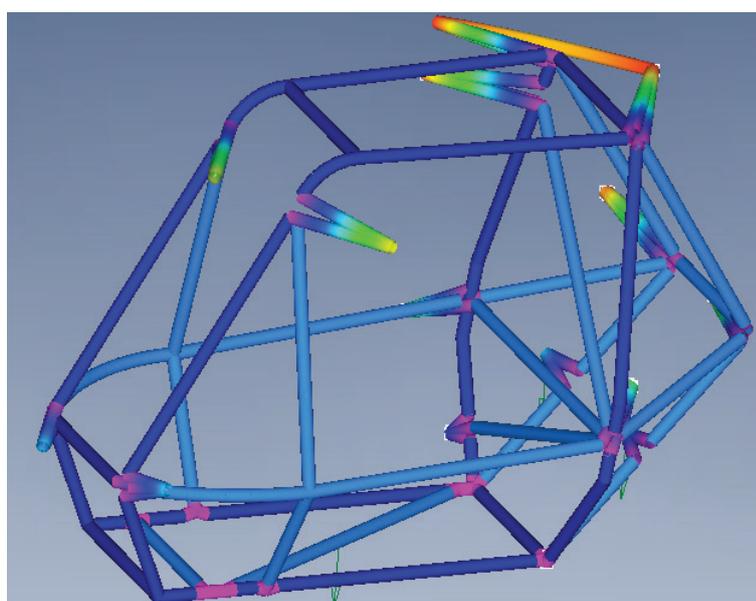


Fonte: Autor (2022)

Nas Figuras 4 e 5, são mostradas a comparação entre a frequência natural de oscilação do chassi para os aços 1018 e 1020, respectivamente. Em ambos os casos, as vibrações devem-se aos dois agentes externos que causam vibrações forçadas nesse sistema: o condutor e o motor. Vale ressaltar que as deformações estão em escala para uma melhor visualização.

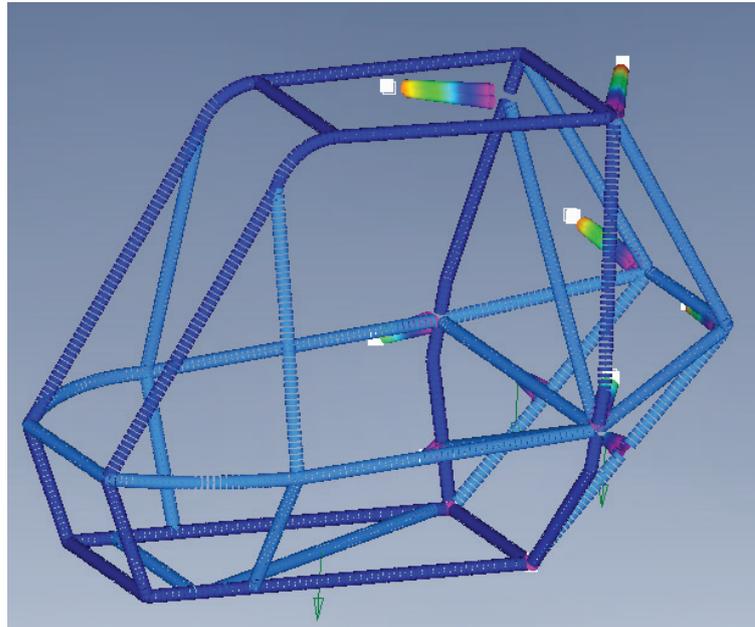
Na Tabela 1, estão descritos os resultados para tensão, deformação e modo de vibração do chassi para cada tipo de aço, obtidos a partir das simulações das Figuras 4 e 5. Nessa mesma tabela, foram inseridos os valores da tensão de escoamento e módulos de elasticidade para os aços de acordo com a literatura.

Figura 4 - Resultado da frequência natural de oscilação do chassi para o aço SAE 1018



Fonte: Autor (2022)

Figura 5 - Resultado da frequência natural de oscilação do chassi (a) para o aço SAE 1020.



Fonte: Autor (2022)

Em relação às diferenças composicionais entre os dois aços, conforme se sabe, o aço 1018 por ter menor teor de carbono e apresenta menor resistência à deformação plástica, o que poderia nos levar a conclusão de que esse material possibilitaria uma maior propagação de ondas em seu interior. Dessa forma, seria esperado que a frequência de vibração do aço 1018 fosse superior ao aço 1020. Contudo, como pode ser observado na Tabela 1, a frequência de vibração para o aço 1020 é superior ao aço 1018 e, dessa forma, esse resultado nos leva a concluir que outros efeitos, além das diferenças entre as propriedades mecânicas estáticas dos materiais, influenciam nos resultados. A partir disso, buscou-se na literatura quais fatores poderiam estar influenciando esse comportamento e levando o aço 1018 a amortecer melhor as vibrações, e possuir frequência de vibração inferior ao 1020.

Conforme exposto por Alencar (2020) e Muller (2013), autores de estudos de medida dos módulos de elasticidade de diferentes materiais a partir de medidas de vibração do sistema, quando os carregamentos aplicados em uma estrutura não são constantes, tais como os carregamentos cíclicos, faz-se necessário a utilização da teoria de módulo de elasticidade dinâmico de materiais. De acordo com essa teoria, a relação entre a frequência de vibração natural de uma estrutura está associada com o seu módulo de elasticidade através da Equação 1 (MEZZOMO; MORAES, 2020):

$$E = 0,9465 \left( \frac{mf_f^2}{2} \right) \left( \frac{L^3}{t^3} \right) T_1, \quad (Eq. 1)$$

Onde:  
 E = Módulo de Elasticidade, (Pa)  
 m = Massa da amostra, (g)  
 b = Largura da amostra, (mm)  
 L = Comprimento da amostra, (mm)  
 t = Espessura da amostra, (mm)  
 $f_f$  = Frequência de ressonância fundamental da amostra, (Hz)  
 $T_1$  = Fator de correção para o modo de flexão fundamental

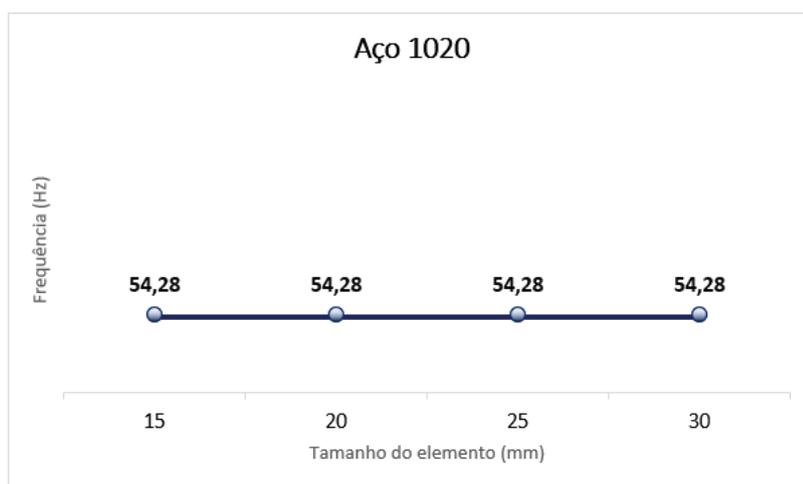
A partir dessa equação, é possível observar que, quanto maior for o valor do módulo de elasticidade do material, maior será a sua frequência de vibração, o que explicaria os valores encontrados na Tabela 1. Contudo, conforme pode ser observado também na Tabela 1, o módulo de elasticidade estático dos aços 1018 e 1020 são iguais. Isso nos conduz à conclusão de que a utilização de técnicas complementares para determinação do módulo de elasticidade dinâmico desses materiais precisa ser aplicada, de forma a identificar se a pequena diferença composicional entre esses dois materiais causa alteração nessa quantidade.

Ao observar a Tabela 1, é possível verificar que as tensões obtidas para cada aço nas simulações (Von Misses) são muito inferiores que as suas respectivas tensões de escoamento, o que significa que, em ambos os casos, a estrutura suportaria as vibrações sem resultar em falha. Além disso, é necessário ser observado que, como os valores estão cerca de 200 X menores que os valores da tensão de escoamento do material, isso nos mostra um uso exacerbado de material na estrutura. Com a diminuição da quantidade de material, além de não afetar a efetividade de sua aplicação, o custo da estrutura seria menor, gerando economia para o projeto.

Em relação aos custos de fabricação, o banco de dados do *software* FEMAP nos mostra que a densidade dos aços 1018 e 1020 são iguais ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ), o que nos indica que a escolha de um aço ou de outro não acarretaria aumento de peso da estrutura.

A partir de análises modais aplicando o método de convergência, obtivemos os resultados das frequências de cada aço, remodelando o tamanho dos elementos. Esses resultados estão expostos nos gráficos das Figuras 6 e 7.

Figura 6: Resultados das frequências a partir do teste de convergência para o aço 1020



Fonte: Autor (2022)

Figura 7: Resultados das frequências a partir do teste de convergência para o aço 1018



Fonte: Autor (2022)

A modificação no tamanho dos elementos (parâmetro escolhido para os testes de convergência) e, conseqüentemente, de sua quantidade, teve a função de verificar se essa mudança aumentaria a qualidade dos dados. De acordo com Queiroz (2018), deve existir uma cautela com a intensidade do refinamento da malha, pois, apesar de haver um aumento da eficácia do projeto, quando o tamanho dos elementos é minimizado, essa mudança faz com que o grau de liberdade da estrutura sofra influência devido ao aumento da quantidade de elementos e, dessa forma, o aumento da quantidade de oscilações de cada um deles. Por esse motivo, foi utilizado, neste trabalho, o intervalo de tamanho de elementos entre 15 a 30mm.

Com esses resultados, é possível observar que reduzir o tamanho dos elementos abaixo de 15 mm para os aços 1018 e 1020 não representaria qualquer aumento de qualidade substancial para as análises.

Outro ponto importante é que, através da comparação da frequência do motor e da estrutura, constata-se que pode haver ressonância ou qualquer outro tipo de falha associada à vibração desse sistema. No regulamento do SAE Brasil, também existem regras específicas para que os motores de todos os carros sejam iguais, sendo assim, os motores da competição apresentam uma frequência na faixa de 15 a 25 Hz. Além disso, conforme anteriormente citado, o limite de segurança humana para a frequência de vibrações devem ser de 80 Hz, o que faz com que valores seguros para esse projeto estejam situados na faixa de 25 a 80 Hz. Como as frequências obtidas nos testes estão dentro dessa faixa, é possível afirmar que não ocorrerá nenhum tipo de falha no sistema para ambos os aços utilizados, além disso, o projeto é seguro.

Tabela 1 – Resumo das propriedades obtidas via software para os aços 1018 e 1020

	Aço 1018	Aço 1020
Tensão de Von Mises (MPa)	1,73	1,62
Deformação	0,3192	0,3192
Modo de vibração (Hz)	52,32	54,28
Tensão de escoamento (MPa)	330	350
Módulo de elasticidade estático (GPa)	199,95	199,95
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	7,83	7,83

Fonte: Autor (2022)

#### 4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que os aços 1018 e 1020 podem ser utilizados como material para fabricação de chassis baja, no que diz respeito ao critério de vibrações, uma vez que a frequência de oscilação forçada da estrutura está dentro da faixa considerada ideal. Contudo, o aço 1018 mostra-se mais promissor em virtude da melhor capacidade de amortecer as vibrações. Os resultados também mostraram a possibilidade de realizar uma otimização estrutural do projeto, com o objetivo de proporcionar uma redução de material no chassi, visto que as tensões encontradas em ambos os casos estavam significativamente inferiores às tensões de escoamento dos dois materiais, o que mostra que o projeto se encontra superdimensionado. Além disso, foi observado que os resultados de frequências de vibração obtidos através de simulações computacionais devem ser interpretados utilizando-se métodos dinâmicos de suas propriedades mecânicas, sugerindo-se que, em estudos futuros, outras análises sejam contempladas.

#### REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Douglas Rogério Leite. **Análise experimental da fadiga mecânica em argamassas colantes**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2020.
- ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos: A base da Tecnologia CAE**. 6 ed. São Paulo: Érica, 2009.
- ANTOLIN, M. Q.; ANTOLIN, G. D. C.; DE MACEDO, L. C.; DOS SANTOS, F. A. **Análise estrutural e otimização de um veículo mini Baja**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, v. 16, n. 47, 2021.
- CHUVAS, Tatiane de Campus. **Estudo da influência dos parâmetros de tratamento de alívio das tensões residuais por vibração mecânica em juntas soldadas a plasma**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.
- GONDIM, Marcos Claudio; GRANGEIRO, Ellberlandyo Lima; CAMPELO, Antonio Eurick Soares; OLIVEIRA, Lucas Rodrigues. CARVALHO, Bruno de Oliveira. **Projeto e análise de vibrações por elementos finitos de um chassi tipo space frame mini Baja**. Impactos das tecnologias na Engenharia Mecânica. Editora: Atena. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631**: Mechanical vibration and Shock – Evaluation of Human exposure of whole – body vibration: general requirements. Geneva: ISO, 1985.

LEME, Leandro Marinho Marques. **Estudo comparativo de técnicas de análise modal experimental no domínio da frequência em uma barra na condição de contorno livre-livre**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MEZZOMO, M. H.; MORAES, A. G. **Determinação do módulo de elasticidade em aço e alumínio através da frequência natural comparado ao ensaio de tração**. Revista Matéria, v. 25, n. 2, 2020.

MÜLLER, Fábio. **Otimização de componentes fundidos utilizados em projetos de ferramentas para estampagem**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2013.

PINHO, Felipe Gonçalves; MORAES, Lucas Cuellar. **Vibrações induzidas pelo vento em estruturas metálicas: uma abordagem via elementos finitos**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PRAZZO, Carlos Eduardo. **Análise modal de uma estrutura do tipo viga utilizando materiais piezelétricos (pvdf) como sensores**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

QUEIROZ, Emanuel Francisco Nogueira. **Estudo de rigidez torcional em um chassi space frame do tipo baja SAE**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.

QUEIROZ, Paulo César de Oliveira. **Análise estática e dinâmica de estruturas reticuladas: ambiente de simulação em JAVA**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil - RATBSB** – Emenda 3, 2019.

SOUZA, Artur Henrique Rapschinski; SOUZA, Leonardo Silveira Mariano. **Análise modal numérica de uma estrutura do tipo Baja**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2019.