

ANÁLISE DINÂMICA DE UMA SUSPENSÃO DE VEÍCULO BAJA SAE

Jean Bruno Almeida Rodrigues ⁽¹⁾ (jeanengenhariaest@gmail.com), Márcio Lucas de Melo Pacheco ⁽¹⁾ (lucaspacheco290@gmail.com), Gabriel Vasconcelos Aragão ⁽¹⁾ (gab.aragao03@outlook.com), Daniel Dourado Cunha (ddouradocunha@gmail.com) ⁽¹⁾, Eduardo Rafael Barreda Del campo ⁽¹⁾ (ecampo@uea.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade do Estado do Amazonas (UEA); Escola Superior de Tecnologia

RESUMO: *Este estudo realiza uma análise detalhada do sistema de suspensão dianteira de um protótipo de veículo da equipe BAJA, fundamental para a dinâmica, conforto e segurança do veículo. O sistema de suspensão, composto por molas, amortecedores, braços de suspensão, juntas e buchas, é crucial para proporcionar uma condução estável em terrenos off-road. A análise inclui uma revisão bibliográfica sobre vibrações, destacando sua importância no desempenho dinâmico do veículo. As vibrações, comuns em veículos 4x4, são causadas por diversos fatores, como desbalanceamento de pneus e desgaste de componentes, impactando conforto e segurança. O estudo aborda conceitos como massa suspensa e não suspensa, rigidez, frequência natural e coeficiente de amortecimento, essenciais para entender e otimizar o comportamento vibratório da suspensão. A pesquisa também analisa a cambagem e convergência, elementos críticos para a estabilidade e controle do veículo. Utilizando simulações no software MSC ADAMS CAR, o estudo avalia a eficácia do design da suspensão em diversas condições. Este trabalho fornece uma base sólida para futuras melhorias no design da suspensão, com o objetivo de fazer a análise dinâmica da suspensão dianteira do carro, contribuindo para o desenvolvimento de veículos mais eficientes e seguros.*

PALAVRAS-CHAVE: SUSPENSÃO, VIBRAÇÕES, MSC ADAMS CAR, BAJA SAE, OFF-ROAD.

DYNAMIC ANALYSIS OF A BAJA SAE VEHICLE SUSPENSION

ABSTRACT: *This study conducts a detailed analysis of the front suspension system of a BAJA team vehicle prototype, crucial for the dynamics, comfort, and safety of the vehicle. The suspension system, composed of springs, shock absorbers, suspension arms, joints, and bushings, is essential for providing stable driving on off-road terrain. The analysis includes a literature review on vibrations, emphasizing their importance in the dynamic performance. Vibrations, common in 4x4 vehicles, are caused by various factors such as tire imbalance and component wear, impacting comfort and safety. The study discusses concepts like sprung and unsprung mass, stiffness, natural frequency, and damping coefficient, essential for understanding and optimizing the vibrational behavior of the suspension. The research also examines camber and toe angle, critical elements for vehicle stability and control. Using simulations in MSC ADAMS CAR software, the study evaluates the effectiveness of the suspension design under various conditions. This work provides a solid foundation for future improvements in suspension design, aiming to analyze the front suspension dynamics of the car and contribute to the development of more efficient and safer vehicles.*

KEYWORDS: SUSPENSION, VIBRATIONS, MSC ADAMS CAR, BAJA SAE, OFF-ROAD.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Suspensão BAJA SAE

No decorrer de um trajeto, o veículo tende a lidar com esforços continuamente, onde o sistema de suspensão desempenha um papel crucial na dinâmica do veículo, influenciando diretamente seu desempenho, conforto e segurança. Por isto, uma geometria de suspensão mal projetada tende a prejudicar não somente a dirigibilidade do veículo, como restringir a segurança do piloto e sobrecarregar a estrutura do veículo como um todo.

Nesta pesquisa, será realizada uma análise detalhada do sistema dianteiro de suspensão de um protótipo de veículo BAJA SAE. Através deste estudo, exploraremos os principais componentes do sistema de suspensão, tais como molas, amortecedores, e examinaremos como eles interagem para proporcionar uma condução estável e controlada em terrenos off-road.

Segundo Milliken (1995) e Gillespie (1992), em veículos 4x4, as vibrações são um problema comum e vêm de várias fontes. O motor e a transmissão podem causar vibrações se houver desbalanceamento ou desgaste. As vibrações também podem vir da suspensão e do chassi, especialmente em terrenos irregulares. Pneus e rodas desbalanceados ou danificados são outra fonte de vibrações. Além disso, problemas no sistema de direção, como em juntas e rolamentos, podem afetar o controle do veículo.

Causas e soluções:

As vibrações em veículos 4x4 relacionadas à suspensão podem ser causadas por componentes desgastados ou danificados, como amortecedores, molas e buchas. Soluções incluem:

- Inspeção Regular: Verificar frequentemente os componentes da suspensão.
- Substituição de Componentes: Trocar amortecedores, molas e buchas desgastados ou danificados.
- Manutenção Preventiva: Realizar manutenção programada para garantir que todos os componentes estejam em boas condições.
- Alinhamento e Balanceamento: Manter o alinhamento e o balanceamento das rodas em dia para minimizar o impacto nas suspensões.

A cambagem, ou camber, é o ângulo que as rodas fazem em relação à vertical do veículo. Se esse ângulo estiver fora do padrão, pode causar problemas. Isso pode elevar a temperatura entre o

pneu e a pista, alterar a calibração correta do pneu e gerar forças que fazem com que as rodas e o carro se desviem da direção desejada.

De acordo com a Avaliação da curva de cambagem em um protótipo Baja SAE.

- Desempenho em Curvas:

Cambagem Negativa: As rodas são inclinadas para dentro na parte superior, melhorando a aderência lateral dos pneus durante as curvas, aumentando a estabilidade e reduzindo a tendência de derrapagem.

Cambagem Positiva: As rodas são inclinadas para fora na parte superior, o que pode ser útil em terrenos muito acidentados, ajudando a manter a direção estável, mas geralmente não é desejável para desempenho em alta velocidade ou manuseio preciso.

- **Desgaste dos pneus:** Uma cambagem inadequada pode levar ao desgaste irregular dos pneus. A cambagem negativa excessiva, por exemplo, pode fazer os pneus se desgastarem mais rapidamente nas bordas internas.

- **Estabilidade e Tração:** Uma configuração de cambagem apropriada pode melhorar a tração nas rodas, crucial para um veículo Baja SAE que opera em terrenos off-road variados.

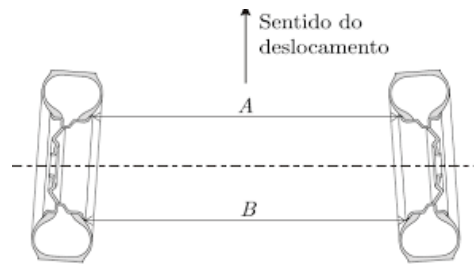
De acordo com RIBEIRO (2024):

- **Ajuste da Suspensão:** O ângulo de cambagem é ajustável na maioria dos sistemas de suspensão de veículos Baja. Isso pode ser feito através de ajustes nos braços de controle ou na montagem dos amortecedores.

- **Teste e Ajuste:** É essencial testar o protótipo em condições reais de corrida e ajustar a cambagem conforme necessário. O feedback dos pilotos e a análise do desgaste dos pneus são fundamentais para otimizar os ângulos de cambagem.

De acordo com ANDRADE (2013), o ângulo de convergência é calculado pela diferença entre as distâncias medidas na frente e atrás do eixo central de um par de rodas. Assim como a cambagem, a convergência afeta a vida útil dos pneus. Manter a convergência dentro dos padrões recomendados ajuda a prolongar a durabilidade dos pneus e assegura um desempenho equilibrado do veículo. Para uma direção mais responsiva e maior estabilidade em linha reta, é importante minimizar as variações na convergência.

FIGURA 1: $C = B - A$



Fonte: MENEZES, Diego Vilela. Análise da frenagem e estabilidade de veículos de passeio em pavimentos de diferentes aderências. 2015. 88 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/13248>. Acesso em: 22 mai. 2024.

Segundo a KMC Tecnologia Automotiva (2023), um alinhamento convergente torna a condução do carro mais confortável e segura. Quando você faz uma curva e vira o volante, a roda do lado da curva fica inicialmente paralela ao carro, e depois ajuda a guiar o veículo para dentro da curva. Isso permite que o carro responda melhor a mudanças de direção e movimentos bruscos no volante, oferecendo mais segurança durante a condução.

Por outro lado, o alinhamento divergente das rodas torna o carro mais agressivo e é mais adequado para veículos de corrida. Nesse alinhamento, a roda do lado para o qual estamos virando já está inclinada para dentro da curva desde o início. Isso melhora a agilidade e a capacidade de resposta do veículo, tornando-o mais eficiente em situações de alta performance e em curvas rápidas.

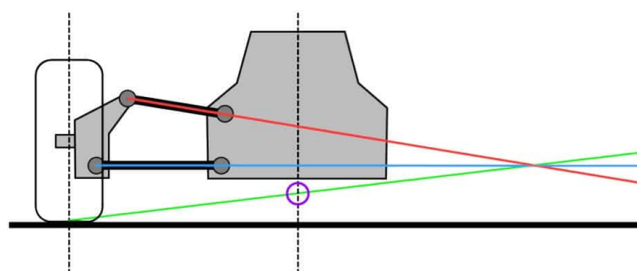
O centro de rolamento (roll center), exemplificado na figura 2, está diretamente relacionado ao funcionamento dos braços de suspensão do veículo. Em curvas, um centro de rolamento alto pode provocar um desgaste mais rápido da borda externa dos pneus. Por outro lado, um centro de rolamento baixo pode resultar em um movimento excessivo do carro, causando desconforto para os passageiros.

O balanço do carro para frente e para trás durante uma curva é influenciado pela velocidade e pela posição do centro de gravidade (CG) em relação ao centro de rotação. Quanto mais alto for o CG em comparação ao centro de rotação, maior será o momento e a carga sobre o veículo. O sistema de suspensão responde a isso gerando forças opostas ao movimento da massa suspensa, o que ajuda a estabilizar o veículo e a aumentar a carga sobre as rodas.

A dinâmica do veículo também é influenciada pela altura do centro de rolagem em relação ao solo, especialmente na transferência de carga durante curvas. À medida que a altura do centro de rolagem aumenta, a transferência de carga também aumenta. Ao analisar os centros de rolagem dianteiro e traseiro, é possível obter uma visão mais completa da dinâmica lateral do veículo. Essa análise ajuda a entender como o veículo inclina ao longo de uma linha imaginária, afetando seu comportamento em curvas.

Segundo Waldron, a maneira mais simples de ajustar o centro de rolagem de um veículo é modificando os links de rolagem. Alterar as posições do braço inferior tem um impacto mais significativo do que ajustes no link de cambagem.

FIGURA 2: Exemplo de centro de rolagem



Fonte: Vista isométrica do esboço da suspensão. Fonte:

<https://www.rccaraction.com/team-associated-engineer-josh-alton-teaches-roll-center-tuning/>

1.2 Objetivos

Este documento tem como intuito primário pontuar conceitos fundamentais relacionados à suspensão e desempenhar uma análise sobre as variações e desempenhos no sistema de suspensão projetado pelos membros, através de simulações, gráficos e modelagem que auxiliem no projeto final deste sistema.

1.3 Justificativa

A suspensão de um veículo BAJA-SAE é projetada para enfrentar impactos severos e terrenos variados, visando manter o alinhamento vertical das rodas, isolando o chassi das irregularidades da pista. Além disso, busca-se garantir o alinhamento das rodas com controle de cambagem e convergência, reagindo de forma eficiente às forças longitudinais e laterais geradas pelos pneus,

resistindo ao rolamento do chassi e mantendo o contato pneu/solo com a menor variação possível de carga. Deste modo, a produção deste estudo colabora para uma melhor compreensão e organização das informações adquiridas com o projeto da geometria desenvolvida, assim como promove uma gama de exemplos e conhecimentos que possam ser reutilizados ou aprofundados eventualmente.

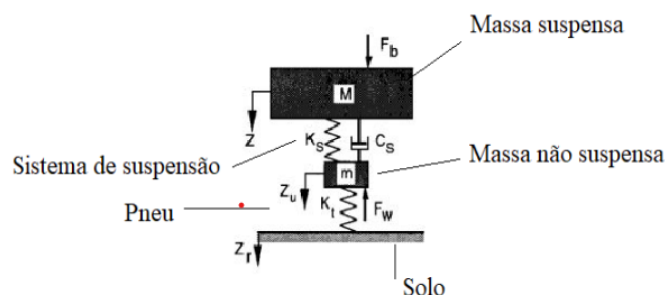
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Vibrações

2.1.1 Ride rate

Utilizando MORLIN (2017) e NOGUEIRA (2022), é analisado que em um projeto de suspensão, o sistema de massa suspensa e não suspensa de um veículo pode ser representado por um modelo $\frac{1}{4}$ do veículo, para descrever as dinâmicas essenciais, como apresentado na figura 3.

FIGURA 3: Representação do modelo $\frac{1}{4}$ do veículo.



Fonte: Adaptado de Gillespie (1992)

No contexto do protótipo BAJA, as molas e os amortecedores possuem sua própria rigidez, a qual desempenham o papel de reduzir as amplitudes das vibrações. A rigidez das molas de um modelo de massa suspensa e não suspensa pode ser calculada através da combinação em série da rigidez do pneu e da mola da suspensão e essa rigidez efetiva é definida como *ride rate*.

O ride rate neste trabalho foi calculado de acordo com a equação de Gillespie (1992), de acordo com a equação:

$$RR = (K_s \times K_t) / (K_s + K_t)$$

(1)

Onde:

RR é o ride rate;

Ks é a rigidez do sistema de suspensão;

Kt é a rigidez do pneu;

De acordo com NOGUEIRA (2022), a frequência natural das vibrações é um conceito fundamental na análise de sistemas dinâmicos, incluindo estruturas mecânicas e veículos. Ela representa a frequência na qual um sistema tende a vibrar quando é perturbado e liberado sem a presença de forças externas contínuas.

A frequência natural neste trabalho foi calculada de acordo com a equação de Gillespie (1992), de acordo com a equação:

$$f_n = \left(\frac{1}{2} \pi \times \sqrt{RR/ms} \right)$$

(2)

Onde:

fn é a frequência natural em Hertz;

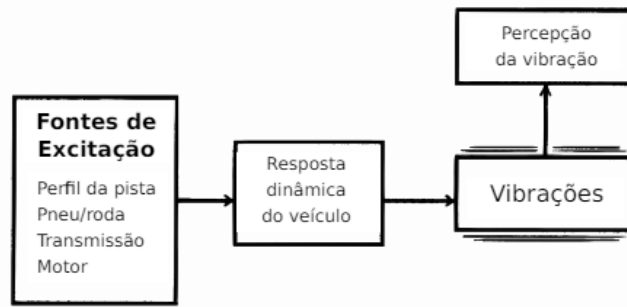
RR é o ride rate;

ms é a massa suspensa;

2.1.2 Vibrações na suspensão do protótipo BAJA

De acordo com GILLESPIE (1992), MILLIKEN (1995) e MORLIN (2017), o protótipo do veículo BAJA SAE é um sistema dinâmico complexo, submetido a condições que geram vibrações externas e internas, afetando o conforto, a segurança e o controle do veículo. O mecanismo de suspensão desempenha um papel crucial na análise e no amortecimento dessas vibrações. Assim, a análise do comportamento vibratório é fundamental para o desempenho dinâmico do veículo e é um critério de suma importância em seu desenvolvimento. A imagem abaixo representa um fluxograma do sistema de vibrações.

FIGURA 4: Fluxograma de geração de vibrações.



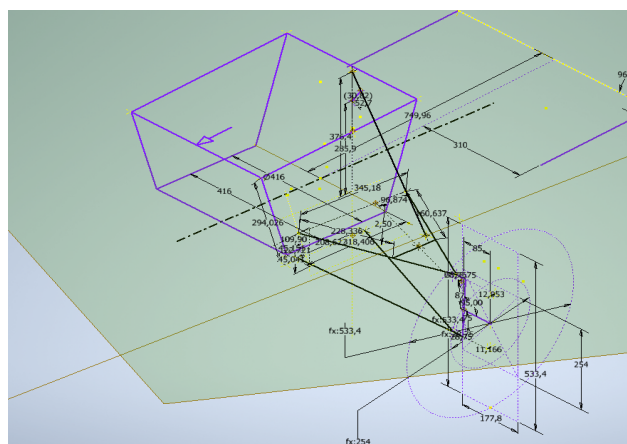
Fonte: adaptado de Gillespie (1992, p. 126)

2.2 Desenho CAD

Para o desenvolvimento do protótipo do veículo BAJA SAE, utilizou-se o software Autodesk Inventor. Este software de design assistido por computador (CAD) é amplamente empregado em engenharia e manufatura para modelagem 3D mecânica, simulação, visualização e documentação de produtos.

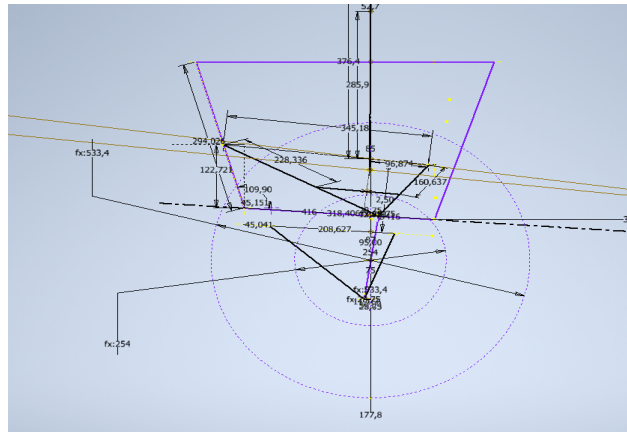
Entre suas principais características estão a modelagem 3D paramétrica, simulação e análise de resistência, criação de documentação técnica detalhada, integração com outros softwares e formatos de arquivo CAD, além de animação e renderização fotorrealistas. Utilizando MILLIKEN (1995) e GILLESPIE (1992) como embasamento teórico para a definição dos parâmetros, conceitos e posicionamentos, os modelos desenvolvidos pela equipe estão representados abaixo:

FIGURA 5: Vista isométrica do esboço da suspensão.



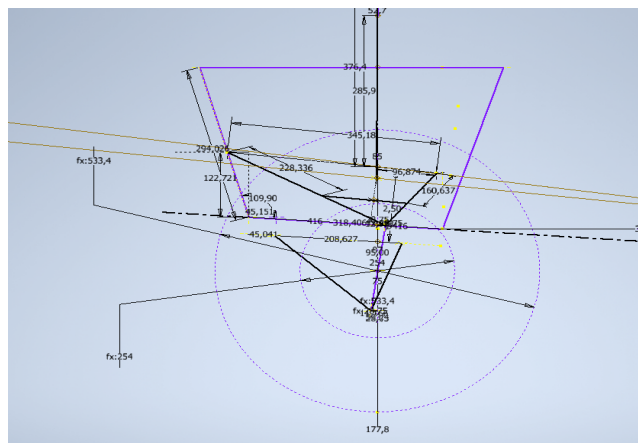
Fonte: Autores.

FIGURA 6: Vista lateral do esboço da suspensão.



Fonte: Autores.

FIGURA 7: Modelagem em 3D do sistema de suspensão.



Fonte: Autores.

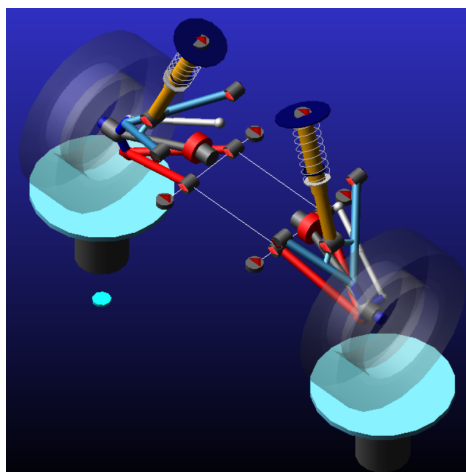
2.3 Software de simulação

As simulações deste trabalho foram feitas no software MSC ADAMS CAR, muito utilizado por inúmeras empresas de engenharia tanto para o desenho de mecanismos, veículos e aeronaves, como para a otimização de seu funcionamento. ADAMS, sigla para Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems, é um programa que utiliza equações de sistemas multicorpos para simular uma ampla variedade de sistemas mecânicos, definidos por suas massas, atuadores e graus de liberdade.

No programa, é possível realizar a modelagem e o desenvolvimento de sistemas de suspensão,

bem como executar simulações dinâmicas e gerar gráficos com os resultados. Embora um modelo possa ser criado do zero, neste caso, foram feitas modificações em um modelo de Duplo A já existente no banco de dados do aplicativo. As alterações foram realizadas ajustando os hardpoints (coordenadas dos pontos) de cada componente da suspensão. Com isso, foi possível desenvolver o modelo da figura 8.

FIGURA 8: Modelo da suspensão dianteira no ADAMS.

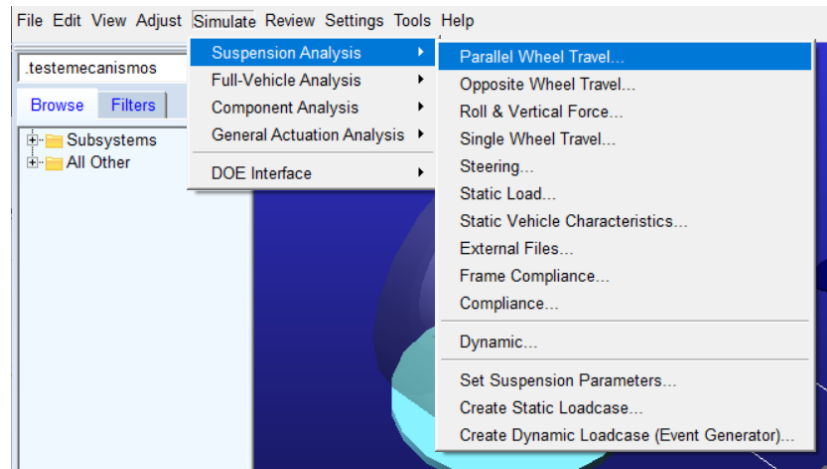


Fonte: Autores.

A partir disso, é possível realizar os testes dinâmicos desse subsistema, conforme demonstrado nas figuras abaixo. No software ADAMS, há diversas opções de testes disponíveis; no entanto, utilizaremos o *Parallel Wheel Travel* (Deslocamento de Rodas Paralelo). Esse teste envolve o movimento das rodas na mesma direção e magnitude simultaneamente, mantendo o paralelismo.

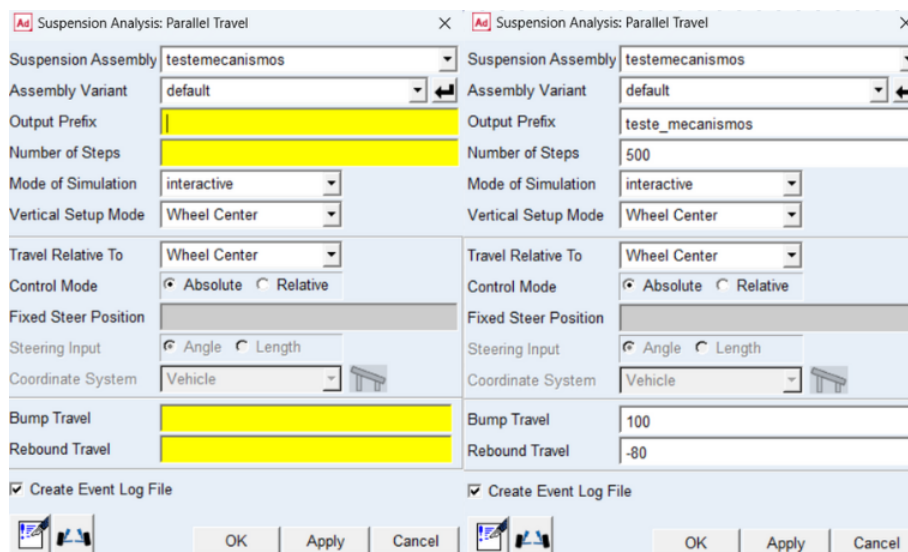
Para configurar a simulação, é necessário definir alguns parâmetros, como o *Output Prefix*, que representa o nome da simulação, o *Number of Steps*, que indica o número de passos de simulação, o *Bump Travel*, que corresponde ao deslocamento vertical para cima das rodas, e o *Rebound Travel*, que corresponde ao deslocamento vertical para baixo das rodas. Portanto utilizaremos um nome arbitrário, um número de 500 passos, um deslocamento de *bump* de 100 mm e um deslocamento *rebound* de 80 mm, representado com o sinal negativo.

FIGURA 9: Possíveis análises a serem realizadas no ADAMS.



Fonte: Autores.

FIGURA 10: Parâmetros a serem definidos (à esquerda) e os valores utilizados (à direita).



Fonte: Autores.

3. RESULTADOS

3.1 Resultados e Interpretação

Com tudo definido, foi realizada a simulação, e os resultados obtidos são representados através de

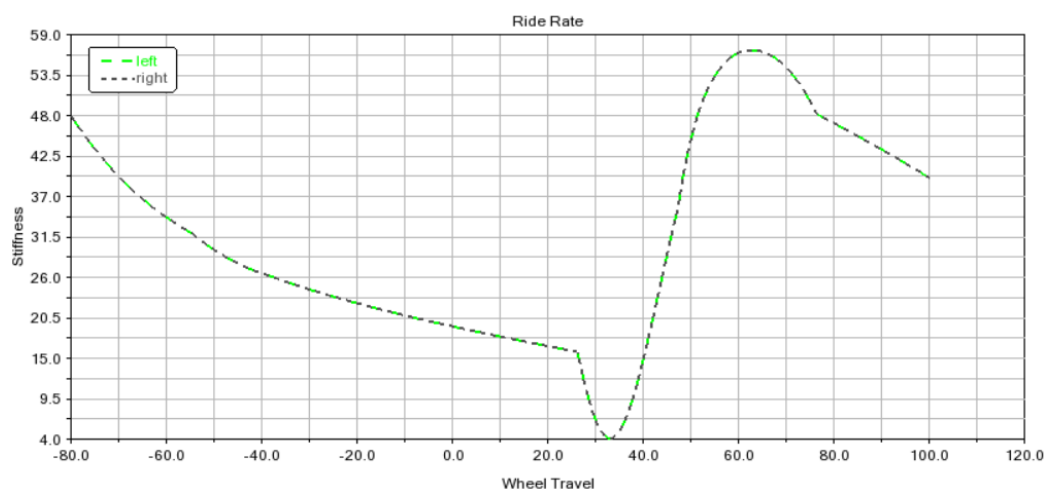
gráficos que mostram visualmente o desempenho dinâmico da suspensão. Esses gráficos permitem uma análise detalhada de como a suspensão se comporta sob diferentes condições de movimento, fornecendo percepções valiosas sobre a eficiência e a eficácia do sistema de suspensão em manter o controle e a estabilidade do veículo.

3.1.1 Rigidez da suspensão

Através da simulação, foi possível gerar um gráfico referente ao ride rate, que, como vimos anteriormente, se trata da rigidez efetiva da combinação em série da rigidez do pneu e da mola da suspensão. Interpretando o gráfico da figura 11, podemos inferir que no ponto inicial (deslocamento zero), a rigidez é cerca de 20 N/mm. Este valor não é particularmente alto, indicando que a suspensão é relativamente macia em sua configuração inicial, o que pode contribuir para uma boa absorção de pequenas irregularidades do terreno, proporcionando um nível aceitável de conforto.

Além disso, é notável que à medida que o deslocamento da roda vai para valores negativos (indicando extensão da suspensão), a rigidez diminui gradualmente até cerca de -60 mm. Isso sugere um design voltado para a maior absorção de impactos, melhorando o conforto ao atravessar terrenos irregulares. Com o aumento do deslocamento positivo (indicando compressão da suspensão), a rigidez inicialmente diminui, mas depois aumenta drasticamente em torno de 60 mm. Este pico de rigidez foi projetado para evitar que a suspensão atinja seu limite de curso de forma brusca, atuando como uma proteção contra batidas de fundo.

FIGURA 11: Variação dinâmica do *ride rate*.



Fonte: Autores.

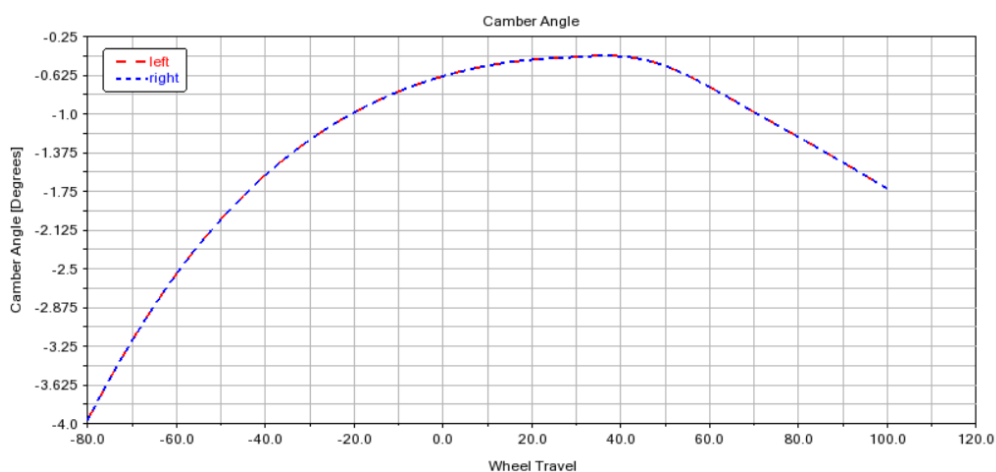
3.1.2 Cambagem

O gráfico da figura abaixo mostra que, no ponto inicial (deslocamento zero), o ângulo de cambagem é de cerca de -0,675 graus, indicando uma cambagem negativa leve. Essa inclinação inicial sugere uma melhoria potencial na aderência dos pneus durante curvas e manobras. Ao considerar o valor máximo e mínimo, nota-se uma variação de aproximadamente 3,5625° no ângulo de cambagem ao longo do curso completo, um valor considerado baixo e controlado, especialmente vantajoso para veículos BAJA.

Quando a suspensão é estendida (deslocamento negativo), o ângulo de cambagem se torna mais negativo, indo de aproximadamente -0,675 graus para cerca de -4 graus. Essa mudança indica uma inclinação mais acentuada das rodas para dentro durante a extensão da suspensão, o que pode aumentar a estabilidade e aderência dos pneus, especialmente em terrenos irregulares.

À medida que a suspensão se comprime (deslocamento positivo), o ângulo de cambagem inicialmente se torna menos negativo, atingindo um pico de cerca de -0,25 graus em torno de 40 mm de deslocamento. Posteriormente, o ângulo volta a se tornar mais negativo, chegando a cerca de -0,625 graus em 100 mm de deslocamento. Essa variação inicial menos negativa pode contribuir para manter uma maior área de contato do pneu com o solo durante a compressão moderada da suspensão.

FIGURA 12: Variação dinâmica de cambagem.



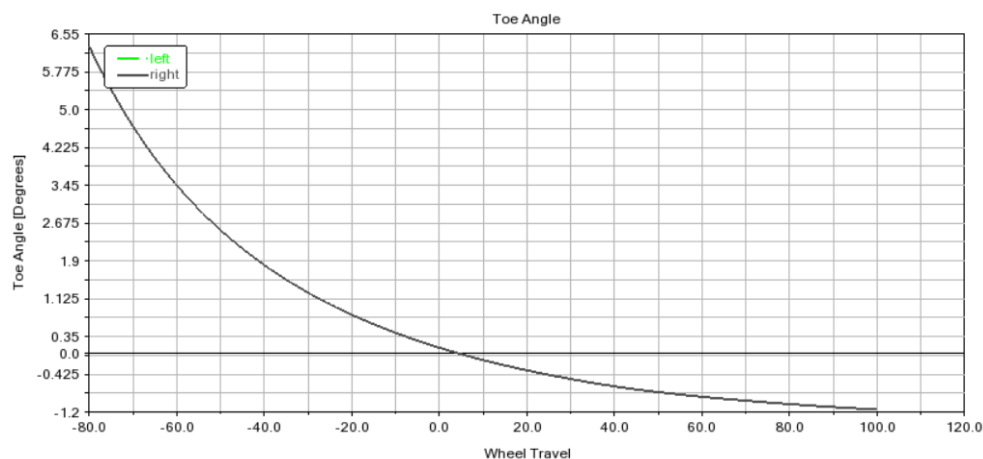
Fonte: Autores.

3.1.3 Convergência

O gráfico de convergência revela que a redução contínua do ângulo de convergência e sua estabilização próxima de zero à medida que a suspensão se comprime sugerem que o veículo mantém uma estabilidade direcional melhor em posições mais neutras da suspensão, conforme apresentado na figura 13.

Além disso, o grande ângulo de convergência em casos de extensões grandes (deslocamento negativo) é benéfico, pois ajuda na estabilidade em curvas ou terrenos irregulares, prevenindo que as rodas se abram excessivamente e causem perda de controle. Esse comportamento também melhora a resposta direcional do veículo em curvas apertadas, comuns em competições BAJA SAE.

FIGURA 13: Variação dinâmica do ângulo de convergência.



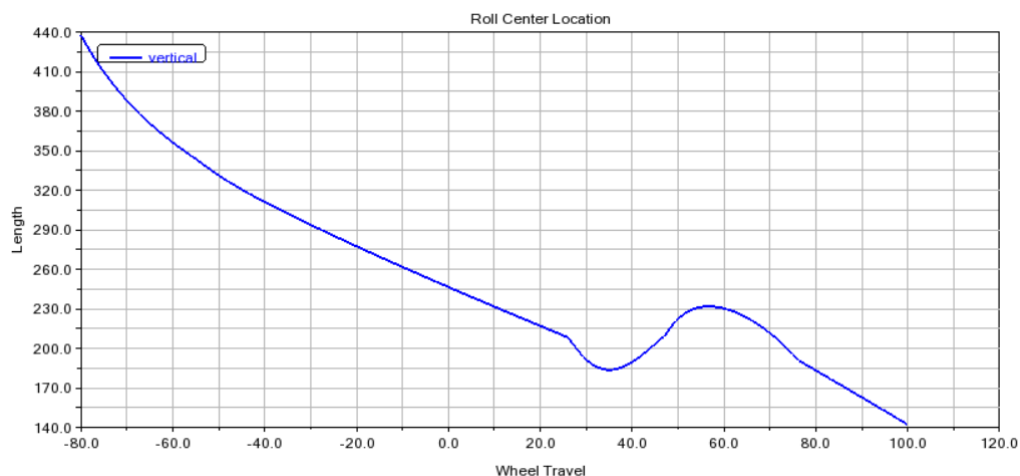
Fonte: Autores.

3.1.4 Centro de rolagem

Por fim, utilizando como base um valor de 500 mm de altura para o centro de gravidade, podemos concluir que pelo gráfico gerado na figura 14, em extensões grandes (onde o centro de rolagem chega até 440 mm), a proximidade entre o CG e o centro de rolagem melhora a estabilidade e reduz a tendência de rolagem.

Porém, por outro lado, em compressões, a maior distância entre o CG e o centro de rolagem aumenta a tendência de rolagem. Mas esse efeito é mitigado por conta da distribuição de pesos, que é definido em 40% dianteira e 60% traseira, e pelo design da suspensão, que foi definida com base nesses resultados.

FIGURA 14: Variação dinâmica da altura do centro de rolagem.



Fonte: Autores.

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados adquiridos, é possível concluir que os resultados se fazem satisfatórios. Os parâmetros calculados se mostram confortáveis ao piloto, seguros e eficientes para uma boa dirigibilidade do veículo, tendo como exemplo a rigidez da suspensão e a variação de cambagem. Em resumo, as variações dinâmicas do ride rate, cambagem, convergência e centro de rolagem indicadas nos gráficos podem ser gerenciáveis com um design de suspensão adequado e testes práticos para otimização do desempenho do veículo em condições reais de competição BAJA SAE. De modo geral, o resultado deste estudo fornece uma base sólida para futuras melhorias e ajustes no design da suspensão, visando maximizar a performance e a segurança do veículo em competições off-road.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão aos professores orientadores Eduardo Rafael Barreda Del Campo e Rubelmar Maia de Azevedo Cruz Neto pela orientação e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos também à Universidade do Estado do Amazonas pelo suporte institucional e ao Projeto BAJA pela oportunidade e recursos fornecidos que foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

TRABALHOS FUTUROS

- Análise dinâmica de uma suspensão traseira de veículo BAJA SAE

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Guilherme de Oliveira. **Dimensionamento geométrico e análise elastocinemática de suspensão automotiva do tipo duplo A**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Acesso em 22 mai. 2024
- BOFF, Guilherme. **Estudo de uma suspensão duplo A para um veículo Volkswagen Fusca**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019. Acesso em 22 mai. 2024
- CASTELO BRANCO, Diogo Bandeira de Melo. **Análise de desempenho da suspensão e conforto de um veículo fora de estrada do tipo baja SAE**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.
- DUARTE, Brenno Tavares; BARRETO, Juliana Ramos; AMARAL, Pedro Trindade do. **Análise de dinâmica veicular do protótipo Baja SAE**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2016.
- GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale, PA: SAE International, 1992.
- JAZAR, Reza N.. **Vehicle dynamics: Theory and applications**. Springer Science and Business Media, LLC. New York, NY, USA, 2008.
- MELO, Maize Cibeles de Lima. **Estudo comparativo da influência do ângulo de ataque na resposta dinâmica de um veículo Baja**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.
- MILLIKEN, William F. **Race car vehicle dynamics**. Warrendale, PA, U.S.A: SAE International, 1995.
- MORLIN, Fernando Vinícius. **Análise da dinâmica vertical de um veículo fora de estrada**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

NOGUEIRA, Rodrigo. **Projeto de uma suspensão dianteira para um veículo mini baja SAE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2022.

RIBEIRO, André; OLIVEIRA, Felipe Pires de; PEREIRA, Luis Gustavo Malta; REZENDE, Thaís. **Avaliação da curva de cambagem em um protótipo Baja SAE**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2016.

SILVA JUNIOR, Aluney Elferr de Albuquerque. **Análise da dinâmica vertical de um protótipo Baja SAE e modelagem em ambiente multicorpos**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2024.

ZUCOLOTTI, João Victor. **Análise da dinâmica vertical de um protótipo Baja SAE para dimensionamento da suspensão**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.