

Otimização de Peso e Ergonomia em Protótipos de Veículos Baja SAE

1. Introdução

Os veículos Baja SAE são desenvolvidos para competições off-road, onde a resistência, durabilidade e desempenho dinâmico são testados em terrenos irregulares. Projetar um chassi leve e ergonômico, sem comprometer a segurança, é um desafio que exige a aplicação prática de conceitos de engenharia e cumprimento das normas do regulamento Baja SAE BRASIL (SAE BRASIL, 2024).

A otimização do peso do chassi é fundamental para melhorar a relação peso-potência do veículo, essencial para o desempenho. No entanto, a redução de massa precisa garantir a rigidez estrutural da gaiola de proteção, que assegura a integridade do piloto em caso de impacto. Materiais mais leves, embora eficientes, muitas vezes têm custo elevado, o que limita sua utilização em projetos de baixo orçamento (COSTA et al., 2021).

Além da redução de massa, a ergonomia do veículo, especialmente o ajuste dos ângulos de pilotagem, é crucial para o conforto e o desempenho do piloto, influenciando diretamente os resultados em provas de resistência (DREYFUSS, 1993). Conciliar a adequação ergonômica com um espaço limitado no cockpit é um desafio adicional que deve ser superado.

O presente estudo busca responder ao problema de como reduzir a massa do chassi, mantendo sua rigidez estrutural, e ao mesmo tempo otimizar a ergonomia do piloto, dentro das restrições de custo e regulamento técnico. O objetivo geral é desenvolver um protótipo de veículo Baja SAE que equilibre redução de massa, segurança e ergonomia, atendendo às exigências da competição. As contribuições deste trabalho consistem na análise de configurações geométricas e materiais para redução de massa e no uso de simulações para otimizar o design ergonômico, proporcionando soluções viáveis para equipes com recursos limitados.

2. Objetivos

Objetivo Geral

- Desenvolver um protótipo de veículo Baja SAE que apresente redução de massa e otimização ergonômica, atendendo aos requisitos do regulamento da competição e garantindo a segurança e o conforto do piloto.

Objetivos Específicos

- Reduzir a massa do chassi do veículo sem comprometer a rigidez estrutural e a segurança do piloto.
- Otimizar a ergonomia do veículo, garantindo que os ângulos de pilotagem estejam dentro dos padrões recomendados para pilotos de diferentes estaturas (percentis 1% feminino e 99% masculino).

- Aplicar análises estruturais e ergonômicas utilizando software de simulação (Ansys e CAD 3D) para validar o desempenho e o conforto do protótipo.
- Cumprir as exigências técnicas do Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL.

3. Metodologia

3.1 Redução de Massa

A abordagem para a redução de massa no veículo Baja SAE envolve uma série de análises estruturais e de engenharia focadas na otimização do chassi. O objetivo é minimizar o peso total do veículo sem comprometer sua rigidez e segurança, de acordo com as exigências do Regulamento Técnico da Baja SAE BRASIL.

Inicialmente, considerou-se a utilização de materiais alternativos mais leves, como aços de alta resistência ou compostos metálicos leves, que poderiam reduzir significativamente o peso do chassi. No entanto, o custo desses materiais inviabilizou sua utilização dentro das restrições orçamentárias da equipe. Assim, optou-se pela utilização do aço SAE 1020, um material mais acessível, mas com menor resistência comparado a ligas mais avançadas.

Para compensar essa menor resistência do SAE 1020, foi necessário aumentar levemente os diâmetros e as espessuras dos tubos da estrutura. Isso, por sua vez, aumentou o peso do chassi. Para contrabalançar esse aumento, foi adotada uma estratégia de otimização geométrica, focada em reduzir o número de travamentos (tubos de reforço), utilizando uma configuração estrutural que maximiza a rigidez com a menor quantidade possível de material.

A pesquisa está dividida em duas etapas principais: análise estrutural e análise ergonômica.

1. Análise Estrutural:

- Modelagem geométrica do chassi: Foi realizada uma análise geométrica do chassi usando software CAD (SolidWorks) para identificar componentes que poderiam ser otimizados ou eliminados, reduzindo o número de travamentos e, conseqüentemente, a massa.
- Simulação de elementos finitos (FEA): Após a otimização geométrica, foram realizadas simulações no software Ansys para avaliar a rigidez e a resistência do chassi sob cargas de torção e impacto, garantindo a segurança do piloto conforme as normas do regulamento Baja SAE.
- Avaliação de materiais: Foram analisadas diferentes opções de materiais, considerando custo e desempenho, para identificar a viabilidade de uso de materiais leves que possam substituir o aço SAE 1020.

2. Análise Ergonômica:

- Estudo antropométrico e simulações: A ergonomia foi avaliada por meio de simulações em CAD 3D, com base em dados de percentis (1% feminino e 99% masculino) exigidos pelo regulamento. Os ângulos de pilotagem (braços, pernas e tronco) foram ajustados para maximizar o conforto do piloto.

- Testes práticos: Pilotos de diferentes estaturas realizaram testes de pilotagem, e o desconforto foi avaliado utilizando o diagrama de Corlett e Manenica (1980). Esses dados foram usados para validar e ajustar o design ergonômico.
3. Validação Final: Após as simulações e testes práticos, o design do chassi e do cockpit foi revisado e ajustado, buscando o equilíbrio ideal entre redução de massa, rigidez estrutural e conforto do piloto. A versão final do protótipo será validada por uma nova rodada de simulações.

4. Análise e Discussão dos Resultados

4.1 Redução de Massa

A redução de massa no protótipo Sama#07 foi alcançada por meio da eliminação de travamentos estruturais que se mostraram desnecessários na análise estrutural. Isso resultou em uma diminuição de aproximadamente 2% no peso total do chassi, mantendo a rigidez torcional dentro dos limites exigidos pelo regulamento da SAE BRASIL. Essa redução, apesar de modesta, foi significativa considerando o uso de aço SAE 1020, um material com menor resistência em comparação a outras ligas mais leves e mais caras.

A análise por elementos finitos (FEA), realizada no Ansys, demonstrou que, mesmo com a redução de material, o chassi foi capaz de suportar as forças de torção geradas durante manobras e os impactos que ocorrem em competições *off road*. A rigidez torcional foi mantida em um nível seguro, permitindo que o chassi suportasse as tensões sem deformação plástica. O fato de ter-se reduzido a massa sem comprometer a segurança foi um avanço importante, considerando as limitações orçamentárias da equipe.

No entanto, um dos principais desafios ainda permanece: a necessidade de materiais mais leves para permitir reduções de massa mais significativas sem sacrificar a rigidez estrutural. A substituição do SAE 1020 por ligas metálicas mais leves continua sendo uma opção viável para o futuro, desde que o financiamento adequado seja obtido.

4.2 Ergonomia

Os testes de ergonomia realizados com pilotos de diferentes percentis (99% masculino e 1% feminino) revelaram melhorias significativas na adaptação do cockpit. Comparado ao protótipo anterior (Sama#06), o Sama#07 apresentou uma otimização dos ângulos de pilotagem, especialmente nos ângulos de braço e perna, resultando em um maior conforto para a maioria dos pilotos.

As simulações em CAD 3D, baseadas nos dados antropométricos e nos testes práticos, confirmaram que a inclinação do volante e a altura dos pedais foram ajustadas de acordo com as recomendações de DREIFUSS (1993), resultando em uma pilotagem mais confortável, especialmente para pilotos de estatura média e baixa. No entanto, os pilotos de estatura maior (percentil 99% masculino) ainda relataram desconforto, principalmente devido ao espaço reduzido do cockpit, um problema que persiste desde o protótipo anterior.

A avaliação de desconforto, realizada com o diagrama de Corlett e Manenica (1980), mostrou que o desconforto foi reduzido em áreas críticas, como os ombros e as pernas, após os ajustes ergonômicos. No entanto, o cockpit ainda oferece um espaço limitado, o que afeta negativamente os pilotos maiores. Esse é um ponto de melhoria que pode ser abordado em versões futuras do veículo, potencialmente com o desenvolvimento de um novo assento que acomode melhor esses pilotos.

5. Conclusão

Este estudo abordou os desafios de redução de massa e otimização ergonômica no desenvolvimento do protótipo Sama#07 para competições de Baja SAE. A partir de análises estruturais e ergonômicas, foi possível alcançar uma redução de massa de 2% sem comprometer a rigidez estrutural do chassi, mantendo a segurança do piloto sob condições de torção e impacto.

A ergonomia do veículo foi significativamente melhorada em comparação ao modelo anterior, com ajustes nos ângulos de pilotagem que resultaram em maior conforto para pilotos de estaturas médias e baixas. No entanto, o desafio de acomodar pilotos de estatura maior persiste, evidenciando a necessidade de um estudo mais aprofundado para ampliar o espaço do cockpit ou ajustar o design do assento.

A adoção de materiais mais leves continua sendo uma opção viável para futuras reduções de massa, mas o alto custo desses materiais ainda representa uma barreira. Com um financiamento adequado, será possível explorar novas ligas metálicas que possam reduzir o peso do chassi sem a necessidade de aumentar as dimensões dos tubos.

Por fim, este projeto demonstra que, mesmo dentro das limitações de orçamento e regulamentação, é possível otimizar tanto a eficiência estrutural quanto o conforto ergonômico, proporcionando um veículo competitivo para as exigentes competições off road da Baja SAE.

6. Referências

- CORLETT, E. N.; MANENICA, I. *The effects and measurement of working postures*. Applied ergonomics, v. 11, n. 1, p. 7-16, 1980.
- DREYFUSS, Henry; TILLEY, Alvin R. *The measure of man and woman: human factors in design*. Whitney Library of Design, 1993.
- SAE BRASIL. *Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL*. São Paulo, 2024.
- COSTA, Arthur Barroso et al. *Avaliação ergonômica de um veículo Baja*. Engenharia Mecânica: A influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2, [S.L.], p. 211-233, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.17321180617>.
- SANTOS, Adriana Borges dos. *Estudo ergonômico do veículo Baja da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES*. Trabalho de Conclusão de Curso, 2016.