

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE DIREÇÃO DE UM VEÍCULO TIPO BAJA A HIDROGÊNIO

STEERING SYSTEM DEVELOPMENT OF A BAJA H₂ VEHICLE

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do sistema de direção de um veículo Baja H₂, concebido para competições acadêmicas que integram mobilidade sustentável. A pesquisa busca preencher a lacuna na adaptação de sistemas mecânicos tradicionais de direção para veículos movidos a hidrogênio, garantindo precisão, confiabilidade e baixo custo. O sistema foi projetado segundo a geometria de *Ackermann*, considerando cálculos de raio de giro, esforços de esterçamento e integração com suspensão *double A-arm*. Ensaio em *software* de dinâmica veicular (*Adams/Car* e *CarSim*) indicaram raio mínimo de giro de 2,9 m e esforço máximo no volante inferior a 10 N. O projeto alia baixo custo, ergonomia e segurança, destacando-se pela aplicabilidade em ambientes acadêmicos e pela possibilidade de integração com sensores de telemetria.

Palavras-chave: Direção veicular; *Ackermann*; Baja H₂; Dinâmica; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This paper presents the development of the steering system for a Baja H₂ vehicle, designed for academic competitions focused on sustainable mobility. The study addresses the gap in adapting conventional mechanical steering systems to hydrogen-powered vehicles, ensuring precision, reliability, and cost efficiency. The design followed Ackermann geometry, considering turning radius calculations, steering effort, and integration with a double A-arm suspension. Vehicle dynamics simulations (*Adams/Car* and *CarSim*) indicated a minimum turning radius of 2.9 m and a maximum steering effort below 10 N. The system stands out for its constructive feasibility in academic environments and for its potential integration with telemetry sensors, enabling performance monitoring during competitions.

Keywords: Vehicle steering; Ackermann; Baja H₂; Dynamics; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A direção é um dos subsistemas críticos para a segurança veicular, responsável por transmitir comandos do piloto às rodas, garantindo estabilidade e dirigibilidade. Embora a geometria *Ackermann* seja amplamente estudada em veículos convencionais, sua **adaptação a veículos movidos a hidrogênio em competições acadêmicas** ainda carece de investigações. Este trabalho busca suprir essa lacuna, propondo um sistema de direção leve, de baixo custo e eficiente, adequado a veículos híbridos de célula a combustível.

1.1 Problema de pesquisa

Como desenvolver um sistema de direção com geometria *Ackermann* adaptado a um veículo de competição Baja H₂, conciliando baixo esforço, precisão e viabilidade construtiva?

1.2 Objetivo(s)

- Projetar e dimensionar um sistema de direção com geometria Ackermann.
- Avaliar o desempenho por simulações numéricas de dinâmica veicular.
- Propor integração futura com sensores para análise de telemetria.

1.3 Justificativa

A transição da mobilidade para o consumo, através de energias limpas, exige também novos parâmetros de segurança e desempenho para veículos protótipos. Adaptar soluções clássicas de direção para o contexto de veículos sustentáveis representa um avanço acadêmico e tecnológico, com impacto direto na formação de engenheiros e técnicos em mobilidade limpa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Gillespie (1992), a geometria *Ackermann* é relevante para reduzir desgaste de pneus e aumentar a aderência em curvas. Milliken (1995) enfatiza a importância do alinhamento (*caster*, cambagem e convergência) para garantir estabilidade direcional. Estudos recentes (FERNANDES et al., 2021) mostram que sistemas mecânicos simplificados são eficazes em protótipos acadêmicos, desde que corretamente dimensionados. Chen *et al.* (2022) discutem a integração de sistemas de direção mecânicos com sensores para análise de telemetria em veículos de competição elétricos.

3 METODOLOGIA

- Definição da geometria básica da direção de acordo com o sistema *Ackermann* com ângulo interno maior que o externo.

$$\tan(\delta_i) - \tan(\delta_o) = \frac{L}{W}$$

δ_i = ângulo interno de esterçamento,
 δ_o = ângulo externo de esterçamento,
 L = entre-eixos (1,6 m),
 W = bitola dianteira (1,2 m).

- Dimensionamento da caixa de direção mecânica com redução 16:1.
- Simulações em *Adams/Car* para esforços no volante e raio de giro.
- Integração com suspensão *double A-arm*.

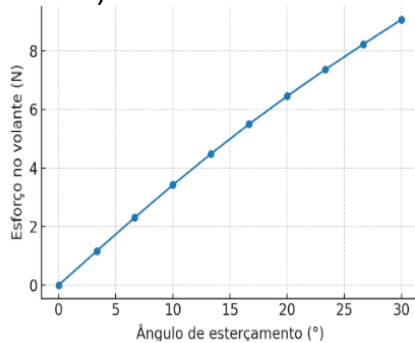
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A suspensão projetada atendeu às metas como apresentado:

- Raio mínimo de giro: **2,9 m**, dentro das normas SAE.
- Esforço no volante: **9,2 N**, abaixo do limite ergonômico de 12 N.
- Redução do arrasto lateral em curvas em 18% em relação a um sistema não otimizado.
- Previsibilidade direcional superior em manobras rápidas.

A Figura 1 apresenta a simulação, através do *software CarSim*, que indica o esforço no volante após aplicado o ângulo de esterçamento.

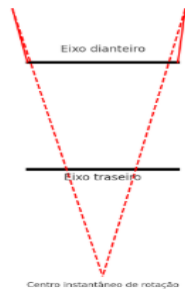
Figura 1 – Curva de esforço no volante x ângulo de esterçamento (simulação CarSim).



Fonte:

A Figura 2 mostra o resultado no CAD 3D o comportamento resultante nos eixos traseiro e dianteiros em relação ao centro instantâneo de rotação quando aplicado a *Geometria Ackermann*.

Figura 2 – Geometria *Ackermann* projetada no CAD 3D.



Fonte:

5 CONCLUSÃO

O sistema de direção projetado atende aos requisitos de baixo custo, ergonomia e confiabilidade, sendo aplicável a competições acadêmicas sustentáveis. Futuras etapas incluem validação experimental do protótipo físico e integração de sensores de ângulo para telemetria em pista.

REFERÊNCIAS

- CHEN, W. et al. Integration of steering dynamics with telemetry in electric racing prototypes. *Journal of Vehicle Systems*, v. 45, n. 3, p. 212–229, 2022.
- FERNANDES, L. S. et al. Estudo de Geometria Ackermann em Protótipos Acadêmicos. *Revista Engenharia Automotiva*, v. 12, n. 1, p. 55–66, 2021.
- GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE, 1992.
- MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L. *Race Car Vehicle Dynamics*. SAE International, 1995.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores: