

Análise e Dimensionamento do Sistema de Frenagem de um Kart

Vinícius Rodrigues Borba | vinicius.borba@ifsc.edu.br¹
Fernanda de Souza Royse | fernanda.royse@ifsc.edu.br²
Eduardo Batista Fontanella | eduardo.fontanella@ifsc.edu.br³
Fagney Jose da Cunha | fagney.cunha@ifsc.edu.br⁴
Hártur Demay Hochleitner | hartur.d@ifsc.edu.br⁵
Matheus Ribeiro Machado | matheus.rm23@aluno.ifsc.edu.br⁶

Edital nº 02/2026/DIREN-PROEN e Edital nº 12/2025/PROPPI/DAE

Trabalho de [Pesquisa]

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Este trabalho apresenta o dimensionamento de parâmetros do sistema de frenagem aplicado a um kart com motorização de 7 hp. Tal estudo foi desenvolvido a partir de um chassi previamente construído, com massa total de 145 kg, incluindo o piloto. A metodologia baseou-se em modelos clássicos da dinâmica veicular, adotando o coeficiente de atrito como principal parâmetro para a determinação da força máxima de frenagem e da distância de frenagem. Foram analisados três cenários operacionais, com coeficientes de atrito iguais a 0,8, 1,0 e 1,2, representando condições desde conservadoras até ideais de aderência em pista seca com pneus do tipo slick. Os resultados indicaram forças máximas de frenagem de 1137 N, 1422 N e 1706 N, respectivamente, evidenciando a relação direta entre o coeficiente de atrito e a capacidade de desaceleração do veículo. Para análise das distâncias de frenagem, para velocidades entre 10 km/h e 50 km/h, demonstrou comportamento quadrático em função da velocidade. Além disso, verificou-se que o aumento da aderência reduz significativamente a distância de parada. Por fim, conclui-se que o desempenho do sistema de frenagem é limitado pela interface pneu/solo, sendo essencial considerar esse fator no dimensionamento para garantir segurança e eficiência.

Palavras-chave: Sistema de frenagem; Coeficiente de atrito; Força de frenagem.

Introdução

O kartismo é uma modalidade do automobilismo amplamente praticada em diversas partes do mundo. Apesar de sua popularidade, aspectos relacionados à segurança veicular durante as competições e atividades recreativas ainda demandam

¹ Docente do curso de Manutenção Automotiva do IFSC, Câmpus Florianópolis.

² Docente do curso de Manutenção Automotiva do IFSC, Câmpus Florianópolis.

³ Docente do curso de Manutenção Automotiva do IFSC, Câmpus Florianópolis.

⁴ Técnico de laboratório do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica do IFSC, Câmpus Florianópolis.

⁵ Estudante do curso de Engenharia Mecatrônica do IFSC, Câmpus Florianópolis.

⁶ Estudante do curso de Engenharia Mecatrônica do IFSC, Câmpus Florianópolis.

atenção, especialmente no que se refere ao desenvolvimento e à adequação dos sistemas embarcados. Dentre esses, destaca-se o sistema de frenagem, cuja função principal é reduzir a velocidade do veículo ou levá-lo à parada completa de forma segura e controlada.

Nos dias atuais, existe uma ampla variedade de sistemas de freio disponíveis comercialmente para karts. No entanto, muitos desses componentes apresentam custos elevados, o que limita sua aplicação em projetos acadêmicos de baixo orçamento. Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver soluções alternativas que mantenham níveis adequados de desempenho e segurança, ao mesmo tempo em que reduzam os custos envolvidos.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar o dimensionamento de parâmetros do sistema de frenagem aplicado a um kart com chassi equipado com motor de 7 hp, dando continuidade ao projeto intitulado “Projeto e Construção de um Modelo de Chassi de Kart em Aço”, desenvolvido pelo grupo de pesquisa em manutenção automotiva.

Fundamentação teórica

O seguinte estudo baseia-se no estudo do sistema de freio aplicado a um chassi de kart já confeccionado. O funcionamento do sistema de frenagem baseia-se na conversão da energia mecânica gerada pelo acionamento do pedal de freio em energia hidráulica no cilindro mestre (GILLESPIE, 1992). A partir do princípio de Pascal, a pressão hidráulica é transmitida e amplificada ao longo do circuito, permitindo o acionamento das pinças de freio com aumento significativo da força aplicada às pastilhas.

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender o processo de frenagem, cuja finalidade é reduzir a velocidade do veículo ou promovê-lo à parada completa por meio da conversão da energia cinética em energia térmica através do atrito entre os componentes de frenagem (BOSCH, 2025). O sistema deve ser adequadamente projetado para suportar elevadas cargas térmicas, assegurando a dissipação eficiente do calor gerado sem comprometer a integridade estrutural dos componentes, a eficiência da frenagem e a segurança operacional do veículo.

Para compreender o funcionamento de um sistema de freios, também é necessário considerar o conceito de atrito, definido como a força resistente gerada entre duas superfícies em contato com movimento relativo. Além disso, a frenagem depende diretamente da aderência entre o pneu e a superfície da pista. Quando a força de frenagem aplicada ultrapassa o limite de aderência disponível entre o pneu e o solo, ocorre o travamento das rodas e o consequente deslizamento do pneu sobre a pista.

Nessas condições, há redução da eficiência da frenagem e perda significativa da capacidade de controle do veículo, comprometendo sua estabilidade e segurança operacional. Dessa forma, o desempenho de um sistema de freios não depende apenas da capacidade de geração de pressão hidráulica ou do dimensionamento dos componentes mecânicos, mas também das características dos pneus, das condições da superfície da pista e da adequada distribuição das forças de frenagem durante a operação do veículo (LEAL *et al.* 2008).

Procedimentos metodológicos

A primeira etapa do estudo consistiu na definição e no levantamento dos parâmetros do projeto do veículo. O kart analisado apresenta chassi em aço de seção retangular, equipado com rodas traseiras de 11 polegadas e dianteiras de 10 polegadas, ambas com pneus do tipo *slick*, adequados para maximizar a aderência em superfícies pavimentadas.

O sistema de propulsão é composto por um motor de 7 hp, com rotação máxima de 3600 rpm, resultando a uma velocidade máxima teórica de aproximadamente 48,5 km/h. A transmissão de potência ocorre por meio de um sistema por corrente, constituído por um pinhão de 11 dentes, com diâmetro de 50 mm, e uma coroa de 43 dentes, com diâmetro de 177 mm.

A massa estrutural do veículo foi estimada por meio de modelagem tridimensional no *software SolidWorks*, resultando em 70 kg. Considerando adicionalmente a massa do piloto, adotada como 75 kg, obteve-se uma massa total do sistema de 145 kg.

A capacidade máxima de frenagem de um veículo é limitada pela força de atrito entre o pneu e a superfície de contato. De acordo com a dinâmica veicular, essa força

pode ser expressa como o produto entre o coeficiente de atrito e a força normal atuante no pneu, resultando na Equação 01.

$$F = \mu \cdot m \cdot g \quad (01)$$

Onde, F representa a força em N, μ representa o coeficiente de atrito pneu/solo, m é a massa (kg) do veículo e g é aceleração da gravidade (m/s^2) (RAJAMANI, 2012).

A distância de frenagem (m) pode ser obtida a partir dos princípios da conservação de energia ou da cinemática para movimento uniformemente variado, assumindo desaceleração constante, resultando na Equação 02.

$$d = \frac{v^2}{2 \cdot \mu \cdot g} \quad (02)$$

Onde v é a velocidade inicial do veículo (m/s), μ representa o coeficiente de atrito pneu/solo e aceleração da gravidade (m/s^2). Esse modelo é amplamente empregado em análises preliminares de desempenho de frenagem, sendo adequado para estimativas iniciais em projetos veiculares (GILLESPIE, 1992).

Com base nos parâmetros definidos e nas equações apresentadas na fundamentação teórica, foi determinada a força de frenagem necessária para desacelerar e parar o kart a partir de uma velocidade inicial de 50 km/h.

Além disso, determinou a distância de frenagem para um intervalo de velocidades compreendido entre 10 km/h e 50 km/h, com incrementos de 10 km/h.

Para ambas as análises, foram adotados valores de coeficiente de atrito iguais a 0,8, 1,0 e 1,2, com o intuito de representar diferentes condições operacionais do veículo. Para pavimentos secos, valores próximos de 0,8 são normalmente associados a condições conservadoras de aderência, enquanto valores em torno de 1,0 representam situações de elevada aderência em pistas de boa qualidade.

Já coeficientes próximos ou superiores a 1,2 podem ser obtidos em aplicações de competição utilizando pneus slick submetidos a temperaturas ideais de funcionamento, condição na qual há aumento significativo da capacidade de geração de força longitudinal e lateral.

Resultados e discussões

Com base nas informações supracitadas na fundamentação teórica e na metodologia, a análise da dinâmica longitudinal do kart indicou forças de frenagem de 1137 N, 1422 N e 1706 N para os respectivos coeficientes de atrito de 0,8, 1,0 e 1,2. Os resultados demonstram que o aumento do coeficiente de atrito entre pneu e pista eleva diretamente a capacidade de frenagem do veículo, evidenciando que o limite físico da desaceleração é condicionado pela aderência disponível na interface pneu/solo. Assim confirmando o autor Gillespie (1992), o coeficiente de atrito varia em função das características do pneu, das condições da pista e da temperatura de operação, justificando os diferentes valores adotados neste estudo para representar distintas condições operacionais.

Com o intuito de ampliar a análise e avaliar diferentes cenários operacionais, realizou-se uma simulação correlacionando a distância de frenagem com a velocidade para três valores de coeficiente de atrito, representando condições desde conservadoras até ideais de aderência em pista seca com pneus do tipo slick. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das distâncias de frenagem.

Velocidade	Distância para $\mu = 0,8$	Distância para $\mu = 1$	Distância para $\mu = 1,2$
10 km/h	0,49 m	0,39 m	0,33 m
20 km/h	1,98 m	1,57 m	1,31 m
30 km/h	4,43 m	3,54 m	2,95 m
40 km/h	7,90 m	6,29 m	5,24 m
50 km/h	12,28 m	9,83 m	8,19 m

Fonte: Elaborada pelos autores.

Comparando os cenários analisados, observa-se que, para uma mesma velocidade, a elevação em 50% no coeficiente de atrito de 0,8 para 1,2 pode reduzir a distância de frenagem em aproximadamente 30%, o que reforça a importância da escolha adequada dos pneus e das condições da pista. Dessa forma, os resultados obtidos permitem não apenas validar o modelo adotado, mas também fornecer subsídios para o dimensionamento seguro e eficiente do sistema de frenagem do kart.

Considerações finais

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que a força máxima de frenagem varia diretamente com o coeficiente de atrito, atingindo valores de 1137 N, 1422 N e 1706 N para μ iguais a 0,8, 1,0 e 1,2, respectivamente. Tal fato evidencia que melhorias no sistema de freio, como aumento do diâmetro do disco ou da capacidade da pinça, não implicam necessariamente em redução da distância de frenagem quando o limite de aderência já foi atingido.

Já a análise das distâncias de frenagem demonstrou comportamento quadrático em relação à velocidade, conforme previsto teoricamente, além de evidenciar a forte influência do coeficiente de atrito.

Por fim, conclui-se que o dimensionamento do sistema de frenagem deve ser realizado de maneira integrada às condições de contato pneu/solo, priorizando não apenas a capacidade do sistema de freio, mas também a escolha adequada dos pneus e as condições de operação.

Referência ao fomento recebido

Fomentos recebidos pelos Edital nº 02/2026/DIREN-PROEN (apoio a projetos de ensino) e Edital nº 12/2025/PROPPI/DAE.

Referências

BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: SAE International, 1992.

LEAL, Longuinho da Costa Machado; ROSA, Edison da; NICOLAZZI, Lauro Cesar. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. Florianópolis: GRANTE, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Publicação interna. Disponível em: PDF – Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas. Acesso em: 25 maio

RAJAMANI, Rajesh. **Vehicle Dynamics and Control**. 2. ed. New York: Springer, 2012.