

Protótipo para Monitoramento da Pressão de Freio em Veículo Baja SAE

Prototype for monitoring brake pressure in Baja SAE vehicles.

João Pedro¹

orcid.org/0009-0003-9926-1875

Rogério Pontes²

orcid.org/0000-0001-9045-6762

¹Escola Escola Politécnica de Pernambuco,
Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.
E-mail: jpm@poli.br

²Escola Escola Politécnica de Pernambuco,
Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.
E-mail: rogeriopontes@poli.br

DOI: 10.25286/rep.v11i3.3924

Esta obra apresenta Licença Creative
Commons Atribuição-Não Comercial 4.0
Internacional

RESUMO

O sistema de freios é um componente crítico para a segurança e desempenho em veículos de competição *off-road* do tipo Baja SAE. Este trabalho apresenta o desenvolvimento, calibração e implementação de um protótipo de instrumentação para o monitoramento da pressão nas linhas de freio. A metodologia baseou-se na utilização de transdutores de pressão integrados a um microcontrolador ATmega328P (plataforma Arduino). O sistema foi calibrado utilizando com referência um manômetro analógico. Os resultados demonstraram um erro relativo máximo de 2,90% e uma resolução de 0,044 MPa. Em testes dinâmicos, o sistema garantiu a repetibilidade de medições e a segurança do sistema de freios, onde foi constatado que o sistema de frenagem necessita de uma pressão de pelo menos 7 MPa para o travamento das rodas. O protótipo mostrou-se eficiente e de baixo custo, contribuindo para o aumento de confiabilidade e segurança do veículo.

PALAVRAS-CHAVE: Baja SAE; Instrumentação Veicular; Transdutor de Pressão; Microcontrolado; Freios Hidráulicos;

ABSTRACT

The braking system is a critical component for safety and performance in Baja SAE off-road competition vehicles. This work presents the development, calibration, and implementation of a prototype instrumentation for monitoring brake line pressure. The methodology was based on the use of pressure transducers integrated into an ATmega328P microcontroller (Arduino platform). The system was calibrated using an analog pressure gauge as a reference. The results demonstrated a maximum relative error of 2.90% and a resolution of 0.044 MPa. In dynamic tests, the system ensured the repeatability of measurements and the safety of the braking system, where it was found that the braking system requires a pressure of at least 7 MPa for wheel lock-up. The prototype proved to be efficient and low-cost, contributing to increased vehicle reliability and safety.

KEYWORDS: Baja SAE; Vehicle Instrumentation; Pressure Transducer; Microcontroller-based; Hydraulic Brakes;

1 INTRODUÇÃO

O subsistema de freios de um veículo é um componente indispensável para o controle na condução e a segurança do piloto e terceiros.

A implementação de um recurso de monitoramento nesse subsistema contribui na identificação do surgimento de falhas durante a utilização do veículo, detectando perdas de pressão, comprometendo a segurança. Além disso, facilita a montagem do subsistema no veículo, indicando seu funcionamento correto quanto à pressão nas linhas de freio, antes de o piloto realizar testes de campo.

Este trabalho aborda o referencial teórico do sistema hidráulico utilizado nos freios, a escolha de materiais para o protótipo de monitoramento e o desenvolvimento do circuito eletrônico para a aquisição, conversão e exibição dos dados.

O protótipo adota o sensor de pressão Bosch 0281 002 930 e o microcontrolador é o Arduino UNO que, com o auxílio de displays de 7 segmentos, exibe a pressão das linhas de freio dianteira e traseira.

A calibração do sistema em testes de bancada utiliza como referência um manômetro analógico e atinge um erro relativo máximo de 2,90% para amostras de 0 a 4,14 MPa com a resolução de 0,044 MPa através do monitor serial da IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino.

1.1 SOCIEDADE DE ENGENHEIROS DA MOBILIDADE

A *Society of Automotive Engineers* (SAE) é uma organização mundial focada na mobilidade, desenvolve estudos em engenharia automobilística e está relacionada com montadoras e indústrias de automóveis. No Brasil iniciou sua atuação em 1991, em decorrência da globalização, está denominada como Sociedade de Engenheiros da Mobilidade (SAE BRASIL).

A SAE BRASIL está focada na atuação tecnológica da indústria, inovação e disseminação de conhecimento. Para isso promove eventos anualmente com os segmentos automotivo e aeroespacial, contando com mais de 4 mil associados e 800 voluntários e atuação nacional, segundo a SAE BRASIL (2025) [1].

Dentre os programas estudantis promovidos pela SAE BRASIL [2], o Baja SAE promove aos estudantes de engenharia a oportunidade de aplicar na prática a idealização, desenvolvimento de projeto, construção, apresentação e testes de um

veículo *off-road* (Figura 1) em um ambiente de competição e aprendizado com diversos graduandos do Brasil. Em competições Baja SAE, é fundamental que os estudantes priorizem a segurança e a facilidade de manutenção.

Figura 1 – Veículos Baja SAE em competição.



Fonte: SAE BRASIL. Programas estudantis. 2025 [2].

O projeto de veículos do tipo Baja SAE possui pré-requisitos e restrições estabelecidos no Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL (RATBSB) [3]. Desta forma, o protótipo aplica-se para o veículo do programa da equipe Corisco Baja SAE da Universidade de Pernambuco, que já atende os requisitos do RATBSB, sendo não limitante para utilização em veículos de outras equipes Baja SAE, com as adaptações que se fizerem necessárias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Diniz [4], o subsistema de freios de um veículo tem o objetivo de converter a energia cinética em energia térmica de forma controlada e segura com finalidade de desacelerar o veículo e promover sua parada em terrenos planos ou inclinados.

O funcionamento de freios hidráulicos, baseia-se no Princípio de Pascal [5]. Este princípio afirma que a pressão aplicada em um ponto de um fluido incompressível em repouso é transmitida integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente que o contém. Isso se traduz em um mecanismo de multiplicação de força, onde

uma força aplicada a um pistão de área menor gera uma pressão que, ao atuar em um pistão de área maior, resulta em uma força significativamente maior.

O sistema opera a partir da força aplicada pelo piloto sobre o pedal de freio, convertida em pressão por um êmbolo no cilindro mestre, onde está armazenado o fluido de freio. Este fluido preenche as tubulações rígidas e flexíveis, que têm a função de transmitir essa pressão de maneira uniforme e instantânea. Ao chegar às pinças, o fluido sob pressão aciona os pistões das pinças de freio. Por sua vez, empurram as pastilhas de freio contra os discos de freio. O atrito intenso gerado entre as pastilhas e os discos converte a energia cinética do veículo em energia térmica, dissipando calor e, consequentemente, reduzindo a velocidade até a parada completa.

Cada componente, desde o pedal até o disco, é dimensionado para garantir que a força de frenagem seja adequada, controlável e previsível, proporcionando a segurança necessária para as condições extremas da competição Baja SAE.

3 METODOLOGIA

A metodologia compreende o referencial teórico e seleção dos materiais, o dimensionamento dos componentes e a calibração do sensor. Além de se adequar às limitações impostas pelo RATBSB, também foram consideradas as linhas de freios já existentes, sem necessidade de alterações.

3.1 MATERIAIS

Para o protótipo, os componentes eletrônicos e mecânicos foram escolhidos para suportar as condições severas da competição, garantindo a robustez e a confiabilidade do sistema de monitoramento.

3.1.1 Transdutor de Pressão

O componente central para a medição é o transdutor de pressão Bosch 0281 002 930 [6], Figura 2. Este modelo foi selecionado por sua alta robustez, sendo capaz de operar em ambientes severos. Seu funcionamento baseia-se no efeito piezoresistivo, onde a pressão do fluido deforma um diafragma de silício interno. Essa deformação altera a resistência de *strain gauges* organizados em uma Ponte de Wheatstone, gerando um sinal de tensão proporcional à pressão, que é então condicionado e amplificado pelo circuito interno do sensor.

Figura 2 – Sensor de pressão 0281 002 930.



Fonte: BOSCH. *Sensors_i-business*. 2023 [5].

3.1.2 Microcontrolador

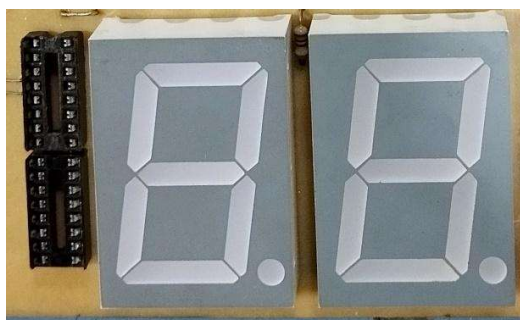
Foi utilizado o microcontrolador já existente na eletrônica embarcada da equipe Corisco Baja SAE: A plataforma do Arduino Uno, baseado no microcontrolador ATmega328P [7]. Este microcontrolador de 8-bits, programado em linguagem baseada em C/C++, é responsável por ler o sinal analógico do sensor, processá-lo e controlar a exibição dos dados.

Para aumentar a precisão da leitura, foi utilizado o Conversor Analógico-Digital (ADC) interno de 10 bits com a referência de tensão interna de 1.1 V, tornando o sistema mais sensível a pequenas variações de tensão. Considerando que a pressão obtida pelo sistema não irá ultrapassar esse nível de tensão, isto será abordado melhor no tópico 3.3.

3.1.3 Display e Registradores de Deslocamento

Para a visualização dos dados, optou-se por dois Displays de 07 (sete) segmentos, vistos na Figura 3, devido à sua alta luminosidade e robustez em relação ao Display LCD.

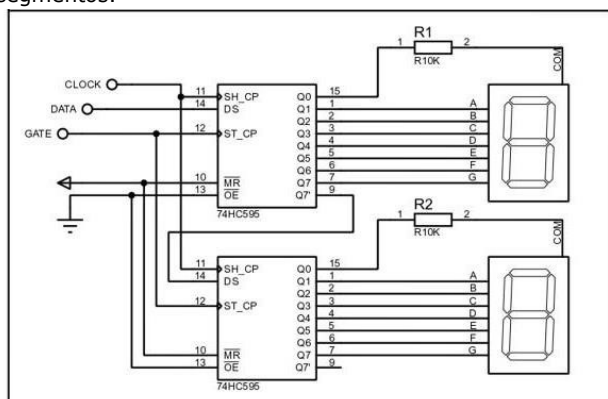
Figura 3 – Displays de 07 (sete) segmentos.



Fonte: Autor.

Para realizar a comunicação sem utilizar muitas portas do microcontrolador, foram dispostos registradores de deslocamento (CI 74HC595). Este componente do tipo SIPO (*Serial-In, Parallel-Out*) [8] recebe os dados de forma sequencial do microcontrolador e os transfere de uma só vez para suas saídas paralelas, acionando os segmentos corretos do Display, segundo o esquemático da Figura 4 abaixo:

Figura 4 – Esquemático: CI 74HC595 e Displays 7 segmentos.



Fonte: Autor.

3.1.4 Bateria e Conexões

A alimentação do circuito é fornecida por uma bateria selada de 12 V, permitida pelo RATBSB. Um circuito regulador de tensão (CI LM7805) estabiliza a tensão para 5 V, alimentando de forma segura o os sensores, pois possuem uma faixa de alimentação de tensão de $5 \pm 0,25$ V, podendo queimar devido a polarização inversa ou oscilações bruscas de tensão.

Para garantir a robustez das conexões, foram utilizados conectores do tipo automotivos selados e os cabos foram trançados para aumentar a resistência mecânica.

3.2 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento do sistema, adotou-se como referência a pressão de 10 MPa, valor comum em freios automotivos [5].

Com base na curva característica do sensor [6], identificaram-se os parâmetros para a equação linear (Equação 1):

- Sensibilidade (**a**) de 20 mV/MPa; e
- Offset (**b**) de 500 mV.

$$y = ax + b \quad (1)$$

$$y = 20x + 500 \quad (2)$$

A Equação 2 apresenta a equação linear teórica do sensor [9], **y** representa a tensão de saída em mV (milivolts) e **x** a pressão de entrada em MPa (megapascal).

Considerando que a tensão de saída para 10 MPa é de 700 mV, optou-se pela utilização da referência de tensão interna de 1,1 V do Arduino. Essa configuração permitiu maximizar a resolução do conversor AD, possibilitando uma leitura teórica com variação mínima de 0,0535 MPa.

3.2.1 Calibração do sensor

A calibração foi realizada em uma bancada com uma linha de freio, o sensor a ser calibrado e um manômetro analógico, utilizado como padrão. A linha foi pressurizada com pressões de 1,38 a 4,14 MPa (0 a 600 PSI), e os valores de tensão correspondentes na saída do sensor foram registrados.

Para cada valor de pressão, foram realizadas cerca de 40 medições. As leituras de tensão que fugiram da margem de sua média mais duas vezes o desvio padrão foram descartadas para garantir maior confiabilidade aos dados. Em seguida, para calcular os Valores Verdadeiros Convencionais (VVC) de tensão de saída em cada nível de pressão, aplicou-se a distribuição *t-Student*, uma vez que as amostras eram em quantidades menores que 30 [9], visto na Tabela 1 abaixo:

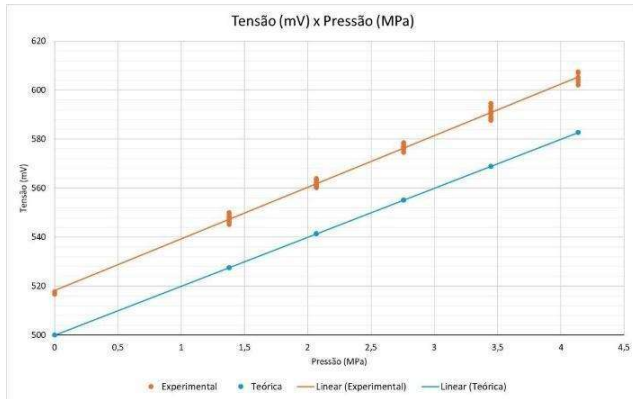
Tabela 1 – Tratamento estatístico das amostras.

PSI	Distribuição t-Student, n<30 amostras			
	Tensão mV			
	DESVIO	MÉDIA	Desvio 95%	
Manômetro	PARDÃO	populacional	Confiabilidade	
0	517,38	0,62	517,38	$\pm 1,14$
200	547,28	1,39	547,28	$\pm 7,18$
300	562,06	1,33	562,06	$\pm 0,77$
400	576,65	1,19	576,65	$\pm 0,68$
500	590,83	2,32	590,83	$\pm 1,12$
600	604,84	1,94	604,84	$\pm 1,79$

Fonte: Autor.

O Gráfico 1 apresenta em azul a curva teórica do sensor, fornecida através do catálogo [6], e em laranja a curva após a calibração no experimento de bancada.

Gráfico 1 – Curvas características.



Fonte: Autor.

Após tratamento estatístico dos dados, as constantes da curva característica do sensor foram ajustadas para uma sensibilidade de 21,06 mV/MPa e um *offset* de 517,38 mV, resultando em uma equação de conversão linear prática, vista na curva laranja do Gráfico 1 e na Equação 3:

$$y = 21,06 * x + 517,38 \quad (3)$$

Essa correção visou eliminar erros inerentes ao sistema. Para o código no microcontrolador, foi descrita a equação de conversão linear com coeficiente angular de 0,047 MPa/mV e coeficiente linear de 24,57 MPa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IMPLEMENTAÇÃO

O sensor foi acoplado a cada linha de freio por meio de uma cruzeta, visto com ênfase na Figura 5, mantendo-o na posição vertical para evitar falhas de medição [5].

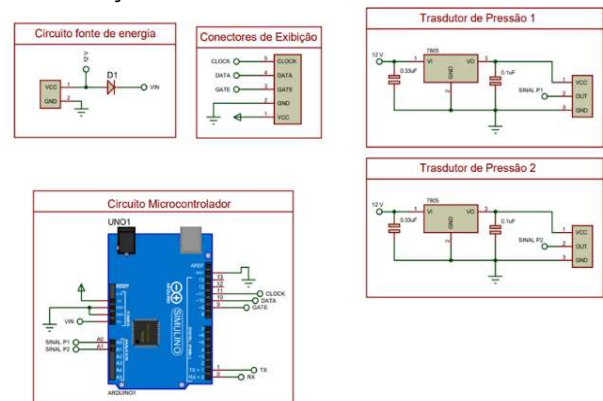
Figura 5 – Sensor instalado na linha de freio rígida.



Fonte: Autor.

Os circuitos para a exibição e aquisição de dados (Figura 6) foram confeccionados em placas de circuito impresso separadas, com o objetivo de facilitar a substituição rápida em caso de falha de componentes.

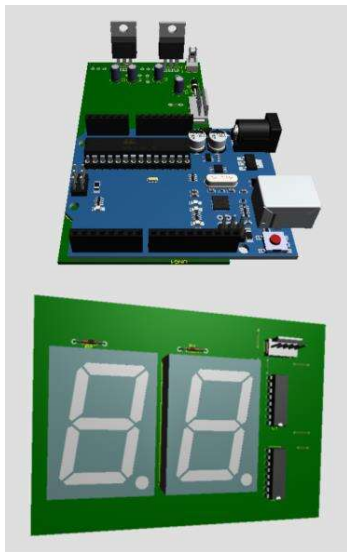
Figura 6 – Esquemático: circuito de aquisição de dados e alimentação.



Fonte: Autor.

Conforme ilustrado na Figura 7, o sistema é composto por uma placa para suportar Arduino e estabilizadores de tensão, e outra para os CI's registradores de deslocamento e aos dois Displays de 07 (sete) segmentos.

Figura 7 – Placas PCB de aquisição e exibição de dados.



Fonte: Autor.

O código programado na IDE do Arduino contém a declaração de variáveis e a equação de conversão para o sensor de pressão da dianteira (Pd) e traseira (Pt), conforme a Figura 8:

Figura 8 – Código principal.

```
1 float Pt, Pd; // Variável Pressão dianteira (Pd), traseira (Pt).
2 int data = 9, clock = 10, GatePin = 11; // Pinos da Exibição
3
4 void setup() {
5   analogReference(INTERNAL); // Usa referência interna de 1.1V
6 }
7
8 void loop() {
9   Pt = (analogRead(A1)*1100.0/1023.0)*0.047 - 24.27;
10  Pd = (analogRead(A0)*1100.0/1023.0)*0.047 - 24.27;
11
12  if (Pd <= 0){
13    Pd = 0;
14  }
15  if (Pt <= 0){
16    Pt = 0;
17  }
18  int D = Pd;
19  int T = Pt;
20  int P = 10*D+T;
21  EXIBIR(P);
22 }
```

Fonte: Autor.

A função "analogRead" realiza a leitura da tensão das portas de entrada analógica A0 e A1, convertendo o valor de tensão proporcional em binário, com 1024 valores possíveis. Para calcular a tensão, visto na Figura 8, dentro dos parênteses foi utilizado o fator 1.100,0 mV (tensão de referência interna) dividido por 1.023,0 (valor máximo binário, considerando que a contagem começa em 0).

Em seguida, ainda na Figura 8, foi utilizado o coeficiente 0,047 mV/MPa e o *offset* de 24,27 MPa, calculados na calibração do sensor no tópico 3.3.1.

Para exibição da pressão, foi criada a função "EXIBIR", Figura 9, que realiza a transmissão serial

dos bits na sequência correspondente para exibir um algarismo no display, baseado no circuito esquemático.

Figura 9 – Código para transmissão serial para o CI 74HC595.

```
1 void EXIBIR(int P){
2
3   int decimal1=0, decimal2=0;
4
5   decimal2 = dec(P%10);
6   P = P/10;
7   decimal1 = dec(P);
8
9   digitalWrite(GatePin, LOW);
10  deslocar(decimal2);
11  deslocar(decimal1);
12  digitalWrite(GatePin, HIGH);
13 }
14
15 int dec(int algarismo){
16   int d;
17   switch(algarismo) //C a b c d e f g h
18   {
19     case 0 : d = 126;break; //0111 1110
20     case 1 : d = 48;break; //0011 0000
21     case 2 : d = 109;break; //0110 1101
22     case 3 : d = 121;break; //0111 1001
23     case 4 : d = 51;break; //0011 0011
24     case 5 : d = 91;break; //0101 1011
25     case 6 : d = 95;break; //0101 1111
26     case 7 : d = 112;break; //0111 0000
27     case 8 : d = 127;break; //0111 1111
28     case 9 : d = 123;break; //0111 1011
29   }
30   return d;
31 }
32
33 void deslocar(int decimal){
34   int i;
35   boolean VALOR;
36
37   for(i=0; i<8; i++){
38     {
39       digitalWrite(data, LOW);
40       digitalWrite(clock, LOW);
41       if( decimal && (1<<i)){
42         VALOR = HIGH;
43       }
44       else{
45         VALOR = LOW;
46       }
47       digitalWrite(data, VALOR);
48       digitalWrite(clock, HIGH);
49     }
50     digitalWrite(data, LOW);
51   }
```

Fonte: Autor.

Essa função, Figura 9, permite exibir a pressão na linha de freio dianteira e traseira, respectivamente, nos displays da esquerda e direita da placa de exibição com um dígito.

Para instalar o protótipo no veículo, fez-se um painel em impressão 3D para fixar por trás do volante, Figura 10:

Figura 10 – Painel em impressão 3D.

Protótipo para Monitoramento da Pressão de Freio em Veículos Baja SAE



Fonte: Autor.

4.2 IMPACTOS

Em testes de campo, o sistema validou na prática a expectativa de cálculo teórico da equipe de 7 MPa de pressão por linha independente do sistema de frenagem. Ao atingir esse nível de pressão, as quatro rodas do veículo travavam simultaneamente em testes de aceleração e frenagem.

Os resultados de erros relativos nos testes de bancada com o manômetro analógico foram inferiores a 2,95%, conforme a Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Erro relativo do sensor em testes de bancada.

Pressão aferida no Manômetro (MPa)	Pressão lida pelo sensor (MPa)	Erro relativo (%)
0,00	0,00	0,00 %
1,38	1,42	-2,90 %
2,07	2,12	- 2,42 %
2,76	2,81	- 1,81 %
3,45	3,49	- 1,16 %
4,14	4,15	- 0,24 %

Fonte: Autor.

A configuração do microcontrolador permitiu uma precisão de medição de 0,05 MPa e a capacidade de medir até 27,13 MPa.

Desta forma, o projeto atingiu seu objetivo principal de criar uma solução para aferir as pressões independentes nas linhas de freio, otimizando os processos de montagem e manutenção da equipe.

4.3 CUSTOS

Embora existam soluções comerciais para medição de pressão hidráulica, como manômetros digitais industriais e kits de instrumentação para *motorsport*, estes equipamentos não seriam tão práticos para utilização. Uma pesquisa de mercado realizada junto a fornecedores de instrumentação [10] [11] indica que dispositivos digitais possuem custos aproximados de R\$ 2.000,00.

Em relação ao sensor, optou-se pelo transdutor comercial Bosch pela fácil disponibilidade no mercado, além de possuir custo menor comparado a transdutores industriais, geralmente vendidos em grandes quantidades.

Os componentes eletrônicos utilizados são itens comerciais, de fácil acesso. O microcontrolador Arduino, disponível no mercado para diversas aplicações de prototipação, já era utilizado pela equipe Corisco Baja SAE. As placas de circuito foram manufaturadas de forma artesanal, por meio de transferência e corrosão com perclorato de ferro.

Os custos de todos os componentes seguem descritos abaixo na Tabela 3, considerando os subtotais dos itens.

Tabela 3 – Custo dos componentes.

Item	Subtotal
Capacitores, Diodos e Resistores	R\$ 3,02
Conectores tipo KK e Automotivos	R\$ 77,90
Arduino UNO	R\$ 41,68
Displays de 7 segmentos	R\$ 48,80
CI's 74HC595 e LM7805	R\$ 10,60
Placas de cobre e Perclorato de Ferro	R\$ 26,14
Sensores de Pressão	R\$ 499,80
Total:	R\$ 707,94

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho detalhou o desenvolvimento, a implementação e a validação de um sistema de monitoramento de pressão para o sistema de freios de um veículo Baja SAE. Conclui-se que o protótipo foi bem-sucedido em sua função prática. Desde o levantamento do referencial teórico sobre sistemas hidráulicos, seleção do transdutor de pressão e sua calibração em bancada.

A principal contribuição deste projeto é o aumento da confiabilidade e da segurança operacional do veículo. Ao permitir a visualização da pressão hidráulica, o sistema torna-se uma ferramenta para a manutenção preditiva, facilitando a identificação de falhas críticas, como vazamentos

ou a presença de ar nas linhas. Dessa forma, há uma validação do sistema de frenagem antes de testes dinâmicos do veículo, mitigando riscos de acidentes.

Outra contribuição é a apresentação de uma metodologia replicável que permite a equipes de competição estudantil integrar uma eletrônica embarcada com recursos acessíveis, utilizando-se da plataforma do microcontrolador Arduíno na aquisição de dados e displays de 07 (sete) segmentos para exibição.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se ao sistema duas formas para registrar os dados com maior precisão em casas decimais, comparados ao único dígito mostrado no painel de exibição para cada linha de freio:

- Telemetria: Integrar um módulo de comunicação sem fio (como *LoRa* ou *Wi-Fi*) para transmitir os dados de pressão, permitindo o acompanhamento em tempo real pela equipe; e
- Registro de Dados (*Datalogging*): Adicionar um módulo de cartão SD para armazenar um histórico das leituras de pressão, possibilitando uma análise do comportamento do sistema de freios após testes em diferentes condições de pista.

REFERÊNCIAS

- [1] SAE BRASIL. **Conheça a SAE BRASIL**. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 4 out. 2025.
- [2] SAE BRASIL. **Programas Estudantis**. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/>. Acesso em: 4 out. 2025.
- [3] SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL**: Emenda 7. São Paulo: SAE BRASIL, 2025. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil-2/regras-e-templates/>. Acesso em: 4 out. 2025.
- [4] DINIZ, João S. **Dimensionamento de um Sistema de Freio para um Veículo Off Road Tipo Baja SAE**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/26267>. Acesso em 20 out. 2025.
- [5] FOX, Robert W.; McDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.; LEYLEGIAN, John C. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- [6] BOSCH. **Sensores para aplicações industriais e off-highway**. Disponível em: <https://www.bosch-ibusiness.com/pt/produtos/categorias-de-produtos/sensores/>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- [7] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **ATmega328/P - 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash**: [Datasheet]. Chandler, AZ, 2018. Disponível em: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf. Acesso em: 1 out. 2025.
- [8] TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.; MOSS, Gregory L. **Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações**. 12. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.
- [9] MORRIS, Alan S.; LANGARI, Reza. **Measurement and instrumentation: Theory and application**. 3 ed. Londres: Academic Press, 2021.
- [10] INSTRUTHERM. **Manômetro Digital**. Disponível em: https://www.instrutherm.com.br/manometro-digital-mpd-110?utm_medium=CampaignTestMedium&utm_source=CampaignTestSource&srsId=AfmB0op78Q9FYztgeHNrKSL4XM20xU3UN_j1szzSpGkoA-f3Or15CBHDQig. Acesso em: 1 out. 2025.
- [11] QUICKCAR. **Brake Bias Digital Gauge**. Disponível em: <https://www.quickcar.com/brake-bias-digital-gauge-w-senders-67-101/>. Acesso em: 1 out. 2025.