

# ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

**Alunos:** Jonathan Rosa P. da Silva; Leonardo M. Zanatta; Levi C. De Souza; Lucas G. V. Machado; Lucca R. Valadares; Luiz Felipe S. Bianchim; Marcelo P. dos Santos

**Orientador:** Jairo de Lima Souza – jairosouza@fei.edu.br

**Coorientador:** Cleber Willian Gomes – cwgomes@fei.edu.br



**PBS - Precision Brake System:** Sistema de aprimoramento para assistência de frenagem

## RESUMO

No Brasil, presenciamos um crescimento constante da quantidade de veículos nas ruas, exigindo, conseqüentemente, o aprimoramento dos sistemas de frenagem para elevar a segurança no trânsito. Apesar da implementação de tecnologias autônomas, como a frenagem automática, que contribuem para a redução de acidentes, ainda persistem falhas em 50% dos casos. Diante desse cenário, o projeto P.B.S. surge como uma solução para aumentar a segurança nas vias.

O grande diferencial do P.B.S. reside na sua capacidade de prever com precisão a distância segura de frenagem. Através de cálculos complexos e do monitoramento constante do atrito entre a pastilha e o disco de freio, o sistema realiza ajustes na distância de frenagem em tempo real, levando em consideração variáveis como temperatura, desgaste da pastilha e condições do piso.

Essa tecnologia inteligente do P.B.S. combate dois dos principais fatores que contribuem para os acidentes: a falha humana e as falhas mecânicas. Ao prever e se adaptar às variáveis da frenagem, o sistema garante que o veículo pare no local preciso e no momento adequado, mesmo em situações adversas.

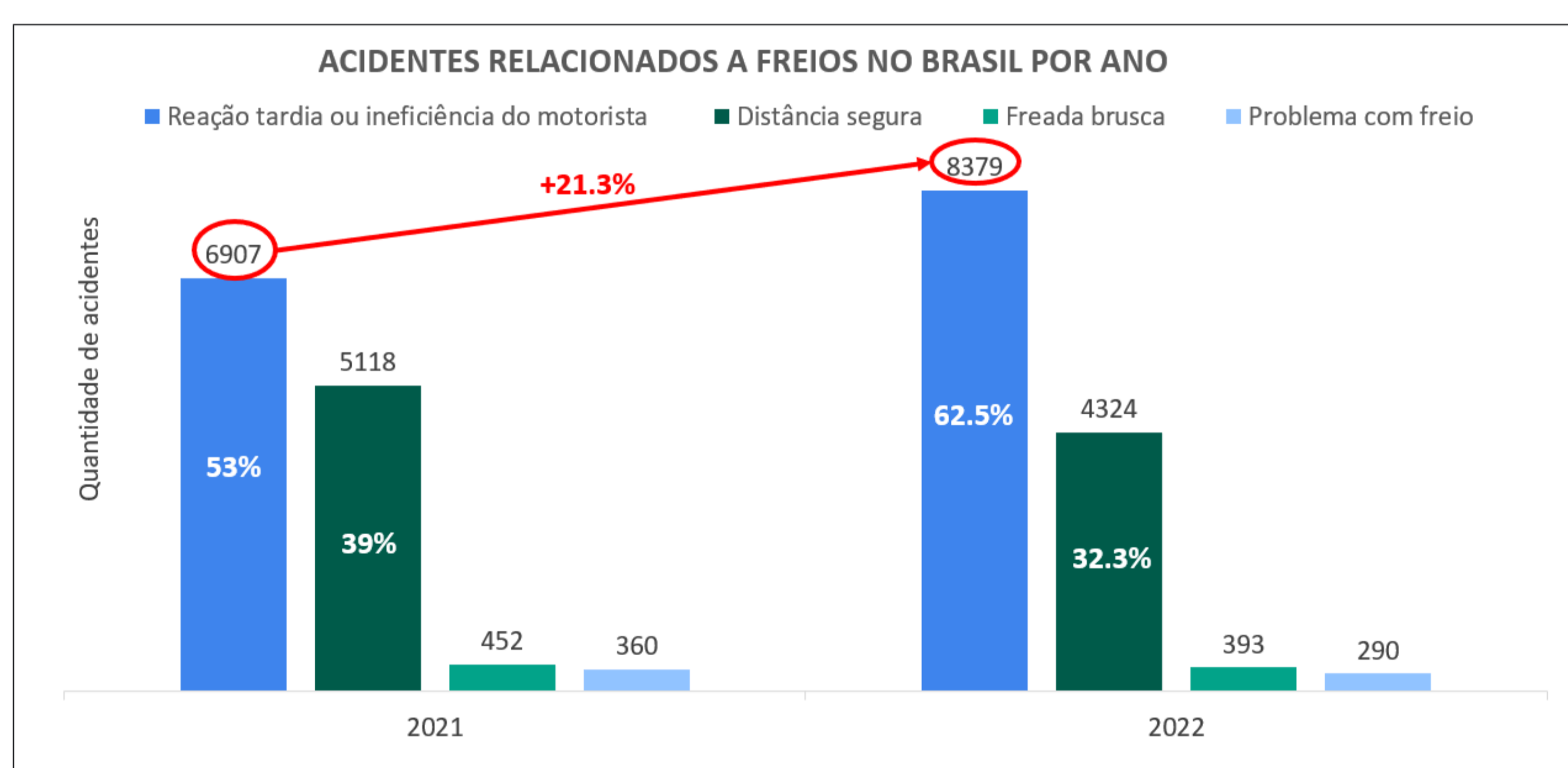
O impacto do P.B.S. na segurança viária tem potencial para ser significativo. Espera-se uma redução considerável no número de acidentes, vidas perdidas e traumas, além de um trânsito mais fluido e seguro para todos os usuários.

## CONTEXTUALIZAÇÃO

No ano de 2023 no Brasil tivemos um aumento de 12% de emplacamentos de veículos em comparação com o ano de 2022, após 4 anos o Brasil voltou a vender 4 milhões de automóveis segundo a FENABRAVE, sendo que os carros representam 50% dos veículos vendidos.

Analisando as principais causas de acidentes, podemos destacar 3 delas: Falta de atenção, velocidade incompatível e não guardar a distância de segurança. Totalizando mais de 270.000 mortes no Brasil de 2015 a 2023 segundo o Senatran.

Indo mais a fundo nesses dados podemos ver uma tendência de aumento de acidentes relacionados a freios no Brasil no período de 2021 a 2022.

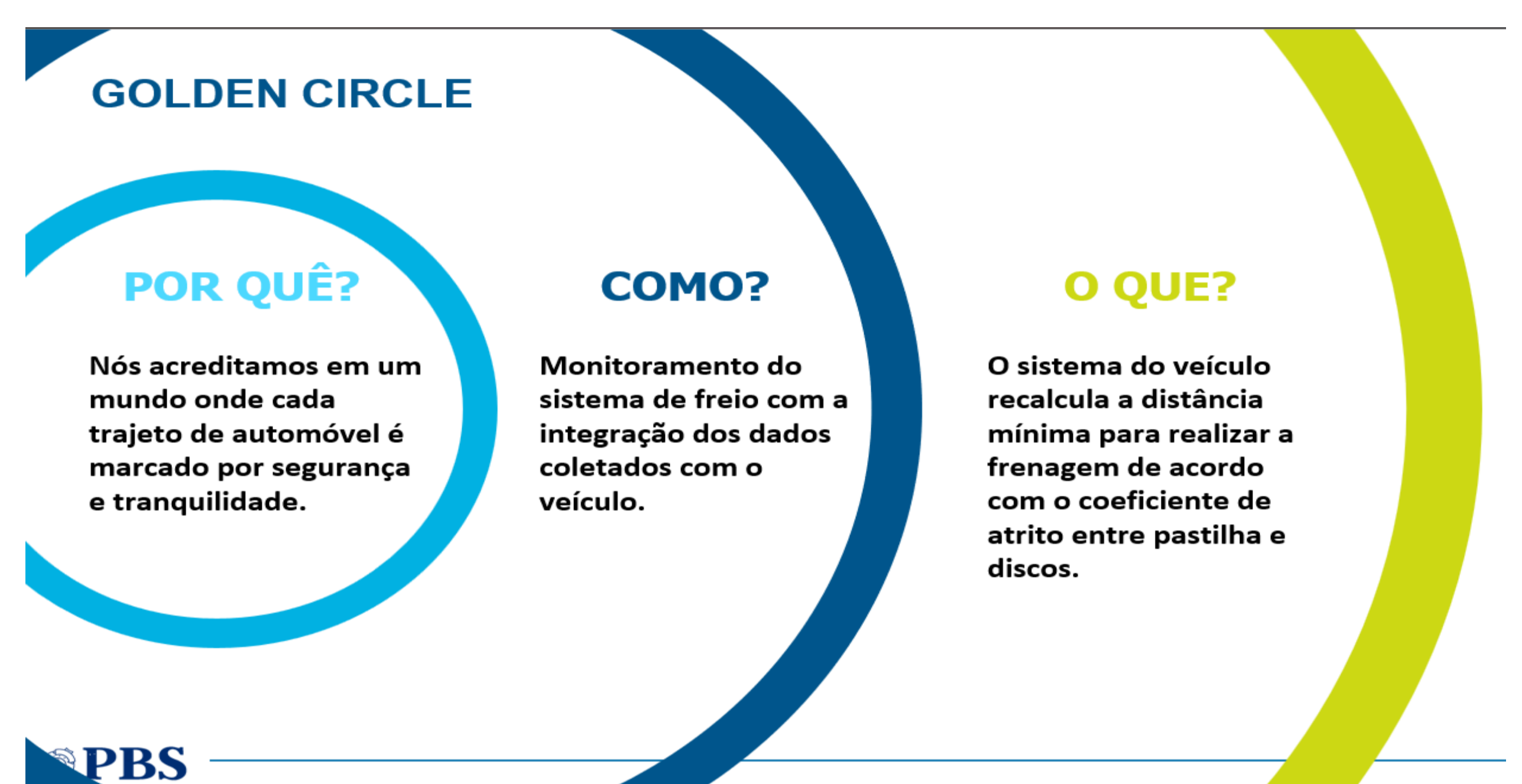


Demonstrando que ainda há margem para melhora no funcionamento do sistema de freios.

## PROBLEMA E PROPÓSITO

A partir de todas as informações apresentadas, o problema levantado pelo projeto PBS, visa solucionar a queda do desempenho de frenagem devido a mudança do coeficiente de atrito entre pastilha e disco no sistema de freio, ocasionando uma maior distância de frenagem. Sendo o propósito o desenvolvimento de um sistema integrado de frenagem assistida que adapte continuamente a resposta da condição do coeficiente de atrito, garantindo distância segura.

## GOLDEN CIRCLE



## REQUISITOS

Garantir a distância que evite a colisão (m), de acordo com a velocidade do veículo (km/h) mesmo com a redução da capacidade de frenagem devido a variação do coeficiente de atrito entre pastilha e freio.

## TARGET



**TARGET: REDUZIR A DISTÂNCIA DE FRENAGEM TOTAL EM 2 METROS**

## NORMAS E LEGISLAÇÃO



ABNT NBR 15288: Estabelece os requisitos para o desempenho de sistemas de freios em veículos automotores, incluindo testes de frenagem.

ABNT NBR 6143: Estabelece um procedimento de ensaio utilizando um bancada de ensaio Krauss para avaliar o desempenho dos materiais das pastilhas de freio a disco em termos de fricção e desgaste.



ISO 26262: Estabelece diretrizes e requisitos para a segurança funcional de sistemas elétricos e eletrônicos em veículos automotores (especialmente em veículos autônomos)



SAE J3016: É uma especificação que define os níveis de automação de veículos, que ajudam a distinguir o grau de envolvimento do motorista e das tecnologias de automação em um veículo.

# ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

**Alunos:** Jonathan Rosa P. da Silva; Leonardo M. Zanatta; Levi C. De Souza; Lucas G. V. Machado; Lucca R. Valadares; Luiz Felipe S. Bianchim; Marcelo P. dos Santos

**Orientador:** Jairo de Lima Souza – jairosouza@fei.edu.br

**Coorientador:** Cleber Willian Gomes – cwgomes@fei.edu.br



## PBS - Precision Brake System: Sistema de aprimoramento para assistência de frenagem

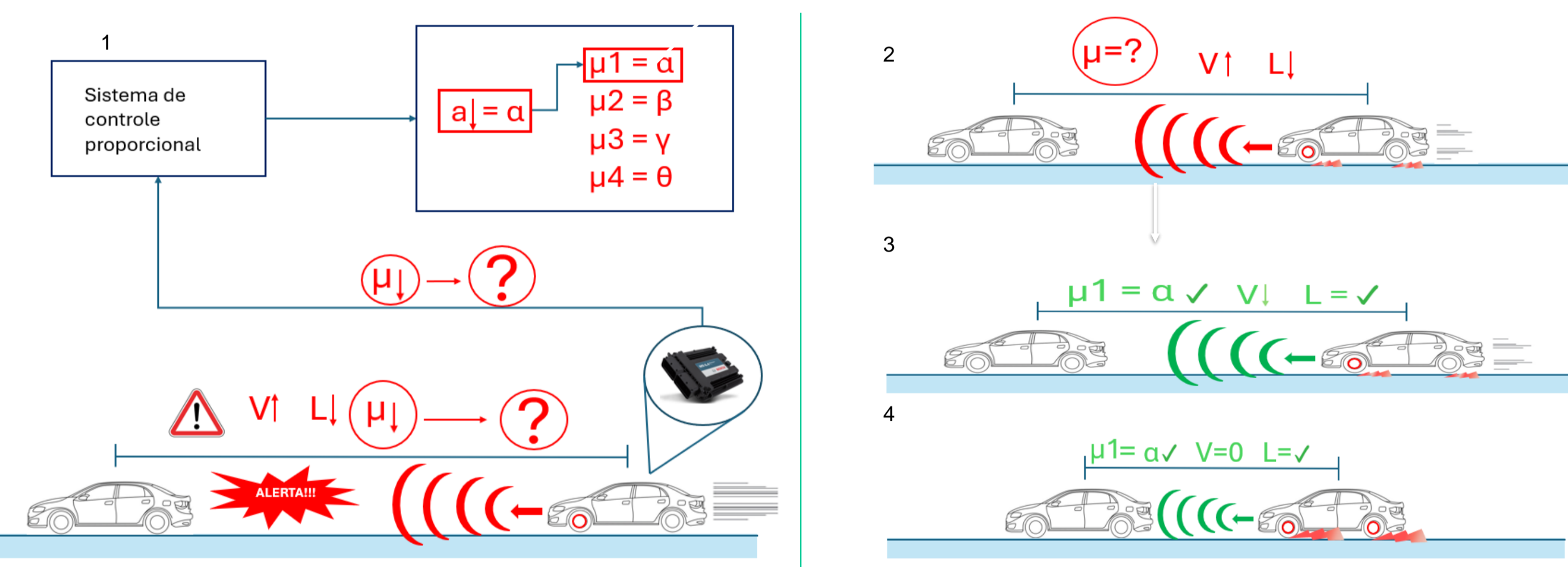
### BENCHMARKING

<p><b>Sistema ASR (Anti Slip Regulation) aplicação conjunta com ABS e AEB</b></p> <p><b>Vantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Montagem</li> <li>Facilidade de uso</li> <li>Packaging</li> <li>Facilidade de implementação</li> </ul> <p><b>Desvantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo</li> <li>Desenvolvimento</li> </ul>	<p><b>Sistema de controle de distância por realimentação das condições de coeficiente da pastilha e freio (SCADB)</b></p> <p><b>Vantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Montagem</li> <li>Facilidade de uso</li> <li>Packaging</li> <li>Facilidade de implementação</li> </ul> <p><b>Desvantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo</li> <li>Desenvolvimento</li> </ul>	<p><b>Frenagem Automática de Emergência com Desvio (AEB-S)</b></p> <p><b>Vantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Montagem</li> <li>Facilidade de uso</li> <li>Packaging</li> <li>Facilidade de implementação</li> </ul> <p><b>Desvantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Custo</li> <li>Desenvolvimento</li> </ul>
---	---	--

### MATRIZ DE DECISÃO

Critérios	Peso	Sistemas compatíveis			
		Referência: Sistema de alerta ao motorista para aumentar a distância do veículo a frente	Sistema de controle de distância por realimentação das condições de atrito da pastilha e freio	Sistemas de frenagem Automática de Emergência com Desvio (AEB-S)	Sistema ASR (Anti Slip Regulation) aplicação conjunta com ABS e AEB
Distância de frenagem	6	2	4	3	3
Adaptabilidade do Sistema	4	2	2	1	2
Custos	5	2	2	1	1
Nº de Componentes	1	2	2	2	2
Espaço ocupado	3	2	2	2	2
Quant. de Variáveis	2	2	4	4	3
<b>SOMA PRODUTO:</b>		<b>42</b>	<b>58</b>	<b>43</b>	<b>45</b>

### STORYBOARD



### FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

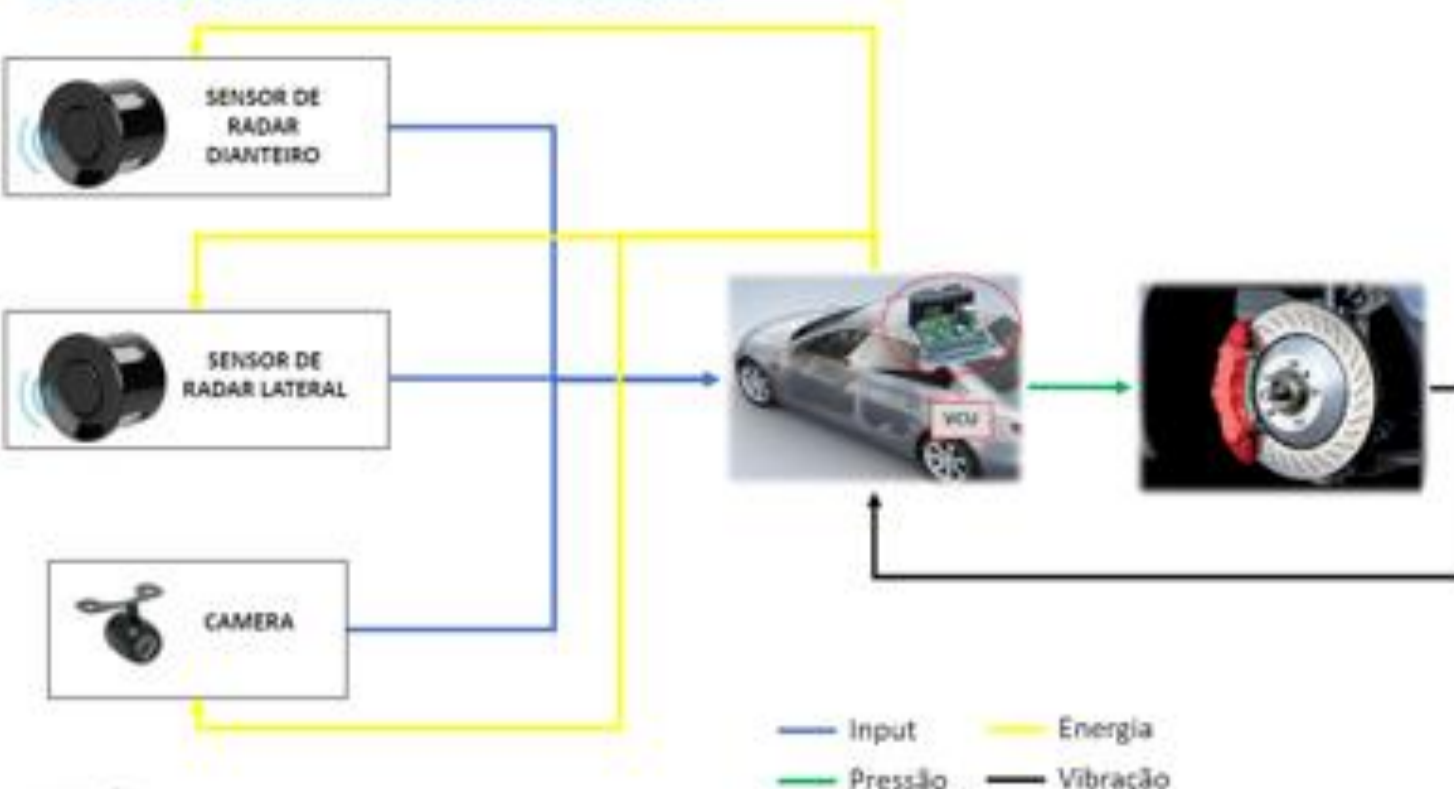
Componente	Sensor de radar frontal	Camera Multifunção	Sensor de radar Lateral	Unidade de controle	Sensor de Pressão	Atuador de freio
Medidas (mm)	70x20	30x25	150 x 100 x 30	150 x 100 x 50	3/8" x 8	25x20
Massa [g]	150	250	200	3000	80	50
Processo de fabricação	Impressão em circuito impresso + injetado em plástico	Impressão em circuito impresso + injetado em plástico	Impressão em circuito impresso + injetado em plástico	Impressão em circuito impresso + injetado em plástico	Injetado em plástico + Alu	Fundido
Fornecedor	Bosch	Bosch	Bosch	Continental / Bosch	FuelTech	Bosch

#### ANÁLISE DE VALOR

COMPONENTE	FUNÇÃO	P / S	R / I / No	U / E
Sensor de Radar Frontal	Deteção de obstáculos na dianteira	S	R	U
Camera Multifunção	Captção de imagens	S	R	U
Sensor de Radar Lateral	Deteção de objetos laterais	S	R	U
Unidade de Controle	Processamento de dados	S	R	U
Atuador de Freio	Controlar frenagem	S	R	U

Legenda:  
 P/S Função primária/secundária  
 R/I/ND Função relevante/função não desenvolvida  
 U/E Função de uso/verificada

#### DIAGRAMA DE FRONTEIRAS



### DFMEA

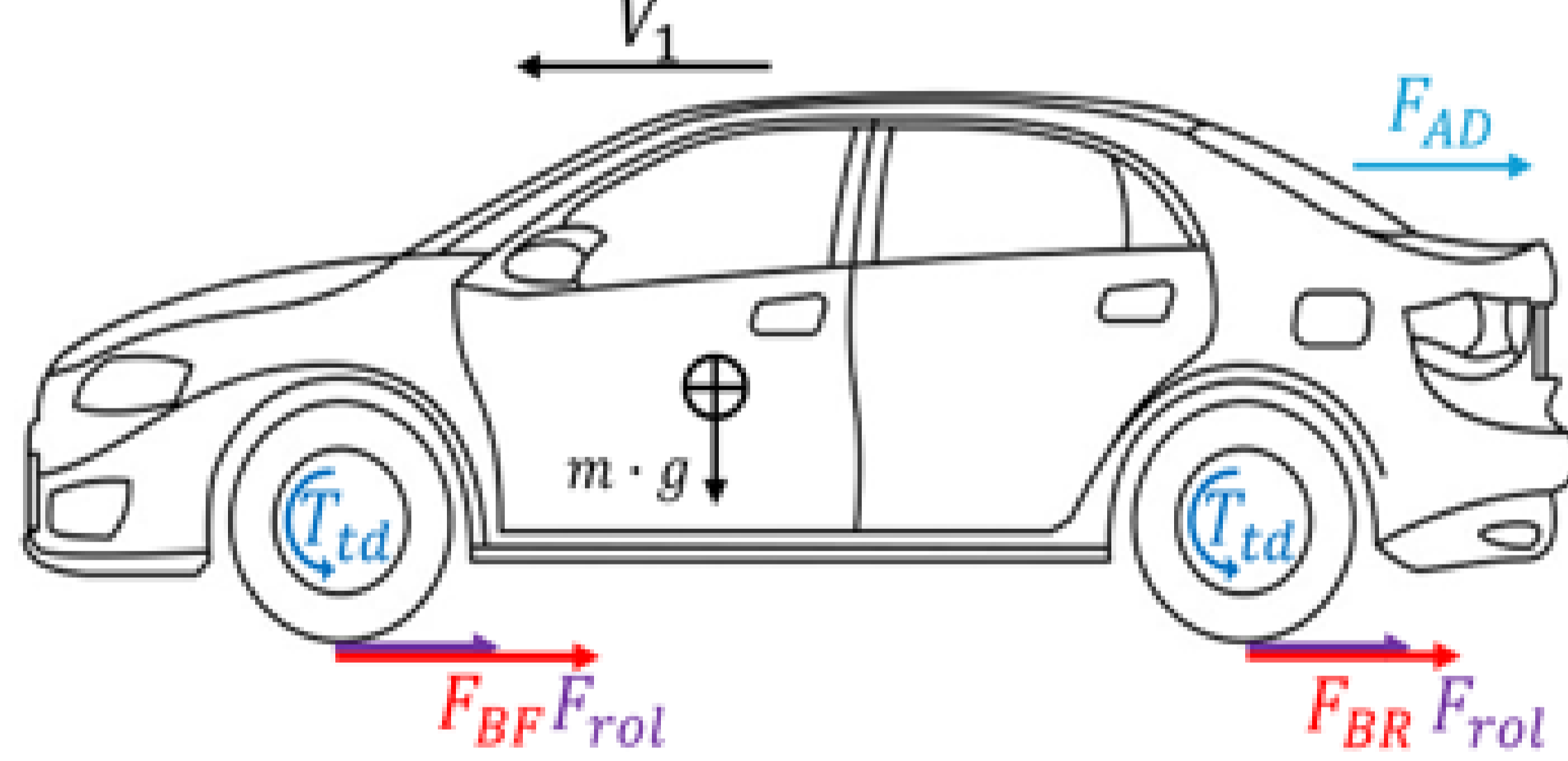
Item	Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Current Design Controls	Potential Cause(s) of Failure	Current Design Controls Prevention	Occurr.	Current Design Controls Detection	Detect.	RPN	Recommended Action(s)
Sensor de Radar Frontal	Medir a distância de um objeto na frente do veículo	Distância do veículo (m), tempo de recebimento da mensagem (s)	Falha nos componentes eletrônicos do sensor	Falha na leitura da mensagem de "output" do sensor	7	3	Falha de hardware	Redundância de sensor, manutenção e calibração preventiva por Km, desligamento do sistema dependente do sensor de radar e notificação ao motorista	5	Comparação de valores com outro sensor de redundância, caso a diferença seja grande o sensor está com defeito.	4	140	-Prevenivas por Km. -Materiais de boa qualidade -Testes extensivos de hardware e Software -Calibração regular -Sistemas redundancia ou backups
			Ruído inapropriado no sensor	Variações de ruído inadequado do sinal de eco recebido	7	5	Sinal de reflexão declina em direção ao aumento da distância	Falha de procedimentos para calibração do radar	5	4	140		
			Falha na calibração do radar	Medição imprecisa da distância da frenagem	8	4	Falha de procedimentos para calibração do radar	5	4	160			
Câmera Multifunção	Detectar objetos e obstáculos no entorno do veículo	Captura imagens e vídeos para assistência ao motorista e sistemas de visão computacional	Obstrução ou mau funcionamento da lente.	Deteção imprecisa ou ausência de objetos.	5	3	Dano físico à lente, falha eletrônica.	Verificações de manutenção regulares, proteção para a lente.	4	Verificações automáticas, alertas de erro.	4	80	Inspeção e limpeza da lente regularmente, substituição de componentes danificados
Sensor de Radar Lateral	Detectar objetos e veículos nos pontos cegos do veículo.	Detecta objetos em movimento ao redor do veículo na direção lateral.	Desalinhamento ou erro de calibração do sensor.	Falha em detectar veículos próximos.	5	3	Interferência ambiental, dano ao sensor.	Verificações regulares de calibração, proteção contra interferência eletromagnética.	3	Autocalibração automática, redundância nos sistemas de sensores.	4	60	Calibração e teste regulares, instalação de redundância do sensor.
Unidade de Controle	Processar e interpretar dados de vários sensores do veículo.	Processa dados dos sensores e envia comandos aos atuadores do veículo.	Mau funcionamento do software ou erro de processamento.	Interpretação incorreta dos dados do sensor, levando a ações incorretas do veículo.	6	5	Bugs de software, overflow de memória.	Testes robustos de software, algoritmos à prova de falhas.	5	Verificações automáticas de erros, unidades de processamento redundantes.	4	120	Atualizações contínuas de software e testes, implementação de redundância.
Atuador de Freio	Controlar o sistema de freios com base nas entradas da unidade de controle.	Converte sinais em ações mecânicas para controlar o sistema de freio do veículo.	Falha mecânica ou perda de pressão hidráulica.	Falha no sistema de freios, incapacidade de parar o veículo.	7	4	Desgaste e rasgo, vazamento de fluido hidráulico.	Manutenção regular, monitoramento da pressão do sistema hidráulico.	6	Sistemas de freio redundantes, assistência de freio de emergência.	4	168	Inspeção e manutenção regulares, substituição imediata de componentes desgastados.

### DADOS DO VEICULO

- Massa do veículo: 2140 kg
- Pneu do carro: R18
- Velocidade inicial: 100 km/h
- Coeficiente de arrasto: 0,38
- Diâmetro do disco dianteiro: 345 mm
- Diâmetro do disco traseiro: 320 mm
- Número de êmbolos dianteiros: 2
- Número de êmbolos traseiros: 2
- Área frontal: 2,95 m²
- Pressão na linha (PLD): 6,03 MPa
- Pressão na linha (estágio intermediário): 0,3\*PLD
- Pressão pneus dianteiros: 35 psi
- Pressão pneus traseiros: 35 psi
- Tempo de reação: 0,01 s
- Tempo de resposta dos sistema: 0,05 s
- Tempo de aumento de desaceleração: 0,15 s

### METODO MATEMATICO

A partir do diagrama de corpo livre de um carro, foi deduzida a relação entre as forças que agem no veículo em função do atrito entre discos e pastilhas, nos retornando o coeficiente de atrito do veículo.



FONTE: Autores

$$\mu = 2 \frac{(m a - F_{Ad} - F_{Rol} - m g \cos \theta)}{P_{lbd} \pi \theta_{ed} n_{ed} R_{Dd} R_{Pt} + P_{lbt} \pi \theta_{et} n_{et} R_{Dt} R_{Pd}}$$

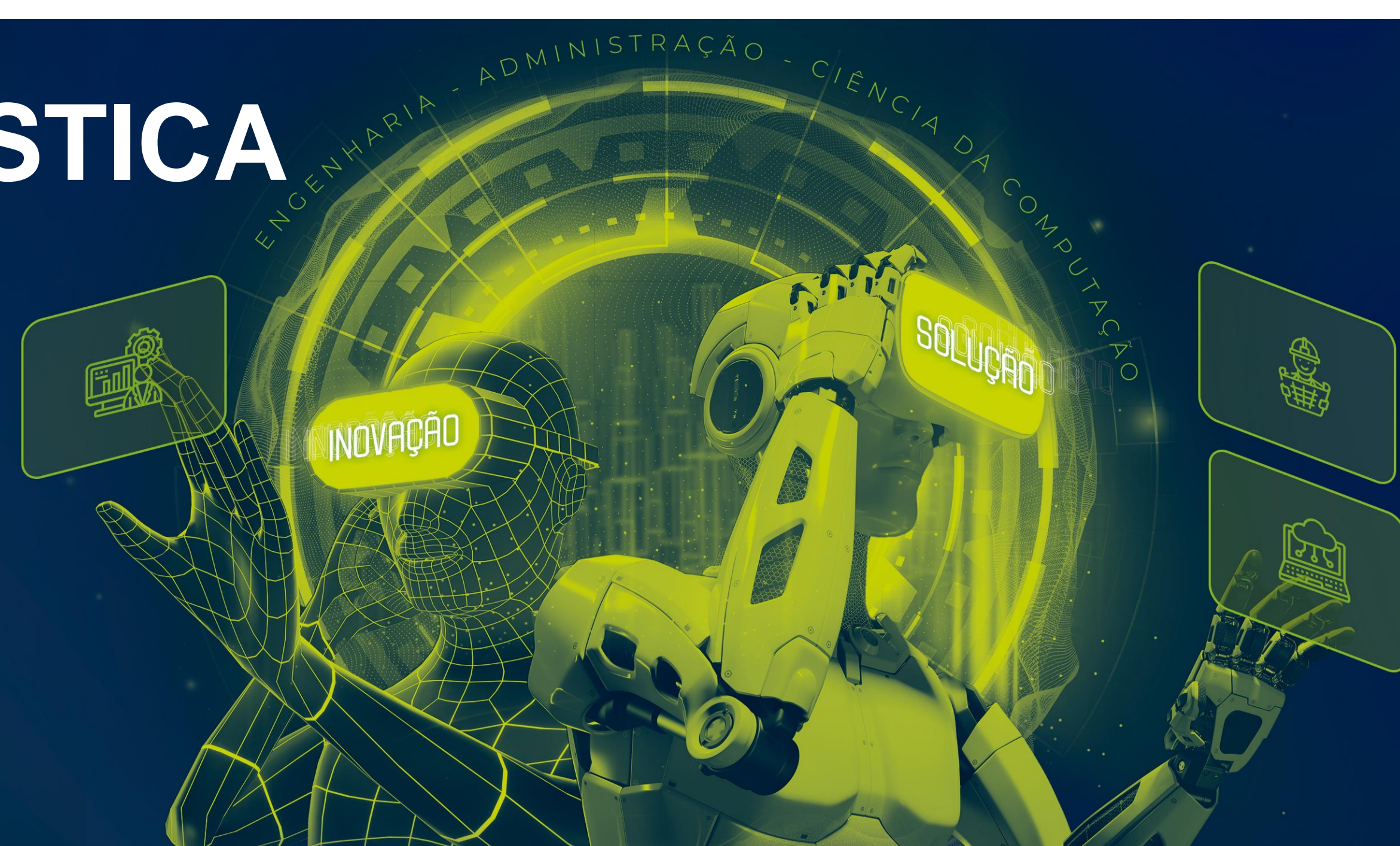
$$m a = 2 \left( \frac{\mu_d P_{lbd} \pi \theta_{ed} n_{ed} R_{Dd}}{R_{Pd}} + \frac{\mu_r P_{lbt} \pi \theta_{et} n_{et} R_{Dt}}{R_{Pt}} \right) + m g \cos \theta + F_{Rol} + F_{Ad}$$

# ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

**Alunos:** Jonathan Rosa P. da Silva; Leonardo M. Zanatta; Levi C. De Souza; Lucas G. V. Machado; Lucca R. Valadares; Luiz Felipe S. Bianchim; Marcelo P. dos Santos

**Orientador:** Jairo de Lima Souza – jairosouza@fei.edu.br

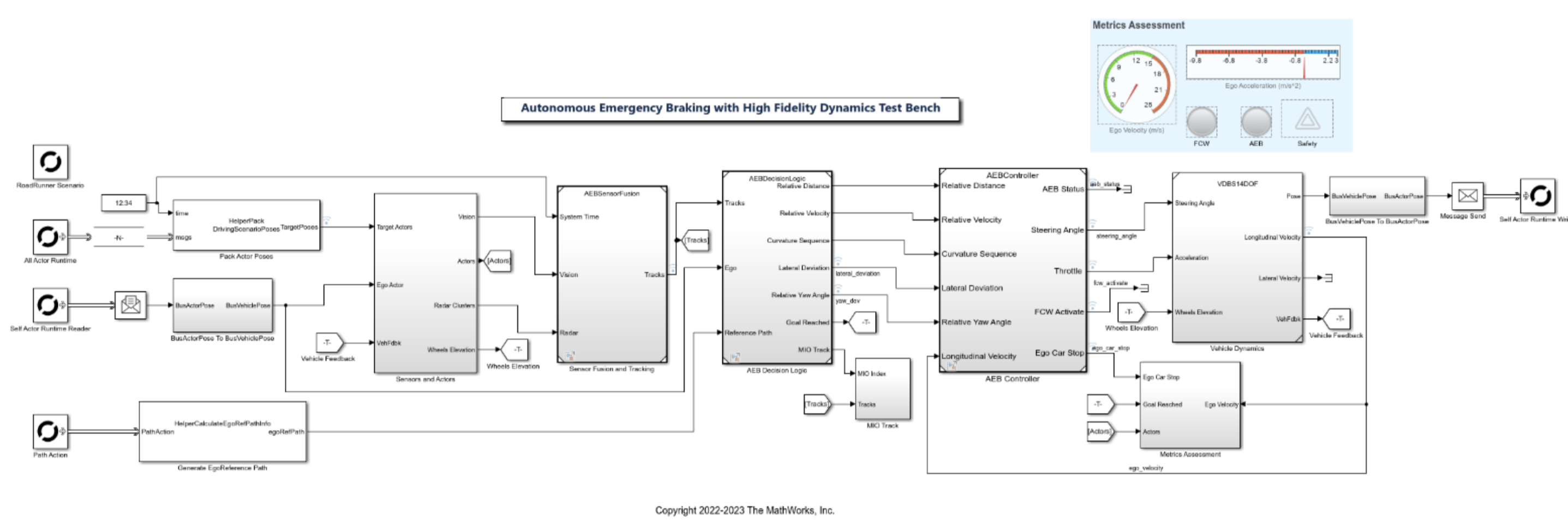
**Coorientador:** Cleber Willian Gomes – cwgomes@fei.edu.br



## **PBS - Precision Brake System:** Sistema de aprimoramento para assistência de frenagem

### BASE PARA SIMULAÇÃO NO SIMULINK

Para a realização da simulação utilizamos um modelo do MathWorks como base, para a adaptação do nosso sistema.



FONTE: Autores

### RESULTADOS

A partir da referência dos testes da AAA (American Automobile Association, Inc) verificou-se que o carro escolhido falha 100% dos testes e sempre que ocorre a colisão, ainda tem uma velocidade residual de 13km/h. Com base nos testes e nos cálculos e simulações matemáticas conseguimos o seguintes resultado.



FONTE: Autores

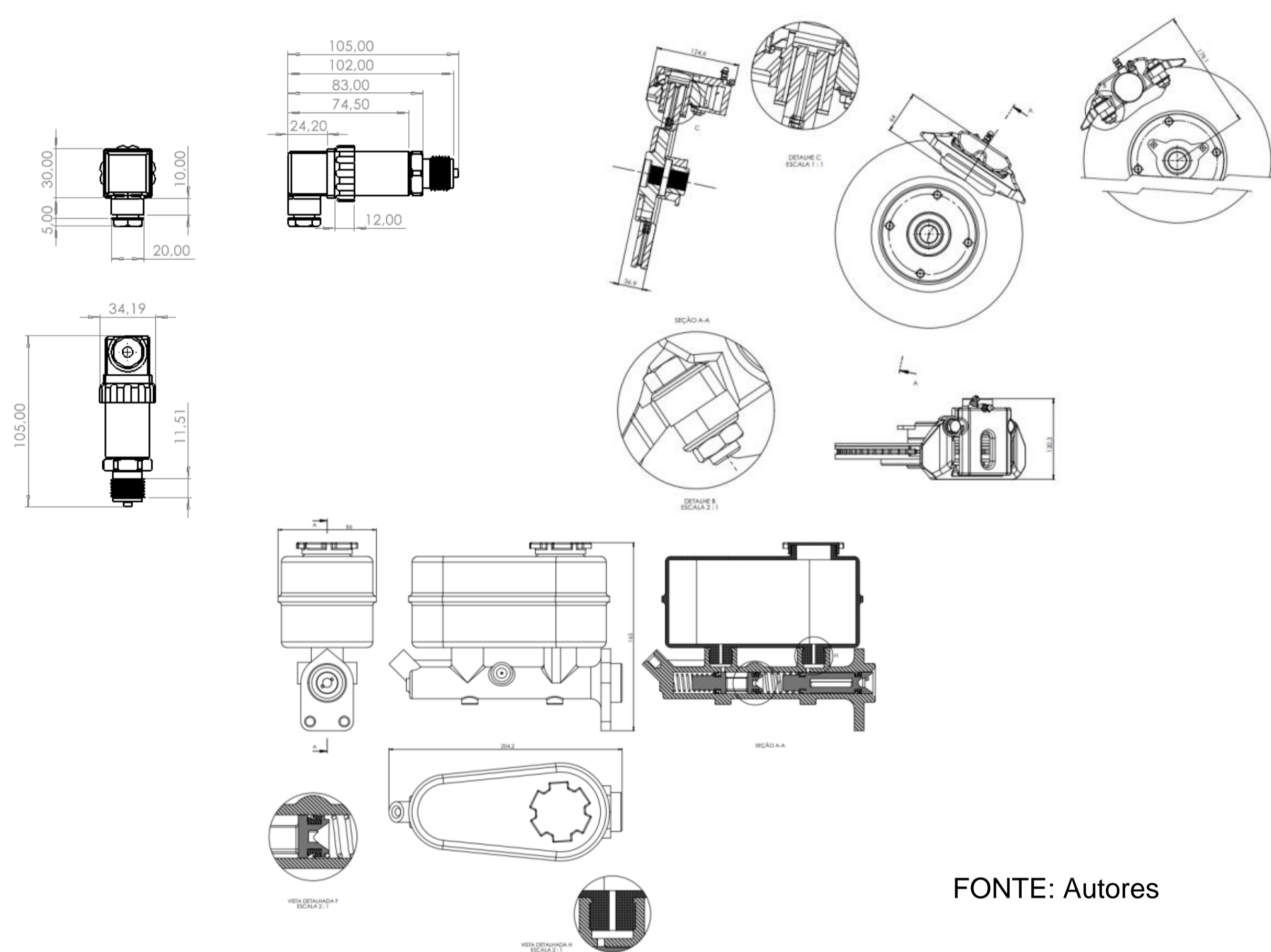
### REFERENCIA PARA O SISTEMA ATUAL

A incorporação American Automobile Association realizou diversos testes em veículos de passeio que possuem a tecnologia de frenagem de emergência, em várias pistas, velocidades e tipos de veículo de passeio (Sedan e SUV), utilizamos as informações da bateria de teste com veículo carregado para estipularmos a distância da etapa intermediária de frenagem do EAB. Os dados do veículo para os testes estão na tabela abaixo:

Testes realizados a 30 mph [ 48,28 km/h]								
Teste	Distância do alerta [m]	Alerta para o tempo para colisão [m]	Distância de frenagem [m]	Tempo para colisão da frenagem [s]	Desceleraçã o média [m/s <sup>2</sup> ]	Desceleraçã o máxima [m/s <sup>2</sup> ]	Velocidade de impacto [m/s]	Distância entre o veículo e o corpo de prova [m]
1	N/A	N/A	13,1	1,019	8,00496	13,0473	0	1,49352
2	24,62	1,878	13,93	1,084	8,07363	12,2135	0	2,286
3	26,06	1,945	13,78	1,058	8,02458	11,978	0	1,905
4	23,13	1,817	12,68	1,046	8,12268	11,0559	0	2,225
5	22,28	1,739	13,47	1,074	8,13249	11,9192	0	2,651
<b>Média</b>	<b>24,0225</b>	<b>1,84475</b>	<b>13,392</b>	<b>1,0562</b>	<b>8,07167</b>	<b>12,0428</b>	<b>0</b>	<b>2,1121</b>

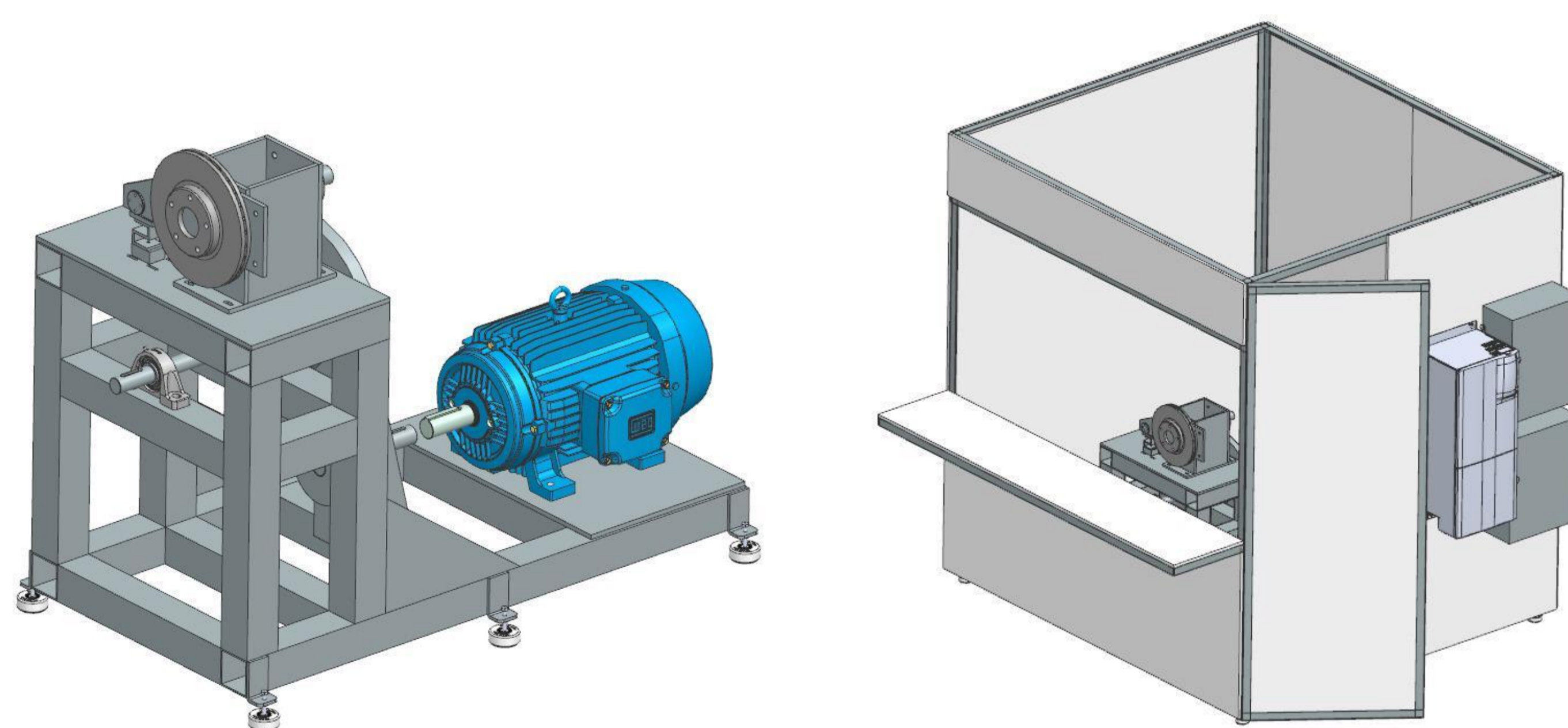
FONTE: Adaptado de American Automobile Association

### DESENHO 2D



FONTE: Autores

### PROTÓTIPO: BANCADA DE CARACTERIZAÇÃO



FONTE: Autores