

## Smooth Saving

### Sistema de amortecimento para veículos de atendimento emergencial terrestre.

**Alunos:** Leonardo de P. Leardini; Lucas B. Menezes; Luiz C. F. Junior; Magno O. Santos; Marco A. P. Junior; Matheus V. Silva; Vitor F. de B. Costa.

**E-mail:** smoothsaving2021@gmail.com

**Orientador:** Prof. Dr. André de Souza Mendes (asmendes@fei.edu.br)

#### Resumo

O trabalho de conclusão de curso (TCC) nomeado como Smooth Saving consiste no desenvolvimento de um sistema capaz de solucionar os problemas encontrados atualmente em veículos de resgate emergencial. Embora o treinamento adequado da equipe de resgate possa aumentar as chances de sucesso do resgate, a condição vibratória no interior do veículo ainda representa um impedimento significativo para a realização de procedimentos médicos e pode agravar seriamente o quadro clínico do paciente. Portanto, a solução proposta pelo projeto, é a de atenuação das vibrações transmitidas à carroceria da ambulância através da utilização de um sistema de suspensão semi-ativa. Os resultados do trabalho apresentaram uma redução expressiva na amplitude de acelerações verticais transmitidas aos pacientes e equipe médica, aumentando o potencial de salvar a vida do paciente.

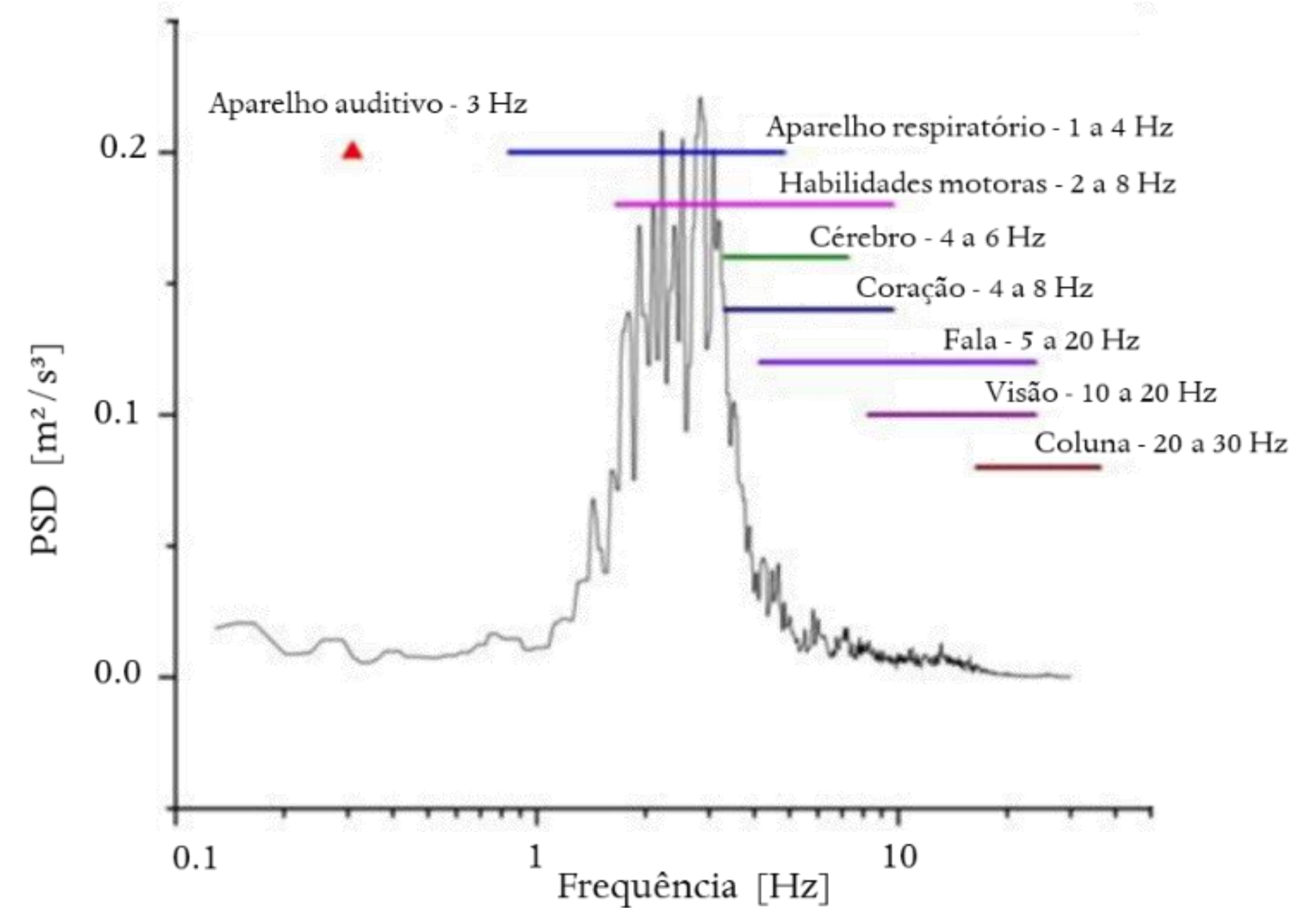
#### Introdução

A parte mais importante de uma viagem em um veículo de resgate emergencial é a segurança da equipe e dos pacientes, com foco em transportá-lo aos cuidados profissionais de que necessitam a tempo e com saúde. Embora as ambulâncias sejam projetadas para tornar isso possível, há espaço para melhorias de eficiência e segurança. Essas melhorias podem aumentar a capacidade da equipe médica da ambulância de fornecer um alto nível de atendimento e realizar todos os procedimentos necessários para garantir que o paciente chegue a uma unidade de cuidados avançados da melhor forma possível.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Trânsito (DNIT), 91% dos óbitos decorrentes de acidentes de trânsito ocorrem dentro de 24h após o acontecimento. Isso evidencia a importância de socorrer esses pacientes com a maior eficiência, segurança e conforto possível. O DNIT estima que cada morte decorrente de acidente custe ao poder público aproximadamente 375 mil reais, e que durante o ano de 2019, tenha-se gerado um custo total de 15,3 bilhões de reais nesse sentido, e que esse custo poderia ser parcialmente reduzido, caso o serviço de atendimento médico fosse mais eficiente e seguro.

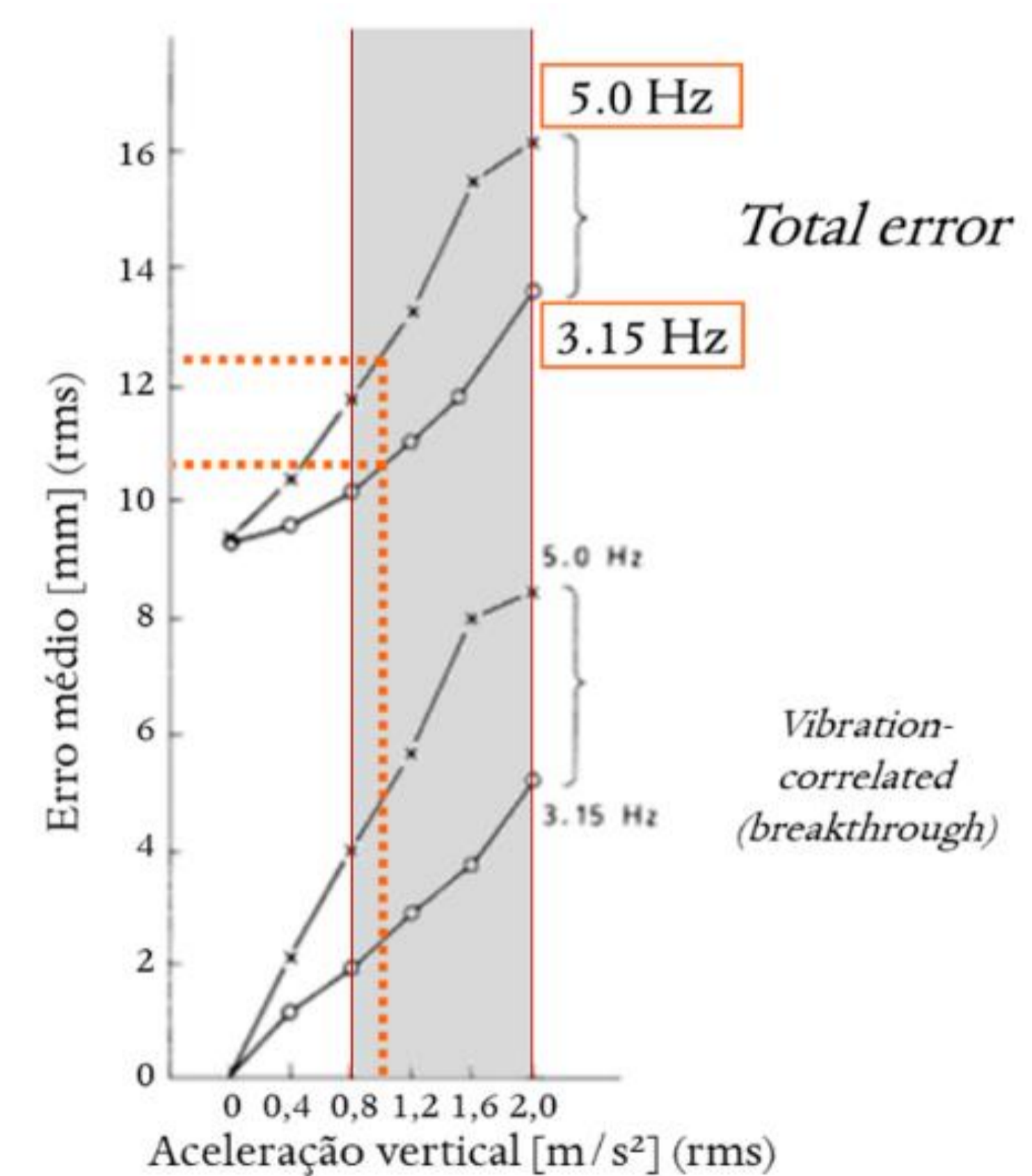
Estudos mostram que a intensidade das vibrações no interior das ambulâncias pode trazer efeitos fisiológicos negativos ao paciente (Cotnoir, P. 2010). Em alguns casos podem surgir consequências como aumento da pressão arterial, aumento da frequência cardíaca, hiperventilação, náuseas e dores abdominais. Dependendo do grau de trauma e risco do paciente, consequências desse tipo podem deteriorar o quadro clínico.

O estudo de Paul Cotnoir pontua que as amplitudes de aceleração vertical durante as medições ficaram próximas de 1 m/s<sup>2</sup> em r.m.s, dispostas na faixa de 1 a 6 Hz.



Fonte: Cotnoir, P. 2010

Segundo (Griffin, M. 1990), é possível correlacionar a amplitude de aceleração vertical e frequência, com o erro médio ao realizar tarefas que exigem controle motor fino, como as que os profissionais de saúde realizam durante o resgate. O autor traz resultados para duas frequências, 3.15 e 5 Hz, ambas dentro da faixa de frequências médias por Cotnoir.



Fonte: "Adaptado de" Handbook of Human Vibration. Griffin, M., 1990

As interseções da linha pontilhada com os dados de Cotnoir para excitações de 3,15 Hz e 5,0 Hz correspondem ao erro médio na realização de tarefas que exigem controle motor fino. Ou seja, durante a realização dos procedimentos médicos comumente realizados no interior da ambulância, a equipe médica costuma apresentar desvios de 10,5 mm a 12,5 mm. Segundo Cotnoir, na prática, essa variação representa um impedimento significativo para o desempenho de procedimentos médicos comumente realizados durante o transporte.

## Smooth Saving

### Sistema de amortecimento para veículos de atendimento emergencial terrestre.

**Alunos:** Leonardo de P. Leardini; Lucas B. Menezes; Luiz C. F. Junior; Magno O. Santos; Marco A. P. Junior; Matheus V. Silva; Vitor F. de B. Costa.

**E-mail:** smoothsaving2021@gmail.com

**Orientador:** Prof. Dr. André de Souza Mendes (asmendes@fei.edu.br)

#### Objetivo

De acordo com os estudos e referências utilizadas, observou-se que o problema encontrado nos veículos de resgate terrestre é que o paciente e a equipe médica estão submetidas a amplitudes de aceleração vertical de, em média,  $1 \text{ m/s}^2$ , o que prejudica a realização de procedimentos médicos e pode agravar o quadro clínico do paciente, colocando sua vida em risco. Portanto, o propósito do projeto é desenvolver uma solução que atenua a amplitude de acelerações verticais médias no interior da ambulância.

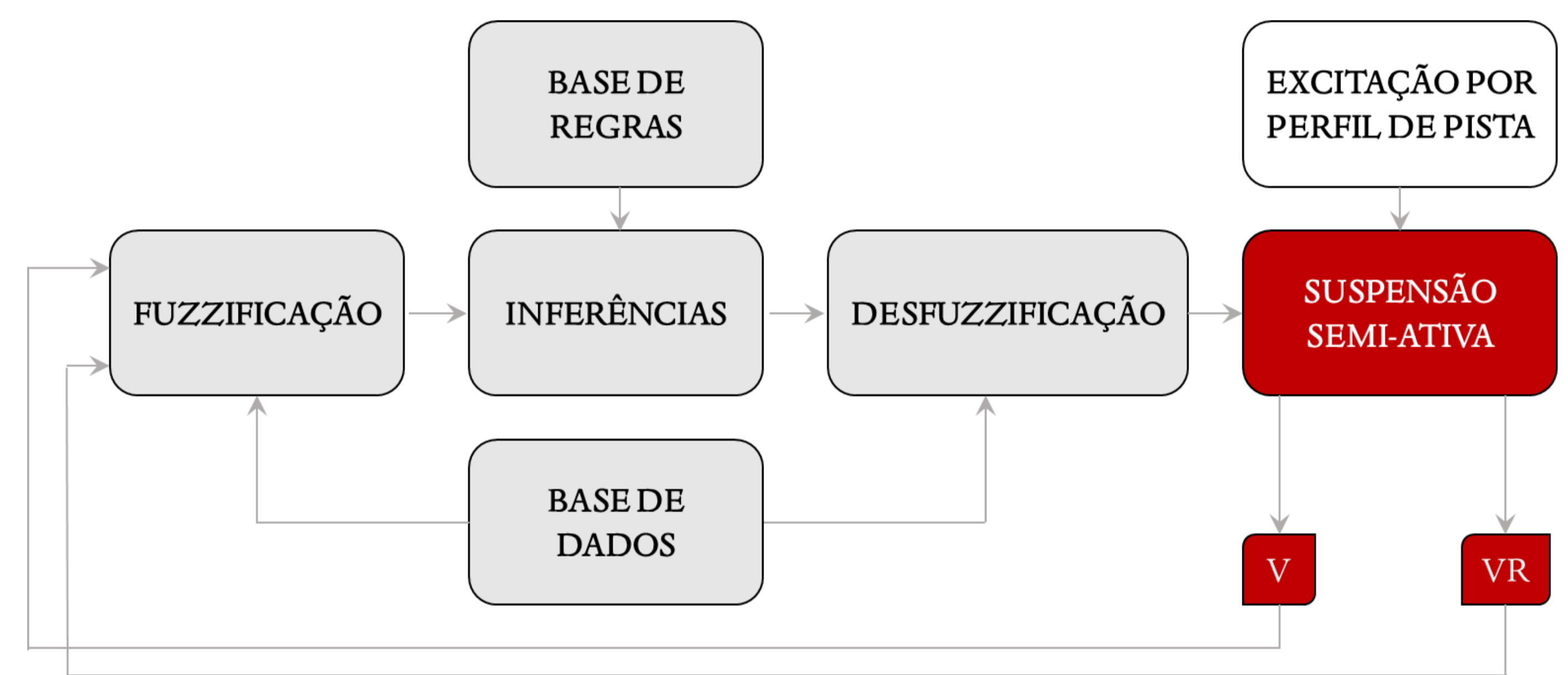
#### Solução proposta

Para a solução do problema, desenvolveu-se um sistema de suspensão semi ativa por amortecedores magneto reológicos que funcionam da seguinte forma: a partir da medição dos movimentos verticais apresentados pela carroceria da ambulância, por parte dos sensores de deslocamento das rodas e acelerômetros, a ECU do sistema de suspensão, programada através da metodologia skyhook e lógica fuzzy, fica responsável por calcular e identificar qual configuração de amortecimento será capaz de proporcionar maior redução em acelerações verticais. Então, é enviado o comando para os drivers de potência de cada amortecedor, que modulam a corrente para o fornecimento do coeficiente de amortecimento desejado. O amortecedor magneto reológico então recebe essa corrente, que altera as propriedades do fluido e consequentemente os parâmetros de amortecimento.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento da solução foi dada inicialmente pelo desenvolvimento do modelo matemático de controle dos amortecedores, de acordo com as simplificações de meio veículo, prevista por (Gillespie, T. 1990), considerando a influência também dos movimentos de Pitch e Bounce da carroceria (Olley, M. 1934). Feito isso, deu-se início ao dimensionamento mecânico dos componentes a serem utilizados no sistema.

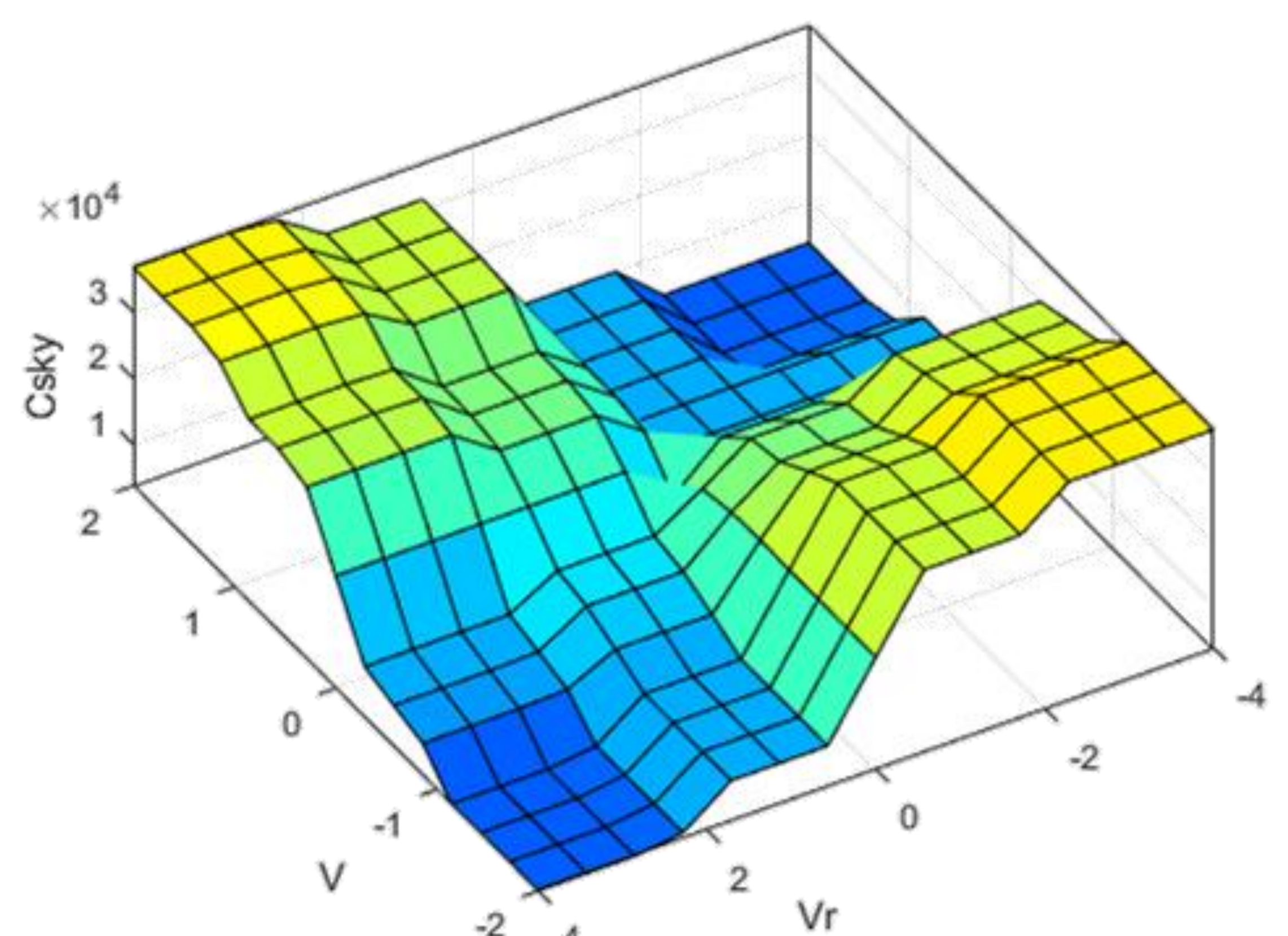
A metodologia de controle do sistema de amortecedores consiste em determinar um coeficiente de amortecimento fictício, que, fixado em um ponto inercial no espaço, promove a redução das oscilações da massa suspensa, também conhecido como metodologia *Skyhook*. Para o gerenciamento, utilizou-se a lógica *Fuzzy*, através do software Matlab, tendo como parâmetros de entrada do modelo, a velocidade relativa entre a massa suspensa e não suspensa, e a velocidade absoluta da massa não suspensa, segundo (Raj, A. 2015). Como saída do modelo e parâmetro de retroalimentação da programação, utilizou-se o coeficiente de amortecimento skyhook.

De um modo geral, podemos apresentar a estrutura da lógica Fuzzy em quatro áreas fundamentais: interface de fuzzificação, base de regras, lógica de tomada de decisão e interface de desfuzzificação. A lógica de tomada de decisão é o núcleo da lógica Fuzzy e tem a capacidade de simular a tomada de decisão humana com base em conceitos difusos definidos a partir das inferências e base de dados do sistema. De acordo com o princípio ativo da metodologia Skyhook, a resposta da desfuzzificação deve ser o coeficiente de amortecimento ideal que deve ser aplicado ao amortecedor para que haja a redução da aceleração vertical da carroceria. Como dados de alimentação para a fuzzyficação, a metodologia Skyhook traz a velocidade absoluta da massa suspensa e velocidade relativa entre a massa suspensa e não suspensa provocadas pela excitação de base por perfil de pista. Portanto, o modelo matemático proposto pode ser caracterizado com um modelo MISO, de múltiplas entradas e saída única.



Fonte: Autores

Para a elaboração da base de regras e graus de inferência necessários para o correto funcionamento do sistema, utilizou-se como referência o trabalho desenvolvido por (Raj, A. 2015). A base de regras e graus de inferência propostos por (Raj, A. 2015) podem ser apresentados pelo mapa tridimensional de atuação da lógica *Fuzzy*.



Fonte: Autores

## Smooth Saving

### Sistema de amortecimento para veículos de atendimento emergencial terrestre.

**Alunos:** Leonardo de P. Leardini; Lucas B. Menezes; Luiz C. F. Junior; Magno O. Santos; Marco A. P. Junior; Matheus V. Silva; Vitor F. de B. Costa.

**E-mail:** smoothsaving2021@gmail.com

**Orientador:** Prof. Dr. André de Souza Mendes (asmendes@fei.edu.br)

Para o modelo de dinâmica veicular, utilizou-se o modelo de meio veículo com quatro graus de liberdade, segundo (Gillespie, T. 1990).

$$\ddot{z}_3 = \frac{-Kst * (Z_3 - Z_2 - b * \theta) - Ksd * (Z_3 - Z_1 + a * \theta) - Cd * (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_1 + a * \dot{\theta}) - Ct * (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_1 - b * \dot{\theta})}{m_3} \quad (1)$$

$$\dot{z}_1 = \frac{Cd * (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_1 + a * \dot{\theta}) + Ksd * (Z_3 - Z_1 + a * \theta) - Ktd * (Z_1 - Z_r)}{m_1} \quad (2)$$

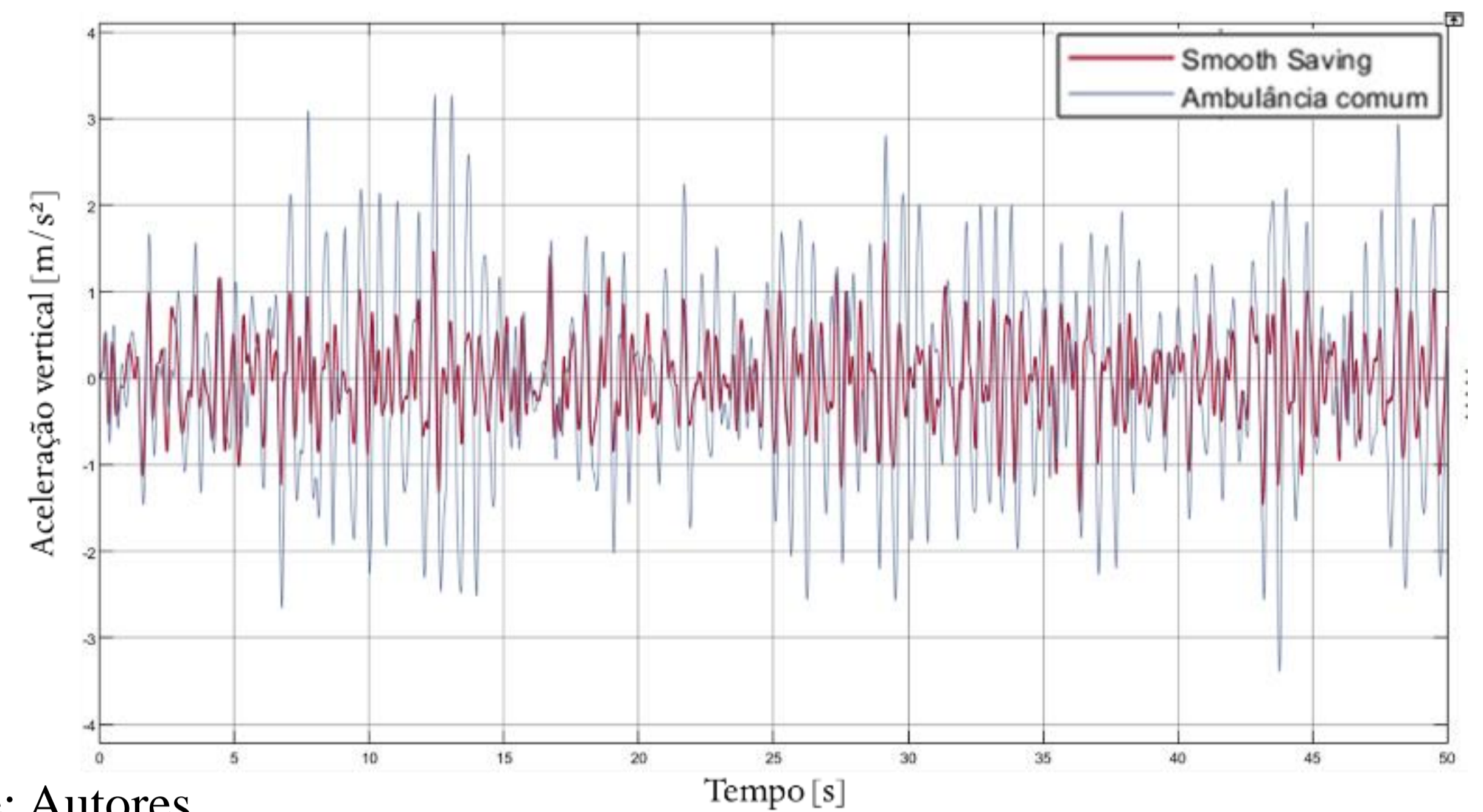
$$\dot{z}_2 = \frac{Ct * (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_2 - b * \dot{\theta}) + Kst * (Z_3 - Z_2 - b * \theta) - Ktt * (Z_2 - Z_r)}{m_2} \quad (3)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{Kst * (Z_3 - Z_2 - b * \theta) - Ksd * (Z_3 - Z_1 + a * \theta) - Cd * (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_1 + a * \dot{\theta}) + Ct * (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_2 - b * \dot{\theta})}{I} \quad (4)$$

Para o modo de excitação do modelo, utilizou-se a classificação de pista E, segundo a normal ISO8606. O valor de PSD proveniente da norma é utilizado para compor a curva de excitação White noise, através do *software* Matlab Simulink. No entanto, o gerador de *White Noise* é capaz de formar apenas dados com ondas quadradas, ou seja, cria um perfil de pista com irregularidades bruscas e não fidedignas. Dessa forma, se faz necessária a filtragem desses dados. Para isso, utilizou-se a metodologia criada por (Wang, J. 2017), gerando assim um perfil de pista que possa ser usado para o estudo das características básicas de uma suspensão veicular, e conforto dos ocupantes.

Com posse das equações diferenciais do modelo, modo de excitação, e dados funcionais do amortecedor magneto-reológico MagneRide®, escolhido para compor o projeto, foi realizada a simulação dinâmica do sistema no *software* Matlab Simulink, avaliando a influência na redução de acelerações verticais, em comparação com o sistema passivo, utilizado atualmente.

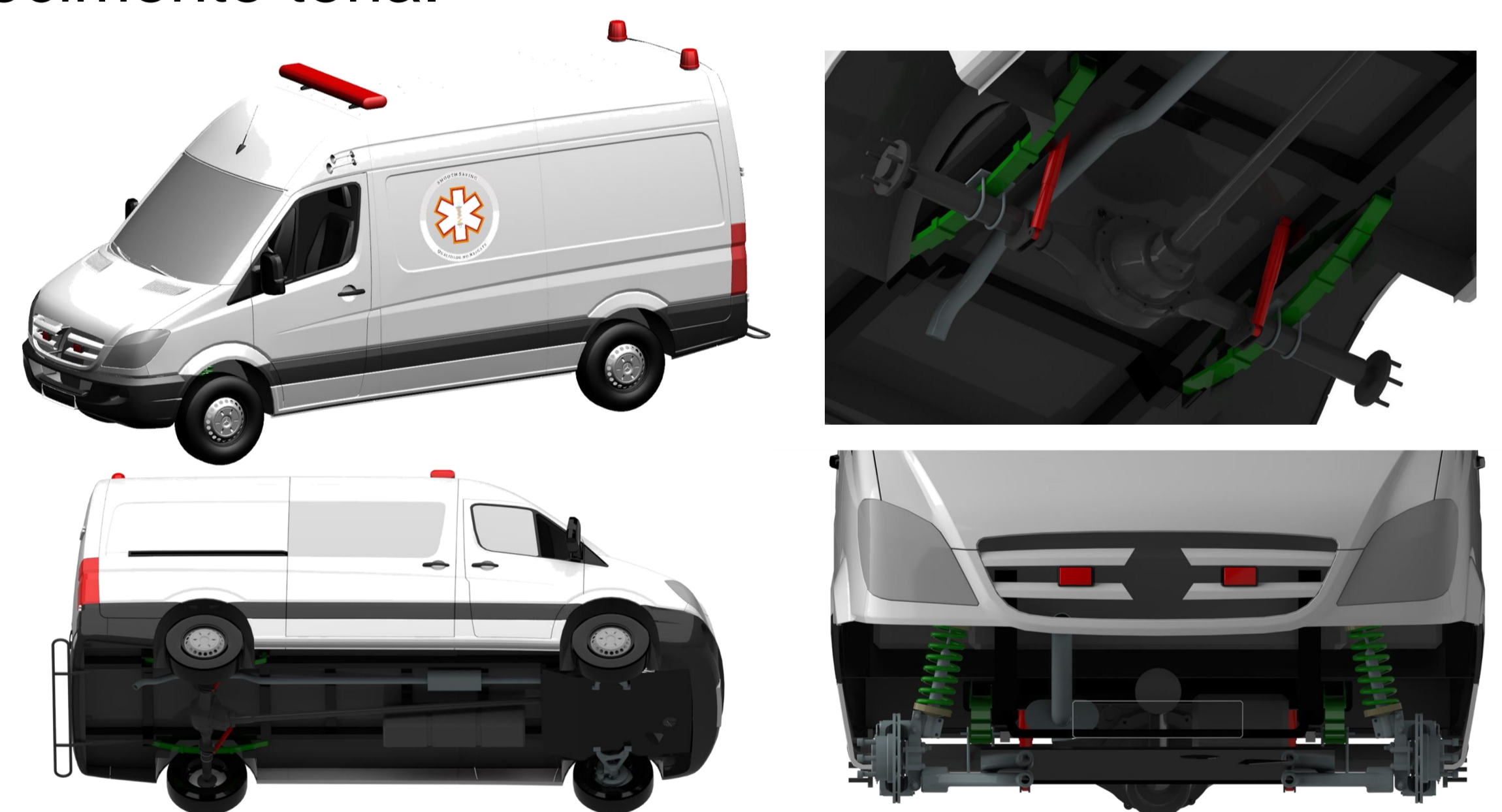
Como resultados das simulações, para o deslocamento vertical da carroceria foi possível obter uma redução de 2% dos valores médios, de acordo com o perfil de pista utilizado. Já para os movimentos angulares da carroceria em Pitch, foi possível obter uma redução de 33%, o que contribui para a redução dos deslocamentos e acelerações transmitidos aos pacientes e equipe médica. Para análise dos movimentos transmitidos diretamente aos passageiros, mediu-se a velocidade e aceleração logo acima do eixo traseiro, que é onde o paciente e a equipe de resgate ficam localizados. Para a velocidade vertical, foi possível obter uma redução de 56% nos valores médios, e para a aceleração vertical, que é a principal vilã do conforto e segurança dos pacientes, uma redução de 55%. Essa redução atende ao target estipulado na fase de design conceitual, e poderá promover uma melhoria significativa na eficiência dos resgates, aumentando as probabilidades de salvar a vida do paciente.



Fonte: Autores

O processo de desenvolvimento do produto teve início com a análise de FMEA do sistema, com o intuito de identificar os potenciais modos de falha dos componentes utilizados e avaliar o risco atrelado a cada modo de falha. Com posse dos modos de falha e fatores de risco, classificou-se em termos de importância para então aplicar ações corretivas, com o intuito de reduzir a incidência de falhas.

Após a realização do FMEA, foi feito o dimensionamento analítico dos componentes do sistema, como molas helicoidais, feixe de molas e juntas aparafusadas pelos métodos de resistência mecânica e resistência à fadiga. Para o eixo traseiro do veículo, onde são ancorados os novos amortecedores, simulou-se, pelo método de elementos finitos, a influência que a nova força máxima de amortecimento teria.



Fonte: Autores

## Conclusão

Em suma, pode-se concluir que os resultados apresentados pelo desenvolvimento deste projeto são satisfatórios e de extrema representatividade, no que diz respeito à efetividade do resgate emergencial. Como observado por Cotnoie, a aceleração vertical média que podia interagir com os órgãos internos dos pacientes, prejudicando e agravando consideravelmente seus quadros clínicos, foi reduzida de forma drástica. Além disso, com essa redução foi possível também melhorar a qualidade do serviço que é capaz de ser prestado no interior da ambulância, pois os profissionais de saúde podem ter maior precisão no momento de realizar um acesso intravenoso, ou na realização de outros procedimentos de extrema importância e urgência no momento do resgate.