

# Otimização do Comportamento Dinâmico de um Sistema Veicular-biodinâmico Acoplado



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Eduardo Decarli Savi  
eduardo.savi@ufrgs.br

Walter Jesus Paucar Casas (orientador)  
walter.paucar.casas@ufrgs.br

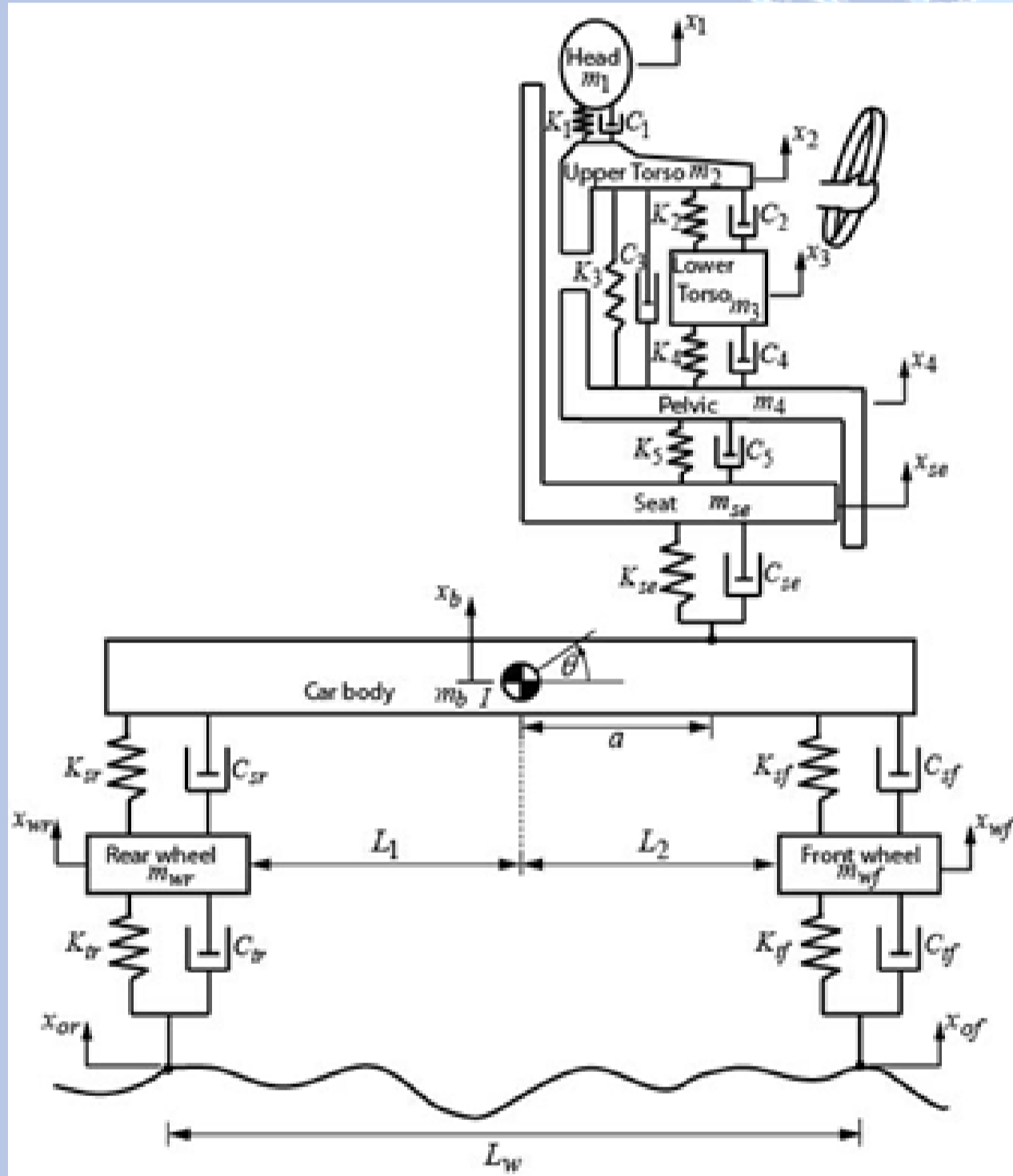
Grupo de Mecânica Aplicada – DEMEC – EE - UFRGS

## Objetivos

Analisar o comportamento dinâmico de um veículo submetido às oscilações causadas pela pista, para otimizar as condições de conforto e segurança.

## Método

A simulação de 1/2 de veículo é realizada pela técnica de sistemas multicorpos e visa obter melhores coeficientes de rigidez e amortecimento das suspensões do veículo e do assento do motorista, através da técnica de otimização de algoritmos genéticos, quando o sistema é excitado por uma pista randômica de qualidade inferior.



Modelo biodinâmico acoplado com meio veículo

Fonte: adaptado de Abbas et al. (2013)

## Equações dinâmicas

$$m_1 \ddot{x}_1 = -c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - k_2(x_2 - x_3) - c_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) - k_3(x_2 - x_4)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 = c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_2(x_2 - x_3) - c_4(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) - k_4(x_3 - x_4)$$

$$m_4 \ddot{x}_4 = c_4(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + k_4(x_3 - x_4) + c_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) + k_3(x_2 - x_4) - c_5(\dot{x}_4 - \dot{x}_{se}) - k_5(x_4 - x_{se})$$

$$m_{se} \ddot{x}_{se} = c_5(\dot{x}_4 - \dot{x}_{se}) - c_{se}(\dot{x}_{se} + a\dot{\theta} - \dot{x}_b) - k_{se}(x_{se} + a\theta - x_b) + k_5(x_4 - x_{se})$$

$$m_b \ddot{x}_b = -(c_{sf} + c_{sr} + c_{se})\dot{x}_b + k_{sr}x_{wr} + k_{se}x_{se} - (c_{sf}L_2 - c_{sr}L_1 - c_{se}a)\dot{\theta} + c_{sf}\dot{x}_{wf} + c_{sr}\dot{x}_{wr} - (k_{sf} + k_{sr} + k_{se})x_b - (k_{sf}L_2 - k_{sr}L_1 - k_{se}a)\theta + c_{se}\dot{x}_{se} + k_{sf}x_{wf}$$

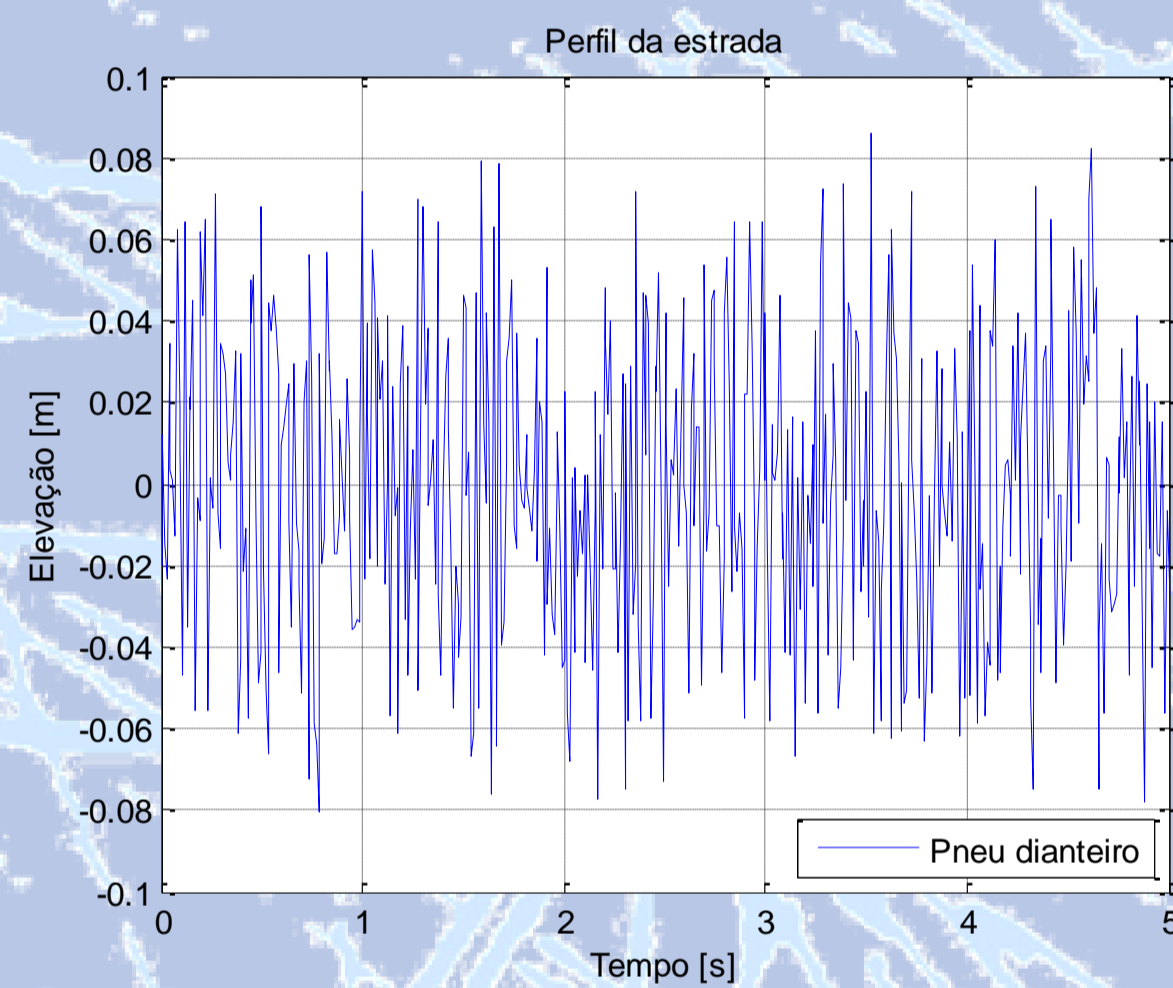
$$I\ddot{\theta} = -(c_{sf}L_2 - c_{sr}L_1 + c_{se}a)\dot{x}_b + k_{se}ax_{se} + c_{se}a\dot{x}_{se} - (c_{sf}L_2^2 + c_{sr}L_1^2 - c_{se}a^2)\dot{\theta} + c_{sf}L_2\dot{x}_{wf} - c_{sr}L_1\dot{x}_{wr} + k_{sf}L_2x_{wf} - (k_{sf}L_2 - k_{sr}L_2 + k_{se}a)x_b - k_{sr}L_1x_{wr} - (k_{sf}L_2^2 + k_{sr}L_1^2 + k_{se}a^2)\theta$$

$$m_{wr} \ddot{x}_{wr} = k_{sr}x_b - k_{sr}L_1\theta + k_{tr}x_{or} + c_{sr}\dot{x}_b + c_{tr}\dot{x}_{or} - c_{sr}L_1\dot{\theta} - (c_{sr} + c_{tr})\dot{x}_{wr} - (k_{sr} + k_{tr})x_{wr}$$

$$m_{wf} \ddot{x}_{wf} = c_{sf}\dot{x}_{of} + c_{sf}x_b + k_{sf}x_b + k_{sf}x_b + k_{sf}L_2\theta + k_{sf}x_{of} - (k_{sf} + k_{of})x_{wf} + c_{sf}L_2\dot{\theta} - (c_{sf} + c_{of})\dot{x}_{wf}$$

## Excitação do Veículo

Na análise, aplica-se o mesmo perfil aleatório para os pneus dianteiro e traseiro, considerando a diferença de fase em função da velocidade do veículo e distância entre os eixos.



Perfil da estrada para o pneu dianteiro

## Função Objetivo

A função objetivo utilizada minimiza as acelerações da cabeça, do assento e também o deslocamento da suspensão do assento. Esses critérios, aliados as restrições  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_3$  e  $g_4$  representam os requerimentos para aprimorar o conforto e a segurança.

$$\min f(\{x\}) = w_1 \cdot \text{rms}(\ddot{x}_1) + w_2 \cdot \text{rms}(x_{se}) + w_3 \cdot \text{rms}(\ddot{x}_{se}) + w_4 \cdot \max(g_1, 0) + w_4 \cdot \max(g_2, 0) + w_5 \cdot \max(g_3, 0) + w_5 \cdot \max(g_4, 0)$$

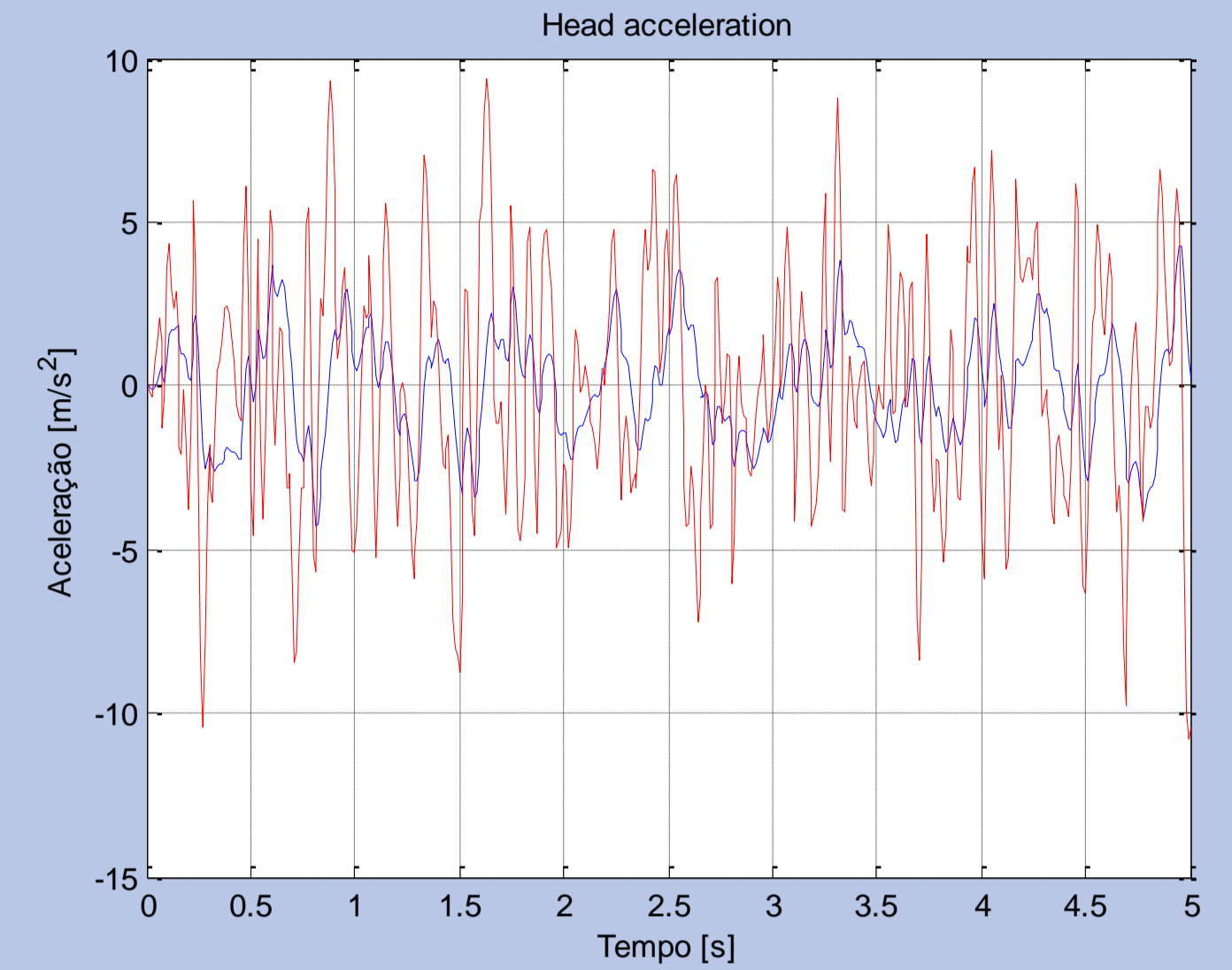
$$g_1 = \max |x_{wf}(t) - x_{of}(t)| - 0,0508 \leq 0$$

$$g_2 = \max |x_{wr}(t) - x_{or}(t)| - 0,0508 \leq 0$$

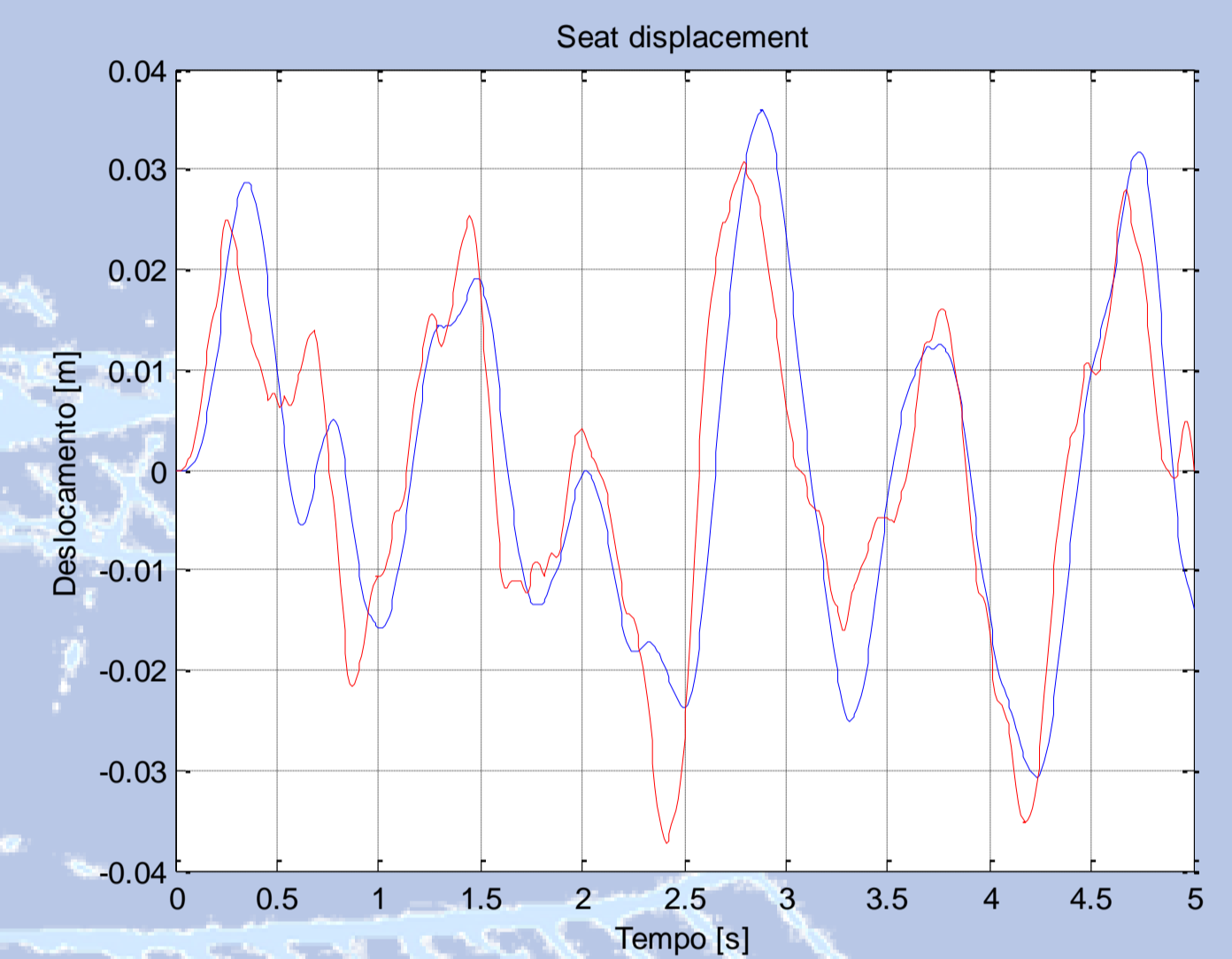
$$g_3 = \max |x_b(t) - x_{wf}(t) - L_2 \cdot \theta(t)| - 0,127 \leq 0$$

$$g_4 = \max |x_b(t) - x_{wr}(t) + L_1 \cdot \theta(t)| - 0,127 \leq 0$$

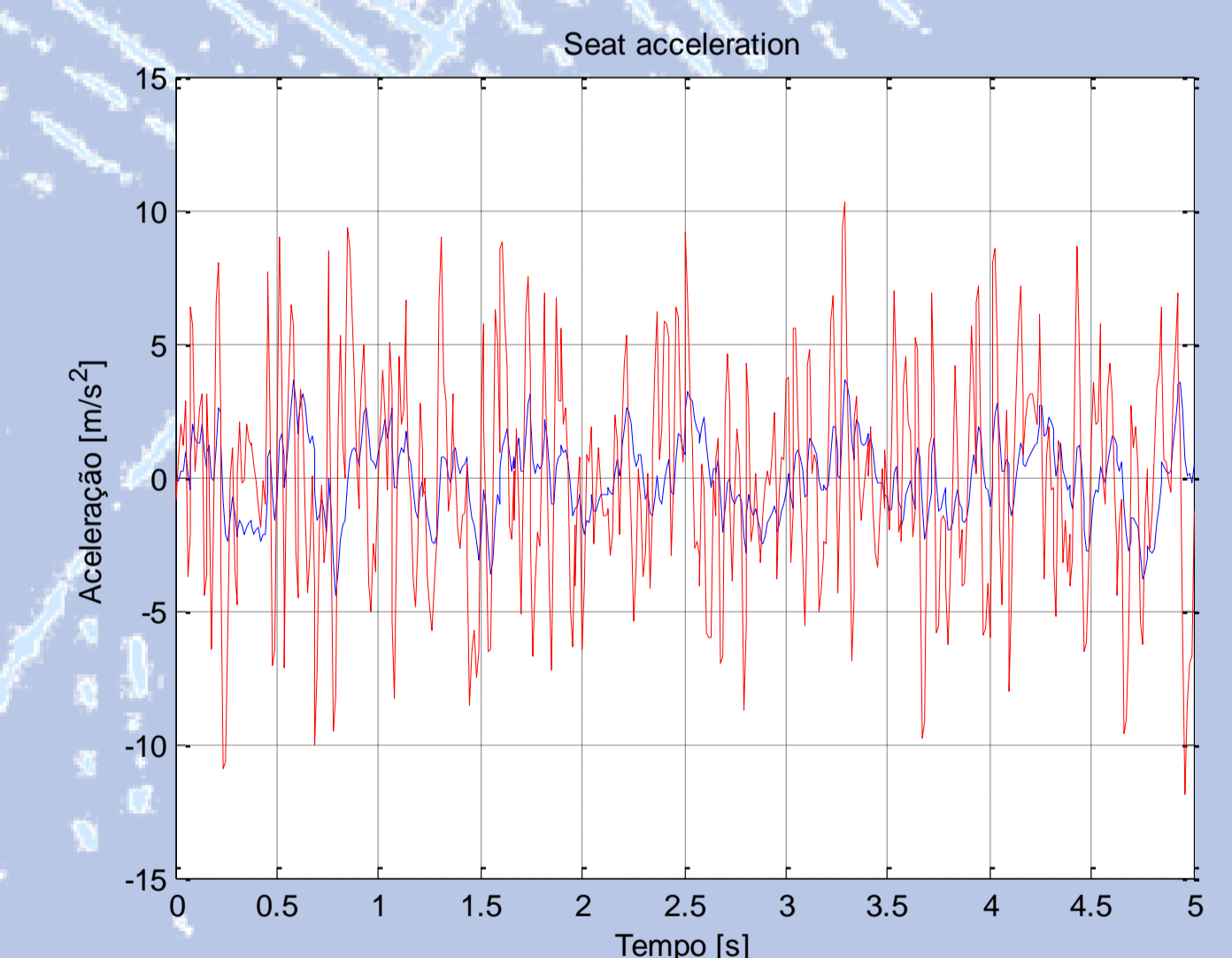
## Resultados



Aceleração da cabeça do passageiro antes e após otimização



Deslocamento do assento antes e após otimização



Aceleração do assento antes e após otimização

## Conclusões

A utilização de algoritmos genéticos é uma ferramenta adequada na otimização do comportamento dinâmico do sistema biodinâmico acoplado ao veículo. A aceleração rms da cabeça do motorista diminuiu aproximadamente 55% enquanto a aceleração rms do assento diminuiu 64%, ao custo de um aumento de 56% no deslocamento rms do assento do motorista.

## Referências

- Abbas, W., Emam, A., Badran, S., Shebl, M. and Abouelatta, O., 2013. Optimal seat and suspension design for a half-car with driver model using genetic algorithm. Intelligent Control and Automation, vol. 4, pp. 199–205.
- Baumal, A. E., McPhee, J. J. and Calamai, P. H., 1998. Application of genetic algorithms to the design optimization of an active vehicle suspension system. Comput. Method Appl. M., vol. 163, pp. 87–94.