

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

## Desenvolvimento de Metamodelo para a Análise de Desempenho de um Veículo Ferroviário

Larissa G. Vaz<sup>1</sup>, Marciellyo R. de Oliveira<sup>2</sup>, Gabriel C. Xavier<sup>3</sup>, Guilherme F. M. Santos<sup>4</sup>

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Mecânica, Vitória, ES

O presente trabalho tem o objetivo de obter metamodelos para a análise de desempenho dinâmico de um veículo ferroviário de carga. Para isto, um vagão típico, utilizado para transporte de minério de ferro, foi modelado matematicamente com o auxílio de um programa computacional dedicado à simulação da dinâmica veicular (*Universal Mechanism*®). A partir dos metamodelos é possível avaliar a sensibilidade de determinados parâmetros característicos do veículo e da geometria da via férrea com relação aos requisitos de segurança contra descarrilamento, desgaste de rodas, entre outros.

Assim, com o auxílio da amostragem de NOLH [3], são gerados vários conjuntos de dados, denominados de cenários neste trabalho, de parâmetros geométricos da via férrea (raio de curva, irregularidade e superelevação), característicos do vagão de minério de ferro (massa, perfil de roda, bitola de eixamento e diferença de raio entre rodas no mesmo eixo) e operacionais (velocidade) que foram utilizados nas simulações computacionais para posterior cálculo dos coeficientes das equações de metamodelo.

Foram simulados 33 cenários observando-se dois indicadores de saída: o Coeficiente de Tração, definido como a razão entre as forças tangencial e normal no plano sustentado pelo deslizamento gerado no plano de contato, e o Critério de Nadal, que representa a razão entre as forças lateral e vertical, comumente chamado no meio ferroviário de critério de descarrilamento [1].

Seguindo a metodologia proposta por [2], neste trabalho foi realizada uma análise de regressão linear considerando os termos lineares, quadráticos e bilineares, conforme mostrado na equação (1).

$$y_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_{k,i} + \sum_{i=n+1}^{2n} \beta_i X_{k,i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>1}^n \beta_i X_{k,i} X_{k,j} \quad (1)$$

A qualidade do metamodelo calculado foi avaliada através do coeficiente de correlação entre os indicadores de saída previstos pelo metamodelo e observados nas simulações computacionais para cada uma das oito rodas do veículo. Os gráficos da Figura 1 mostram

<sup>1</sup>larissagvaz@gmail.com

<sup>2</sup>marciellyo.oliveira463@gmail.com

<sup>3</sup>gabriel\_correa\_xavier@hotmail.com

<sup>4</sup>guilherme.f.santos@ufes.br

esta comparação para os Coeficientes de Tração e de Nadal, respectivamente. Para todos os casos analisados, a correlação entre os indicadores de saída previstos e observados variou entre 0,8915 e 0,9989.

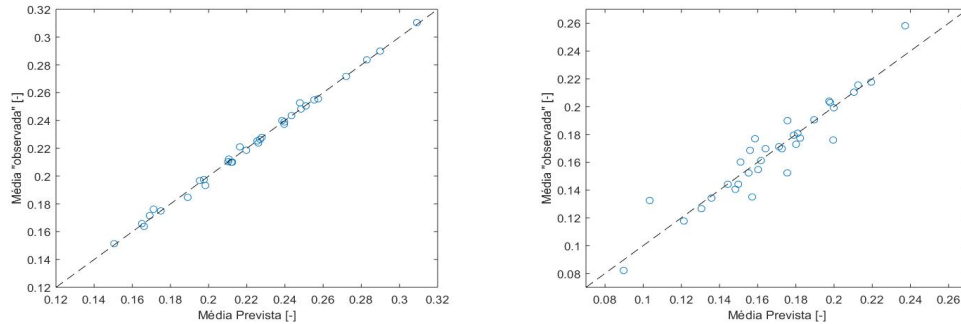


Figura 1: Correlação entre o valor previsto e observado do Coeficiente de Tração da roda esquerda do primeiro rodéiro, cujo coeficiente foi de 0,9922 (à esquerda) e do Critério de Nadal para a roda direita do segundo rodéiro, para o qual o coeficiente de correlação foi de 0,8915 (à direita).

Todos os coeficientes de correlação encontrados descreveram com ajuste aceitável a relação entre os parâmetros estudados. Para o Coeficiente de Tração, a correlação entre o resultado previsto pela as equações dos metamodelos e os valores médios observados nas simulações computacionais variou de 0,9020 a 0,9931, enquanto que, para o Critério de Nadal, o coeficiente de correlação mínimo calculado foi 0,8915 e o máximo, 0,9989.

Por fim, as equações dos metamodelos revelaram que a sensibilidade dos parâmetros relativos à irregularidade geométrica da via férrea mostrou-se ser o fator preponderante sobre os demais, independentemente inclusive de parâmetros operacionais como velocidade do veículo [4].

## Referências

- [1] G. F. M. dos Santos and R. S. Barbosa, *Modeling of a railway vehicle travelling through a turnout*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 230:1397-1404, 2016. DOI: 10.1177/0954409715595256
- [2] K. Karttunen, E. Kabo and A. Ekberg, *Numerical assessment of the influence of worn wheel tread geometry on rail and wheel deterioration*. Wear, 317:77-91, 2014. DOI: S0043164814001677
- [3] M. D. McKAY, R. J. Beckman and W. J. Conover. *A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables In The Analysis of Output From A Computer Code*. Technometrics, 21:239-245, 1979. DOI: 10.1080/00401706.1979.10489755
- [4] L. G. Vaz e M. R. de Oliveira, Desenvolvimento de metamodelo para parametrização de perfis desgastados de rodas ferroviárias. Trabalho de Conclusão de Curso, UFES, 2017.