

LUCIANO RIBEIRO PINTO CONSOLI

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO LATERAL  
DE UM VEÍCULO FERROVIÁRIO

São Paulo  
2007

LUCIANO RIBEIRO PINTO CONSOLI

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO LATERAL  
DE UM VEÍCULO FERROVIÁRIO

São Paulo  
2007

LUCIANO RIBEIRO PINTO CONSOLI

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO LATERAL  
DE UM VEÍCULO FERROVIÁRIO

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Dinâmica e  
Controle

Orientador: Prof. Dr. Roberto Spinola  
Barbosa

São Paulo  
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 20 de Julho de 2007

Assinatura do autor:



Assinatura do orientador

#### Ficha Catalográfica

Consoli, Luciano Ribeiro Pinto  
Análise do comportamento dinâmico lateral de um  
veículo ferroviário / L.R.P. Consoli. -- São Paulo, 2007.  
158 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo. Departamento de  
Engenharia Mecânica.

1.Dinâmica veicular 2.Ferrovias 3.Suspensão  
mecânica (Si-mulação) 4.Conforto veicular I.Universidade  
de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia Mecânica II.t.

## Dedicatória

A Charlotte, minha esposa,  
à minha filha que está a caminho,  
ao meu irmão Marco Antônio,  
e a Nossa Senhora de Kazan (Казанской Божией Матери).

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Dr. Roberto Barbosa Spinola, orientador desta dissertação, pelo suporte técnico-científico, apoio e profissionalismo oferecidos durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à Escola Politécnica da USP pela oportunidade que me proporcionou e manifesto a satisfação de me tornar um de seus ex-alunos.

Não poderia me esquecer da Regina Freitas e de toda sua equipe que me ajudaram nos percalços administrativos que muitas vezes tiveram de ser resolvidos a distância.

Aos meus pais, pela ajuda mesmo havendo um oceano entre nós.

Finalmente, à minha esposa Charlotte pelos inúmeros finais de semana em que ela deixou de viajar, sair, ver os amigos e a família para que eu pudesse me dedicar à realização desta obra.

“I have fought the good fight,

I have kept the faith,

I have finished my course”

2 Timóteo 4: 7

## Resumo

O propósito desta dissertação consiste em realizar um estudo do comportamento dinâmico lateral da caixa de um veículo ferroviário. Inicialmente fez-se uma abordagem do estado da arte referente à utilização de suspensões pneumáticas, sobre o funcionamento de sistemas de nivelamento, flexibilidade de caixas em análise dinâmica e irregularidades de vias férreas. Em seguida, definiu-se um modelo físico de um veículo ferroviário e, após determinadas simplificações, chegou-se a um sistema de nove graus de liberdade composto de uma caixa e dois truques de um rodeiro cada. Uma vez deduzidas as equações diferenciais de movimento, desenvolveram-se duas soluções capazes de fornecer resultados temporais e no domínio da frequência. Através da primeira delas, a solução analítica, obtêm-se as respostas em frequência e temporal dos movimentos lateral, *roll* e *yaw* da caixa para excitações de rotação longitudinal dos rodeiros. O segundo tipo de solução, por integração numérica, possui como excitações de entrada os deslocamentos verticais e rotacionais dos rodeiros e, como saídas, os movimentos nos nove graus de liberdade definidos para o sistema. Outra propriedade da solução por integração numérica é sua capacidade de simular suspensões secundárias lineares e não lineares. O artigo “Manchester Benchmarks for rail vehicle simulation” (IWNICKI, 1999) forneceu os parâmetros que definem o veículo e os princípios de irregularidades da via. Três tipos de comparações foram conduzidas, na primeira delas os resultados da análise modal deste trabalho foram confrontados com os resultados publicados pelos participantes do *Benchmark* e a proximidade entre eles permite fazer sua validação. O segundo tipo de comparação foi feito entre os resultados temporais das soluções analítica e por integração numérica e, o terceiro, entre simulações por integração numérica utilizando suspensões secundárias lineares e não lineares. Neste último caso, os resultados mostram que a linearização das suspensões secundárias podem ser feitas sem que haja diferenças significativas uma vez que os deslocamentos e ângulos são pequenos. Finalmente, elaborou-se uma análise para verificar a influência da variação da rigidez vertical das suspensões secundárias nas amplitudes, acelerações e no valor médio quadrático da aceleração (rms) dos movimentos laterais da caixa no domínio da frequência.



Os resultados obtidos permitem dizer que para a faixa de frequência de maior sensibilidade do ser humano às vibrações laterais, entre 0,5 Hz e 2 Hz segundo a norma ISO 2631, há uma redução das vibrações dos movimentos lateral e *roll* da caixa, quando tais rizezas são reduzidas. Porém, as conseqüências da variação deste parâmetro nos demais modos de vibrar e na estabilidade do veículo constituem um estudo que pode ser realizado em um trabalho futuro.

Palavras-chave: Dinâmica veicular. Ferrovias. Suspensão mecânica (Simulação). Conforto veicular.

## Abstract

This master's thesis aims at studying the lateral dynamic behavior of a railway vehicle's bodysell. First is examined the state of the art related to the use of pneumatic suspensions, to leveling systems' operation, to carbody flexibility's dynamic analysis and to railway's irregularities. The definition of the physical modeling of rail vehicle is carried out, followed by a number of simplifications, from which is defined a system with nine degrees of freedom, made up of a carbody and two bogies with one wheelset each. Once the motion's differential equations are defined, two solutions are carried out, capable of producing results in both time and frequency domains. The first one enables to display time and frequency responses of the carbody lateral displacement, roll and yaw for longitudinal rotation excitations of the wheelsets. The second type of solution that is obtained through numerical integration, deals with rolling and vertical displacement of the wheelsets as input data, and outputs the movements of the nine degrees of freedom defined for the system. The numerical integration solution also has the advantage of being capable of simulating linear as well as non linear secondary suspensions. The article "Manchester Benchmarks for rail simulation" (IWNICKI, 1999) provides the parameters that define the vehicle and the irregularities' principles of the railway. Three types of comparisons were carried out. In the first, the results of this work's modal analysis were confronted to the results published by the participants of the benchmark, and the proximity of them was worth validation. The second type of comparison was made between the time domain results of both analytic and numerical integration solutions, and the third between numerical integration simulations using linear and non linear secondary suspensions. This last comparison show that the linearization of secondary suspensions can be done without affecting the results for small displacements and angles. Finally, an analysis is made up so as to verify how the vertical stiffness of secondary suspension affects the lateral displacement, acceleration and the root-mean-square (rms) accelerations of the carbody in frequency domain. The result of this work allows concluding that in the frequency range of maximal sensibility to the human being to lateral vibrations, that is between 0.5 Hz and 2 Hz according to ISO263-1, a decrease of the lateral and roll vibrations of the carbody occurs when

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

