



## O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS E SUAS APLICAÇÕES NA MODELAGEM DE VEÍCULOS

**José Guilherme Santos da Silva** - jgss@uerj.br

**Gustavo Severo Trigueiro** - gustavo.s.trigueiro@shell.com.br

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN

Rua São Francisco Xavier, N<sup>o</sup> 524, Maracanã

CEP: 20550-900, Rio de Janeiro, RJ

**Resumo:** *A partir da atualização do ensino nos cursos de engenharia, os conhecimentos teóricos acerca do Método dos Elementos Finitos (MEF) tem sido estudados correntemente pelos alunos de graduação das engenharias mecânica e civil da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ, em face da necessidade de se analisarem sistemas estruturais mais complexos. Assim sendo, o objetivo inicial deste trabalho é o de contribuir para a modernização do ensino dos cursos de engenharia a partir da utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF), respaldado pelo emprego de técnicas de modelagem computacional e de ferramentas numéricas utilizadas por profissionais da área de engenharia. Deste modo, pretende-se discutir aspectos referentes à modelagem computacional de um sistema mecânico composto pelos passageiros e por um veículo de transporte urbano, associado a um ônibus típico. São desenvolvidos modelos de massa-mola-amortecedor para a representação dos passageiros, como também são consideradas estratégias de modelagens distintas para o veículo, com base no emprego de diferentes tipos de elementos finitos. O comportamento dinâmico do sistema passageiro-veículo é investigado a partir da análise do problema clássico de autovalores, o qual é apresentado aos alunos de graduação em engenharia nas disciplinas do ciclo básico (cálculo, álgebra vetorial, álgebra linear, etc), contudo sem ter a sua devida aplicação, respaldada, por exemplo, com base em problemas reais de engenharia. Comparações quantitativas e qualitativas são feitas com base na resposta do sistema passageiro-veículo, de forma a se verificar a influência da modelagem computacional.*

**Palavras-chave:** *Ensino de engenharia, Método dos elementos finitos, Veículos pesados, Vibrações mecânicas, Modelagem computacional.*

## 1. INTRODUÇÃO

Com base na atualização do ensino nos cursos de engenharia, os conhecimentos teóricos acerca do Método dos Elementos Finitos (MEF) tem sido estudados de forma regular pelos alunos de graduação das engenharias mecânica e civil da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ, em face da necessidade de se analisarem sistemas estruturais mais complexos, com base no uso de modernas técnicas computacionais.

Neste trabalho de pesquisa, pretende-se, inicialmente, contribuir para a modernização do ensino dos cursos de engenharia a partir da utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF), respaldado pelo emprego de técnicas de modelagem computacional e de ferramentas numéricas correntemente utilizadas por profissionais da área de engenharia.

Assim sendo, objetiva-se discutir aspectos referentes à modelagem computacional de um sistema mecânico composto pelos passageiros e por um veículo de transporte urbano, associado a um ônibus típico, largamente utilizado no transporte urbano da cidade do Rio de Janeiro. São desenvolvidos modelos de massa-mola-amortecedor para a representação dos passageiros, como também são consideradas estratégias de modelagens distintas para o veículo em estudo, com base no emprego de diferentes tipos de elementos finitos.

Finalmente, o comportamento dinâmico do sistema passageiro-veículo é investigado a partir da análise do problema clássico de autovalores, o qual é apresentado aos alunos de graduação em engenharia nas disciplinas do ciclo básico (cálculo, álgebra vetorial, álgebra linear, etc), contudo sem ter a sua devida aplicação, respaldada, por exemplo, com base em problemas reais de engenharia.

Evidentemente, o presente trabalho contribui no sentido de desmistificar o emprego corrente do problema de autovalores e autovetores na análise e projeto de sistemas estruturais de engenharia. Comparações quantitativas e qualitativas são feitas com base na resposta do sistema passageiro-veículo, de forma a se verificar a influência da modelagem computacional desenvolvida.

## 2. MODELO ESTRUTURAL

O presente trabalho inicia a partir da seleção de um modelo estrutural, de preferência associado à realidade prática de projeto. Por se tratar de um trabalho associado ao ensino de engenharia, um outro ponto importante para a escolha do presente modelo diz respeito ao nível de complexidade do mesmo, SILVA *et al* (2001).

Assim sendo, a escolha do chassi empregado na presente análise foi feita com base em modelos existentes no mercado de veículos de transporte urbano e que vem sendo utilizados em larga escala na cidade do Rio de Janeiro. O modelo escolhido é baseado em um chassi de ônibus urbano típico, com um nível de complexidade adequado a presente pesquisa.

O modelo do estrutural do veículo é composto por duas longarinas em perfil de aço do tipo "C" e seis travessas em perfil metálico do tipo "I". Os perfis de aço são considerados soldados e foram escolhidos a partir de informações técnicas a respeito do comportamento do veículo em estudo. O material utilizado durante o processo de modelagem foi o aço do tipo SAE-1020.

O chassi de ônibus analisado neste trabalho possui um peso total de 57kN, sendo que 31kN são suportados pelo eixo dianteiro e 26kN pelo eixo traseiro. Sua capacidade técnica de carga é igual a 177kN, sendo que 72kN são suportadas pelo eixo dianteiro e 105kN pelo eixo traseiro, ROBERTO e CARVALHO (2001). A Figura 1 apresenta uma representação detalhada do chassi de ônibus em estudo e, bem como, a Tabela 1 fornece informações técnicas específicas a respeito da geometria do modelo, ROBERTO e CARVALHO (2001).

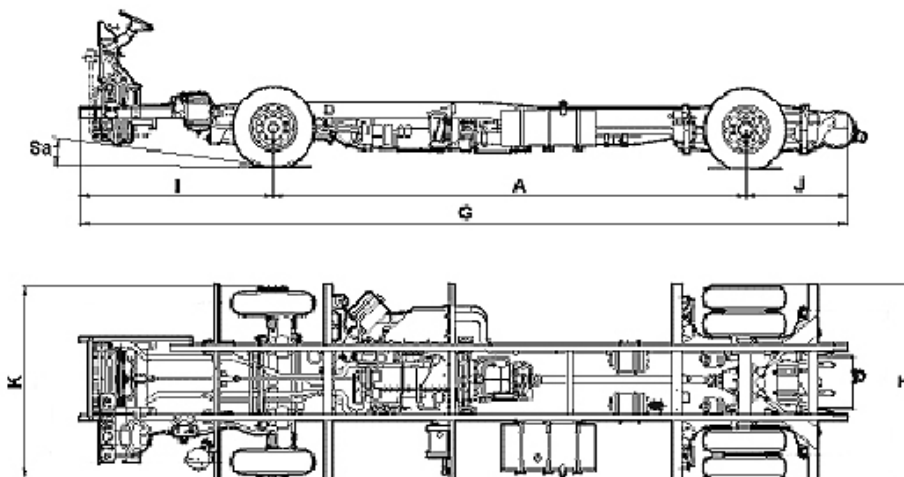


Figura 1 - Chassi de ônibus urbano típico.

Tabela 1 - Características geométricas do chassi.

Definição da Geometria	Dimensões (m)	Definição da Geometria	Dimensões (m)
Distância entre eixos (A)	6,000	Rodas dianteiras (K)	2,448
Balanço dianteiro (I)	2,350	Rodas traseiras (T)	2,460
Balanço traseiro (J)	1,300	Ângulo de entrada (Sa)	8,20°
Comprimento total (G)	9,650	Obs: O ângulo de entrada Sa é dado em graus.	

### 3. MODELAGEM COMPUTACIONAL DO SISTEMA

O emprego de modelos computacionais para a representação do comportamento dinâmico de veículos automotores terrestres é de fundamental importância para o projeto mecânico dessas viaturas. Determinados itens tais como a segurança, o conforto humano e o desempenho dos veículos fazem com que sejam desenvolvidos modelos matemáticos com um nível de complexidade crescente a medida em que se objetiva uma maior aproximação no que tange a representação dos modelos reais.

De forma geral, pode-se subdividir o estudo do comportamento dinâmico global de veículos terrestres, de acordo com três parcelas: comportamento dinâmico longitudinal, comportamento dinâmico lateral e comportamento dinâmico vertical. Essas três parcelas devem ser estudadas em conjunto, levando-se em consideração a interação entre as mesmas e a influência direta destas na estabilidade em curvas, na capacidade de frenagem e no tracionamento do veículo.

No processo de modelagem, de acordo com o tipo de análise que se pretende realizar, algumas hipóteses simplificadoras podem ser feitas, correntemente, e por esta razão é bastante comum o desenvolvimento de modelos matemáticos que consideram de forma isolada, por exemplo, o estudo do comportamento dinâmico vertical do veículo.

Assim sendo, desenvolve-se neste trabalho de pesquisa um modelo matemático, com base em técnicas usuais do Método dos Elementos Finitos (MEF), de forma a aplicar os conceitos estudados nos cursos de graduação em engenharia da FEN/UERJ no estudo do comportamento dinâmico de modelos reais, como no caso do ônibus urbano em estudo, SILVA *et al* (2001). Esse tipo de desenvolvimento desmistifica o emprego de conceitos

teóricos, extremamente importantes, para análise e projeto de sistemas estruturais como também familiariza o aluno de graduação com o emprego de ferramentas numéricas utilizadas correntemente por profissionais que atuam na área de engenharia, SILVA *et al* (2001).

Destaca-se como ferramenta numérica principal o Método dos Elementos Finitos (MEF), com base na utilização do programa ANSYS, ANSYS (1998). São desenvolvidas estratégias de modelagem referentes a diferentes tipos de elementos finitos tridimensionais. Comparações quantitativas e qualitativas serão feitas com base na resposta dos modelos em estudo. Com isto, espera-se caracterizar o comportamento dinâmico vertical dos modelos em estudo e bem como estudar a influência do modelo matemático desenvolvido no que tange a coerência dos resultados obtidos.

O modelo matemático é concebido de forma a simular o comportamento dinâmico vertical de um veículo pesado típico com chassi flexível. Há a participação da massa e da rigidez do motor, suspensão e dos passageiros na definição das frequências do conjunto, denominado comumente de sistema passageiro-veículo. O modelo desenvolvido neste trabalho simula um chassi de ônibus urbano com um motor dianteiro. A suspensão do veículo é do tipo feixe de molas.

São considerados sistemas discretos do tipo massa-mola-amortecedor para a representação de um passageiro, com o seu respectivo assento, e do motor do veículo, respectivamente. A suspensão do modelo é simulada com base no emprego de quatro sistemas discretos, um para cada pneu, com o objetivo de distribuir a força de reação por dois pontos de acoplamento no chassi do veículo, simulando uma suspensão do tipo feixe de molas. O modelo foi construído considerando-se simetria em relação ao eixo longitudinal do chassi de ônibus, embora não exista nenhuma restrição na metodologia de análise indicativa de obrigatoriedade de restrições de simetria no modelo matemático. A Figura 2 apresenta o modelo físico do veículo empregado neste trabalho.

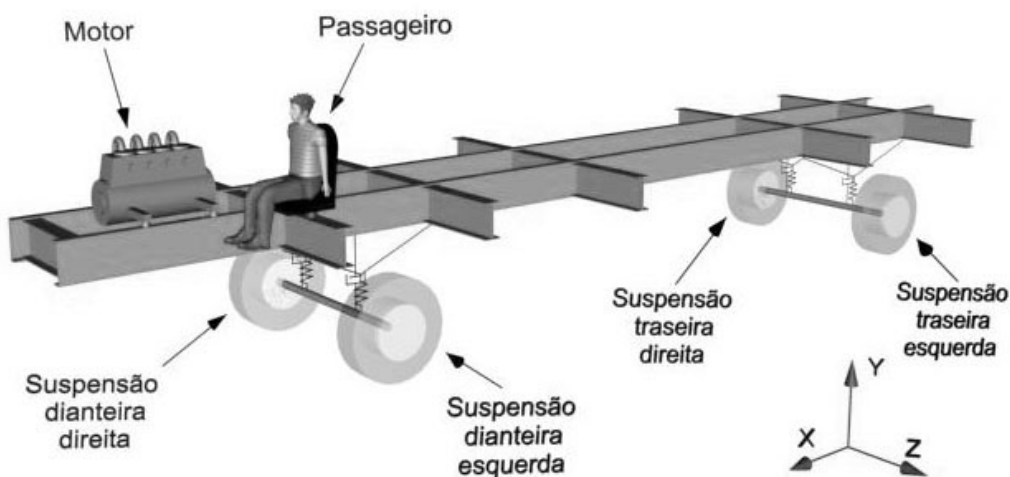


Figura 2 - Modelo físico do sistema passageiro-veículo.

### 3.1 Modelo do chassi flexível

No modelo matemático desenvolvido neste trabalho, considera-se que apenas o chassi do veículo apresenta função estrutural. A partir de técnicas usuais de discretização, via Método dos Elementos Finitos, as longarinas e travessas do chassi, mostrado na Figura 2, são modeladas, inicialmente, a partir de elementos finitos do tipo grelha e, em seguida, o chassi é simulado com base no emprego de elementos finitos sólidos.

**Elementos finitos de grelha.** Os elementos finitos do tipo grelha empregados na primeira modelagem do chassi de ônibus apresentam três nós. Cada nó do elemento finito de grelha apresenta três graus de liberdade, sendo que um grau de liberdade diz respeito aos deslocamentos translacionais verticais,  $u_y$ , o segundo corresponde aos deslocamentos rotacionais por flexão,  $\theta_z$ , e o terceiro se associa aos deslocamentos rotacionais por torção,  $\theta_x$ . Para a discretização do modelo foram utilizados 4650 elementos finitos de grelha e 13946 nós, perfazendo um total de 27905 graus de liberdade. A Figura 3 apresenta, na seqüência do texto, o elemento finito de grelha empregado na modelagem do chassi.

**Elementos finitos sólidos.** Os elementos finitos sólidos utilizados na segunda modelagem do chassi apresentam oito nós. Cada nó do elemento finito sólido apresenta seis graus de liberdade, sendo que três graus de liberdade correspondem aos deslocamentos translacionais verticais,  $u_x$ ,  $u_y$  e  $u_z$ , segundo as direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente, e outros três graus de liberdade estão associados aos deslocamentos rotacionais,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  e  $\theta_z$ , em torno dos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente. Para a discretização do chassi foram utilizados 76184 elementos finitos sólidos e 76158 nós, gerando um total de 159539 graus de liberdade. A Figura 4 ilustra a seguir o elemento finito sólido empregado na modelagem do chassi.

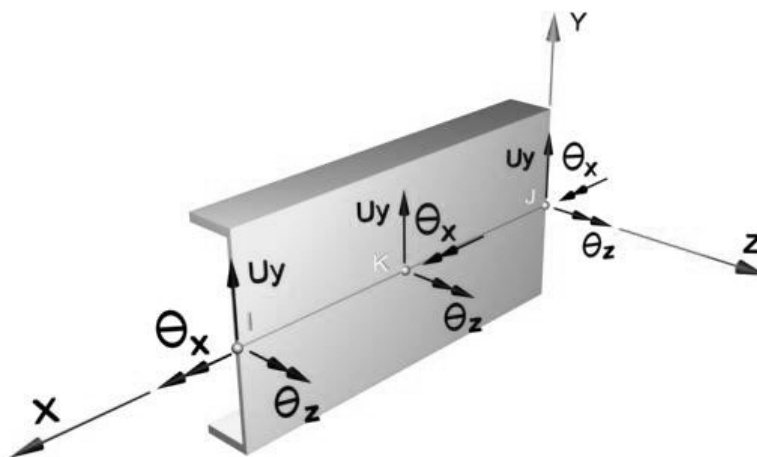


Figura 3 - Elemento finito de grelha utilizado na primeira modelagem do chassi.

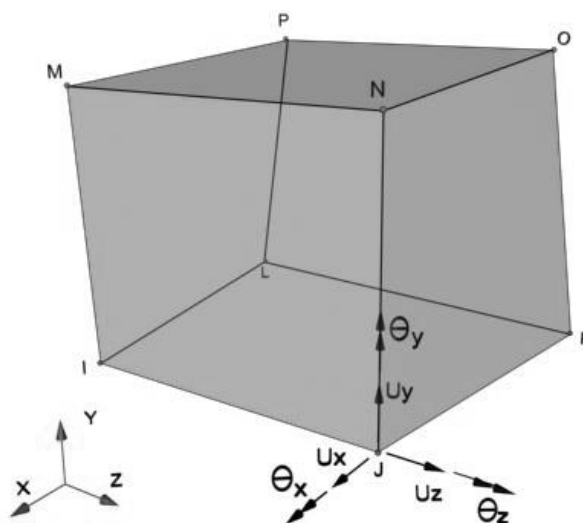


Figura 4 - Elemento finito sólido utilizado na segunda modelagem do chassi.

O aço empregado nas duas modelagens desenvolvidas neste trabalho, com elementos finitos de grelha e sólidos, é do tipo SAE-1020 e possui módulo de elasticidade longitudinal,  $E = 2,07 \times 10^5 \text{ MPa}$ , e massa específica,  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ . A Tabela 2 ilustra as seções transversais utilizadas na modelagem do chassi e bem como as suas propriedades geométricas.

Tabela 2 - Propriedades geométricas das seções transversais do chassi.

DIMENSÕES (mm)	PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS
<p>Longarinas</p>	<p>Momento de inércia de área: <math>I_y = 5,35 \times 10^{-5} \text{ m}^4</math>                      Momento de inércia de área: <math>I_z = 2,0 \times 10^{-6} \text{ m}^4</math>                      Área: <math>A = 3,888 \times 10^{-3} \text{ m}^2</math></p>
<p>Travessas</p>	<p>Momento de inércia de área: <math>I_y = 5,94 \times 10^{-5} \text{ m}^4</math>                      Momento de inércia de área: <math>I_z = 4,19 \times 10^{-6} \text{ m}^4</math>                      Área: <math>A = 4,463 \times 10^{-3} \text{ m}^2</math></p>

### 3.2 Modelo dos passageiros e do motor do veículo

Adotam-se sistemas discretos de massa-mola-amortecedor para a modelagem dos passageiros e do motor do veículo. São considerados apenas os graus de liberdade translacionais verticais associados às massas do passageiro e do motor. A Figura 5 apresenta o modelo de massa-mola-amortecedor empregado na análise. A Tabela 3 apresenta, em seguida, os parâmetros físicos utilizados na modelagem dos passageiros e do motor.

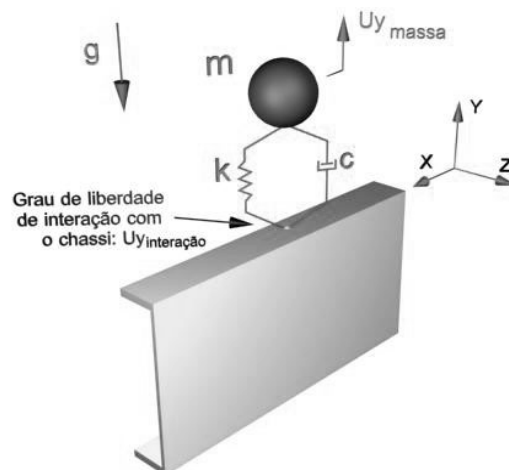


Figura 5 - Modelo massa-mola-amortecedor referente ao passageiro e motor.

Tabela 3 - Parâmetros físicos dos sistemas massa-mola-amortecedor, ROCHA (1998).

MASSA-MOLA-AMORTECEDOR	MASSA m (kg)	RIGIDEZ k (N/m)	AMORTECIMENTO c (N.s/m)
Passageiro	100	19620	1400
Motor	500	1226250	24761

### 3.3 Modelo da suspensão do veículo

A suspensão do veículo é modelada a partir do emprego de quatro sistemas discretos, um para cada pneu, com o objetivo de distribuir a força de reação por dois pontos de acoplamento no chassi, simulando uma suspensão do tipo feixe de molas real. O modelo é formado por uma mola a qual se encontra acoplada a duas barras rígidas sem massa, em uma de suas extremidades. As barras rígidas sem massa, por sua vez, são acopladas diretamente nas longarinas do chassi.

Os amortecedores associados a cada conjunto do modelo da suspensão são acoplados diretamente entre o eixo rígido das rodas e as longarinas do chassi. Os pneus do veículo, na presente análise, são considerados como sendo rígidos. As Figuras 6, 7 e 8 apresentam em detalhe o modelo real de uma suspensão do tipo feixe de molas e o modelo matemático desenvolvido para simular a referida suspensão, respectivamente. A Tabela 4, na seqüência do texto, fornece os parâmetros físicos utilizados na modelagem da suspensão.

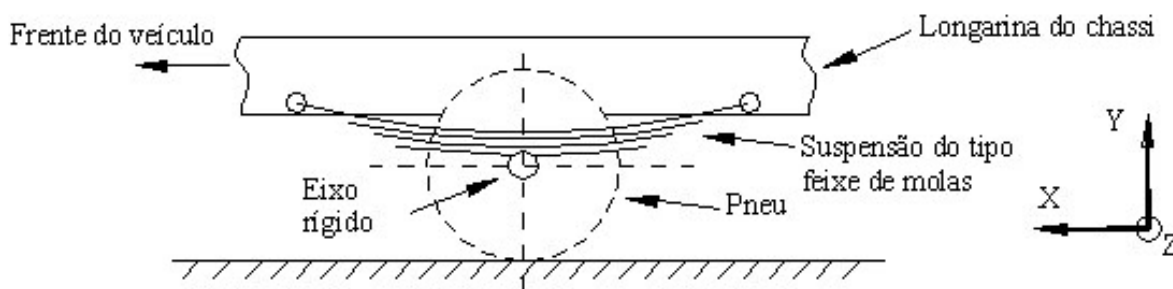


Figura 6 - Modelo real de uma suspensão do tipo feixe de molas.

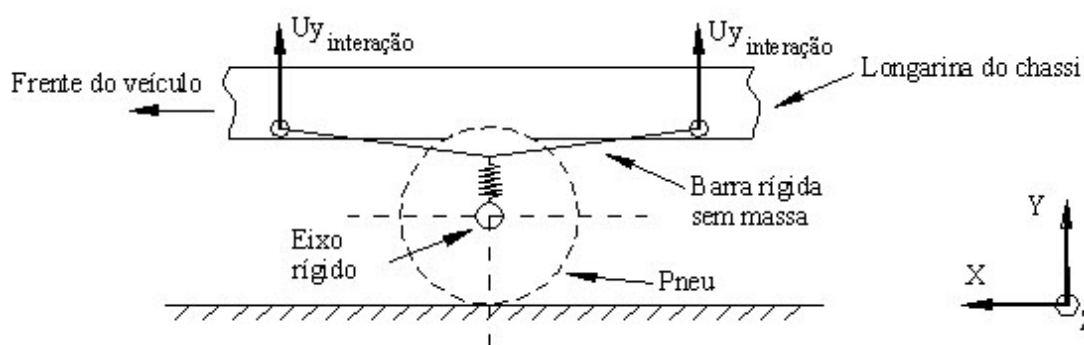


Figura 7 - Modelo físico considerado para o modelo da suspensão do tipo feixe de molas.

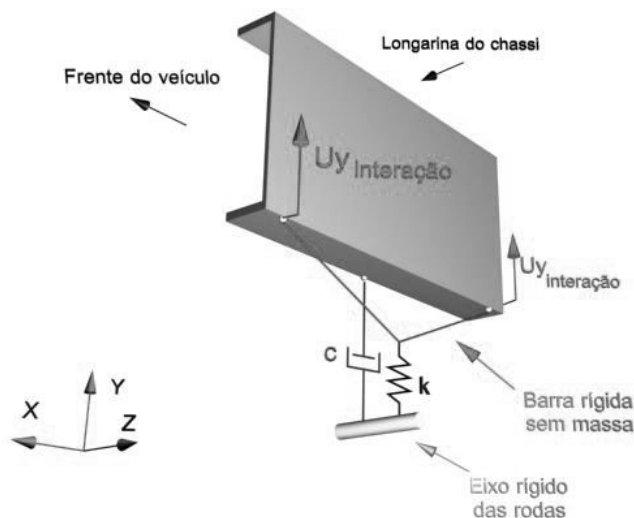


Figura 8 - Modelo desenvolvido para a simulação de uma suspensão do tipo feixe de molas.

Tabela 4. Parâmetros físicos da suspensão do tipo feixe de molas, ROCHA (1998).

SUSPENSÃO	RIGIDEZ $k$ (N/m)	AMORTECIMENTO $c$ (N.s/m)
Dianteira esquerda	193256	12872
Dianteira direita	193256	12872
Traseira esquerda	313595	19828
Traseira direita	313595	19828

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o objetivo de se avaliar de forma qualitativa e quantitativa a metodologia de análise desenvolvida neste trabalho, a partir de estratégias de modelagem associadas a diferentes tipos de elementos finitos tridimensionais utilizados para a simulação do veículo, procede-se a análise dos autovalores, freqüências naturais, e autovetores, modos de vibração, do modelo em estudo.

Pretende-se assim investigar o comportamento dinâmico do veículo com base em uma análise preliminar referente ao problema clássico de autovalores, o qual é apresentado aos alunos de graduação em engenharia nas disciplinas do ciclo básico (cálculo, álgebra vetorial, álgebra linear, etc), contudo sem ter a sua devida aplicação, respaldada, por exemplo, com base em problemas reais de engenharia. Objetiva-se, ainda, caracterizar o comportamento dinâmico vertical do veículo em estudo e bem como estudar a coerência dos resultados obtidos referentes à resposta do modelo matemático desenvolvido.

##### 4.1 Análise das freqüências e modos de vibração do chassi

Com base na metodologia de análise desenvolvida e considerando-se as modelagens empregadas para a discretização do chassi com base em elementos finitos de grelha, Figura 3, e elementos finitos sólidos, Figura 4, são determinadas as freqüências naturais e os modos de vibração do modelo.



Pode-se perceber, claramente, a partir dos resultados fornecidos pela Tabela 5, que existe uma boa concordância entre os valores das frequências naturais, obtidas por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF), considerando-se as duas modelagens desenvolvidas. Tal fato mostra que o modelo numérico aqui apresentado, e bem como os resultados e conclusões obtidas ao longo deste trabalho apresentam um nível de concordância bastante satisfatório.

Tabela 5 - Frequências naturais do chassi de ônibus urbano.

FREQÜÊNCIAS NATURAIS - $f_{0i}$ (Hz)	ELEMENTOS FINITOS DO TIPO GRELHA - $f_{0i}$ (Hz)	ELEMENTOS FINITOS SÓLIDOS - $f_{0i}$ (Hz)
$f_{01}$	2,05	2,20
$f_{02}$	3,83	3,83
$f_{03}$	7,80	7,75
$f_{04}$	9,40	9,50
$f_{05}$	16,80	18,05

A Tabela 6 apresenta, agora, uma descrição detalhada do comportamento dos modos de vibração do chassi. Convém chamar a atenção do leitor para o fato de que o comportamento dos modos de vibração foi bastante similar quando comparados os resultados obtidos em modelagens distintas, com base em elementos finitos de grelha e elementos finitos sólidos. A visualização dos modos de vibração apresentados, respaldada pelo emprego do ambiente ANSYS, ANSYS (1998), permite uma identificação precisa das características de cada modo.

Tabela 6 - Descrição detalhada das características dos modos de vibração do modelo.

MODOS DE VIBRAÇÃO	DESCRIÇÃO DOS MODOS DE VIBRAÇÃO
1 <sup>o</sup> Modo	Modo de vibração com preponderância de deslocamentos do assento do passageiro em conjunto com um movimento de “roll” do chassi.
Grelha: $f_{01}=2,05\text{Hz}$ Sólido: $f_{01}=2,20\text{Hz}$	
2 <sup>o</sup> Modo	Modo de vibração com preponderância de deslocamentos na suspensão dianteira do modelo em conjunto com um movimento de “bounce” do chassi.
Grelha: $f_{02}=3,83\text{Hz}$ Sólido: $f_{02}=3,83\text{Hz}$	
3 <sup>o</sup> Modo	Modo de vibração com preponderância de deslocamentos associados ao motor do modelo em conjunto com um modo de torção do chassi.
Grelha: $f_{03}=7,80\text{Hz}$ Sólido: $f_{03}=7,75\text{Hz}$	
4 <sup>o</sup> Modo	Modo de vibração com preponderância de deslocamentos na suspensão traseira em conjunto com um movimento de “bounce” do chassi e um modo de flexão do modelo
Grelha: $f_{04}=9,40\text{Hz}$ Sólido: $f_{04}=9,50\text{Hz}$	
5 <sup>o</sup> Modo	Modo de vibração com preponderância de deslocamentos no chassi em conjunto com um movimento de “pitch” e um modo de flexão do modelo.
Grelha: $f_{05}=16,80\text{Hz}$ Sólido: $f_{05}=18,05\text{Hz}$	

Na seqüência do trabalho, o modo de vibração correspondente a primeira freqüência natural do chassi em estudo, também chamada de freqüência fundamental, é apresentado, inicialmente, com base no emprego de elementos finitos de grelha, como mostra a Figura 9, e, em seguida, com base na utilização de elementos finitos sólidos, como ilustrado na Figura 10.

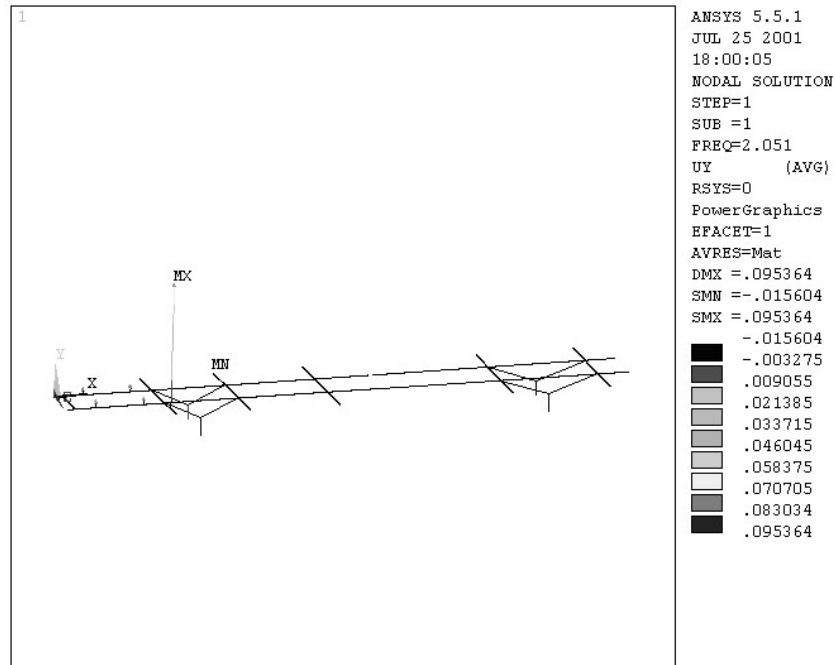


Figura 9 - Modo de vibração referente à primeira freqüência natural obtida com o emprego de elementos finitos de grelha ( $f_{01}=2,05\text{Hz}$ ).

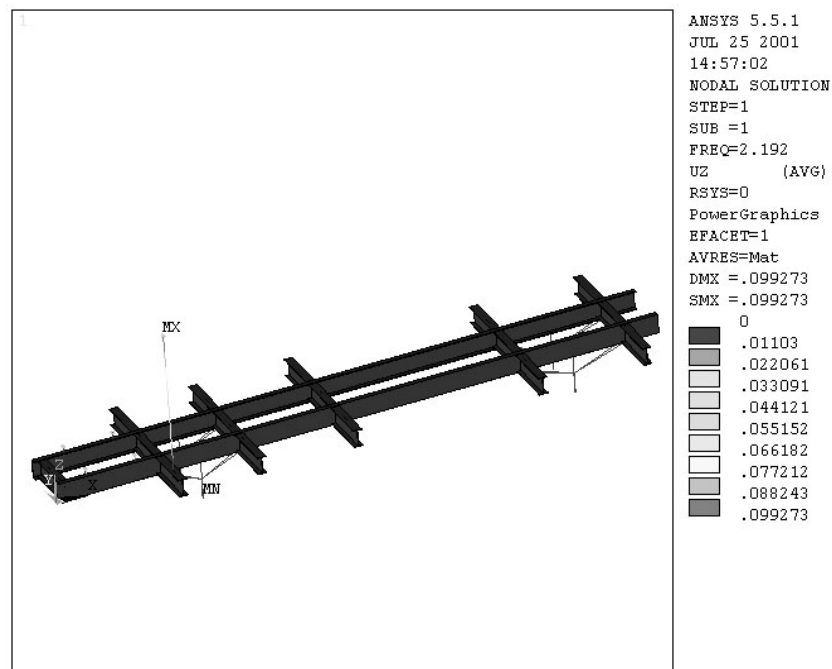


Figura 10 - Modo de vibração referente à primeira freqüência natural obtida com o emprego de elementos finitos sólidos ( $f_{01}=2,20\text{Hz}$ ).



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo inicial deste trabalho de pesquisa é o de contribuir para a modernização do ensino dos cursos de engenharia, principalmente, através da disseminação do emprego corrente do Método dos Elementos Finitos (MEF), em conjunto com técnicas de modelagem computacional e de ferramentas numéricas utilizadas por profissionais da área de engenharia.

Esta contribuição apresenta um caráter bastante relevante e atual para os alunos de graduação da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ, participantes de trabalhos anteriores e do presente trabalho de pesquisa, pois, atualmente, se faz necessário que esses alunos de graduação, ao final do curso regular de engenharia, possuam pelo menos algum tipo de experiência no tocante a modelagem de sistemas estruturais mais complexos, associados a problemas reais da prática corrente de projeto.

Um outro ponto que merece ser destacado diz respeito ao comportamento dinâmico do sistema passageiro-veículo, investigado neste trabalho, a partir da análise do problema clássico de autovalores, o qual é apresentado aos alunos de graduação em engenharia nas disciplinas do ciclo básico (cálculo, álgebra vetorial, álgebra linear, etc), todavia sem ter a sua devida aplicação, respaldada, por exemplo, com base em problemas reais de engenharia.

Fica evidenciado, após o desenvolvimento deste trabalho, que deve existir um canal de comunicação estreito entre o ciclo básico e o ciclo profissional das engenharias, de forma a direcionar o ensino dos conceitos teóricos associados, por exemplo, as disciplinas de cálculo e de álgebra linear, com maior qualidade de forma a se alcançar um nível maior de maturidade e produtividade por parte dos alunos de graduação.

No que tange a modelagem computacional do ônibus urbano, verifica-se que os resultados apresentados neste trabalho referentes, principalmente, aos valores das frequências naturais (autovalores), foram da mesma ordem de grandeza quando comparados entre si, independentemente do tipo de modelagem empregada.

Convém chamar a atenção do leitor para o fato de que o modelo em elementos finitos considerado mais apropriado para a representação de estruturas tridimensionais (volumes), é o modelo dos elementos sólidos (SOLID 73). Contudo, deve-se ressaltar que o esforço computacional necessário para uma boa representação tridimensional ainda representa uma certa dificuldade, já que esses modelos requerem uma grande quantidade de elementos finitos e, como conseqüência, tornam inviável sua representação em algumas situações. Por outro lado, uma análise estrutural calcada em modelos bidimensionais (representativos), nos fornecem respostas mais rápidas, porém aproximadas.

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa mostra claramente que para modelos menos complexos pode-se recomendar o uso de elementos finitos de viga, os quais não requerem computadores com grande capacidade de memória, reduzem o tempo de análise e, ainda, fornecem respostas bem próximas daquelas obtidas com base em modelos reais ensaiados experimentalmente. Portanto, deve-se, sempre que possível, balancear a necessidade de respostas numéricas precisas com os recursos computacionais disponíveis.

### *Agradecimentos*

Os autores deste trabalho de pesquisa agradecem a Direção da Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ, e ao Laboratório de Computação do Ciclo Básico, LabBas/FEN/UERJ.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS, **Swanson Analysis Systems**, Inc., P.O. Box 65, Johnson Road, Houston, PA, 15342-0065, Version 5.5, Basic analysis procedures, Second Edition, 1998.



ROBERTO, M.A.R.; CARVALHO, M.A.C., **Análise Estrutural do Chassi de um Ônibus Utilizando Elementos Finitos Tridimensionais**, Faculdade de Engenharia, FEN, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Departamento de Engenharia Mecânica, MECAN, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

ROCHA, R.S., **Análise Dinâmica de Chassi Veicular Utilizando os Procedimentos Generalizados da Técnica dos Grafos de Ligação**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

SILVA, J.G.S. da; SOEIRO, F.J. da C.P.; TRIGUEIRO, G.S.; ROBERTO, M.A.R., **Análise Estrutural de Chassis de Veículos Pesados com Base no Emprego do Programa Ansys**. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, COBENGE 2001, Porto Alegre, Anais publicados em CD-ROM, 2001.

SILVA, J.G.S. da; SOEIRO, F.J. da C.P.; VELLASCO, P.C.G. da S.; GUIMARÃES, L.P.; VELOZO, L.T., **Uma Experiência Acadêmica nos Cursos de Graduação da Faculdade de Engenharia da UERJ a partir da Utilização do Programa Ansys**. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, COBENGE 2001, Porto Alegre, Anais publicados em CD-ROM, 2001.