

## DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DIDÁTICO PARA O ENSINO E PROJETO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE ESTRUTURAS

**José G. S. da Silva** - jgss@uerj.br

Depto. Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

**Pedro C. G. da S. Vellasco** - vellasco@uerj.br

Depto. Estruturas e Fundações, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

**Francisco J. da C. P. Soeiro** - soeiro@uerj.br

Depto. Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

**Denise M. S. Gerscovich** - deniseg@uerj.br

Depto. Estruturas e Fundações, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

**Marcos A. Glinaudeli** - magcb@zipmail.com.br

Depto. de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, FEN/UERJ

Rua São Francisco Xavier, N<sup>o</sup> 524, Bloco A, 5<sup>o</sup> Andar, CEP: 20559-900, Rio de Janeiro, RJ

***Resumo.** Atualmente, os alunos de engenharia apresentam uma grande dificuldade em visualizar e compreender os fenômenos físicos associados ao comportamento dinâmico de sistemas estruturais. Essa foi a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho, respaldado pela implementação de programas gráficos nos Laboratórios de Computação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ, de modo contribuir para minorar tal deficiência. A partir do uso dessas ferramentas gráficas educacionais, os alunos podem entender e visualizar com mais clareza o processo de avaliação do comportamento dinâmico de sistemas estruturais, a partir de exemplos bastante simples. Esse tipo de problema, associado a vibrações, onde ocorrem modificações nas quantidades de movimento desses sistemas elásticos e nos quais o equilíbrio dos mesmos só é verificado com a consideração das forças de inércia, ou forças de massa, é bastante freqüente em problemas de engenharia. A partir do desenvolvimento dessa linha de pesquisa, pretende-se, ainda, introduzir conceitos básicos de dinâmica estrutural na graduação da FEN/UERJ.*

***Palavras-chave:** Dinâmica estrutural, Sistemas estruturais, Sistemas gráficos.*

### 1. INTRODUÇÃO

Com base no nível de desenvolvimento bastante significativo dos processos construtivos e a partir da elaboração de projetos arquitetônicos cada vez mais arrojados, associados a estruturas cada vez mais esbeltas, se faz necessário que os profissionais atuantes nas áreas das engenharias civil e mecânica, principalmente os engenheiros de projeto, estejam atentos aos

problemas associados à vibração dos mais variados tipos de estruturas, quando estas são submetidas a solicitações essencialmente dinâmicas.

Como exemplos associados a ações dinâmicas, pode-se citar a ação de um motor sobre sua base, a do vento ou das ondas do mar sobre estruturas de edificações, a de sismos ou terremotos, explosões, ações de impacto de objetos móveis, comboios de veículos trafegando sobre a superestrutura das pontes e atividades rítmicas que ocorrem em estádios de futebol, academias de ginástica ou salões de festa. Em todos esses casos, o equilíbrio dos sistemas estruturais só é verificado com a consideração das forças de massa ou forças de inércia. Dessa forma, o estudo da dinâmica estrutural apresenta importância singular em situações correntes da engenharia.

Deste modo, este trabalho de pesquisa apresenta como objetivo principal o desenvolvimento de um software didático, de forma a incluir em sua versão final, os efeitos devidos à ação de cargas dinâmicas sobre sistemas estruturais de engenharia (civil e/ou mecânica). Ao longo do trabalho será apresentado, de forma resumida, o desenvolvimento de um programa educacional, programa DINEST, com base na plataforma Windows, que possa auxiliar os alunos de graduação em engenharia a visualizar e entender com mais clareza o comportamento dinâmico desses sistemas estruturais.

## **2. CONSIDERAÇÃO DAS AÇÕES DINÂMICAS EM PROJETO**

Atualmente, em decorrência das novas tendências do mercado mundial, que se torna cada vez mais competitivo, os profissionais ligados à área de projetos estruturais têm procurado concatenar soluções que conduzam a situações de consumo mínimo de material e mão de obra e, bem como, uma maior velocidade de execução do projeto.

Por outro lado, tem-se percebido um aumento considerável dos problemas de engenharia, associados à vibração dos mais variados tipos de estruturas, quando estas são submetidas a solicitações essencialmente dinâmicas.

O crescimento deste tipo de problema, referente à vibração de sistemas estruturais, se deve, principalmente, ao fato de que a grande maioria dos engenheiros desconhece o problema referente à dinâmica estrutural; e, assim, limitam-se apenas a proceder a uma análise estática das estruturas correntes em projetos de engenharia.

Finalmente, o dimensionamento desses sistemas estruturais puramente calcado em uma análise estática pode levar, em determinados casos, a que o sistema apresente vibrações excessivas, comprometendo a segurança e prejudicando a sua utilização, principalmente quando estes são submetidas a ações dinâmicas.

## **3. PROGRAMA DINEST**

Objetivando o desenvolvimento de um software didático que motivasse os alunos de graduação a partir de recursos gráficos e facilidade na compreensão dos conceitos envolvidos, optou-se pela linguagem de programação DELPHI (Santos e Reis, 1998).

Dessa forma, o programa DINEST foi desenvolvido em linguagem DELPHI (Santos e Reis, 1998), a partir de uma arquitetura baseada em janelas sucessivas, com base na plataforma Windows. Cada janela gerada pelo programa permite a aquisição de valores numéricos prévios fornecidos pelo usuário. Esses valores devem ser colocados nos espaços a serem preenchidos e/ou botões.

De acordo com a utilização sequencial do programa DINEST, procede-se a análise dinâmica, vibração livre e vibração forçada, de inúmeros sistemas estruturais bastante simples e didáticos (Roehl, 1981 e Prodonoff, 1990). O programa DINEST foi concebido para ser

utilizado em disciplinas da graduação da FEN/UERJ como, por exemplo, Dinâmica Estrutural, Vibrações Mecânicas e Tópicos Especiais em estruturas. O desenvolvimento do presente trabalho de pesquisa compreendeu as seguintes etapas:

- 1ª. Revisão bibliográfica sobre o assunto em questão, Dinâmica Estrutural;
- 2ª. Estudo detalhado dos conceitos básicos de Dinâmica das Estruturas (Roehl, 1981);
- 3ª. Estudo da linguagem de programação DELPHI (Santos e Reis, 1998);
- 4ª. Elaboração e implementação do programa DINEST;
- 5ª. Execução dos testes no programa desenvolvido;
- 6ª. Conclusão do trabalho com base em exemplos rodados no programa DINEST.

Inicialmente, serão apresentados neste trabalho exemplos associados a sistemas com apenas um grau de liberdade (SIGL). O programa DINEST pode proceder a uma análise de vibração livre, através do cálculo das frequências naturais, ou de vibração forçada, com a obtenção da resposta do sistema em termos de deslocamentos. Para tal, são consideradas ações dinâmicas do tipo retangulares e/ou senoidais (cargas e/ou pulsos). O software permite a possibilidade do usuário incluir, ou não, os parâmetros associados ao amortecimento. O usuário do programa DINEST tem acesso, ainda, a uma seção onde são definidas teoricamente as grandezas físicas referentes à massa, amortecimento e rigidez do sistema.

A primeira janela do programa DINEST, janela de abertura, é composta por um menu com as opções “arquivo” e “ajuda”. Na opção “arquivo”, o usuário pode iniciar uma nova análise, trabalhar como uma já existente, salvar alterações executadas, ou mesmo sair do programa. A opção “ajuda” está associada a uma série de informações sobre conceitos teóricos referentes à dinâmica estrutural, como também acerca do próprio software desenvolvido, como é mostrado na Fig. 1.

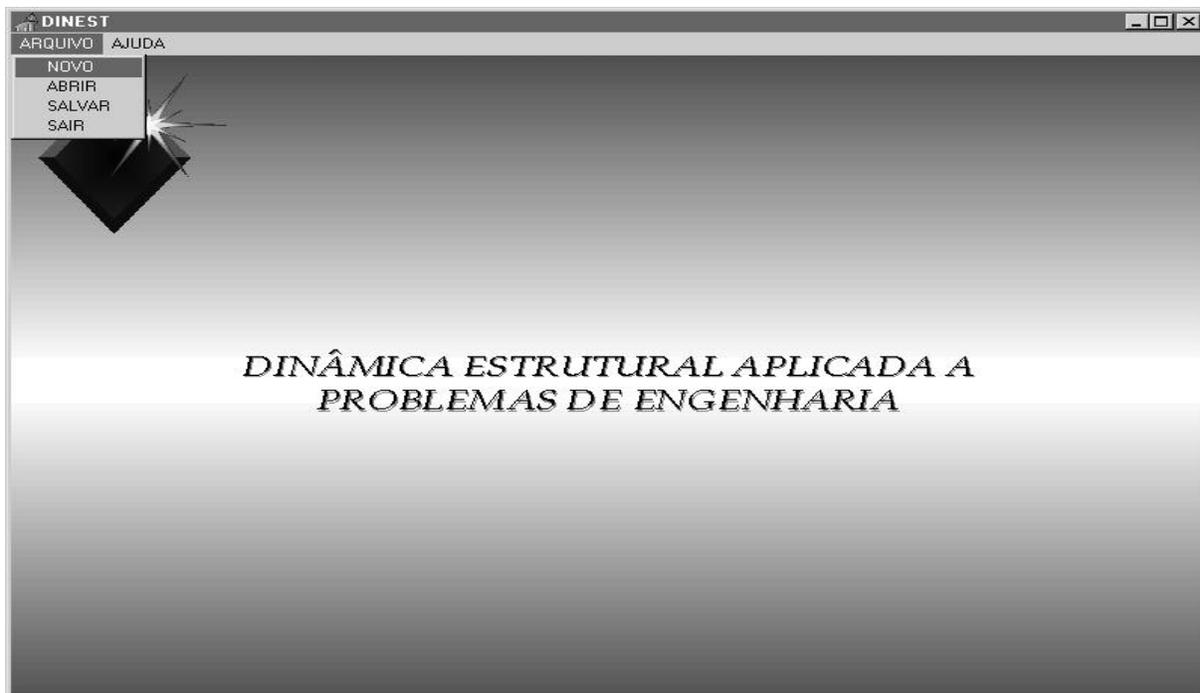


Figura 1. Janela de abertura do programa DINEST.

Na sequência do programa DINEST, de forma a proceder à análise dinâmica de um determinado sistema, o usuário precisa definir as características dinâmicas do mesmo. Desse modo, a partir das opções “rigidez” e “amortecimento”, o usuário define essas grandezas

podendo, ainda, ter acesso a uma janela de ajuda que explica, resumidamente, o conceito físico de rigidez e de amortecimento, como é mostrado nas Fig. 2 e Fig. 3.



Figura 2. Definição do coeficiente de rigidez pelo usuário.

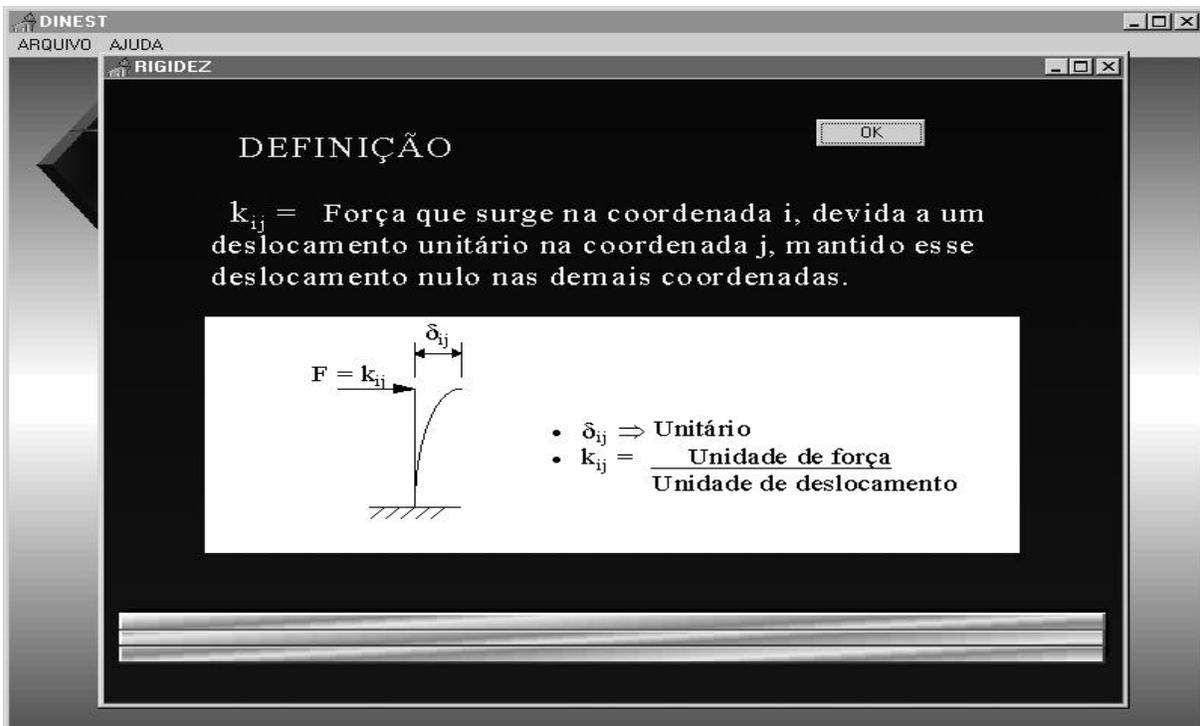


Figura 3. Janela com a definição teórica de rigidez.

O usuário do programa DINEST pode, agora, com base na opção “sistema”, proceder a escolha de um modelo, por exemplo, associado a um S1GL (Sistema com um Grau de Liberdade), sobre o qual irá desenvolver a análise, como é apresentado na Fig. 4.



Figura 4. Janela de diálogo para a seleção de um modelo estrutural.

Ao selecionar um novo modelo (pêndulo simples, viga rígida, sistema massa-mola e pêndulo de torção), o usuário passa a trabalhar com uma janela interativa de diálogo, associada a cada sistema distinto. Cada janela de diálogo gerada pelo programa DINEST, com base na opção “sistema”, permite a aquisição de valores numéricos, de acordo com as características de cada modelo escolhido para análise, fornecidos pelo previamente pelo usuário. Esses valores devem ser colocados nos espaços a serem preenchidos e/ou botões, como mostram as Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8.

Nessas janelas, associadas aos modelos (pêndulo simples, viga rígida, sistema massa-mola e pêndulo de torção), o botão “teoria” torna disponíveis para o usuário do programa DINEST, aspectos teóricos referentes à dinâmica estrutural, de acordo com a sua necessidade específica. A opção referente a “excitação” define o tipo da solicitação dinâmica a ser aplicada no sistema estrutural, cargas retangulares e/ou senoidais, ou ainda, pulsos retangulares e/ou senoidais. O botão “calcular” procede à execução dos cálculos, a partir dos dados fornecidos previamente pelo usuário, de forma a apresentar, em seguida, os resultados da análise em uma janela disposta logo abaixo dessa opção. Finalmente, as opções “salvar” e “sair” estão associados, respectivamente, ao armazenamento dos dados de entrada e resultados do exemplo analisado e ao retorno à janela inicial para escolha de um novo sistema, como é apresentado nas Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8.

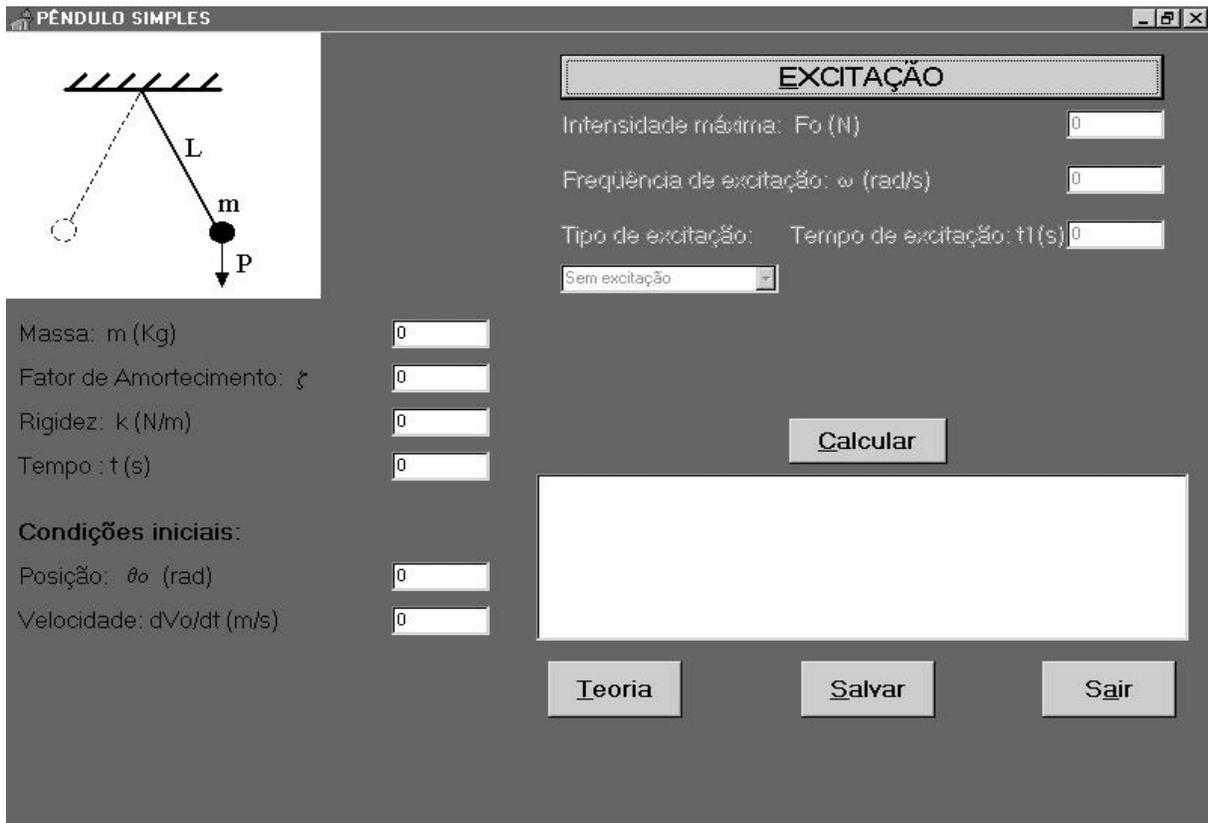


Figura 5. Modelo do pêndulo simples.

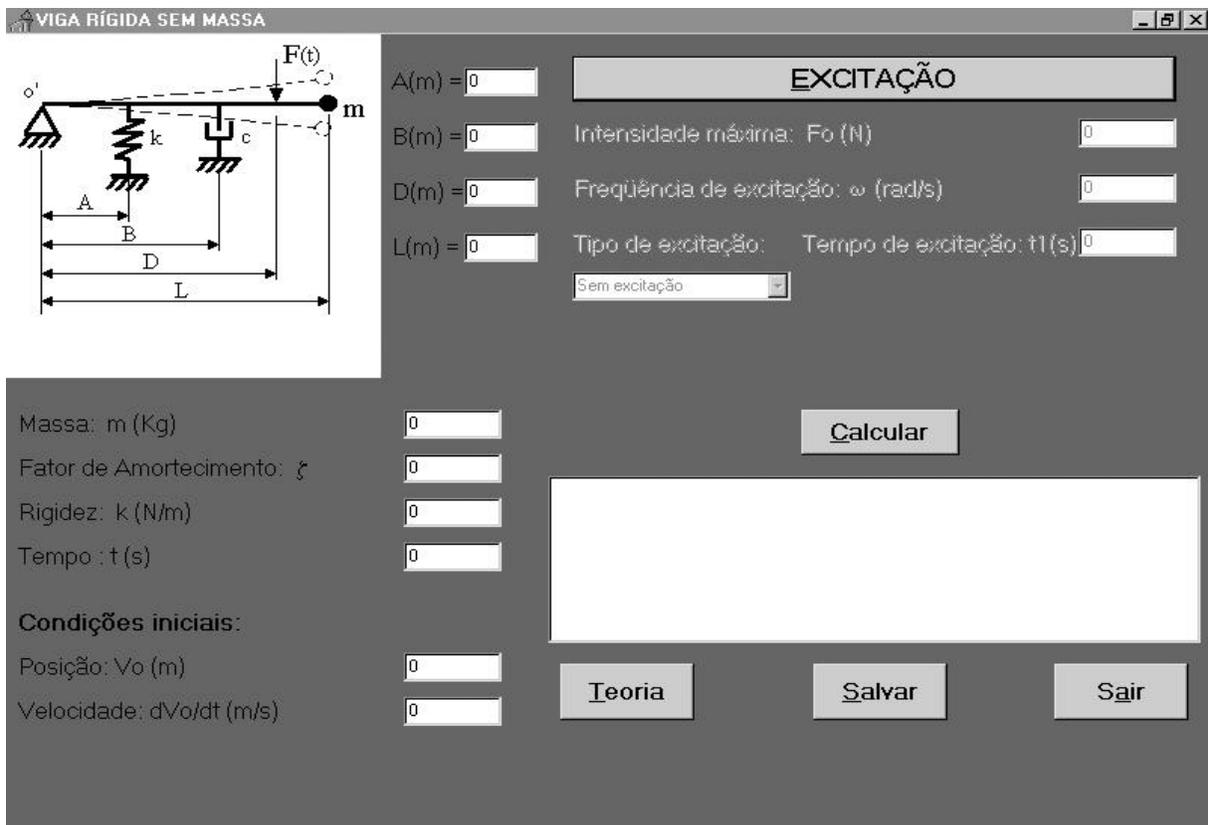


Figura 6. Modelo da viga rígida.

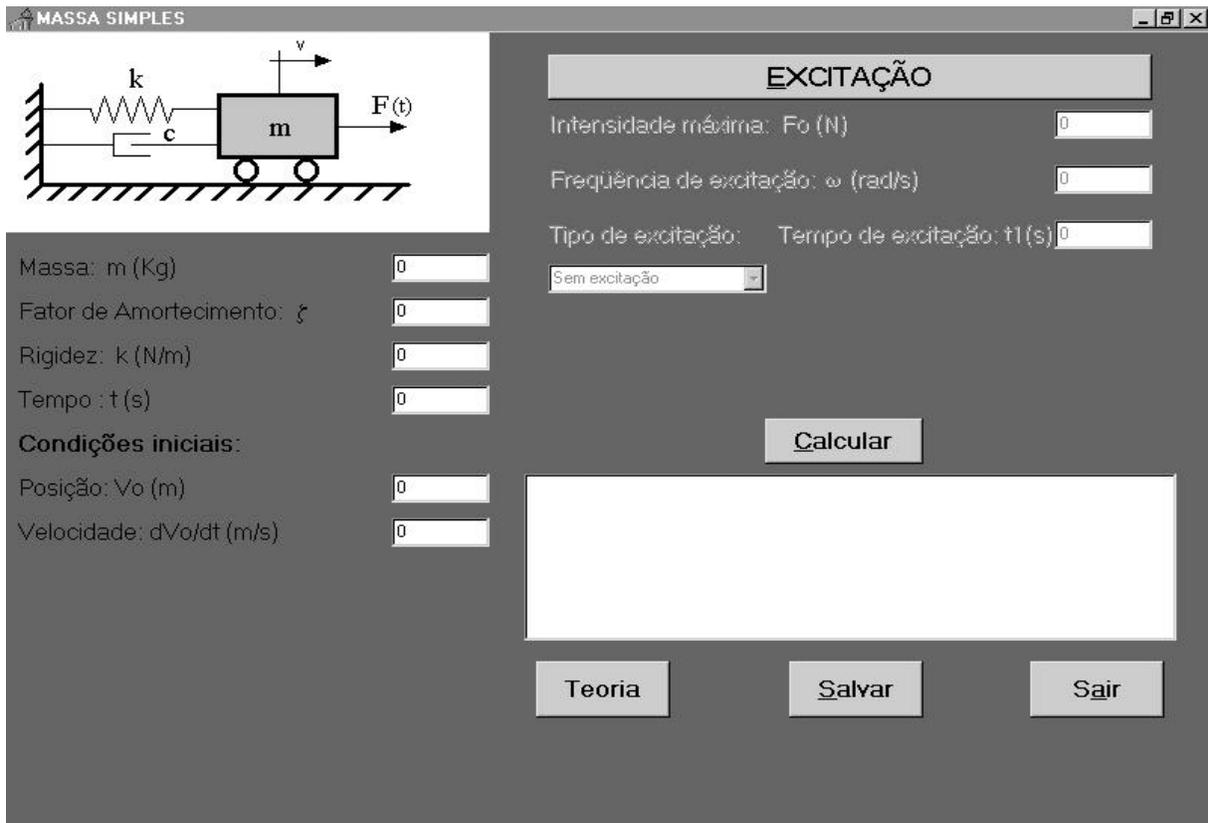


Figura 7. Modelo do sistema massa-amortecedor-mola.

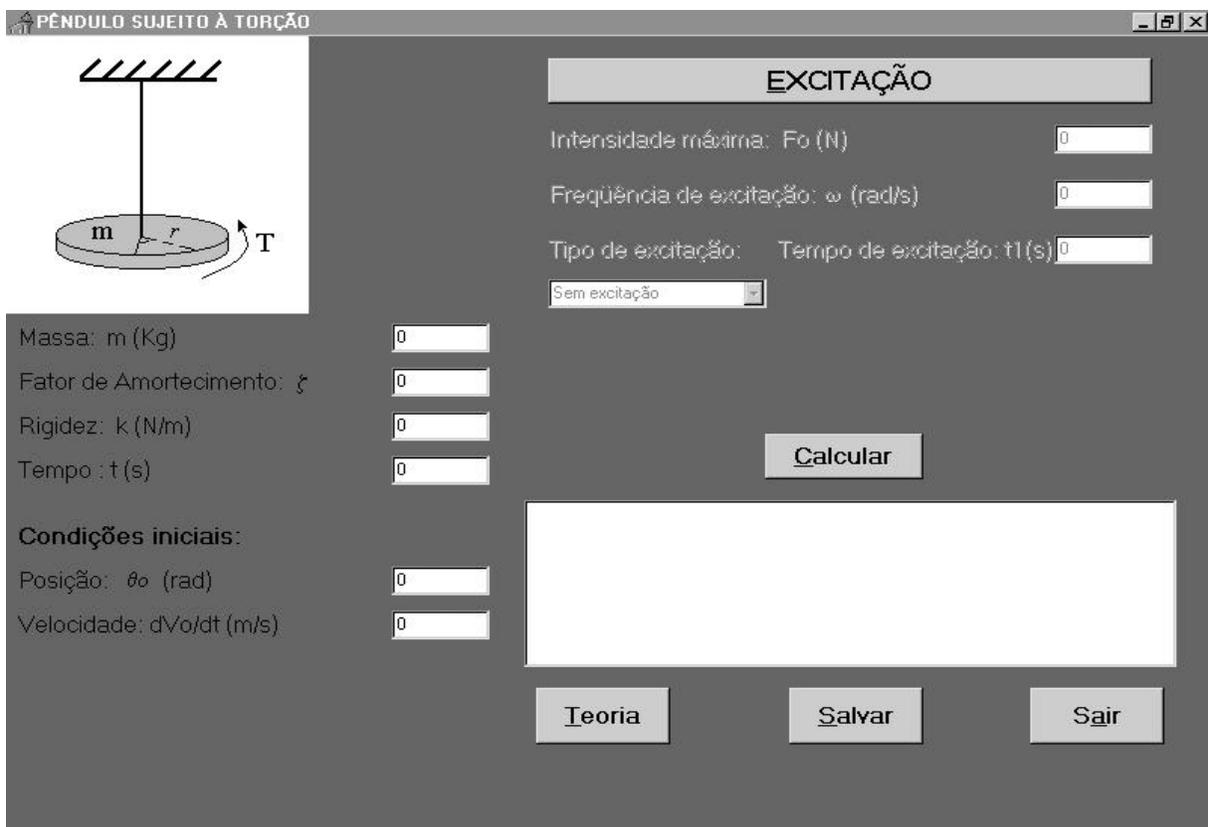


Figura 8. Modelo do pêndulo de torção.

Na seqüência do programa, é mostrado nas Fig. 9 e Fig. 10, devido a limitações de espaço, apenas um exemplo de cálculo, bastante simples, associado a um sistema massa-amortecedor-mola (S1GL). Na Fig. 9 são apresentados os dados fornecidos pelo usuário do programa DINEST e na Fig. 10 a solução para o problema proposto.



Figura 9. Janela de diálogo com dados de entrada fornecidos pelo usuário.

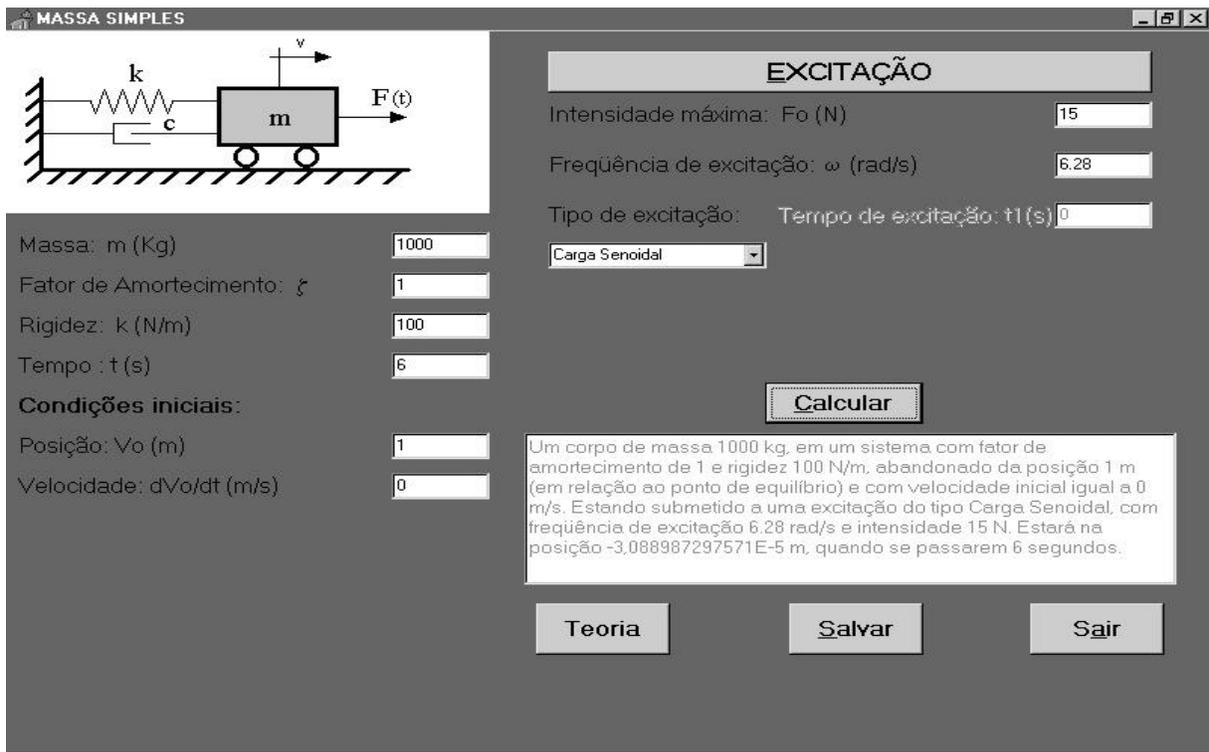


Figura 10. Janela de diálogo com os resultados iniciais para a análise proposta.

#### **4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

O programa DINEST apresenta algumas limitações referentes a sua primeira versão. A primeira delas está associada ao número de graus de liberdade. O programa desenvolvido procede a todas as rotinas de cálculo, descritas ao longo do trabalho, para sistemas com apenas um grau de liberdade (S1GL). Assim sendo, se faz necessário à implementação de novas rotinas de cálculo que incorporem sistemas com vários graus de liberdade (SVGL), em consonância com situações correntes da engenharia. Com referência aos modelos estruturais implementados, objetiva-se a inclusão de novos sistemas no programa associados, por exemplo, a pórticos planos. No que tange às ações dinâmicas aplicadas aos modelos, referentes aos problemas de vibração forçada, pode-se, ainda, implementar as cargas triangulares e trapezoidais. Finalmente, faz-se necessária à criação de novas janelas de diálogo no programa DINEST, de forma a oferecer ao usuário à resposta no tempo, em termos de deslocamentos e esforços, bem como os espectros de resposta, para uma dada solicitação dinâmica, de acordo com faixas de frequência previamente fornecidas.

#### **5. CONCLUSÕES**

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa contribuiu como uma iniciativa para a implementação e utilização de uma ferramenta gráfica educacional, programa DINEST, de forma a incluir em sua versão final os efeitos devidos à ação de cargas dinâmicas sobre sistemas estruturais de engenharia. A implementação de aplicativos dessa natureza está associada a um dos principais elementos motivadores no desenvolvimento de novos programas para o ensino de Engenharia por parte de alunos e professores. Por outro lado, este trabalho demonstra com clareza a importância de se introduzir conceitos básicos de dinâmica estrutural nos cursos de graduação da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ.

O desenvolvimento desta linha de pesquisa ressalta a grande importância do emprego programas gráficos, com base em interfaces amigáveis, nos cursos de engenharia. Percebe-se, claramente, que esses aplicativos contribuem para um aproveitamento mais eficiente dos alunos nos cursos de graduação, visto que os mesmos compreendem e visualizam com mais clareza os fenômenos físicos envolvidos.

Finalmente, pode-se afirmar que, sem sombra de dúvida, o emprego desses aplicativos gráficos faz com que os alunos se sintam mais motivados, tornando o processo de aprendizagem mais interativo e eficiente, possibilitando o estudo e a discussão de conceitos e assuntos referentes ao comportamento dinâmico de sistemas estruturais, já que esse é um assunto de importância indiscutível, entretanto, atualmente pouco explorado na graduação.

#### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem a Faculdade de Engenharia, FEN, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, e ao Laboratório de Computação das Ciências do Ciclo Básico, LabBas/FEN/UERJ.

#### **REFERÊNCIAS**

- Prodonoff, V.; “Vibrações Mecânicas. Simulação e Análise”, 1990.  
Roehl, J.L.P.; “Dinâmica Estrutural. Domínio do Tempo”, Vol. I; DEC/CIV/PUC-Rio, 1981.  
Santos, L. do N. L. e Reis, R. “Programação de Computadores. Linguagem DELPHI”;  
Diretoria de Informática, DINFO, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ; 1998.