

# LABORATÓRIO DE ENSAIO VIRTUAL DE SISTEMAS DINÂMICOS

QUIRINO, Rogério Bastos<sup>1</sup>  
GASOTO, Maycon Aparecido<sup>2</sup>

## RESUMO:

Este artigo apresenta a fase inicial de desenvolvimento de uma plataforma computacional ao ensino da modelagem, análise, simulação e implementação de sistemas dinâmicos estudados nos mais variados campos das ciências, em especial das exatas. Nesta fase inicial do desenvolvimento somente os sistemas lineares e invariantes no tempo estão sendo suportados na plataforma. Os objetivos parciais ínfimos alcançados da proposta global são apresentados. A estruturação da plataforma é baseada na semiótica pragmaticista de Peirce, de forma a criar um ambiente propício ao desenvolvimento da relação teórico-prática necessária à construção do conhecimento crítico entre professores e estudantes. O laboratório virtual em desenvolvimento permite vantajosamente reproduzir fielmente a dinâmica do modelo quando comparada ao comportamento do sistema real, de maneira que os estudantes possam identificar os conceitos teóricos envolvidos nas implementações virtuais e associá-los às situações reais. Exemplos de ensaio de sistemas mecânicos massa-mola-amortecedor estão disponíveis no sítio <http://www.magsoft.com.br>.

**Palavras-chave:** Modelagem; Educação em Engenharia; Laboratório Virtual; Semiótica; Portabilidade; Sistemas Dinâmicos.

## Virtual Laboratory of Dynamic Systems in Engineering.

**Abstract** - This article presents the initial stage of development of a computational platform for modeling, analysis, simulation and implementation teaching of general dynamic systems, mainly of various engineering fields. At this early stage of development just linear and invariant systems is taking account on the platform. The minimum aims of the global proposal are presented. The platform foundation is based on Peirce pragmaticist semiotic, in order to promote a favorable environment to establish the theoretical-practical relations needed to yield the critical knowledge between teachers and students. The virtual laboratory in developing is able significantly to yield the model dynamic very close to the real dynamic behavior in such way that the students can identify the acquired theoretical concepts formed into virtual implementations and its relations to the real cases.

**Keywords:** Modeling; Engineering Education; Semiotic; Portability; Virtual Laboratory; Dynamic Systems.

## FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Um ambiente computacional provido de recursos sintáticos, gráficos, diagramáticos e de animação de sistemas dinâmicos, que permita a elaboração de conversões de representações matemáticas e de soluções das equações diferenciais que os representam, torna a atividade de ensino-aprendizagem de modelagem matemática nos cursos de graduação mais eficiente do ponto de vista da filosofia crítica do conteúdo apreendido segundo a teoria semiótica de Peirce discutida em [3].

A formação do conceito e da apropriação cognitiva dos modelos e da capacidade de sua mobilização para pensamento e compreensão da parte dos estudantes utilizando pacotes comerciais “caixas-pretas” como Matlab® e Simulink® e/ou de domínio público como Scilab, requerem “*a-priori*” a construção de conceitos, senão, segundo [5], os estudantes fazendo uso desses pacotes comerciais, “estarão apenas jogando um jogo formal cheio de  $F(s)$  e  $G(s)$ ”, notação utilizada para representação de sistemas por funções de transferência.

O desenvolvimento do ambiente proposto nesse trabalho dá autonomia à criação de ferramentas de estudo para uso da comunidade acadêmica, prescindindo da aquisição de programas comerciais.

Ademais, o desenvolvimento da ferramenta no ambiente acadêmico, além de viabilizar a aplicação do conhecimento interdisciplinar, permite o aperfeiçoamento da ferramenta de acordo com as necessidades de aprofundamento do estudo dos sistemas dinâmicos considerados. Nesse contexto, o ambiente proposto nesse artigo explora todas as variações possíveis de representação de um modelo, permitindo prever ou observar as variações concomitantes das representações [5], promovendo a condição de abstração para a construção efetiva dos conceitos.

A facilidade proporcionada pelas interfaces com o usuário e pela transparência dos recursos do ambiente proposto permite que professores e alunos elaborem analogias entre sistemas de naturezas diferentes que conduzam ao mesmo modelo. Isso significa não separar completamente representações de modelos – como ocorre, por exemplo, com os modelos físicos dissociados ao longo dos cursos, principalmente de engenharia.

Baseada na construção de diagramas de blocos a ferramenta proposta neste artigo preserva a causalidade do sistema explicitando as leituras dos sinais nos mecanismos, conduzindo à interpretação coerente do diagrama para a obtenção das representações desejadas.

Portanto, o ambiente proposto pode vir a se interpor efetivamente como um dos lugares preferenciais à atividade pedagógica ao estudo da modelagem matemática de sistemas dinâmicos para as universidades, como deveria ser igualmente premente ao ensino de matemática aplicada para os cursos de nível médio e de introdução às engenharias [2], na medida em que ele permite resolver o problema da incongruência de registros e de modelos levantada em [5],

<sup>1</sup>Docente e Pesquisador dos Cursos de Engenharia de Automação e Controle, FAG/UTFPR E-mail: [rb\\_quirino@hotmail.com](mailto:rb_quirino@hotmail.com)

<sup>2</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia de Automação e Controle da FAG. E-mail: [maycon@magsoft.com.br](mailto:maycon@magsoft.com.br)

possibilitando a criação do cenário físico no ambiente computacional numa primeira etapa, e posteriormente a explicitação automática e transparente das representações matemáticas, bem como da simulação da dinâmica do cenário criado.

## **METODOLOGIA**

A plataforma está sendo desenvolvida em linguagem C++, permitindo a criação de objetos que representem cada elemento do sistema e a fácil expansão da ferramenta. Além disso, permite a interligação com outras bibliotecas e softwares necessários à criação da aplicação. O código da linguagem C++ é compilado, apresentando bom desempenho, e com a portabilidade para várias plataformas como Windows, Linux e Macintosh.

O desenvolvimento do ambiente virtual baseado na linguagem C++ oferece flexibilidade de desenvolvimento, portabilidade e reusabilidade de código.

Pretende-se com a utilização da linguagem C++ atingir uma boa relação entre qualidade visual, flexibilidade de manipulação e tamanho das imagens vetoriais a serem elaboradas, criando objetos para cada componente que possuam boa relação de descrição gráfica e comportamento no tempo.

Os tópicos envolvidos no desenvolvimento de modelos são agrupados em: componentes, leis dos componentes, leis de interação entre os componentes, entradas, saídas, perturbações, variáveis de estado, diagramas de corpos livres e o modelo do sistema propriamente dito.

As seguintes formas de representação são utilizadas na obtenção de modelos: equações diferenciais ordinárias, espaço de estados matricial, equações diferenciais entrada e saída, funções de transferência, e diagramas de blocos.

## **RESULTADOS**

Nesta seção, é realizada a modelagem de um sistema exemplo mecânico Massa-Mola-Amortecedor-Composto (MMAC), comuns à utilização na disciplina de modelagem e controle de sistemas.

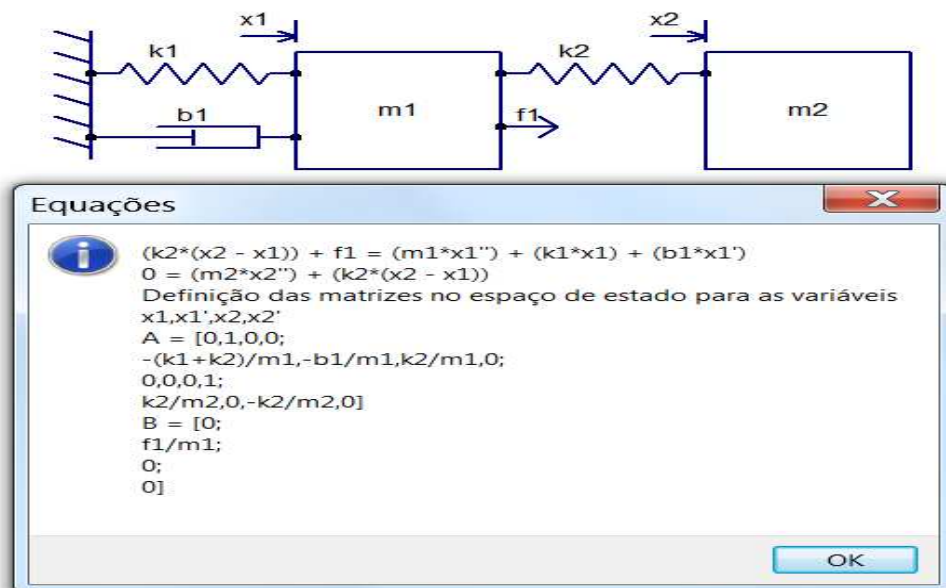
À construção dos diagramas sinóticos e de corpos livres, criou-se para cada componente do sistema um objeto associado, permitindo a inserção de molas, amortecedores, massas, engastamentos (pontos fixos) e forças de entrada, criando a representação sinótica dos sistemas dinâmicos com uma interface simples e intuitiva, bastando inserir os objetos e arrastá-los na janela de trabalho

Desenhado o sistema dinâmico no ambiente, é possível através da chamada de função específica da plataforma, ecoar as equações genéricas de equilíbrio que o descrevem, como mostrado na figura 1, baseado na teoria de sistemas lineares apresentada em [4]. Adicionalmente, através de chamadas de outras funções específicas da plataforma é possível fazer as conversões entre formas de representação, como de equações diferenciais ordinárias para o espaço de estados matricial, conforme apresentado na figura 1.

Outras funções da interface do ambiente permitem calcular as soluções das equações diferenciais a partir das diferentes representações e implementá-las numa escala gráfica criada na tela conforme a dinâmica do sistema real.

A exportação das representações simbólicas encontradas e de suas respectivas soluções para a tela ou para pacotes computacionais como Matlab®, e Scilab de domínio público, oferece ao aluno a possibilidade de validação dos conceitos deduzidos em sala de aula. Tal recurso permite que o aluno interaja com a plataforma e faça as devidas reflexões sobre a influência dos componentes e suas respectivas interações na constituição do sistema global.

Figura 1 - Representações Genéricas em Equações Diferenciais Lineares e no Espaço de Estados exportadas no ambiente.

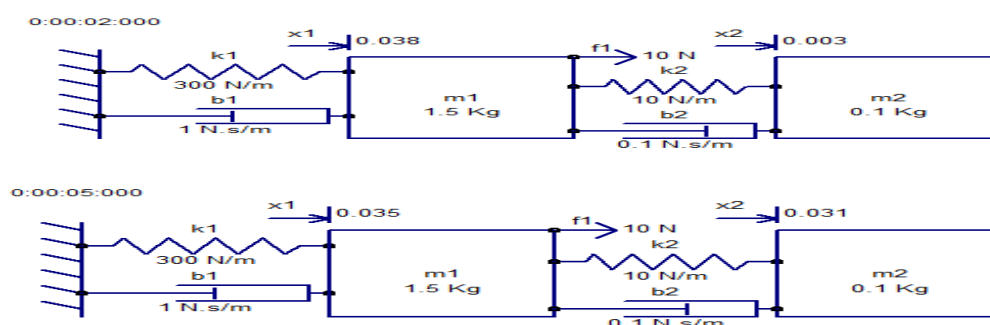


No desenho sinótico do sistema exemplo MMAC, pode-se atribuir valores para cada elemento, conforme figura 2, para obtenção das representações e soluções parametrizadas.

A figura 2 mostra quadro a quadro a resposta ao degrau de 10N para o sistema exemplo MMAC. Nota-se no primeiro quadro da figura 2 a distensão da mola representada pela constante  $k_1$  e a contração da mola representada por  $k_2$ , ocorridas no instante 2 segundos. Na plataforma é possível visualizar a evolução discreta da dinâmica, avançando ou retrocedendo os quadros para os instantes discretos desejados.

Na figura 3 pode-se visualizar as respostas no tempo contínuo ao degrau de 10N, das variáveis de estado  $x_1$  (deslocamento da massa  $m_1$ ),  $dx_1/dt$  (velocidade da massa  $m_1$ ),  $x_2$  (deslocamento da massa  $m_2$ ), e  $dx_2/dt$  (velocidade da massa  $m_2$ ). Nela pode-se observar a acomodação das massas  $m_1$  e  $m_2$  do sistema MMAC, num intervalo de 10s, na posição de 3,1cm a direita dos respectivos pontos de partida em repouso.

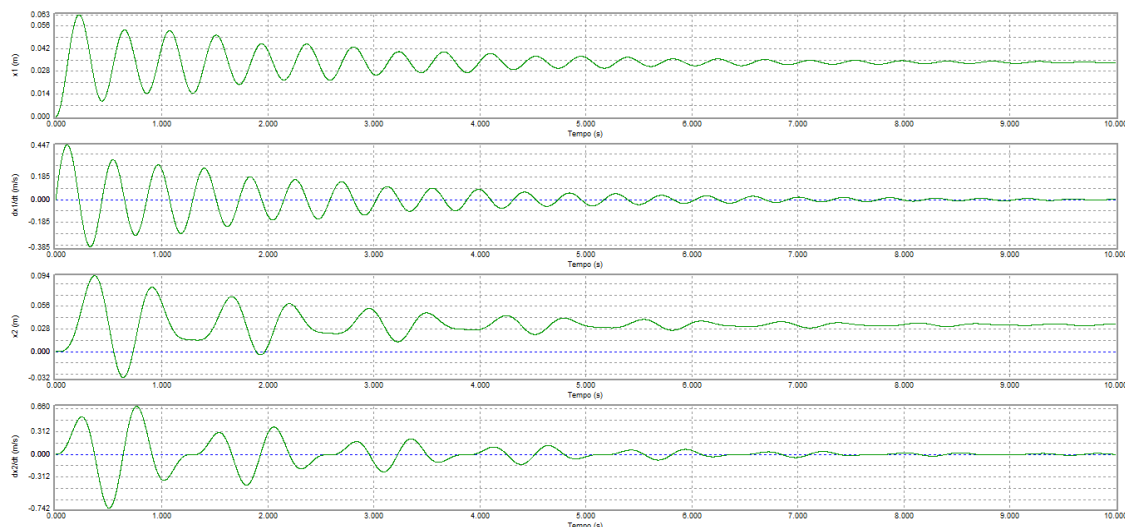
Figura 2 - Exposição da resposta do sistema MMAC ao degrau de 10 N em instantes de tempo discretos.



## CONCLUSÕES

O ambiente desenvolvido nesta fase inicial oferece uma perspectiva real de uma solução didática de alto desempenho e de fácil utilização ao estudo da modelagem de sistemas dinâmicos. Além disso, apresentou conjuntamente, boa velocidade de processamento, flexibilidade, rica definição de componentes, ligações e reproduções, e execuções de rotinas com pouco esforço computacional.

Figura 3 - Respostas no tempo contínuo para o modelo MMAC da Figura 2.



Pretende-se ainda aperfeiçoar e ampliar os recursos dessa ferramenta, que se mostrou flexível para a inserção de novas simbologias (signos), permitindo que modelos mais complexos sejam tratados, tais como sistemas não lineares e variantes no tempo, e que novos ambientes sejam criados para as mais diversas áreas do estudo científico.

A criação de novas bibliotecas proporcionará um leque maior de possibilidades de estudo de casos em apoio aos cursos presenciais, de educação a distância (EAD), e de formação continuada [1]. Além disso, serão aperfeiçoados os recursos gráficos e de exibição das representações utilizadas tornando-as mais inteligíveis aos alunos, bem como criados ícones de atalhos para facilitar a interação do usuário com o ambiente.

Como se baseia em orientação a objetos e reuso de códigos de programas, a plataforma permite a expansão da quantidade de combinações de instâncias geradas a partir das bibliotecas de componentes virtuais configuráveis criadas.

Apesar da ferramenta didática aqui apresentada se encontrar na fase embrionária, por ser de domínio público oferece perspectivas às instituições de ensino e pesquisa públicas e privadas Brasileiras na convergência de esforços de alunos, professores e pesquisadores ao desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento dela e de ferramentas análogas que subsidiem uma formação científica madura, crítica, e reflexiva de profissionais Brasileiros.

Casos de animação de respostas de sistemas MMAC estão disponíveis no endereço <http://www.magsoft.com.br/controle>.

## REFERÊNCIAS

- [1] COSTA, LUCIANO A., “Educação em Engenharia – Uma Nova Realidade”, Educ. Porto Alegre, outubro 2009 , v.1, n.12., p.6-11.
- [2] MENESTRINA, TATIANA C., MORAES, ANTÔNIO F., " Alternativas para uma Aprendizagem Significativa em Engenharia:Curso de Matemática Básica". Revista de Ensino de Engenharia, 2011, v. 30, n. 1, p. 52-60.
- [3] MIGUEL, PAULO V. O. , BARRETO, GILMAR, “ Modelo Semiótico para o Desenvolvimento de Objetos de Aprendizagem". Revista de Ensino de Engenharia, 2011, v.30, n. 1, p. 3-14.
- [4] NISE, NORMAN S., Engenharia de Sistemas de Controle. Rio de Janeiro: LTC, 3ª ed., 2002.
- [5] SILVEIRA, MARCOS A. - "Questões Pedagógicas da Modelagem em Engenharia". Revista de Ensino de Engenharia, 2005, v. 24, n.1 p. 11-21.