

Modelagem e Simulação Dinâmica *AMESim- Ambiente para Protótipos Virtuais*

Jonny Carlos da Silva
Prof. Engenharia Mecânica
LASHIP-UFSC

Julio Cesar do Nascimento
Gerente de Marketing
KEOHPS

Introdução

Com a crescente demanda por produtividade e a utilização de equipamentos com um grau tecnológico cada vez mais elevado, a área de modelagem e simulação dinâmica de sistemas tem recebido atenção crescente tanto por parte das indústrias, sobretudo aquelas das áreas aeronáutica, automobilística, máquinas pesadas, etc., quanto por instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Até poucos anos atrás a complexidade existente no desenvolvimento de modelos virtuais de protótipos de engenharia, demandava uma longa curva de aprendizado e domínio do conhecimento nas áreas de engenharia, física, matemática, ciência da computação e técnicas de controle de sistemas. Esta ampla gama de conhecimentos dificilmente agrupados resultava em altos custos e longo tempo consumido no desenvolvimento de modelos pouco representativos. O grande desafio era representar a interação dos fenômenos envolvidos na dinâmica dos sistemas de forma que as múltiplas entradas e saídas de dados (estados, dados de entrada e respostas dos sistemas), fossem recriados no ambiente virtual sem que esta representação se tornasse extremamente complexa para o desenvolvedor.

Outro aspecto relevante sobre a modelagem e simulação dinâmica é que o entendimento do comportamento dinâmico confere maior clareza sobre fenômenos como picos de corrente, pressão, vazão, força, etc. que via de regra afetam a durabilidade e manutenção do equipamentos.

Visando contribuir para um melhor entendimento a respeito da relevância do tema modelagem e simulação sobretudo na área de sistemas hidráulicos e pneumáticos, apresentamos a seguir conceitos de engenharia desenvolvidos para a modelagem e simulação de sistemas reais, em ambiente computacional que pretendem ser a um só tempo econômica e tecnicamente acessíveis a engenheiros de projeto, pesquisadores e empresas que operam na área.

Este artigo está descrito nas seguintes seções: primeiramente, apresentamos uma breve introdução de dos conceitos de modelagem *Fluxo de Sinal* e *MultiPortas*, descrevendo as características de ambas as técnicas para a resolução de diferentes problemas. Na seção seguinte apresentamos o software AMESim que permite a modelagem e simulação dinâmica de sistemas compostos de múltiplos domínios, hidráulico, pneumático, elétrico, térmico, etc. Este software trabalha com uma interface intuitiva e amigável e oferece a possibilidade de obtenção de modelos dinâmicos a partir de bibliotecas já validadas, além de permitir a criação de bibliotecas próprias. Na última seção, apresentamos exemplos da utilização do sistema AMESim em diferentes indústrias, incluindo os setores automobilístico, industrial, um projeto inovador no Brasil na área de gás natural, e alguns projetos potenciais para aplicação do conceito de simulação computacional 1D no contexto da hidráulica e pneumática.

Técnicas de Modelagem- Fluxo de Sinal e MultiPortas

A área de modelagem dinâmica ainda é considerada um campo bem complexo no desenvolvimento de produtos industriais, em parte devido à amplitude de conhecimento necessário para se desenvolver bons modelos, o que inclui:

- Conhecimento de engenharia de sistemas
- Conhecimento dos fenômenos físicos envolvidos.

- Conhecimento para implementar os modelos matemáticos.
- Habilidade para interpretar os resultados.
- Habilidade para codificar equações matemáticas de forma adequada à aplicação no modelo.
- Conhecimento para compreender a interação entre o modelo e os algoritmos numéricos utilizados para desenvolver a simulação.

Dos itens listados acima, pode-se inferir que os primeiros quatro estão mais relacionados à capacidade do próprio responsável pela modelagem e são muito necessários independente do sistema computacional a ser usado na simulação. No entanto, embora os dois últimos itens listados também sejam relevantes, estes são sensivelmente influenciados pelas características do ambiente computacional e técnica de modelagem a serem utilizados, o que mostraremos a seguir.

Tradicionalmente são conhecidas duas abordagens para simulação – a abordagem conhecida como Fluxo de Sinal (*Signal Port*) e o método conhecido como MultiPortas, que envolve fluxo de potência e é derivado da técnica *Bond Graph* (Karnopp,1990). O método denominado Fluxo de Sinal está bem desenvolvido e tem a sua aplicação de sucesso nos sistemas de controle, porém é aplicado com restrições nos demais campos da engenharia e pode-se dizer que é na verdade um caso particular do modelo MultiPortas. Como exemplo da diferença entre estas duas abordagens apresentamos as figuras 1a e 1b [Lebrun,1997].

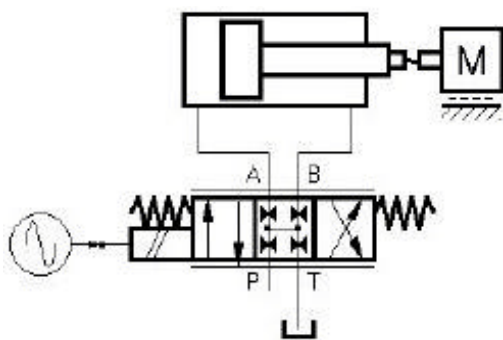


Figura 1a- Abordagem MultiPortas

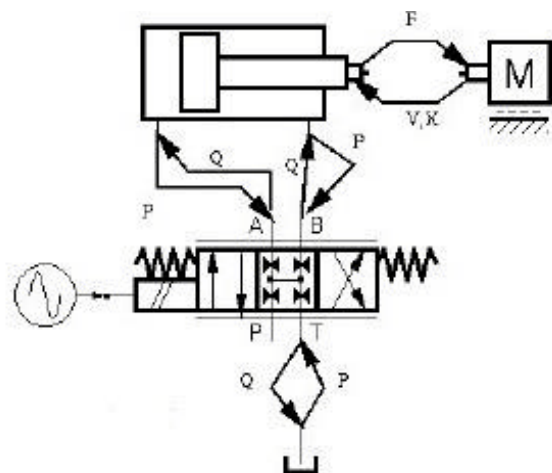


Figura 1b. Abordagem Fluxo de Sinal

As figuras 1a e 1b representam dois exemplos de modelagem de um mesmo sistema de atuação hidráulico constituído de uma válvula direcional proporcional, de 4 vias, com comunicação para reservatório, um sinal de comando, um cilindro hidráulico e uma massa conectada ao cilindro.

Como é possível observar, em ambas as figuras a porta relativa ao sinal de comando é modelada de forma idêntica. Isto ocorre porque esta porta que representa a conexão física entre o sinal de comando e a válvula proporcional transmite uma única variável, em geral um sinal de tensão elétrica, que é processada pelo modelo dinâmico da válvula gerando um sinal de corrente, que por sua vez se transforma em força eletromotriz atuando sobre o carretel da válvula gerando alteração nos orifícios de passagem e conseqüente variação das vazões para os pórticos A, B e T. Por outro lado, as portas correspondentes ao domínios hidráulico e mecânico são modeladas de formas distintas. Isto se dá pelo fato de que tais portas devem comunicar necessariamente duas variáveis, que são justamente as variáveis de potência conforme a tabela 1.

Tabela 1. Definição das Variáveis de Potência.

Domínio Energético	Hidráulico	Mecânico	Elétrico
Variáveis de Potência	Vazão- Q Pressão- P	Velocidade- V Força- F	Corrente- I Tensão- E

As variáveis descritas na tabela 1 são conhecidas como variáveis de potência porque o produto destas variáveis resulta em potência nas suas diversas formas, respectivamente hidráulica, mecânica e elétrica.

Voltando ao entendimento da figura 1, na abordagem Fluxo de Sinal, cada porta transmite apenas uma **única variável** entre componentes, e desta forma são **necessárias duas portas** para conectar de forma lógica os modelos matemáticos dos componentes válvula direcional, cilindro e massa. Descrevendo matematicamente o que ocorre é o seguinte: o modelo da válvula processa valores de vazão nos pórticos A, B e T, recebendo os valores de pressão respectivamente do modelo do cilindro e do reservatório. Por sua vez, o modelo do cilindro fornece o valor de força que atua sobre o modelo da massa conectada a este, o qual lhe devolve um valor de velocidade e conseqüente posição.

Obviamente como a realidade física é a mesma, as equações descritas nas duas abordagens também são as mesmas, porém a forma como tais equações são agrupadas e manipuladas pelo sistema computacional que irá processar a simulação fará grande diferença, principalmente para o usuário responsável pela modelagem.

Na abordagem via Fluxo de Sinal, empregadas em sistemas de simulação tais como Matlab/Simulink, VisSim, entre outros, o **usuário deve definir explicitamente todas as portas** que conectam os modelos dos componentes, representando as ligações e equações matemáticas que caracterizam os sinais envolvidos. Desta forma num modelo de pequena complexidade como o representado na figura 1b, o usuário **deverá explicitar oito portas**, correspondentes às quatro conexões de potência (duas entre válvula e cilindro, uma entre válvula e reservatório e uma entre cilindro e massa).

Por outro lado, na abordagem via MultiPortas, o usuário apenas especifica as portas correspondentes às conexões físicas, e o simulador resolve internamente as equações definindo a causalidade entre os modelos dos componentes, ou seja ao invés das oito portas necessárias no método anterior, são necessárias apenas especificar as quatro portas físicas que transmitem potência entre os componentes. Logicamente, o exemplo de circuito apresentado aqui visa apenas explicar a diferença entre as duas abordagens e não mostrar um sistema real. Contudo, o leitor pode antever a complexidade envolvida na modelagem de sistemas de grande porte onde existam vários sistemas de atuação e diferentes conexões de potência, se aplicadas uma ou outra técnica.

O Sistema [AMESim](#)

Tanto empregando a abordagem Fluxo de Sinal quanto a MultiPortas, a dificuldade para a aplicação de sistemas de simulação entre os grupos de engenharia, projeto e desenvolvimento, era e continua sendo a necessidade de desenvolvimento de complexas linhas de código matemático representativas dos fenômenos em curso [Lebrun,1997].

O que no passado recente fora uma atividade restrita aos laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de sistemas de grande complexidade e custo, é agora disponível na versão informatizada, conforme a técnica *Bond Graph*, para praticamente todos os grupos de projeto e engenharia preocupados com a redução de riscos no desenvolvimento e no tempo consumido com esta atividade.

Visando disponibilizar o conhecimento de vários especialistas na área de modelagem e simulação dinâmica de sistemas, advindo de uma ampla interação na solução de problemas reais, tornando acessível tal experiência a uma extensa gama de engenheiros e pesquisadores, foi criado o sistema

AMESim- Advanced Modeling Environment for Simulations. Este sistema é um dos mais difundidos no mundo que aplica a abordagem MultiPortas na modelagem dinâmica de sistemas de vários domínios energéticos. O AMESim é desenvolvido pela empresa francesa IMAGINE, criada em 1986 pelo Prof. Michel Lebrun da Universidade de Lyon, a partir do projeto bem sucedido denominado EKOFISK, compreendendo a simulação do sistema de levantamento das plataformas de petróleo no mar do norte.

O sistema **AMESim** é o software de sua classe capaz das mais completas soluções em modelagem e de simulação unidimensional envolvendo hidráulica, pneumática, mecânica, termofluidos e sistemas de controle. Possui doze bibliotecas abertas que possibilitam a *customização*, ampliando a extensa biblioteca disponível para a modelagem e simulação dinâmica. Devido às limitações de espaço, aqui apresentaremos uma descrição geral do sistema AMESim, mais detalhes quanto às suas funções são encontrados em [IMAGINE, 1999].

O sistema AMESim com seus modelos reutilizáveis reduz substancialmente o ciclo de desenvolvimento e amplia o *Know-How* do seu departamento de pesquisa e desenvolvimento. Apenas como exemplo do funcionamento do sistema, apresentamos a figura 2.

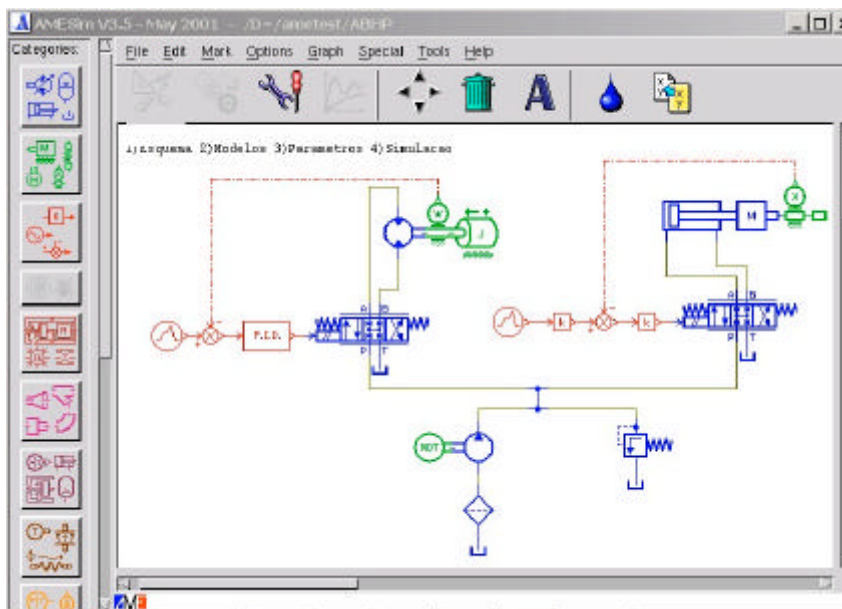


Figura 2. Exemplo de Sistema Hidráulico modelado no AMESim.

A figura 2 apresenta um exemplo de um sistema hidráulico completo modelado no AMESim. Vale ressaltar que o objetivo aqui é descrever as funções do sistema, e que por isto o modelo apresentado é simples, modelos mais complexos estão disponíveis, inclusive com a validação resultante de intensa parceria com o setor industrial, sobretudo as empresas do setor automobilístico, com as quais a IMAGINE mantém constante interação. Apesar da aparente simplicidade do

modelo apresentado na figura 2, este tem 15 variáveis de estado, o que fornece uma ordem de grandeza sobre o sistema. Como se pode observar a interface do sistema é amigável, e o que o usuário verifica é que a representação do sistema é exatamente o seu modelo funcional, normalmente conhecido pelos engenheiros da área. A utilização do sistema AMESim está baseada em quatro etapas:

- 1) **Construção do Esquema do Sistema**, utilizando-se de varias bibliotecas validadas, localizadas na barra à esquerda da área de trabalho.
- 2) **Definição dos modelos matemáticos dos componentes.** Exemplo: tipo de motor a ser usado, bomba, etc., especial atenção é dada às tubulações, onde o usuário pode definir diferentes modelos de tubos, e módulo de elasticidade do fluido o que sensivelmente afeta a dinâmica de pressão do sistema. O sistema também oferece modelos *default* ao usuário.
- 3) **Definição de Parâmetros**, onde se especifica diâmetro de cilindro, deslocamento, e rotação de bomba, ciclo de operação nos sinais para as válvulas, e condições iniciais da simulação.

- 4) **Execução da Simulação.** Onde se define tempo inicial e final da simulação, pode-se analisar um único cenário, ou gerar uma análise de sensibilidade, através de uma simulação em *batch*, ou ainda avaliar como o sistema irá operar variando a frequência de excitação de uma das válvulas.

Como exemplo da simulação do sistema da figura 2, tem-se a opção de analisar o deslocamento do cilindro em função do sinal de entrada na sua correspondente válvula direcional como mostra a figura 3.

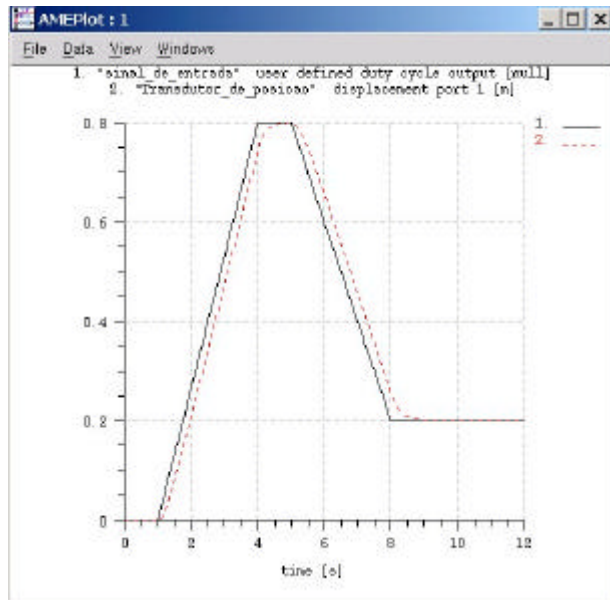


Figura 3- Exemplo de plotagem no AMESim.

Como é possível verificar, o sistema **AMESim** não requer uma extensa especialização para ser utilizado, de forma que os engenheiros podem manter o foco no entendimento e análise no comportamento do sistema como um todo. E sendo este uma única ferramenta para diferentes aplicações se economiza consideravelmente em treinamento do pessoal envolvido.

Existem diversas aplicações do sistema AMESim em vários campos, como representado na tabela 2.

Existem diversas aplicações do sistema AMESim em vários campos, como representado na tabela 2.

Tabela 2- Algumas Aplicações do Sistema AMESim na Indústria Automotiva

Injeção Eletrônica	Neste caso o modelo desenvolvido foi capaz de reproduzir os resultados experimentais com considerável precisão para as seguintes variáveis: abertura do injetor, pressões, fluxo instantâneo e volume injetado.
Sistema de Freio	O modelo completo permitiu prever o comportamento dos seguintes elementos: amplificador (booster), o efeito das restrições na saída das câmaras anterior e posterior do cilindro mestre, as pressões nos atuadores (calipers) e conseqüentemente o torque de frenagem aplicado em cada roda.
Sistema de Direção	Para várias condições de operação, o modelo foi linearizado e as seguintes análises foram feitas: análise dos autovalores; root locus; e Função Transferência.
Sistema de Lubrificação	Na partida do motor, o circuito de lubrificação está vazio. A fim de reduzir o atrito o lubrificante deve atingir as peças o mais rápido possível. Com o intuito de avaliar a ordem com que os vários ramos da rede de lubrificação são preenchidos o sistema AMESim possui uma biblioteca que permite calcular as pressões e vazões nos subsistemas de lubrificação.
Sistema de Resfriamento	Este modelo permite prever o comportamento da distribuição de fluido refrigerante, sua temperatura em vários ramos do circuito, os níveis de pressão, a operação do termostato e a conseqüente regulação da temperatura e análise da cavitação.

Como mencionado, esta tabela apresenta apenas alguns exemplos, outros modelos e boletins técnicos descrevendo cada um destes modelos estão disponíveis.

O AMESim no Brasil

A empresa IMAGINE é representada no Brasil pela **KEOHPS**, sediada em Florianópolis. Através da parceria com o **LASHIP**- Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da **UFSC**, o sistema **AMESim** vem sendo aplicado no Projeto **SEGRED**- Sistema Especialista para Gerenciamento das redes de transporte e distribuição de gás natural, aplicando simulação dinâmica. Este projeto tem como parceiros as empresas **PETROBRAS, TBG e SCGAS**, sendo o primeiro autor seu coordenador técnico. Mais informações sobre este projeto vide: www.laship.ufsc.br/segred. Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de software para apoio ao gerenciamento operacional de redes de distribuição e de transporte de gás natural. O projeto está baseado nos princípios de inteligência artificial, orientação a objetos e modelagem e simulação dinâmica do escoamento de gás natural. Embora este projeto não seja voltado à hidráulica, sua origem se baseou em trabalhos voltados a esta área [Silva, 1997; Silva, 1998; Silva, 2002]. Acreditamos que com a experiência adquirida neste projeto, iniciativas semelhantes relacionadas à área de sistemas hidráulicos serão ainda mais viáveis.

O sistema AMESim já foi utilizado no curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da **UFSC**. Esta aplicação mostrou grande aceitação por partes dos alunos, na comparação resultante da prática que estes desenvolveram empregando outros sistemas dedicados à simulação apresentados ao longo do curso.

Conclusão

Através do sistema AMESim tanto engenheiros com pouca experiência como profissionais com maior conhecimento em simulação podem realizar estudos avançados nesta área em um menor tempo. Pelo fato de ser um sistema que viabiliza um rápido acesso a amplos conceitos sobre simulação de forma bastante acessível, além de sua ampla utilização na indústria, o AMESim tem recebido destaque em universidades tais como: Lyon, Toulouse e Longwy (França), Modena, Milão e Turin (Itália), Michigan (EUA), Tóquio (Japão), entre outras.

Em função de seu elevado perfil tecnológico a IMAGINE estabeleceu parcerias com empresas tais como: Aerospaiale, Bosch, Dassault, Mercedes Benz, General Motors, Lucas Diesel, Otis, PSA Peugeot Citroën, Renault, Siemens, Thomson, entre outras.

Referências:

[Karnopp,1990]- Karnopp, D.; Margolis, D.L. and Rosemberg, R.C.. System Dynamics: a unified approach. John Wiley & Sons, Inc. 1990.

[Lebrun, 1997]- Lebrun, Michel and Claude Richards. How to create Good Models without writing a single line of code. 5th Scandinavian Intl. Conference on Fluid Power, Linkoping, Suécia, Maio, 1997.

[IMAGINE, 1999]- Technical Bulletin no. 100, AMESim: A Brief Technical Overview. Disponível através do site www.amesim.com

[Silva,1997]- Silva, Jonny C.; Bennett, David and Counsell, J. M. Computational Agent to Integrate Expert System and Simulation Language. 9th European Simulation Symposium, Passau, Germany, October 19-23, 1997, ISBN 1-56555-125-7.

[Silva,1998]- Silva, Jonny C.. Expert System Prototype for Hydraulic System Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects. Doctorate Thesis in Mechanical Engineering. Federal University of Santa Catarina, Brazil, March 1998.

[Silva,2002]-Silva, Jonny C.. Expert System Environment for Fluid Power-Achievements and Challenges. IFPE- International Fluid Power Exposition- Technical Conference- SAE/NFPA, Las Vegas, March 19-23, 2002.