



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA  
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING  
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil  
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

## ABORDAGEM WEB PARA ORIENTAR A MODELAGEM E SIMULAÇÃO DINÂMICA UNIDIMENSIONAL DE SISTEMAS DE ENGENHARIA

**Luiz Amilton Pepplow**<sup>1</sup>, luizpepplow@utfpr.edu.br  
**Jonny Carlos da Silva**<sup>2</sup>, jonny@emc.ufsc.br  
**Pablo Sanches**<sup>1</sup>; pablosanches\_tb@yahoo.com.br

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR / Av. Sete de Setembro, 3165, CEP: 80.230-901 / Curitiba-PR

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC / Campus Universitário Trindade, CEP: 88.040-970 / Florianópolis -SC

*Este trabalho apresenta abordagem web para auxiliar a modelagem de sistema de engenharia que represente um sistema físico real, pela reutilização de modelos que descrevem um determinado comportamento dinâmico com vistas a sua implementação em ambiente virtual de modelagem e simulação dinâmica unidimensional para análise de comportamento. Estes modelos foram previamente representados, testados e validados em diferentes aplicações industriais e acadêmicas. O objetivo é reduzir os esforços de engenharia empreendidos na construção de modelos dinâmicos de simulação, os quais envolvem grande complexidade e diferentes níveis de abstração em diferentes domínios energéticos e de conhecimento como a matemática e a física. A construção do modelo baseia-se na análise físico-matemática, nas leis da física que caracterizam um sistema particular. São estabelecidas associações entre conceitos e características de efeitos físicos (resistivo, capacitivo e indutivo) e as propriedades físicas do sistema, características de dimensionamento de componentes e das análises dinâmicas possíveis de verificação, organizados e descritos em uma Base de Conhecimento (BC). Para auxiliar o processo de representação computacional adotou-se o software Protege versão Frames no formato de representação RDF (Resource Description Framework) de acordo com o protocolo OKBC (Open Knowledge Base Connectivity), o qual possibilita a geração de código computacional que permite implementações computacionais (como em sistema especialista ou tutorial inteligente utilizando a shell CLIPS). Além disso, proporciona o estabelecimento de Queries (encadeamento lógico de busca) para analisar as instâncias (saídas) dos modelos gerados permitindo assim a verificação da representação do conhecimento por meio de uma interface WEB. A aplicabilidade e usabilidade da abordagem foram avaliadas com o desenvolvimento de atividades práticas envolvendo alunos e professores do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR. Os resultados demonstram a aplicabilidade na melhoria do processo de ensino-aprendizagem de Engenharia e na preparação de profissionais das áreas industriais no desenvolvimento de produtos.*

**Palavras-chave:** Modelagem e simulação, Ensino de Engenharia, Aprendizado via WEB.

### 1. INTRODUÇÃO

No contexto de um processo de desenvolvimento de produto (PDP), uma das tarefas do engenheiro é efetuar a modelagem deste produto para representá-lo mediante uma estrutura mais simplificada que facilite sua análise e proporcione condições adequadas de avaliação antes de encaminhá-lo para a fase de produção. Modelagem é o processo de construção de um modelo. Modelo pode ser definido como uma representação de um elemento do mundo real, o qual pode expressar diferentes subsistemas ou sistemas que compõe o produto.

Para Back (1983) com modelos é possível um exame rápido da situação de muitas variáveis, determinando suas sensibilidades. Na fase de projeto, tanto a análise como a otimização requerem que se criem modelos abstratos do sistema que admitam alguma forma de representação matemática no intuito de encontrar um modelo que simule de modo adequado o sistema físico real para reconstituir a rotina funcional (Shigley et al. (2005). Dentre as opções para análise de comportamento de um sistema podem ser adotados ensaios em laboratório ou como alternativa, podem ser utilizados modelos matemáticos para aplicação em simulação dinâmica computacional.

A dificuldade de gerar a representação de um modelo matemático para simulação dinâmica é expressa por questões exemplificadas por: (i) como modelar a intenção do usuário no sentido de captar a análise que se deseja efetuar na modelagem? (ii) como modelar as hipóteses simplificadoras? (iii) qual o ponto de partida para definir tais hipóteses e em que fundamentos se orientarão para estabelecê-las e diminuir a complexidade do modelo gerado sem comprometer a fidelidade das respostas esperadas?

Erros na formulação do modelo ao final da simulação geram resultados incompatíveis com o objetivo do problema e podem conduzir a tomada de decisões equivocadas. O grau de erro depende das suposições e simplificações efetuadas pelo projetista, que, por sua vez, dependem de: (i) o que ele entende do problema e quanto da situação se decide incluir; (ii) o que necessita obter da solução. Diferentes modelos podem ser empregados para comparar os resultados sob diferentes pontos de vista em função da dinâmica a ser representada. Back (1983) e Back *et al* (2008).

A modelagem e simulação de sistemas de engenharia são tarefas intensivas em conhecimento, fato que possibilita sua representação e reutilização por intermédio de uma Base de Conhecimento (BC) que pode ser aplicada em um Sistema Baseado em Conhecimento (SBC), por exemplo, um Sistema Especialista (SE). Um SBC deve representar as etapas do raciocínio de um especialista na resolução de problemas, de modo mais preciso possível. Procura identificar linhas de raciocínio, interpretações e crenças em um determinado domínio de conhecimento. Exemplos de pesquisas nesta área são: Breunese *et al.* (1998), Zdrahal *et al.* (2000), Tucho *et al.* (2003), Christley *et al.* (2004), Miller *et al.* (2004).

Em face ao exposto, os problemas definidos no desenvolvimento deste trabalho são: (i) a grande complexidade e diferentes níveis de abstração que requerem do projetista, habilidades e extensa quantidade de informações em diferentes domínios energéticos e de conhecimento necessários para a construção de modelos matemáticos de simulação que representem determinado comportamento dinâmico de componente e do sistema de engenharia; (ii) a inexistência de uma orientação estruturada na aplicação dos conceitos de engenharia que possibilitem a modelagem de um sistema de engenharia a ser analisado, por meio da utilização de modelos dinâmicos de simulação previamente representados.

O objetivo deste trabalho é apresentar a abordagem web desenvolvida em nível de protótipo de laboratório<sup>1</sup> com a utilização de recursos de hipertexto, para facilitar o acesso dos usuários a uma Base de Conhecimento, a qual visa auxiliar a modelagem de um sistema de engenharia que represente um sistema físico real para análise de comportamento dinâmico. Esta modelagem é orientada por meio da reutilização de modelos existentes em uma Base de Modelos de um ambiente de modelagem e simulação, previamente representados, testados e validados em diferentes aplicações industriais e acadêmicas, que descrevem um determinado comportamento dinâmico.

As seções seguintes descrevem aspectos relacionados a aprendizagem via web, modelagem e simulação virtual, sistemas baseados em conhecimento, o desenvolvimento da abordagem web e sua validação.

## 2. ASPECTOS CONCEITUAIS

### 2.1 - Aprendizagem via WEB

Mesmo considerando toda a evolução havida em termos de tecnologia, o Ensino-Aprendizagem mediado por computador ainda constitui um paradigma e a educação totalmente a distância caminha para ser aceita. Entretanto para projetar e disponibilizar um ambiente de ensino via WEB, são necessários técnicas e métodos adequados, e não simplesmente a disponibilização do material no *website*.

A aprendizagem pode ser digital ou não-digital, pode ser usada, re-usada ou referenciada durante o ensino com suporte tecnológico. Exemplos de ensino auxiliados por recursos tecnológicos são: treinamento e sistemas instrucionais baseados no computador, ambientes de aprendizagem interativa, sistemas de ensino a distância e ambientes de aprendizagem colaborativa. A interatividade é um fator de relevância. Deve-se considerar um conteúdo e uma interface agradável para não sobrecarregar o visual logo na primeira página aberta. É necessário induzir o aluno a participar do ambiente e não apenas ler o que está escrito; levá-lo a pensar.

Por exemplo, pode-se elaborar comentários para os casos nos quais se escolhem as respostas erradas, incentivando-os a retornar no módulo de conteúdo; levá-lo a refletir antes de responder; a pergunta deve estar contextualizada ou problematizada, etc. O texto eletrônico precisa ser dinâmico. Para tanto, é necessário reconhecer que atividades de ensino aprendizagem e comentários de auto-avaliação são essenciais e desenhar atividades de forma clara, atraente e, sobretudo úteis para os alunos. Deve haver a disponibilização de recursos que viabilizem a interação e as trocas cooperativas para a construção do conhecimento, independentemente de área específica de atuação.

Os objetos devem ser construídos com caráter interacionista. Por exemplo, o vídeo proporciona a exploração dos sentidos da audição e da visão que auxiliam para uma melhor fixação do conteúdo. Os tutoriais são de grande utilidade, porém devem ser escritos em uma linguagem clara e amigável, mantendo através do texto um diálogo com o aluno.

No mundo virtual, no âmbito pedagógico, há de se ter clareza com relação à pedagogia de base para o desenvolvimento e uso dos recursos informáticos, na democratização do conhecimento. Os instrumentos de comunicação são sintonizados com a criação de práticas interdisciplinares e com a busca de relações dialógicas como professor - aluno.

---

<sup>1</sup> Considera-se protótipo de laboratório, pois limitou-se o desempenho computacional bem como desconsiderou-se a formatação de uma interface gráfica dedicada para interação com o usuário.

## 2.2 - Modelagem e Simulação e Sistemas Computacionais

De acordo com a descrição de Back (1983) de um PDP na fase definida como Projeto Preliminar, bem como com a abordagem de (Shigley *et al.* 2005), tanto a análise como a otimização da solução proposta para um produto, requerem que se criem modelos abstratos do sistema que admitam alguma forma de representação no intuito de encontrar um modelo que simule adequadamente o sistema físico real para reconstituir a rotina funcional. Dentre as opções para análise de comportamento de um sistema podem ser adotados ensaios em laboratório ou como alternativa, podem ser utilizados modelos matemáticos para aplicação em simulação dinâmica computacional. Ao utilizar uma representação matemática deve-se considerar a necessidade de embasamento de conceitos da física para compreender os fenômenos envolvidos e os requisitos de simplicidade. A modelagem matemática possibilita a simulação computacional do sistema projetado sob determinadas condições para analisar ou propor mudanças e melhorias no projeto. São exemplos desta aplicação as abordagens de Ogata (2003) e Oliveira *et al.* 2006).

Lebrun e Richards (1997) relacionaram habilidades que julgaram necessárias ao desenvolvimento de modelos matemáticos de simulação, no qual parte substancial da responsabilidade cabe aos indivíduos responsáveis pela modelagem e parte ao sistema ou ambiente computacional e à técnica de modelagem a ser utilizada como: (i) conhecimento de engenharia de sistemas e de fenômenos físicos; (ii) habilidade matemática para manipular equações dominantes apropriadas ao modelo e para implementar o modelo matemático; (iii) habilidade numérica na compreensão e interação entre o modelo e o algoritmo numérico usado para executar a simulação e para interpretar os resultados.

O conhecimento adquiriu uma nova dinâmica, e passou a se realizar através de simulações, típico da cultura informatizada. As técnicas computacionais de simulação consistem na construção de um modelo de um sistema real e posterior realização de experimentos com vários cenários antes de realizá-las fisicamente, fornecendo uma melhor compreensão em lugar de gerar simplesmente uma solução.

Os ambientes computacionais utilizam abordagens distintas para a modelagem matemática de seus componentes e a simulação. As que mais se destacam são: a abordagem de fluxo de sinal (em *softwares* como Matlab, XMath, Easy e VisSim) e multiportas (em *softwares* como ITI-Sim, 20 Sim, Flowmaster, Hopsan e AMESim) a qual envolve fluxo de potência e é derivada da técnica *Bond Graph* (Grafos de Ligação - GL). Esta abordagem foi desenvolvida em 1959 pelo professor Dr. Paynter, considera a união de diferentes domínios físicos e, por conseguinte a modelagem de sistemas energéticos envolvendo múltiplos domínios de energia por intermédio da transferência de potência em uma plataforma comum. Aplicações desta abordagem são encontradas em: Silva (2005), Carrera (2006), Oliveira *et al.* (2006).

O quadro 1 demonstra o relacionamento entre os elementos físicos, suas características elementares e as respectivas correspondências com os diferentes domínios da física: Mecânico, Hidráulico e Elétrico. Demonstram-se também as variáveis de potência representadas por esforço e fluxo de energia, mutuamente dependentes, cuja interpretação física e nomenclatura variam conforme o domínio do sistema estudado.

Como exemplo da transferência de potência e relacionamento entre os diferentes sistemas descreve-se a conexão entre um motor elétrico e uma bomba hidráulica, a forma da energia varia dentro de cada sistema. O motor elétrico é conectado a uma fonte de potência elétrica que fornece tensão (esforço - V) que ao ser aplicada ao motor, retorna corrente (fluxo - A). O motor elétrico fornece velocidade (fluxo - rev/min) que é transferida para a bomba hidráulica pelo acoplamento que em contrapartida retorna ao motor torque (esforço- N.m). A bomba hidráulica transformará a rotação em vazão de fluido hidráulico para o circuito (fluxo). Em função das características dos componentes do sistema hidráulico o sistema retorna à bomba pressão (esforço – resultado da resistência oferecida ao fluxo (vazão) do fluido).

**Quadro 1 – Relacionamento entre elementos dos domínios da física: Mecânico, Hidráulico e Elétrico. O produto do fluxo e do esforço resulta no valor da potência (p.ex. no domínio elétrico  $P=E*I$ )**

| Elementos físicos     | Característica elementar | Domínios da física                         |   |              |
|-----------------------|--------------------------|--|---|--------------|
|                       |                          | Mecânica                                   | Hidráulica                                  | Elétrica     |
| Inercial              | Acumula energia          | Massa                                      | Inércia hidráulica                          | Indutor      |
| Capacitivo            | Acumula energia          | Molas, barra de torção                     | Tanques a gravidade e acumuladores          | Capacitor    |
| Resistivo             | Dissipa energia          | Amortecedor mecânico, amortecedor a êmbolo | Porosidade, rugosidade em linhas de fluidos | Resistor     |
| Variáveis de Potência | ESFORÇO (e)              | Força (F)                                  | Pressão (P)                                 | Tensão (E)   |
|                       |                          | Torque (t)                                 |   |              |
|                       | FLUXO (f)                | Velocidade (v)                             | Vazão (Q)                                   | Corrente (I) |
|                       |                          | Velocidade angular ( $\omega$ )            |   |              |

Segundo Lebrun e Richards (1997) a utilização de *softwares* para modelagem e simulação é crescente por proporcionar: (i) redução de testes de campo do produto; (ii) uma melhor compreensão do produto pois auxilia como prova convincente ao potencial cliente que o produto será adequado e a conseguinte redução do tempo para colocar o produto no mercado. Apesar do grande sucesso destes sistemas, erros grosseiros em sua utilização levam a resultados

insatisfatórios, citando como exemplos: erros em fórmulas matemáticas, incompatibilidade entre unidades físicas, etc. Identificar, avaliar e escolher um software destinado a Modelagem e Simulação são tarefas que requerem, além de conhecimentos em informática, uma estrutura de conhecimentos técnicos do domínio específico no qual o sistema será empregado. É necessário compreender o sistema a ser modelado e quais os objetivos a serem atingidos. Isto envolve tempo, custos com pessoal qualificado e custos computacionais. Um ambiente computacional de modelagem e simulação não substitui o projetista, mas proporciona ganhos em tempo com a utilização de uma poderosa ferramenta de trabalho além de propiciar uma produção colaborativa.

### 2.3 - Modelagem e Simulação e Sistemas Baseados em Conhecimento

Os textos de diversos autores dentre os quais Back (1983); Meerkamm (2003); Rezende (2003); Christley *et al.* (2004) e Miller e Fishwick (2004) denotam a tarefa de modelagem e simulação de sistemas de engenharia como intensivas em conhecimento, na qual o reuso de conhecimento corretamente representado (ex. a expertise dos projetistas: lições aprendidas e experiências passadas) por meio de uma Base de Conhecimento (BC), que além de contribuir para criar e transformar informação, pode auxiliar na redução de esforços em engenharia e, por conseguinte, no *time to market*.

Pesquisas na área de aquisição e representação do conhecimento têm se intensificado e contribuído para melhoria do PDP. Exemplo desta abordagem foi o projeto *European Union ESPRIT-II* do programa OLMECO (*Open Library for Models of mEchatronic COmponents*), cujo propósito é proporcionar integração entre ferramentas de modelagem e simulação, oportunizando um ambiente aberto para armazenamento e troca de dados de modelos, ou seja, uma biblioteca de modelos pré-estabelecidos que podem ser reutilizados. Um trabalho significativo na delimitação da pesquisa aqui apresentada foi desenvolvido por Borst (1997). Apresenta uma investigação referente ao uso de ontologias no desenvolvimento de sistemas de informação para aplicação em modelagem e simulação de sistemas de aquecimento. Utiliza bibliotecas de ontologias existentes como *PHYSSYS*, desenvolvida no projeto *ESPRIT-II*.

Diversos autores descreveram pesquisas para representação do conhecimento incluindo o desenvolvimento de Ontologias em modelagem e simulação e a utilização de sistemas de simulação no apoio ao ensino de engenharia. Ontologias são empregadas pelas áreas da Web Semântica e Gestão do Conhecimento para dar semântica e representação comum à informação. Mesmo sem uma definição consensual, Ontologias proporcionam soluções tecnológicas para resolver problemas de estruturação de dados, informações e principalmente na aquisição e representação do conhecimento tácito, o qual é difícil de ser articulado na linguagem formal. Sowa (1999) descreveu que “Ontologia é um catálogo de coisas” que podem existir em um domínio, na perspectiva de uma pessoa que usa uma determinada linguagem, uma especificação formal explícita de uma conceitualização compartilhada. Rezende (2003) citou o caráter de reutilização e interoperabilidade, no qual as Ontologias descrevem conceitos e relações que podem ser usados em diferentes Bases de Conhecimento.

Em função do caráter de reutilização do conhecimento, entende-se como relevante a representação do conhecimento no domínio de modelagem e simulação dinâmica de sistemas, no intuito de colaborar com a orientação dos projetistas e engenheiros em como definir seus sistemas técnicos (modelagem) envolvendo seus componentes para simulação e análise do sistema proposto.

#### Abordagem WEB para auxiliar a modelagem de sistemas de engenharia

A definição pela utilização de uma abordagem WEB visa facilitar o acesso às informações que integram uma Base de Conhecimento (BC), atendendo ao objetivo da representação do conhecimento (RC) anteriormente descrito. É direcionada a engenheiros e profissionais interessados em modelagem e simulação dinâmica unidimensional de sistemas físicos, com experiência na área, mas que não trabalham com problemas dinâmicos. Deseja-se reduzir esforços de engenharia na construção de modelos dinâmicos de simulação, que envolvem grande complexidade e diferentes níveis de abstração em domínios energéticos e de conhecimento.

Para construção das páginas optou-se pelo modelo Wiki, cujo uso é conhecido pela maioria dos internautas em função das páginas WEB do sítio Wikipédia (enciclopédia livre). As páginas neste formato possibilitam a participação dos usuários formulando comentários ou ainda, editando páginas. A elaboração das páginas seguiu as recomendações e padrões da W3C (*World Wide Web Consortium*), no sentido de possibilitar a disponibilização dos conteúdos por meio de diferentes tecnologias de acesso a WEB. Contudo com o crescimento da Base como um todo, houve a necessidade de implementar alguns conteúdos em formato não inclusos nos padrões da W3C, sem comprometer o resultado final. Por exemplo, o padrão de representação de ontologias indicado pela W3C é no formato *Web Ontology language* (OWL). A utilização da versão *Frames* não comprometeu o resultado da pesquisa.

Não faz parte do escopo deste artigo descrever o modelo de representação que estabeleceu os relacionamentos entre os conceitos, características do sistema físico e efeitos físicos característicos para definição dos modelos de representação. Nesta fase da pesquisa optou-se por não desenvolver um aplicativo como por exemplo, no formato de um SE, o qual poderia inclusive operar via internet. Para proporcionar o teste para avaliar a aplicabilidade da BC, adotou-se uma solução computacional nos moldes de protótipo de laboratório com base em Hipertexto, pois permite a conexão de diferentes formatos de arquivos por meio de *hiperlinks*, possibilitando sua aplicação em sistemas da *internet*. Esta opção foi possível em função das características definidas para escolha do ambiente computacional para aquisição de

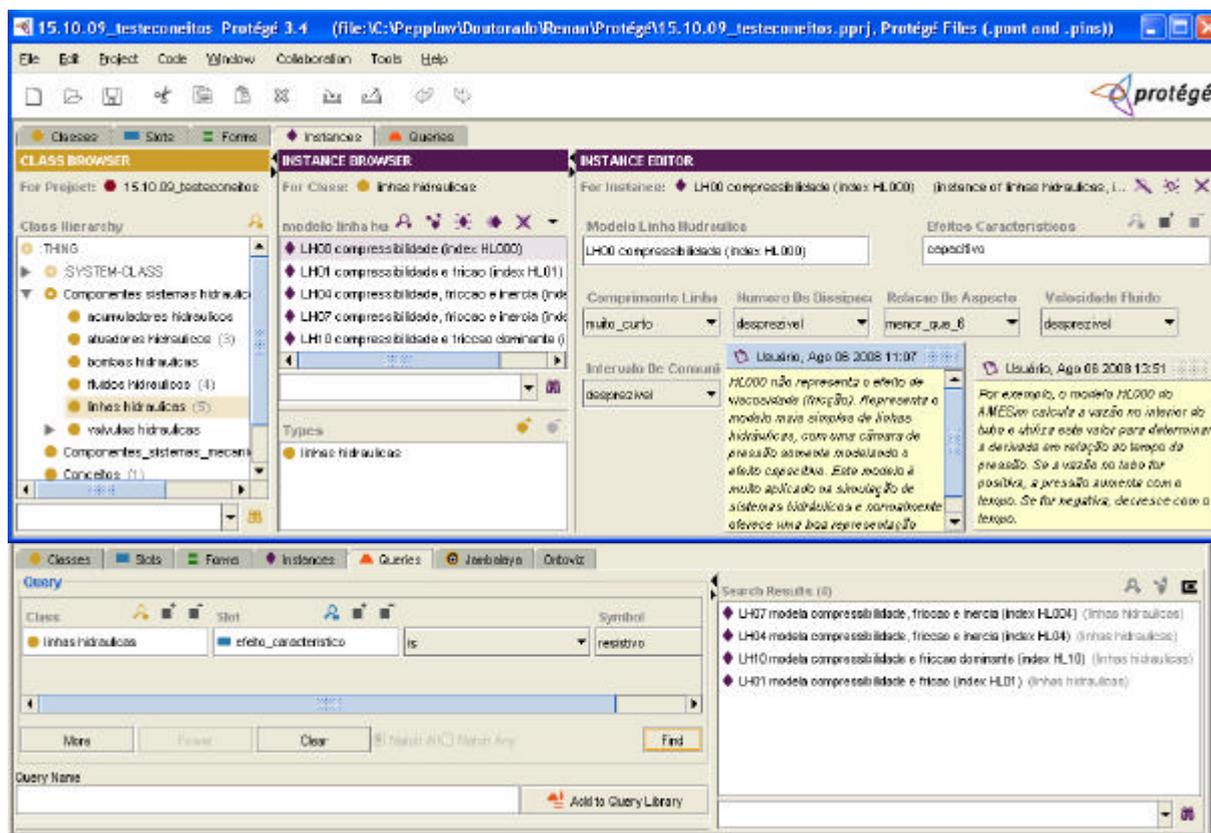
conhecimento (AC) em modelagem e simulação, no caso o software AMESim e do ambiente para RC, no caso o software Protege, ambos com um grande número de usuários em indústrias e universidades.

Exemplos de publicações que utilizam o AMESim como fonte de informações e de modelagem e simulação de sistemas são: Lebrun *et al.* (2000), Corcione *et al.* (2001), Lafont *et al.* (2002), Clavier *et al.* (2003) e Castelani (2003). Como exemplo de aplicação prática cita-se o projeto SEGRED (parceria entre UFSC-Petrobrás-TBG auxiliando o desenvolvimento de um Sistema Especialista para Gerenciamento de Redes de Gás Natural) (disponível em <http://www.laship.ufsc.br/segred>, acesso em dezembro/2009).

No caso do AMESim, as informações contidas em suas bibliotecas e nos milhares de *demos* de modelos de diversos circuitos e componentes já criados e testados em diferentes domínios energéticos suficientemente robustos e amplos, são disponibilizadas em arquivos nos formatos HTML e PDF. As bibliotecas apresentam a documentação que descreve a engenharia, os fenômenos físicos e as equações matemáticas envolvidos na representação dos modelos de componentes e de circuitos.

Para o processo de representação computacional adotou-se o *software* Protege versão *Frames* no formato de representação RDF (*Resource Description Framework*) de acordo com o protocolo OKBC (*Open Knowledge Base Connectivity*). Este ambiente oportuniza a implementação computacional, reuso e interoperabilidade do conhecimento, por meio de Ontologia baseada em *frames* (heranças), a qual possibilita estruturação taxonômica por classes organizadas hierarquicamente, associadas à *slots* (características) que descrevem seus atributos (propriedades) e um conjunto de instâncias destas classes (definem modelos dinâmicos de representação). As saídas da BC representada podem ser consultadas por intermédio de uma interface HTML.

A Figura 1 ilustra telas capturadas no software Protege. Na superior demonstram-se a classe de componentes de Sistemas Hidráulicos, as instâncias de saída especificadas para linhas hidráulicas e as características (atributos) devidamente associadas para defini-las. As instâncias ou saídas da BC (Modelo Linha Hidráulica) representam os modelos a serem utilizados na construção do sistema a ser analisado em simulação dinâmica.

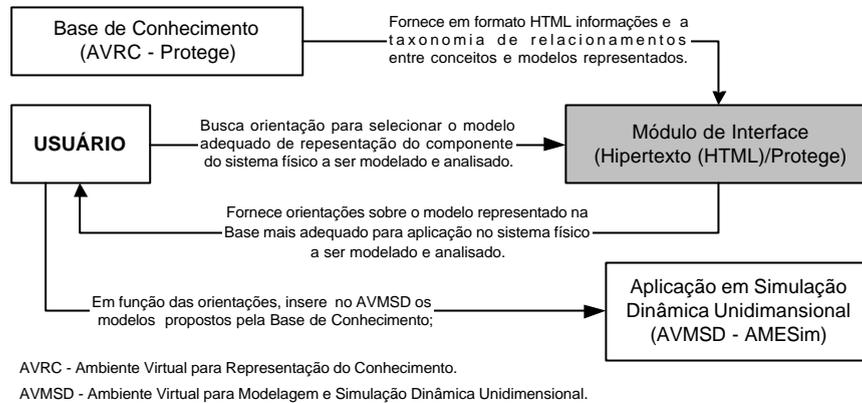


**Figura 1 - Exemplo de RC no Protege – associa os atributos para definir uma instância (um modelo) de linha de fluido e as QUERIES que demonstram as associações entre os atributos para defini-las.**

Como demonstrado na parte inferior da Fig. 1, o Protege oportuniza o estabelecimento de *Queries* (encadeamento lógico de busca), pelas quais é possível a verificação dos conceitos e as instâncias (saídas da *Instance Editor*) dos modelos propostos pela RC relacionados com a Base de Modelos. Com a organização e a representação do conhecimento efetuados, o Protege possibilita a conversão do código computacional em uma saída WEB (ver Figura 6) que pode ser aplicada em hipertexto. Isto viabiliza o acesso aos conteúdos da Base de Conhecimento por meio do módulo de interface representado no diagrama da Fig.2.

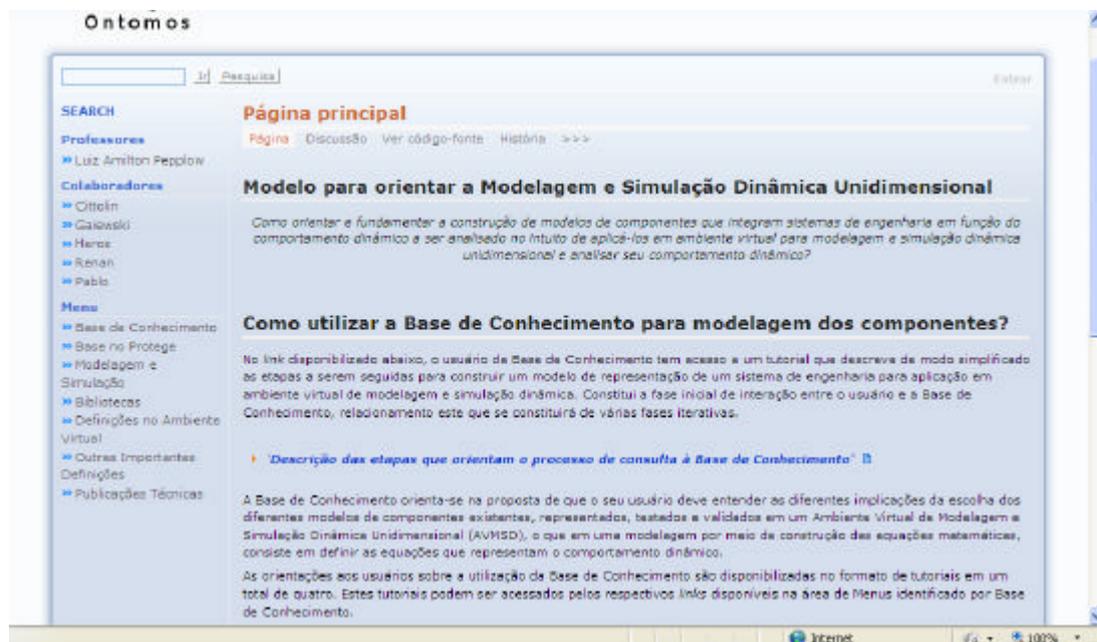
## 2.4 - O processo de orientação a consulta ao ambiente WEB

A Figura -2 representa a proposta para estabelecer a formalização do processo de interação entre usuário e Base de Conhecimento (BC) oportunizada pelo Módulo WB. A premissa fundamental é de que “se” um usuário/projetista orientado pelos conceitos representados na BC disponibilizados pela interface WEB for capaz de modelar um sistema para implementá-lo em um Ambiente Virtual de Modelagem e Simulação Dinâmica Unidimensional, efetuar a simulação e análise de resultados, a BC e o módulo WEB cumpriram os objetivos a que se propõe.



**Figura -2 - Diagrama representativo do processo de interação entre usuário e Base de Conhecimento por meio da abordagem WEB**

Em síntese, como demonstrados no diagrama da Fig. 2, o objetivo é definir um modelo adequado de componente para aplicação na modelagem de um sistema significa atender adequadamente uma determinada necessidade de comportamento dinâmico (define-se o nível de complexidade de representação do modelo matemático) que se deseja analisar por meio de simulação virtual. As orientações aos usuários sobre como efetuar a pesquisa através do Módulo de Interface, são disponibilizadas por meio de tutoriais no formato de textos e vídeos, acessados pelos respectivos links disponíveis no sítio da WEB determinado. As Figuras 3 e 4 apresentam as páginas WEB de acesso às orientações para definição dos modelos.



**Figura 3 – Representa as características que subsidiam a escolha do modelo dinâmico do componente**

A primeira apresenta a página inicial por meio da qual o usuário acessa o conteúdo disponibilizado e obtém informações de caráter geral sobre como utilizar a BC. Na segunda são disponibilizados os links de acesso aos tutoriais textuais e de vídeo auto explicativos e em alguns casos dinâmicos, como no caso dos exemplos de modelagens de sistemas dinâmicos e como efetuar as análises de operação.

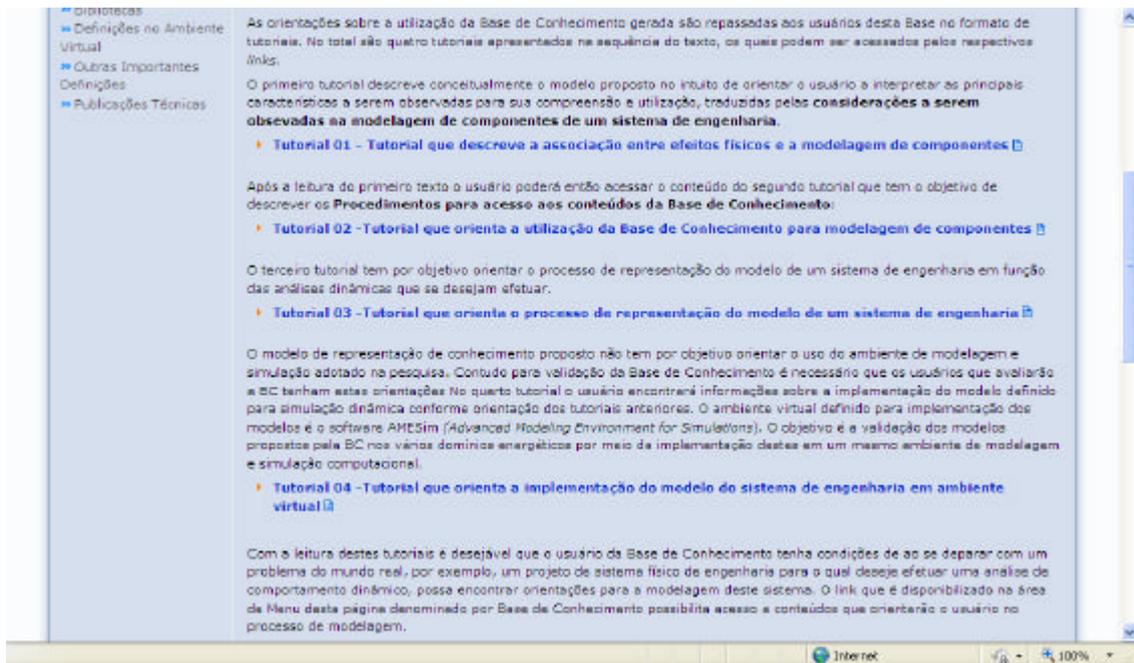


Figura 4 – Apresenta os links de acesso aos tutoriais que orientam como consultar a BC e efetuar a modelagem do sistema de engenharia e a análise de comportamento dinâmico

Para orientação do usuário quanto a modelagem de sistemas de engenharia, optou-se pela formulação de analogias. Foram disponibilizados exemplos de sistemas que podem ser consultados para verificar a sua aplicação em situações propostas pelas Análises Dinâmicas na BC e, posteriormente, quando o usuário estiver se deparando com um caso real, possa por analogia concluir sobre o procedimento a ser seguido para definir seus modelos e implementá-los em AVMSD e analisar a operação do sistema. A Figura 5 demonstra os *links* para obter acesso a esta orientação.

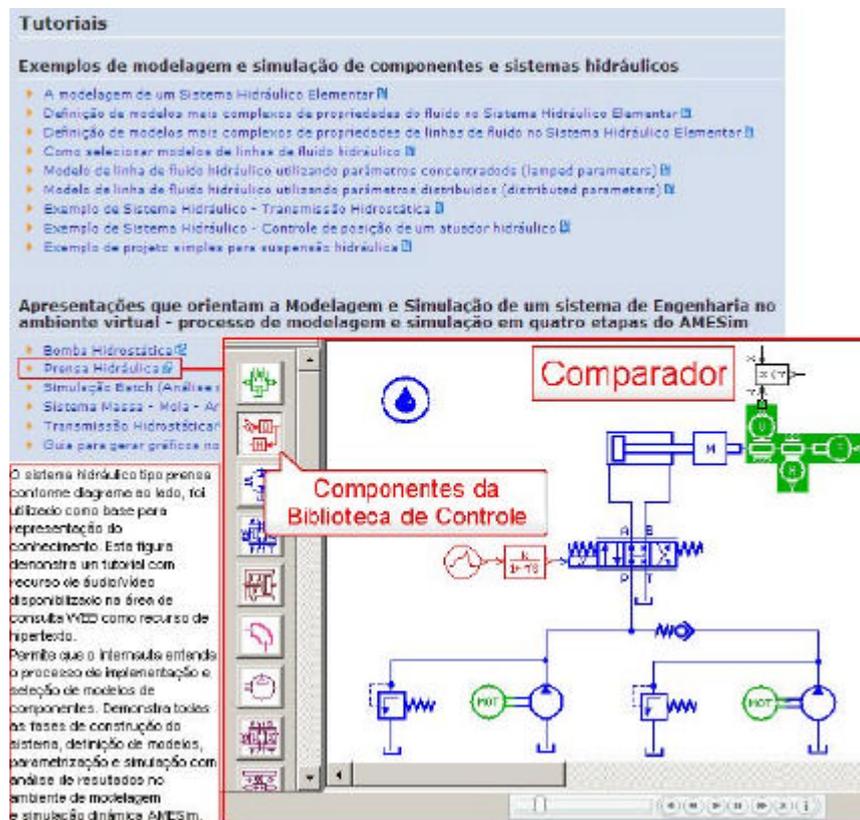


Figura 5 – Representa a página WEB que proporciona acesso aos recursos hipertexto como tutoriais tipo texto e recursos de Audio/vídeo

A Figura 6 demonstra telas disponibilizadas pelo Protege em formato HTML, que permitem verificar a RC, bem como fornecem ao usuário da BC descrição para avaliar qual é o modelo de componente mais adequado para a representação do sistema de engenharia a ser analisado em função da dinâmica desejada. Para inserção na BC, os descritivos referentes a cada modelo proposto foram previamente organizados em uma tabela de conceitos (não demonstrada neste trabalho) em função das bibliotecas textuais do ambiente AMESim.

The screenshot shows a web browser window with the URL [http://nupet.daelit.ct.utfpr.edu.br/\\_ontomos/paginas/protege/MetaMos\\_Class30001.html](http://nupet.daelit.ct.utfpr.edu.br/_ontomos/paginas/protege/MetaMos_Class30001.html). The page title is "01.12R Project: Modelagem simples de compressibilidade...". The main content area is titled "01.12R Class Hierarchy" and displays a tree structure of components. The "Linha" class is selected, and its details are shown in a panel on the right. The details include a "Documentation" section with a long paragraph describing the complexity of hydraulic line modeling and a "Superclasses" section listing "Hidráulico". Below the class details, the "Instance: Modelagem simples de compressibilidade (index HL000)" is shown, with a table of properties.

**Class: Linha**

**Documentation:** A escolha do modelo é complexa em função das diversas características envolvidas. O principal problema é a complexidade da análise da vazão em linhas hidráulicas. As características que podem ser entendidas como mais importantes para análise são: variação da compressibilidade do fluido e expansão das paredes do tubo/mangueira com a pressão; a inércia do fluido; a variação do bulk modulus com a pressão; a variação da viscosidade com a pressão; o escoamento do fluido no interior das linhas de fluido que pode ser relacionado com o número de Reynolds, que classifica o escoamento em turbulento, laminar e indeterminado; frequência dependente da fricção; cavitação e aeração; comprimento da tubulação; vazão; variações de temperatura. No dimensionamento dos modelos também devem ser observados os diferentes efeitos físicos característicos que se relacionam com as características anteriormente citadas, os quais facilitam a compreensão e escolha do modelo. : capacitância; resistência; inércia; ou ainda a combinação destes. Na determinação dos modelos serão empregados vários valores calculados e adotados quando do projeto do sistema a ser modelado. A combinação destes valores e dos efeitos característicos determinará o modelo a ser adotado na modelagem do sistema.

**Superclasses**

- Hidráulico

**Instance: Modelagem simples de compressibilidade (index HL000)**

**Types**

- Linha

| Slot Name                       | Value   |
|---------------------------------|---|
| Componente                      | Modelagem simples de compressibilidade (index HL000)  |
| Comprimento                     | Curto   |
| Descrição                       | Este é um submodelo de tubo ou mangueira hidráulica. Utiliza lumped parameter. A compressibilidade do fluido e a expansão da parede do tubo/mangueira com pressão são tidos em conta por usar uma resistência à compressibilidade de forma eficiente. Isto pode ser calculado. (i) baseado na espessura da parede e na rigidez para o material da parede ou (ii) o usuário fornece a eficiência da resistência à compressibilidade. O atrito no tubo não é levado em conta. O submodelo tem 1 estado variável representando a pressão de todas as portas do tubo/mangueira. Pode ser usado de forma geral em simulações de sistemas hidráulicos e muitas vezes fornece uma boa representação dinâmica de tubo ou mangueira. No entanto, se o atrito no tubo é significativo, HL01, HL02 ou HL03 podem ser usados em vez de HL000. |
| Efeitos físicos característicos | Capacitivo  |
| Index                           | <a href="http://200.134.25.80/paginas/AMESim4.2.0/libhydr/doc/html/submodels/HL000.html">http://200.134.25.80/paginas/AMESim4.2.0/libhydr/doc/html/submodels/HL000.html</a>   |
| Número de dissipação            | Não_considerado   |
| Relação de aspecto              | <8  |

Figura 6 – Páginas WEB que disponibilizam a consulta às características que subsidiam a escolha do modelo dinâmico de representação do componente

## 2.5 - O processo de validação da abordagem WEB

O processo de validação consistiu em fornecer a especialistas (total de 3) e a um grupo de alunos de Engenharia Mecânica (total de 50), o diagrama de três sistemas hidráulicos previamente dimensionados. Foram indicadas quais as análises dinâmicas desejáveis para cada exemplo.

A consulta à BC orienta-se nos questionamentos: (i) Qual ou quais são os efeitos físicos característicos mais significativos a serem considerados na construção de um modelo de um componente de um sistema físico? (ii) Quais são as características físicas mais importantes para a escolha do modelo de componente a ser representado? (iii) Quais os principais conceitos envolvidos na determinação do modelo proposto? (iv) Qual modelo já representado e validado existente em uma biblioteca disponível para reuso, atende às características físicas e efeitos físicos do componente a ser modelado? O tutorial 1 orienta este procedimento.

Para efetuar a escolha dos modelos de componentes pela associação com os efeitos físicos característicos na etapa de validação da BC, foram empregados conceitos em um nível mais alto de abstração, associando-se somente os efeitos resistivos, indutivos e capacitivos singulares e desconsiderando suas possíveis variações como por exemplo fricção dependente da frequência e efeitos inerciais. Isto não diminui a eficiência ou confiabilidade na condução do processo, mas somente estabelece um nível de restrição para delimitar as possibilidades de análise desta etapa. Definidos os

modelos de componentes, o usuário pode verificar com maior detalhamento outras características além das representadas no Protege conforme indicado na Fig. 6 como, por exemplo, o modelo matemático de representação na área de consulta às bibliotecas de modelos do ambiente de modelagem. Na representação do Protege é indicado um *link* para acesso a descrição detalhada do modelo nas bibliotecas do ambiente AMESim.

Após a seleção dos modelos dos componentes, o usuário deve, orientado pelas instruções dos tutoriais 2 e 3, utilizar o ambiente AMESim para implementá-los conforme instruções do tutorial 4. Este ambiente permite a modelagem e simulação de sistemas em um mesmo ambiente computacional para análise de comportamento dinâmico que envolva os domínios energéticos definidos no escopo de abrangência da representação do conhecimento (sistemas Hidráulico, mecânico e de sinal).

Em seguida a realização das tarefas propostas para validação, foi respondido um questionário de avaliação que contemplou aspectos relacionados com a qualidade das informações fornecidas pela BC, sobre a abrangência e a possibilidade de re-aplicação dos exemplos propostos para modelagem e ainda, sobre a interface disponibilizada para interação com o usuário. Foi solicitado ainda informações quanto ao aprendizado havido no desenvolvimento do processo de validação.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível comprovar ganhos expressivos no aprendizado dos alunos no que se refere aos conhecimentos gerais dos domínios energéticos envolvidos, bem como em modelagem e simulação, área até então desconhecida pelos alunos. As consultadas à BC oportunizaram novos aprendizados. Nenhum dos envolvidos havia trabalhado com um software de modelagem e simulação como o AMESim, somente com o MATLAB e alguns tentaram trabalhar com o Modysim. Mesmo com a dificuldade na utilização da Base de Conhecimento representada no Protege, em função da pouca fundamentação na análise dos fenômenos físicos, foi possível encontrar a descrição dos modelos para aplicação em simulação dinâmica. Todos os envolvidos consideraram que as informações disponibilizadas constituem importante material para o aprendizado da Engenharia. Compreenderam o processo de modelagem e simulação do software e implementaram os sistemas modelados para análise de comportamento.

Como os usuários da BC construíram seus modelos em função das informações disponibilizadas via WEB, comprovou-se: a possibilidade de modelar componentes orientando-se no comportamento dinâmico esperado dos sistemas físicos por meio das análises a serem efetuadas, bem como é possível colaborar com a resolução de problemas representativos que ocorrem na construção de modelos de sistemas de engenharia, como definido no problema de pesquisa.

### 4. REFERÊNCIAS

- Back, N., 1983, "Metodologia de projeto de produtos industriais." Rio de Janeiro, ed Guanbara dois S.A., 389p.
- Back, N.; Ogliari A.; Dias, A; Silva, J. C. 2008, "Projeto Integrado de Produtos – Planejamento, Concepção e Modelagem". 1. Ed. Barueri, SP :Manole
- Breunese, A. P.J, 1998, "Libraries of Reusable Models: Theory and Application. Simulation" v. 71, n. 1, p. 7-22. Disponível em <<http://citeseer.ist.psu.edu/>> Acesso em: 20 novembro 2006.
- Borst, W. N. 1997, "Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse." [S.I.:s.n] Thesis Enschede. Duth Graduate School for Information and Knowledge Systems - Center for Telematics and Information Technology, Netherlands.
- Carrera, R. A. S. 2006, "Modelagem Dinâmica e Controle de Turbina a Gás." 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Sistemas e Controle. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.
- Christley, S. ; Xiang, X.; Madey, G. 2004, "An Ontology for Agent-Based Modeling and Simulation. Computer Science and Engineering", University of Notre Dame, (2004). Disponível em <[http://beauwrath.cse.nd.edu/~scottc/papers/ontology\\_agent2004.pdf](http://beauwrath.cse.nd.edu/~scottc/papers/ontology_agent2004.pdf)> Acesso em: 19 novembro 2006.
- Clavier, A., Alirand, A., Vernat F., Sagot B. 2003, ENSEEIHT, IMAGINE, ESTACA "Local Approach To Improve The Global Approach Of Hydraulic Forces In Ball Poppet Valves" 4th Int. Symposium on Fluid Power, Wuhan, China,
- Corcione, G. E., La Rosa,M., Lavorgna,M., Giuffrida,A., Lanzafame, R. 2001, STMicroelectronics, Università di Catania : "Modeling and Control of a Common Rail System for Diesel Multiple Injections", 5th International Conference "Internal Combustion Engines", Naples, Italy, September 23 - 27, 2001
- Lafont, E., Alirand, M., Grancher, R., Gagne D. 2002, IN-LHC/IMAGINE "Simulation for the design of a pressure valve for aircraft braking system", SAE Symposium on Aerospace Fluid Power Meets the Control Challenges for the 21st Century, October 14- 17, 2002, Toulouse, France.
- Lebrun, M., Meillier, R.,L. Broglia L. P., Samuel, S. 2000, Imagine/Renault: "Polymorphic Modeling Applied to Vehicle Thermal Management". SAE'2000 paper 2000-01-0293, Detroit, MI, March 6-9, 2000.

- Lebrun, M., Richards, C. 1997, "How to Create Good Models Without Writing a Single Line of Code." In: 5th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'97, Linköping Sweden, May 28-29 1997.
- Meerkamm, H. 2003, "Integrated Product Development as a Key to Sustainable Products." In: International Conference on Engineering Design - Iced 03. Stockholm. p. 19-21. 2003.
- Miller, J. A., Fishwick, P. A. 2004, "Investigating Ontologies for Simulation Modeling." In: 37th Annual Simulation Symposium (ANSS 04), Compute Society, p. 55-63, 18-22, abr/2004.
- Oliveira, D. N., Cunha Jr, H., Teixeira, V. S. C. 2006, "Modelagem Bond graph e o Ensino de Engenharia Elétrica - Representação das Máquinas Elétricas." Em ANAIS DO XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
- Rezende, S. O. 2003, "Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações." São Paulo: Manole, 525p.
- Samantaray, A. K. About Bond graphs – The System Modeling World. In: [<http://www.bondgraphs.com/about.html>], 2001, HighTech Consultants.
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G. 2005, "Projeto de Engenharia Mecânica" 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 960 p.
- Silva, I. P. 2005, "Modelagem e Identificação de uma máquina de Extrusão através de *Bond graph*." Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.
- Sowa, J. F., 1999. "Building, sharing and merging ontologies." Tutorial disponível em <<http://users.bestweb.net/%7Esowa/ontology/ontoshar.htm>>, acesso 15 julho 2006.
- Tucho, R. et al. 2003. "Expert tutoring system for teaching mechanical engineering. Expert systems with applications, v. 24, n. 4, p. 415-424". Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/> Acesso 7 de agosto de 2004.
- Zdrahal et al., 2000. "Sharing engineering design knowledge in a distributed environment." Knowledge Media Institute The Open University, Milton Keynes, UK. Disponível <http://citeseer.ist.psu.edu/> Acesso agosto 2006.

## 5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

### ABSTRACT

**Luiz Amilton Pepplow**<sup>1</sup>, [luizpepplow@utfpr.edu.br](mailto:luizpepplow@utfpr.edu.br)  
**Jonny Carlos da Silva**<sup>2</sup>, [jonny@emc.ufsc.br](mailto:jonny@emc.ufsc.br)  
**Pablo Sanches**<sup>1</sup>; [pablosanches\\_tb@yahoo.com.br](mailto:pablosanches_tb@yahoo.com.br)

<sup>1</sup> Technological Federal University of Paraná - UTFPR / Av. Sete de Setembro, 3165, CEP: 80.230-901 / Curitiba-PR

<sup>2</sup> Federal University of Santa Catarina - UFSC / Campus Universitário Trindade, CEP: 88.040-970 / Florianópolis -SC

This paper presents a web approach to work as an auxiliary tool for the modeling of an engineering system that represents a real physical system. This approach reuses models that describe a certain dynamic behavior in order to be implemented in a simulation software for the modelling and analysis of one-dimensional (1D) systems. These models were previously represented, tested and validated in several industrial and academic applications. Their purpose is to reduce engineering efforts used in the construction of simulation dynamic models, which involve great complexity and different levels of abstraction in diverse energetic knowledge and domains such as mathematics and physics. The model construction is based on a physics-mathematical analysis, following the physics laws that characterize a particular system. For so, some associations were established between concepts and characteristics of physical effects (resistive, capacitive, inductive and inertial) and the physical properties of the system (characteristics of components dimensions and possible dynamic analysis), which were organized and described within a Knowledge Base (KB). To assist the computational representation process, it was adopted the software Protege version Frames in the RDF representation format (Resource Description Framework) according to the protocol OKBC (Open Knowledge Base Connectivity). This protocol enables the generation of a code that allows computational implementations (as in an expert system or as in an intelligent tutorial using shell CLIPS). Furthermore, it offers Queries (search logic chain) to analyze the instantiations (outputs) of the generated models. Thus, it is possible to verify the knowledge representation by means of a Web Interface. Both the applicability and usability of this approach were validated through practical activities with students and professors of the Mechanical Engineering course at UTFPR (Technological Federal University of – Paraná). Results demonstrate an improvement in the engineering teaching-learning process and in the preparation of professionals from industrial areas as well as for products development.

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.