

USO DE APPLETS JAVA NO ENSINO DE ENGENHARIA

Washington Braga - wbraga@mec.puc-rio.br
Departamento de Engenharia Mecânica
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
R. Marquês de São Vicente, 225
22453-900, Rio de Janeiro, RJ

Resumo. *A utilização de simuladores nos cursos de Engenharia tem trazido grandes benefícios aos alunos ao ajudá-los a visualizar as diferentes situações teóricas consideradas fundamentais para o desenvolvimento de um bom profissional. No passado recente, estes simuladores consistiam em programas sofisticados que exigiam consideráveis recursos computacionais. O advento da linguagem Java de programação, entre outras, propiciou o aparecimento dos applets, isto é, pequenos programas aplicativos de uso via Internet, permitindo uma grande interação entre o material didático, textual e a simulação. Neste processo, conseguiu-se eliminar o uso de tabelas e gráficos, muitas vezes produzidos em baixa resolução e apresentando erros relativamente grandes. Naturalmente, o uso dos simuladores por si só não é eficiente mas pode-se tornar bastante interessante, didaticamente falando, se for devidamente acoplado à metodologia de ensino, junto aos demais materiais acadêmicos. Este trabalho pretende demonstrar as vantagens do uso destes aplicativos no ensino de engenharia em geral, embora aqueles aqui comentados tenham sido desenvolvidos no contexto de Transmissão de Calor do curso de Engenharia Mecânica.*

Palavras-chave: *Ensino de engenharia, Ensino à distância, Internet, Transmissão de calor*

1. INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia hoje enfrenta diversos desafios aos quais criatividade e conhecimento se fazem necessários para a sua adequada superação. O volume do material a ser coberto nos cursos técnicos pode ser tão grande quanto o desejado. Pelas óbvias limitações, a discussão das inúmeras situações físicas torna-se impossível, cabendo ao professor uma decisão sobre quais assuntos devam ser tratados, ainda que em prejuízo de outros tantos. Naturalmente, a experiência profissional e/ou a de pesquisa do professor aliada à visão do tipo de profissional que a sua Instituição de Ensino Superior pretende formar facilitam enormemente esta decisão. Mas a seleção é ainda pertinente.

Uma vez que o material mais adequado tenha sido escolhido, o professor se vê diante de um segundo dilema, bastante mais complexo e sem solução universal conhecida: como motivar o alunado para aprender. Os reduzidos postos de trabalho disponíveis no mercado estão exigindo uma formação profissional bastante mais complexa que no passado, pois deve

ser generalista e ao mesmo tempo técnica. A solução para esta complexidade só pode ser conseguida mediante envolvimento do próprio alunado na construção do seu conhecimento, o que constitui uma diferencial da educação tradicional de engenharia. No passado recente, a formação poderia se dar quase que exclusivamente na graduação, onde um conjunto de informações era transferido ao alunado que dele faria uso ao longo de uma vida profissional intensa mas previsível, pelo menos se olhada com a benevolência com que olhamos o passado. No presente, esta situação evoluiu e devemos mais que nunca motivar os alunos a desenvolverem suas habilidades de aprendizado independente, objetivando o entendimento das modelagens e hipóteses de trabalho. Naturalmente, isto pode ser feito quer com o auxílio de recursos práticos de laboratórios quer com recursos digitais. Entretanto, devido ao atual estado de dificuldades financeiras da maioria das nossas instituições, na prática a possibilidade se reduz à utilização intensa de computadores com este objetivo. Conseqüentemente, precisamos de simuladores simples e eficazes.

Este trabalho apresenta os conceitos associados ao desenvolvimento de aplicativos, escritos em linguagem Java de programação (certamente, há outras linguagens que têm sido utilizadas com igual sucesso), capazes de serem utilizados via Internet. Numa primeira e precipitada análise, estes aplicativos aparentam funcionar como modernas réguas de cálculo, aliando rapidez à precisão desejada. Na prática, contudo, eles podem ilustrar também as diversas situações físicas de interesse, possibilitando ao usuário a discussão adequada, e à sua conveniência pela permanente disponibilidade, das diferentes informações consideradas importantes ao aprendizado. Podemos concluir, portanto que é possível a obtenção de um melhor entendimento das modelagens físicas e numéricas necessárias à formação de um bom profissional de engenharia, especialmente se o uso destes aplicativos for integrado a outras práticas de ensino. O objetivo aqui é apresentar algumas opções, visando ilustrar o grande potencial deste recurso didático para o ensino de engenharia.

Embora o uso destes aplicativos seja o mais geral possível, a discussão a ser conduzida no presente trabalho é feita no âmbito de Transmissão de Calor e Mecânica dos Fluidos, frutos da limitação e também da experiência do autor.

2. METODOLOGIA

O uso da Internet como ferramenta de apoio ao ensino de engenharia tem aumentado nos últimos tempos, como mostram os trabalhos publicados nos Anais de diferentes congressos da área (Anais 1998 e 1999, entre inúmeros outros). A partir do uso relativamente tímido de páginas web que continham inicialmente apenas ementas, calendários de provas e listas de exercícios, já há hoje alguns sítios com bom volume de material acadêmico, como o disponibilizado em Braga (2000a) que contém informações pertinentes a um curso completo - nível de graduação - de Transmissão de Calor. O número de consultas regulares feitas ao material citado, por alunos de outras instituições de ensino e pesquisa mas também de engenheiros engajados no mercado de trabalho, é indicativo da boa acolhida que este tipo de material encontra entre os usuários da Internet.

Embora possa ser utilizado exclusivamente pela Internet, o material disponível nestas páginas foi desenvolvido como ferramenta de apoio ao curso presencial de Engenharia Mecânica, numa situação na qual o material é utilizado remotamente pelos alunos em complementação às discussões acadêmicas regularmente conduzidas em salas de aulas convencionais, chamadas hoje de presenciais. A metodologia utilizada naquele curso foi já apresentada em outros trabalhos (Braga, 1998 e 1999) e não será repetida aqui. Cópias destes e de outros trabalhos do autor sobre o uso de Internet na construção do conhecimento do alunado estão disponíveis na Internet no endereço <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/hpn.htm>.

3. ESTUDO DE CASOS

Para ilustrar o potencial do uso de aplicativos Java, alguns exemplos serão mostrados aqui. Retirados de Braga (2000a), eles dizem respeito ao estudo da influência da Resistência Térmica de Contato, à Troca de Calor Unidimensional em Regime Transiente e ao estudo dos Corpos Semi-infinitos. Alguns outros disponíveis referem-se, por exemplo, ao estudo de Trocadores de Calor, Balanço de Energia (primeira lei da Termodinâmica), Fatores de Forma de Radiação.

3.1 Influência da Resistência Térmica de Contato no Perfil de Temperaturas

Com muita frequência, os professores de Transmissão de Calor discutem em sala a influência do contato imperfeito existente entre duas superfícies (Incropera, 1996). Embora a discussão possa ser bem conduzida com exemplos e ilustrações, a impossibilidade de se reproduzir em um laboratório de graduação estas situações é geralmente grande. Observando que os alunos têm apresentado uma grande dificuldade de entender conceitos abstratos, a simulação pode funcionar como um excelente meio de visualização. A Fig. 1 mostrada adiante ilustra uma tela do simulador unidimensional, acessável pela Internet (no endereço: <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/simjava/sim1.java>), responsável pela ilustração deste tópico.

Com o uso deste simulador, os alunos podem experimentar diversas combinações de materiais, de condições térmicas de contorno (temperatura, fluxo de calor ou troca de calor por convecção especificados) e intensidade das resistências de contato, possibilitando uma adequada e rápida visualização dos conceitos. Como deve-se esperar, o acesso a este tipo de simulador deve ser feito mediante orientação do professor, que deverá procurar a discussão da modelagem do problema.

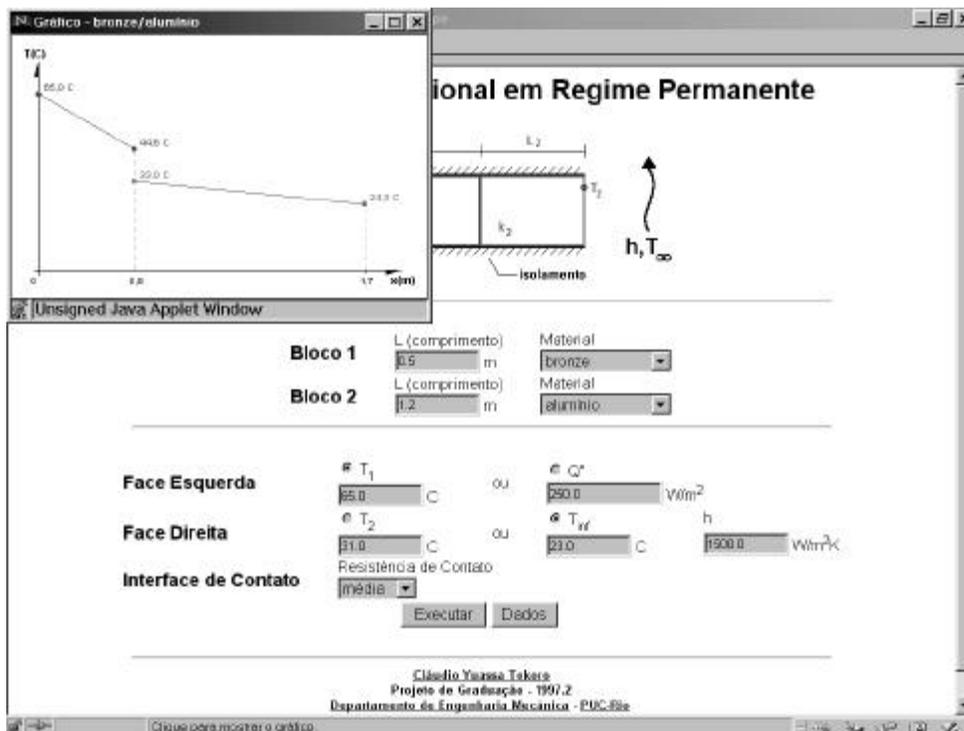


Figura 1. Simulador indicando influência da Resistência Térmica de Contato

3.2 Troca de Calor Unidimensional em Regime Transiente

Sem dúvida, uma das situações mais discutidas em um curso de Transmissão de Calor, o estudo da troca unidimensional de calor, em regime transiente, em placas planas infinitas, é de análise matemática elaborada, envolvendo ainda métodos matemáticos clássicos (série de Fourier) que deveriam ser do conhecimento do alunado. Infelizmente, nos últimos anos, este conhecimento não tem sido observado. Este tópico tradicionalmente envolve aproximações feitas sem muito critério e discussão, acarretando freqüentemente dificuldades no entendimento. A Fig. 2 adiante exemplifica a situação física:

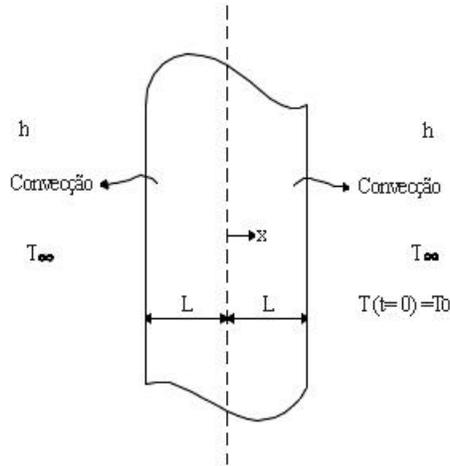


Figura 2. Placa Plana Infinita submetida a Troca de Calor por Convecção

Ela consiste em uma placa plana infinita (em direções perpendiculares à direção de troca de calor), inicialmente à temperatura uniforme T_0 , de espessura $2L$, sujeita à troca de calor por convecção com fluido à temperatura ambiente. A aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica a este problema, supondo propriedades constantes, resulta na Eq.(1):

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

que com as condições inicial e de contorno determinam o problema matemático. A solução deste é indicada pela Eq.(2) (Incropera, 1996):

$$\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\alpha \lambda_n^2 t) \left(\frac{\sin(\lambda_n L) \cos(\lambda_n x)}{\lambda_n L + \sin(\lambda_n L) \cos(\lambda_n L)} \right) \quad (2)$$

onde λ_n indica o n -ésimo autovalor do problema, determinado pela solução da equação transcendental:

$$\lambda_n \cdot \tan(\lambda_n \cdot L) = Bi / L \quad (3)$$

e $Bi = h.L/k$ representa o número de Biot (h é o coeficiente de troca de calor por convecção e k é a condutividade térmica do material da placa). Naturalmente, a expansão em série infinita constitui uma dificuldade adicional para a discussão física dos parâmetros pertinentes deste problema. Segundo Incropera (1996), para tempos suficientemente longos definidos por um número de Fourier, definido como $Fo = a.t/L^2$, onde a é a difusividade térmica do material, superior a 0,2, a série infinita pode ser aproximada pelo primeiro termo, resultando na Eq.(4), mais simples:

$$\frac{T(x,t) - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \left(\frac{4 \cdot \text{sen}(1/1.L)}{2 \cdot 1/1.L + \text{sen}(2 \cdot 1/1.L)} \right) \exp(-a \cdot 1/1^2 \cdot t) \cdot \text{cos}(1/1 \cdot x) \quad (4)$$

Esta expressão pode ser expressa diretamente como mostrado pela Eq.(5):

$$\frac{T(x,t) - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = F(x=0,t) \cdot G(x) \quad (5)$$

A equação (5) indica que a solução deste problema é um produto de uma função única da posição (x) por uma função única do tempo (t), dando origem aos conhecidos gráficos de Heisler, disponíveis na maioria dos livros sobre o assunto. Como se pode ver na Fig. 3 abaixo (Incropera, 1996), a imprecisão da expressão acima se confunde com a reduzida resolução.

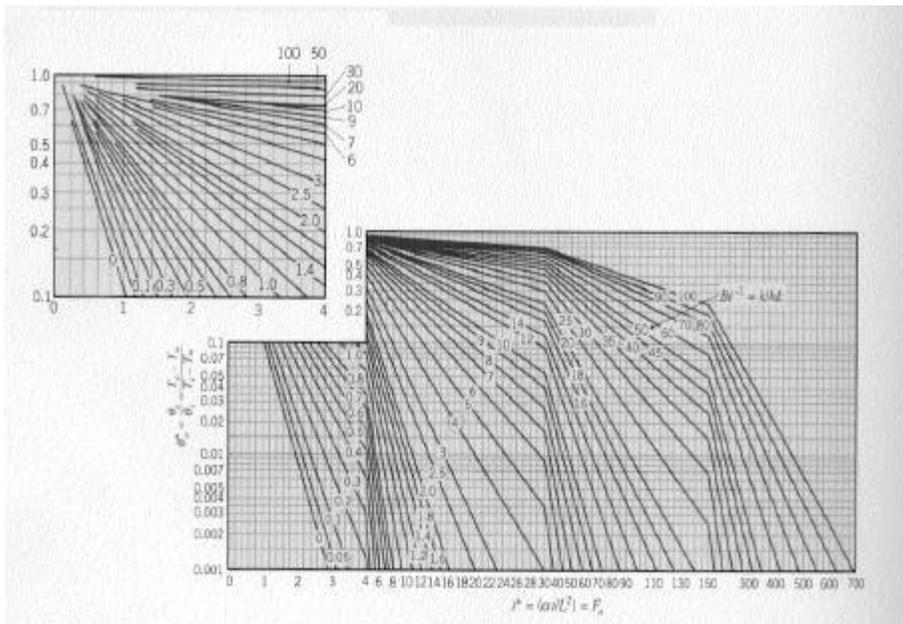


Figura 3. Carta de Heisler para Placa Plana Infinita

A situação definida por $Fo > 0,2$ pode ser muito exagerada, como mostra a Tabela 1 abaixo, dependendo é claro do material e da espessura. Os números mostrados referem-se a uma semi-espessura de 10 cm, como exemplo.

Tabela 1. Influência do Material na aproximação das Cartas de Heisler e Proposta

Material	Tempo para $Fo > 0,2$	Tempo para $Fo > 0,005$
Ouro	16 segundos	0,4 segundos
Aço Inox 304	506 segundos	13 segundos
Pyrex	2654 segundos	66 segundos
Cortiça	11077 segundos	277 segundos

Como se vê, o tempo necessário, para que a aproximação $Fo > 0,2$ seja razoável, é pequeno para materiais com elevado valor para a difusividade térmica (tipicamente são materiais bons condutores de calor) mas pode ser consideravelmente grande em outras situações. Este sentido físico pode ser perdido se cuidado não for tomado.

De posse destas informações, construiu-se um aplicativo Java (disponível em <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/aplicativos.htm>) considerando os 16 primeiros autovalores, resultando numa modelagem correta para $Fo > 0,005$, mostrada na terceira coluna da mesma Tabela. Naturalmente, a vantagem deste aplicativo é que uma vez construído, é relativamente simples aumentar o número de autovalores para o cálculo da série. Na prática, optou-se por trabalhar com os primeiros 16 autovalores pois o número deles cresce rapidamente: para uma precisão de $Fo > 0,0005$, torna-se necessário calcular os primeiros 45 valores (Braga, 2000b), o que foi considerado um exagero para as finalidades. Figura 4 abaixo mostra a tela do aplicativo onde aparecem outras informações, tais como o resultado obtido utilizando-se apenas o primeiro autovalor, para comparações, o erro cometido com a presente aproximação. Naturalmente, gráficos com precisão compatível (estão disponíveis em Braga, 2000b) podem ser igualmente produzidos mas com a inevitável perda de resolução.

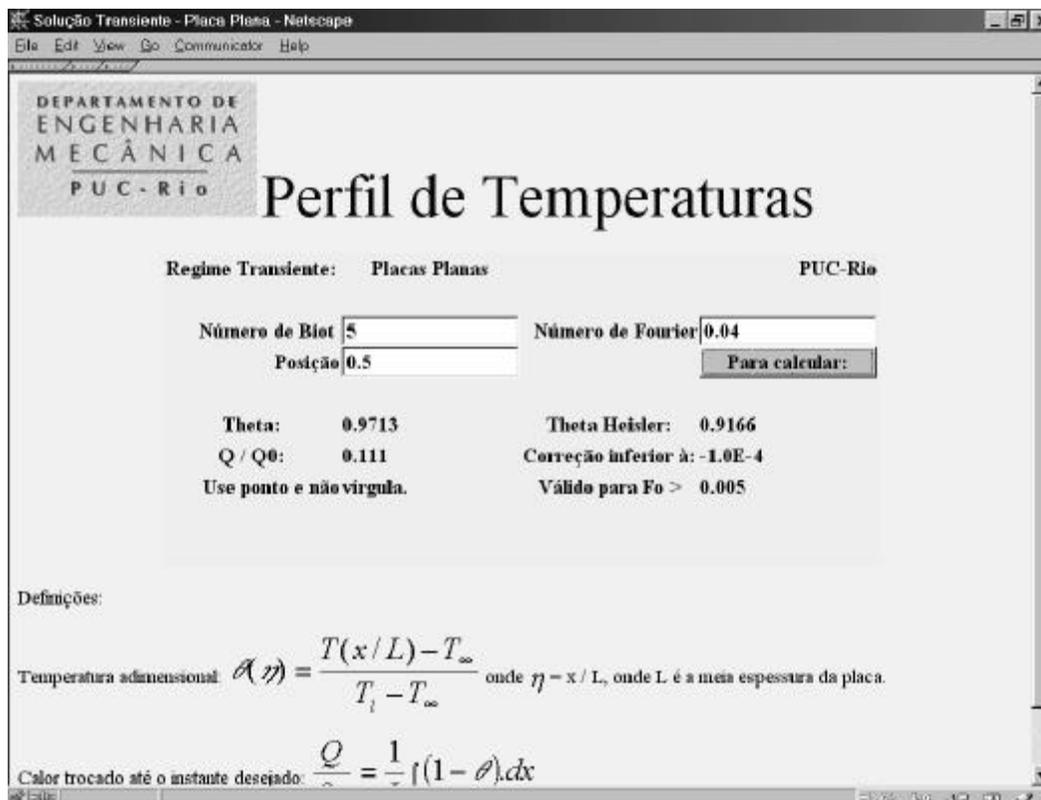


Figura 4. Aplicativo Java para Perfil Transiente de Temperaturas em Placa Plana

3.3 Sólidos Semi-infinitos

Em algumas situações, a espessura do material ou o tempo considerado são de tal ordem que a frente de onda térmica, penetrando no material, ainda não alcançou a outra extremidade da placa. Esta situação é modelada utilizando o conceito do corpo semi-infinito (uni ou multidimensional) no qual apenas uma das fronteiras participa da troca de calor (supondo uma situação unidimensional). Há três tipos de condições de contorno normalmente discutidas para esta fronteira:

- temperatura superficial constante;
- fluxo de calor superficial constante;
- troca de calor superficial por convecção.

Cada um destes casos admite uma solução analiticamente conhecida em termos da função erro. Normalmente, a discussão destes problemas em salas de aula (e também na maioria dos livros textos) se limita ao cálculo da temperatura superficial ou da quantidade de troca de calor, supondo materiais genéricos e placas de espessuras tratadas como "infinitas". Entretanto, o adequado entendimento deste problema envolve outras questões, tais como:

- a localização da frente de onda a cada instante;
- a velocidade de propagação desta onda;
- quantidade de calor que entra na peça até um determinado instante;
- tempo necessário para que a frente de onda alcance a outra fronteira;
- influência do material nestas (e em outras) questões.

Como se vê, o número de questões abertas é muito grande e devido à pouca familiaridade dos alunos com a função erro e ao grande volume de matéria a ser coberta, pouca atenção é dada a esta situação física. A simulação numérica pode ser utilizada com sucesso na construção deste conhecimento, como mostra a Fig. 5 adiante (disponível em <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/simjav/sim2.htm>).

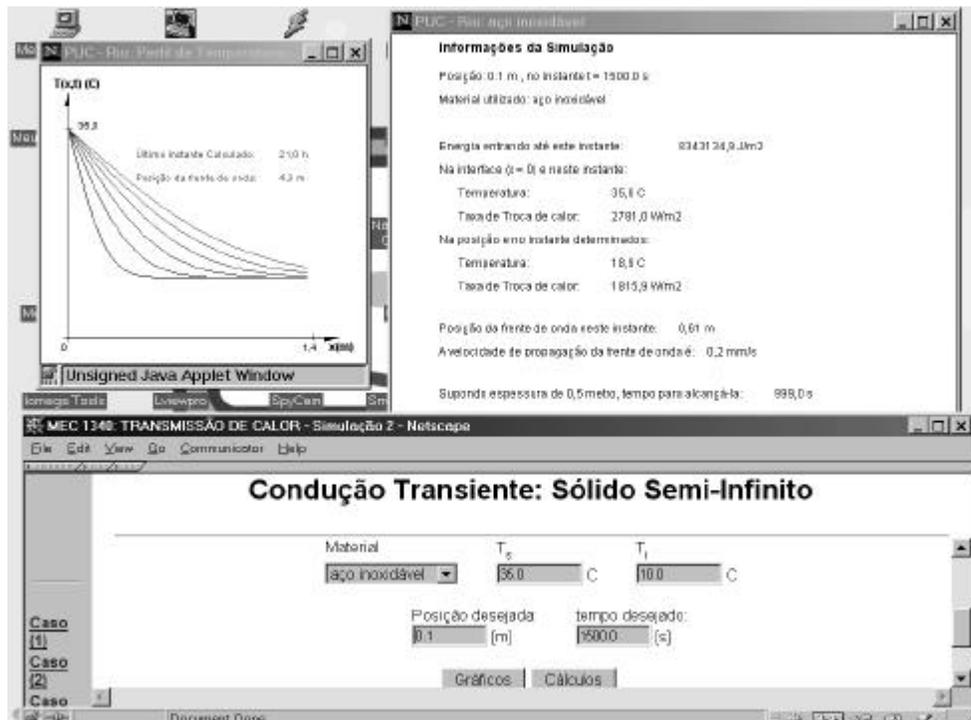


Fig. 5: Simulador Interativo de Sólido Semi-Infinito

A experiência tem indicado que é muito fácil utilizar este aplicativo e aprender em tempo real as características físicas desta situação e respectiva modelagem em função do material escolhido. As possibilidades são de fato muito grandes, permitindo a discussão sistemática de materiais básicos e formativos contemplando situações de interesse, ainda que simples devido às aproximações feitas, como por exemplo, materias homogêneos, propriedades constantes, etc.

Um outro tipo de aplicativo, de produção e uso bastante mais sofisticados, é baseado no conceito dos tutoriais de ensino dirigido, nos quais diferentes situações físicas são abordadas, todas especificadas pelos usuários, e a correção automática das respostas junto com interpretação dos erros e acertos, que constituem a avaliação formativa, podem ser feitos. Exemplo do uso de um tutorial deste tipo está relatado em Braga (2000c).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, mostrou-se o potencial do uso de aplicativos para uso via Internet, capazes de permitir a visualização de situações físicas de interesse e permitir facilmente a discussão de tópicos adicionais. Além de servir como substituto eventual aos gráficos e tabelas disponíveis na literatura, de precisão limitada e reduzida qualidade (resolução) gráfica, o uso destes aplicativos, disponíveis em caráter permanente, permite o acesso contínuo ao material de ensino, colocado à disposição do aluno. Naturalmente, o uso deste material deve ser feito de forma compatível com a didática escolhida, que pretende-se seja centrada na determinação de fomentar a capacidade do aluno de procurar informações e transformá-las em conhecimento. Neste contexto, situações de intensa discussão sobre as informações devem ser incentivadas. O uso da Internet neste sentido é promissor mas há certamente uma série de questões a serem respondidas para que os esforços desenvolvidos para o desenvolvimento de materiais como os relatados aqui sejam de fato motivadores.

Agradecimentos

O autor agradece o suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, FAPERJ, processo E-26-171.314/97, para o desenvolvimento deste projeto. Da mesma forma, ele agradece ao revisor pelas sugestões oferecidas que melhoram a qualidade deste texto.

5. REFERÊNCIAS

- Anais da IV Conferência Internacional sobre Educação em Engenharia, ICEE, Rio de Janeiro, Julho 1998;
- Anais da 5a. Conferência Internacional sobre Educação em Engenharia Intermediada por Computadores, Sofia, Bulgária, Setembro 22-24, 1999;
- Anais de Congressos Brasileiros de Ensino de Engenharia, COBENGE, diversos anos;
- Braga, W., "Curso de Transmissão de Calor baseado na Internet", anais do COBENGE 1998, São Paulo, SP, 1998;
- Braga, W., "Características do Uso da Internet como Suporte a Curso de Engenharia", anais do ENCIT 1999, Águas de Lindóia, SP, 1999;
- Braga, W., "Transmissão de Calor", disponível no endereço <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/tc.htm>, 2000a;
- Braga, W., "Introdução ao Estudo da Transmissão de Calor", publicação do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, 2000b;
- Braga, W., "Um Tutorial para a Primeira Lei da Termodinâmica", aceito para publicação no ENCIT 2000, Outubro, 2000c;

Incropera F.P. e DeWitt, D. P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4a. edição, John Wiley, 1996;

Porter, L.R., "Virtual Classroom - Distance Learning with the Internet", Wiley Computer Publishing, N.Y, 1997;