

UM TUTORIAL PARA A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

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

***Resumo.** Este trabalho apresenta um tutorial para o aprendizado da Primeira Lei da Termodinâmica que trata do Balanço de Energia. Partindo de conceitos simples de Termodinâmica, o tutorial permite a construção crítica do conhecimento sobre Balanço de Energia aplicado a sistemas térmicos, em que a Transmissão de Calor, em suas diferentes formas, se faz presente. Escrito nas linguagens Htm e Java, interativas e de uso via Internet, o tutorial pode ser utilizado por alunos de cursos de graduação em Termodinâmica, Transmissão de Calor e Fenômenos de Transporte, servindo também como teste de conhecimentos para alunos mais avançados. Os exercícios são montados pelos próprios alunos, a partir de situações físicas relativamente gerais. A correção dos mesmos é feita pelo tutorial, que contém, ainda, discussões, comentários pertinentes e análise dos resultados. O tutorial é elaborado de forma a que a estrutura de conhecimentos do aluno possa ser avaliada pelo próprio aluno, através de testes com crescentes níveis de complexidade. O tutorial faz parte do esforço implementado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio no sentido de colaborar para a construção do conhecimento em Ciências Térmicas a partir do próprio aluno.*

Palavras-chave: Ensino de engenharia, Primeira lei da termodinâmica, Tutorial na internet, Ensino à distância.

1. INTRODUÇÃO

O uso da Internet como mecanismo de divulgação de conteúdos teóricos para fins de cursos técnicos tem sido intenso nos últimos anos. Diversos cursos técnicos *online* já estão disponíveis e a tendência é o aumento sistemático da oferta. Um destes cursos é o MEC 1340- Transmissão de Calor, do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio (Braga, 2000a), em uso já há seis semestres.

As principais vantagens na utilização sistemática da Rede como tecnologia de melhoria na qualidade do ensino referem-se i) à permanente disponibilidade aos alunos dos aplicativos para simulações, das planilhas para estudo de casos, das listas de perguntas, etc. e ii) à facilidade de correções nos textos didáticos incluindo eventuais extensões, permitindo-os permanecerem sempre atuais. Do ponto de vista didático, as maiores vantagens dizem respeito i) à possibilidade de formação de grupos para trabalho cooperativo, via rede de computadores,

ii) à grande interatividade possível em razão do número de recursos multimídia já disponíveis e iii) à possibilidade de participação do alunado na construção do seu próprio conhecimento, através de um *forum* permanente de discussão, ainda que intermediado pelo professor.

O presente trabalho visa demonstrar uma vantagem adicional na utilização de páginas web. Mediante a observação de que o Balanço de Energia aplicado às Ciências Térmicas é um dos pontos de constante dificuldade para a maioria dos alunos, desenvolveu-se um aplicativo que permite a realização, pelo próprio aluno, de uma avaliação pessoal, contínua e automática, do seu nível de entendimento sobre o tema, isto é, da sua capacidade de entender e resolver problemas de natureza térmica em níveis crescentes de complexidade. Além disto, mediante uma série de leituras recomendadas ou sugeridas igualmente acessadas pela Internet o aumento do conhecimento teórico, orientado pelo Programa, pode ser trabalhado.

Escrito nas linguagens Htm e Java, os aplicativos constituem as bases fundamentais de um Tutorial, ora em desenvolvimento que permitirá a exploração das diferentes possibilidades de trocas térmicas. O aplicativo, a ser comentado adiante, refere-se aos dois primeiros módulos já em uso no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio e disponível à comunidade acadêmica (Braga, 2000.c). Módulos adicionais já foram pensados e estão em desenvolvimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Entre os conceitos básicos associados à área térmica do curso de Engenharia Mecânica e outros assemelhados, um dos mais importantes diz respeito à Primeira Lei da Termodinâmica ou Equação de Conservação de Energia. Ainda que este conceito seja apresentado no ensino médio e nas disciplinas de nível superior de Física II e de Termodinâmica em níveis crescentes de dificuldade, é nos cursos de Transmissão de Calor e Fenômenos de Transporte que os maiores obstáculos aparecem. Embora existam textos de excelente qualidade apresentando a Primeira Lei (e.g. Van Ness, 1969), fato é que os alunos têm sentido grandes dificuldades em identificar as contribuições dos diferentes modos de troca de calor: condução, radiação e convecção, a não ser quando tais modos são explicitados na formulação dos exercícios. Aparentemente, as dificuldades encontram-se na aplicação dos conceitos teóricos.

As causas destas dificuldades são de diferentes origens e sua discussão não cabe no presente contexto. Entretanto, pode-se mencionar a desvinculação entre os conceitos teóricos anteriormente adquiridos e a realidade vivida pelos estudantes como um fator complicador. Em consequência, os alunos têm dificuldades em visualizar as situações teóricas discutidas em sala de aula. A simulação tem se mostrado um instrumento eficiente quanto a isto mas ela por si só não leva à correta construção do conhecimento. Todavia, se adequadamente integrada a uma prática educacional como, por exemplo, a apresentada por Braga (1999 e 2000.a), a simulação pode fazer parte do processo de aprendizado, tornando-se assim mais eficiente. É esta combinação entre simulação, páginas web e interatividade que se pretende apresentar no presente trabalho.

A experiência indica que o necessário esclarecimento sobre matérias de difícil compreensão pode ser adquirido pelo uso sistemático de listas de exercícios. Contudo, isto tem sido cada vez mais descartado nos cursos de graduação, quer pelo aumento do número de estudantes em sala de aula, quer pela difusão do hábito nocivo de se copiar as listas de exercícios dos colegas. Naturalmente, da parte do docente, o aumento das exigências profissionais com pesquisa, projetos e tarefas administrativas constituem dificuldades adicionais a serem também ressaltadas.

O uso de tutoriais inteligentes parece configurar uma saída para este problema. Construídos de forma modular, com graus crescentes de exigência teórica, os tutoriais têm

sido utilizados há bastante tempo no ensino de engenharia e de outras ciências. O potencial da Internet, bem como de seus numerosos serviços multimídia que tanto têm colaborado para a melhoria na qualidade do ensino, permite o desenvolvimento relativamente fácil de tutoriais que promovem a interação com o material teórico, com os simuladores, mas também com o professor e demais alunos, através de correio eletrônico e/ou listas de discussão. O tutorial apresentado aqui está sendo desenvolvido com fulcro neste espírito de colaboração mútua para a construção orientada do conhecimento a partir da análise de algumas situações térmicas de referência.

3. CONTEXTO PEDAGÓGICO

A proposta pedagógica associada ao presente trabalho é aquela na qual a experiência participativa é fortemente incentivada utilizando a Internet como meio. Em particular, a administração de recursos é feita através do egroups (www.egroups.com). O curso foi estruturado para que a construção do conhecimento seja feita de forma orientada pelo instrutor, pessoalmente nas aulas presenciais mas também pela Internet através da web (Braga, 2000.b), embora conduzida criticamente pelo aluno interessado. Isto é coerente com a proposta apresentada por Souza (1999) que teceu considerações sobre a postura didático-pedagógica do professor de engenharia que fazendo parte do sistema educativo deve propiciar o desenvolvimento de uma consciência a respeito de ciência e tecnologia. Assim, a participação do docente no processo educacional continua sendo a base da estrutura de ensino.

4. OUTROS TUTORIAIS NA INTERNET

O conceito de tutoriais é bastante conhecido e diversos destes programas já estão disponíveis via Internet. Observando os tutoriais mais conhecidos e de interesse para as Ciências Térmicas, verifica-se que eles podem ser classificados como pertencentes a dois tipos, exemplificados abaixo:

- Tutoriais de Condução de Calor, Young (1997);
- Tutorial sobre Ignição Térmica, Wheatley (1997);

O primeiro apresenta informações teóricas bastante resumidas mas contém um simulador interativo para as diferentes situações térmicas em regime permanente (Young, 1977). O segundo possui um nível teórico bastante bom, excelente apresentação gráfica, mas nenhuma interatividade é possível na medida em que o autor optou por apresentar apenas alguns exemplos resolvidos. De interesse para o presente trabalho é o fato de que estes dois tipos de tutoriais não procedem a qualquer tipo de análise dos resultados e nem tampouco fazem referência a eventuais erros cometidos pelos usuários. Assim, ainda que os alunos tenham acesso às equações e às metodologias de cálculo, pouco será o conhecimento efetivamente adquirido já que nenhuma crítica é feita às suas respostas.

5. ESTRUTURA DO TUTORIAL

Conforme já foi comentado, o Tutorial está sendo desenvolvido em forma modular. Os dois módulos já prontos tratam do Balanço de Energia nas seguintes situações:

- em uma placa plana, em regime permanente, em presença de convecção e radiação;
- em cilindros (maciços e longos) e esferas, em regime transiente e permanente;

Nestes dois casos, o tratamento da convecção é feito de forma fechada, através da seleção a ser feita pelo usuário, do coeficiente de troca de calor por convecção. Em desenvolvimento estão os módulos para tratamento específico desta forma de troca de calor, levando em conta a

natureza do fluido, a orientação da superfície de troca (horizontal, vertical ou inclinada), da velocidade do escoamento externo (convecção forçada) ou gravidade (convecção natural). A simulação da troca de calor nestas situações práticas e portanto, passíveis de serem observadas nos laboratórios físicos ou numéricos, permitirá a análise mais completa de inúmeras situações físicas.

A Fig. 1 abaixo mostra o organograma de um módulo típico com referência aos diversos serviços disponíveis. Naturalmente, alguns módulos poderão exigir serviços adicionais ou dispensar vários entre os mostrados.

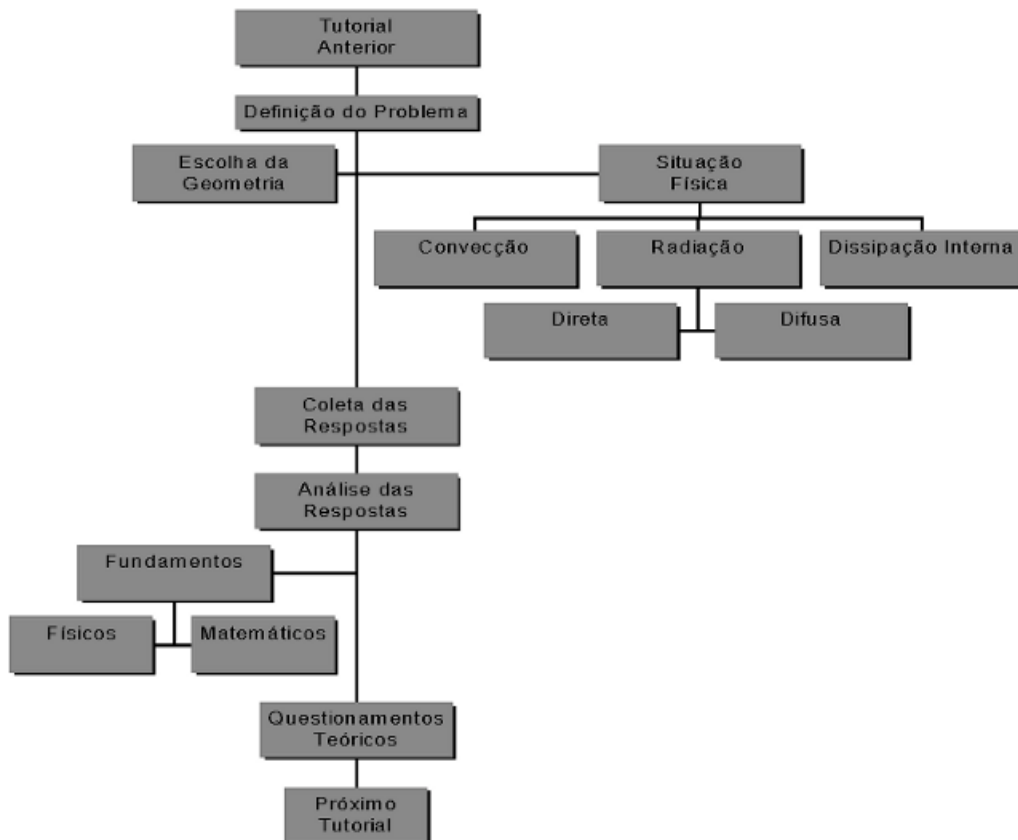


Figura 1 - Organização de um Módulo Típico

A Fig. 2 abaixo ilustra a estrutura de passagem de dados do primeiro módulo.

Primeira Lei: tutorial inicial - Netscape

File Edit View Go Communicator Help

Conceitos necessários para este tutor:

[Aula #1](#) [Aula #2](#) [Aula #3](#)

Como foi visto no curso, a equação de energia é "apenas" uma equação de contabilidade. Vejamos como você se sai "contando". Defina o problema que você pretende estudar e siga as orientações. Lembre-se, neste módulo, a situação é aquela na qual o corpo tem uma única temperatura. **Por que?**

Expressão da Primeira Lei da Termodinâmica:

$$(Taxa\ com\ que\ energia\ entra) + (Taxa\ com\ que\ energia\ é\ gerada) = (Taxa\ com\ que\ energia\ sai) + (Taxa\ com\ que\ energia\ é\ armazenada)$$

Sua tarefa é a de identificar cada um dos termos de energia. Vejamos como você se sai:

Defina seu problema:

Radiação direta incidente: <input type="text" value="2000.0"/> W/m ²	Material: <input type="text" value="aço carbono"/>	Radiação difusa (T _{amb}): <input checked="" type="radio"/> <input type="text" value="300.0"/> K
Ângulo de Incidência: <input type="text" value="0"/>	Emissividade: <input type="text" value="0.2"/>	<input type="radio"/> <input type="text" value="0."/> K
Potência dissipada: <input type="text" value="200"/> W/m ²	Absortividade: <input type="text" value="0.4"/>	T _{mf} : <input type="text" value="25.0"/> C
		h: <input type="text" value="500.0"/> W/m ² K

Applet AppTutor running

Figura 2 - Definição do Problema a ser Resolvido

Nesta figura aparecem no alto a referência aos materiais teóricos associados ao simulador que devem ser lidos a priori. A estrutura não-linear dos hipertextos da Internet permite o acesso direto a qualquer informação a partir de qualquer ponto. A natureza do material coberto nas "Aulas" mencionadas na figura foram descritas em outros trabalhos (e.g. Braga, 1999). O primeiro passo é, então, a definição do problema desejado, tendo a opção de incluir ou não efeitos como radiação difusa, potência dissipada por efeito Joule, etc. Pretende-se, no futuro, acoplar este tutorial a um experimento físico de forma que os alunos possam discutir modelos e comparar resultados teóricos com experimentais. Deve ser mencionado que, propositalmente, o aluno é instado a fornecer dados que não são necessários para a solução do problema sendo proposto. No caso em questão, não há necessidade de se conhecer a natureza do material, uma vez que só há interação térmica da placa através de uma das suas faces (as outras são mantidas isoladas, por hipótese). Ao término do estudo, o aluno é convidado a responder a algumas perguntas e entre elas, pergunta-se a razão da independência do material na resposta.

Uma vez que o problema desejado tenha sido definido, o aplicativo solicita que o usuário forneça as respostas para uma série de questões associadas ao Balanço de Energia, como mostrado na Fig. 3. Naturalmente, algumas destas questões são redundantes de forma a confrontar o conhecimento sendo transferido sob a forma de respostas numéricas. Por exemplo: é importante saber se o aluno domina a Lei de Resfriamento de Newton mas também é importante saber se o valor numérico de uma determinada temperatura é razoável

termodinamicamente falando. A qualquer instante, o usuário poderá verificar seus dados.

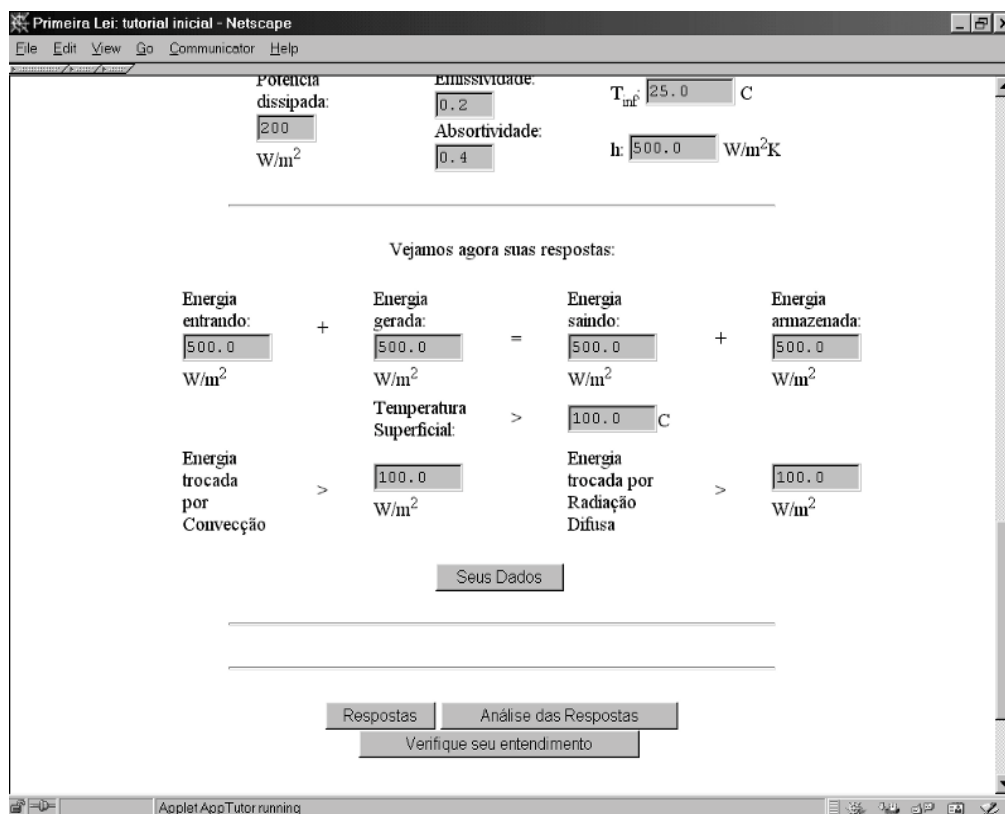


Figura 3 – Estrutura das Respostas que devem ser fornecidas ao Programa

A correção das respostas é obtida clicando-se um botão, como mostrado na Fig. 4 a seguir. Observe que o programa lista as respostas corretas para o problema proposto, as respostas do usuário, dá uma nota e emite um comentário breve sobre o resultado do exame. Inúmeros itens são considerados, tais como: valores numéricos obtidos para cada um dos termos do Balanço de Energia, sinais destes termos e suas interpretações, considerações sobre o Balanço de Energia, valores para temperaturas superficiais, etc. Dependendo da aproximação da resposta fornecida pelo usuário com o resultado exato da simulação, uma nota é atribuída. A soma destas notas é interpretada para a escolha do comentário a ser fornecido.

O estudo prossegue no instante que o usuário solicita uma análise dos seus resultados, clicando o botão adequado. Um tipo de análise possível é mostrado na Fig. 5 adiante. A experiência pessoal do instrutor do curso é novamente útil na seleção do nível de severidade de cada erro e do conseqüente comentário a ser feito. Uma vez que o usuário tenha conseguido completar de forma correta o teste, ele pode tentar responder a questões de carácter complementar ao aplicativo, comentadas anteriormente, como as mostradas na Fig. 6, e eventualmente discutí-las com seus colegas pela Internet. Gráficos da simulação feita podem ser obtidos para a complementação do estudo, como o mostrado na Fig. 7.

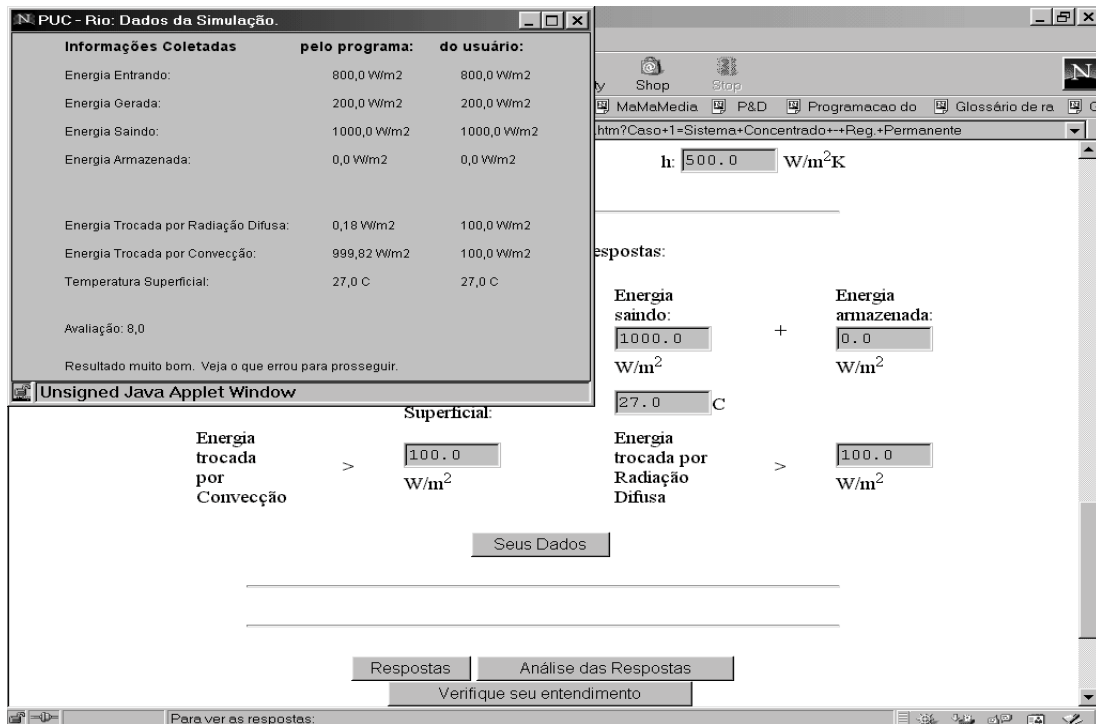


Figura 4 – Listagem das Respostas do Programa e as do Usuário

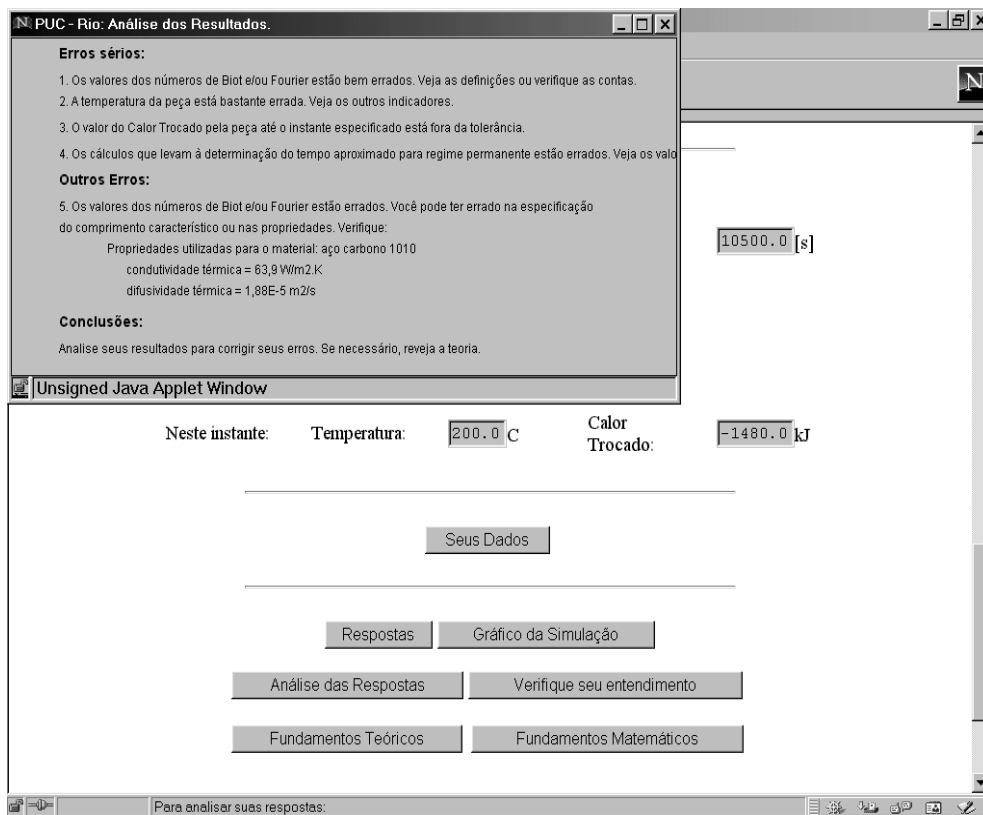


Figura 5 – Análise das Respostas

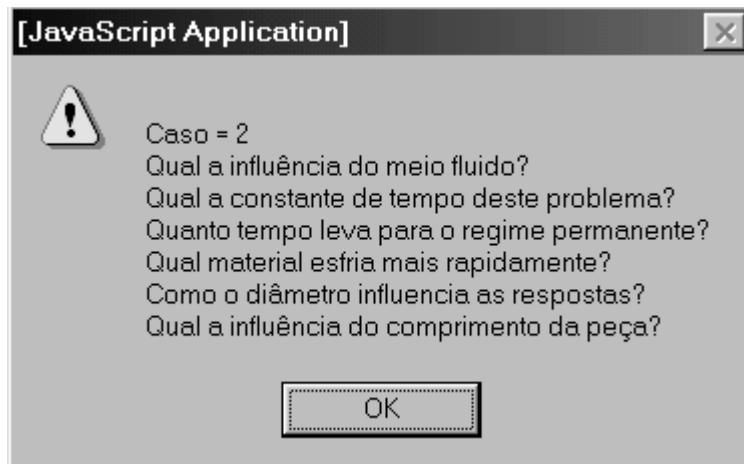


Figura 6 - Perguntas Complementares

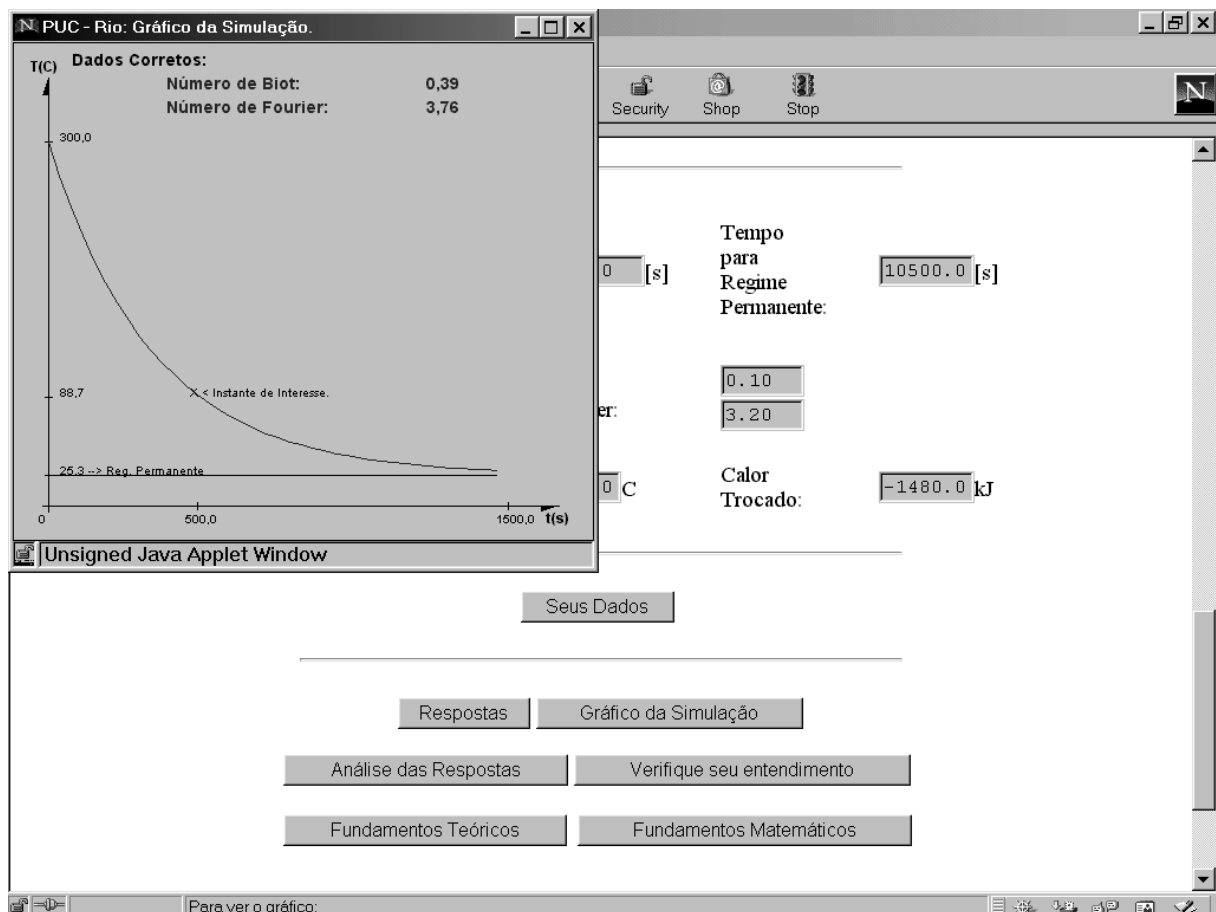


Figura 7 - Gráfico do Regime Transiente

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta a estrutura básica de um Tutorial para a discussão interativa da Primeira Lei da Termodinâmica, abrangendo regime transiente e permanente, para placas planas e cilindros longos. A estrutura montada interage com outros textos igualmente disponíveis na Internet de forma a permitir uma construção orientada do conhecimento sobre sistemas térmicos. Novos módulos em desenvolvimento irão considerar mais explicitamente a convecção térmica, de forma a levar em conta fatores como orientação das superfícies, natureza dos fluidos e velocidade das correntes externas de fluido. A utilização do Tutorial é feita de forma simples, através da Internet, e está integrada ao material já desenvolvido de apoio ao aprendizado de Ciências Térmicas do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

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 deixa registrado seu agradecimento às sugestões oferecidas pelos revisores.

REFERÊNCIAS

- Braga, W., 1999, Uma proposta para um curso de transmissão de calor via internet, anais do COBEM '99, Águas de Lindóia, SP.
- Braga W., 2000.a, Curso de Transmissão de Calor, disponível no endereço <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/tc.htm> ou em texto impresso com o autor.
- Braga W., 2000.b, A mixed environment for effective heat transfer learning, a ser apresentado na seção "Heat Transfer Education" do 2000 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE), novembro 2000, Orlando, Florida.
- Braga W., 2000.c, Tutorial sobre a Primeira Lei da Termodinâmica, disponível no endereço <http://venus.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/tutor/tutor.htm>.
- Souza, J.G., 1999, Considerações sobre a formação didático-pedagógica do professor de engenharia, Revista de Ensino de Engenharia, volume 18, número 1, dezembro, páginas 13 a 17.
- Van Ness, H.C., 1969, Understanding Thermodynamics, Dover Publications, New York.
- Young, R.J., 1997, Fundamentals of Heat Transfer, Class Project, Universidade Purdue, West Lafayette, Indiana, Estados Unidos, disponível no endereço web <http://gunsmoke.ecn.purdue.edu/CE597N/1997F/students/regan.j.young.1/project/>.
- Wheatley, M., Thermal Ignition Tutorial, preparado para o curso de "Combustão e Explosão" da Universidade de Leeds, Londres, Inglaterra, disponível no endereço <http://leeds.ac.uk/fuel/tutorial/frames.htm>.

A Tutorial for the First Law of Thermodynamics

Washington Braga - wbraga@mec.puc-rio.br

Mechanical Engineering Department - Catholic University of Rio de Janeiro

Abstract. *This paper presents a tutorial intended to be used on the Internet that discusses the First Law of Thermodynamics dealing with energy balances. Using simple Thermodynamics principles to begin with, the tutorial intends to help students built their knowledge on energy balances applied to thermal sciences, in situations in which Heat Transmission is important. Written both htm and Java languages, which are interactive languages used on the Internet, the tutorial can be used by mechanical engineering undergraduated students taking courses such as Thermodynamics, Heat Transfer and Transport Phenomena as well as by more advanced students planning to challenge their level of expertise on the subjects, preparing themselves for final examinations. The exercises are set by the students, using relatively general physical situations. The corrections of such exercises are done within the tutorial, validating the answers and offering general advise or comments when necessary. The tutorial is prepared in order that the student may evaluate his/her own knowledge along several tests. Preparation of such tutorial is part of the efforts conducted at the Mechanical Engineering Department of Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro to help students built their own knowledge on Thermal Sciences.*

Key Words: Engineering education, First law of thermodynamics, Tutorial on the internet, distance learning.