



## AMBIENTE COMPUTACIONAL INTERATIVO PARA ENSINO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

**Arlindo de Almeida Rocha** – arsumalu@vm.uff.br

**Bruno Ferraz da Silva** – tanheuser@hotmail.com

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Fluminense.

Rua Passo da Pátria no. 156 – São Domingos – Niterói – RJ. CEP: 24.210-240.

**Resumo:** *Este trabalho é parte de um projeto educacional que visa dinamizar o ensino da disciplina Transferência de Calor, do curso de Engenharia Química da Universidade Federal Fluminense. A transferência de calor por convecção caracteriza-se pela troca de calor em sistemas fluidos. Grande parte do aprendizado de transferência de calor por convecção se concentra em um estudo de procedimentos pelos quais o valor do coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser determinado. Na maioria dos casos esses procedimentos são longos e tediosos e em algumas situações requerem técnicas numéricas de resolução (em geral, surgem procedimentos iterativos que requerem repetidas consultas a tabelas de dados de grandezas físicas), tornando os problemas cansativos. Com o intuito de acompanhar o aprendizado em sala de aula e tornar mais amigável o estudo da convecção, vem sendo desenvolvido um trabalho de concepção, organização e sumarização de conceitos e procedimentos em um ambiente computacional integrado usando o software Maple. O aluno tem contato com a teoria da convecção e as aplicações em um único ambiente, podendo inclusive, formular e resolver ali mesmo uma série de problemas bem como consultar uma série de problemas resolvidos. Cabe ressaltar que não se trata de um ambiente onde o aluno “entra com dados” e “obtem respostas prontas”. Nesse ambiente o aluno faz parte da resolução, participando de cada etapa do problema. Esperamos que a introdução do uso desse ambiente interativo na forma de um livro digital “inteligente” proporcione um melhor aproveitamento dos alunos da disciplina, capacitando-os a interpretar os fenômenos de transferência de calor de forma mais completa e abrangente.*

**Palavras chaves:** *convecção, transferência de calor, ambiente interativo.*



## 1. INTRODUÇÃO

Abordaremos nesse artigo o estudo de transferência de calor por convecção. De acordo com a natureza do escoamento do fluido a convecção pode ser classificada em convecção forçada (quando o escoamento do fluido é causado por meios externos, tais como um ventilador ou uma bomba) ou convecção livre ou natural (o escoamento do fluido é induzido por forças de empuxo, originadas a partir de diferenças de densidades causadas por variações de temperatura no fluido).

Grande parte do estudo de transferência de calor por convecção se reduz a um estudo de procedimentos pelos quais o valor de  $h$  (coeficiente de transferência de calor por convecção) pode ser determinado. Na maioria dos casos esses procedimentos são longos e em alguns casos requerem técnicas numéricas de resolução (em geral, procedimentos iterativos que requerem repetidas consultas a tabelas de dados de grandezas físicas), tornando os problemas cansativos.

Em alguns casos as soluções obtidas são de difícil visualização, o que resulta em desestímulo por parte dos alunos, uma vez que eles não conseguem interpretar os resultados fisicamente.

Com o intuito de dar início ao projeto de acompanhar e estimular o aprendizado em sala de aula foi escolhida a convecção livre. Para tanto foi desenvolvida uma aplicação interativa em ambiente interativo algébrico-numérico, utilizando o software MAPLE.

O uso das ferramentas gráficas disponíveis no software aumenta consideravelmente o entendimento físico através da visualização dos resultados e das equações que descrevem o problema. É também possível avaliar graficamente o efeito da variação de determinados parâmetros do problema (propriedades físicas, condições iniciais, entre outras) no resultado final. A utilização destas ferramentas leva indubitavelmente a um maior entendimento do mecanismo envolvido no processo em questão, sem que o aluno tome seu tempo com exaustivas manipulações algébricas e numéricas. O aluno tem contato com a teoria da convecção e as aplicações em um único ambiente, podendo inclusive, formular e resolver ali mesmo uma série de problemas. Cabe ressaltar que não se trata de um ambiente onde o aluno entra com dados e obtém respostas prontas. Nesse ambiente o aluno faz parte da resolução, participando de cada etapa do problema.

Neste trabalho serão apresentados exemplos de aplicações desta ferramenta para diferentes problemas de convecção livre. A utilização do software e do ambiente acima citado, como descrito neste trabalho, está sendo implementado experimentalmente na disciplina de Fenômenos de Transporte II, do Departamento de Engenharia Química da UFF.

## 2. O SOFTWARE MAPLE

O software **MAPLE** consiste em um sistema de computação algébrica (às vezes chamada de manipulação algébrica ou computação simbólica), que pode ser definida (Gonnet e Grunz) como a computação com variáveis e constantes de acordo com as regras da álgebra, análise e outros ramos da matemática. O software realiza manipulação de expressões que envolvem símbolos, variáveis e operações formais.

O MAPLE permite resolver problemas levando a soluções analíticas e exatas, em diversas áreas da matemática, destacando-se o cálculo diferencial e integral, os sistemas de equações algébricas, as equações diferenciais e os sistemas de equações diferenciais, a álgebra linear, entre outras. Além de trabalhar com operações algébricas, o MAPLE possui ferramentas gráficas para a visualização de resultados, podendo elaborar gráficos em 2 ou 3 dimensões e gráficos animados.



Adicionalmente, possui diversos algoritmos numéricos para a resolução de equações algébricas ou diferenciais (e também sistemas destas) onde não é possível obter uma solução analítica. O MAPLE contém diversos pacotes de comandos voltados para aplicações específicas, tais como transformadas integrais, estatística, entre outras. Possui uma linguagem de programação própria que permite utilizar os diversos comandos do software na elaboração de novos comandos, pacotes e procedimentos.

Finalmente, destaca-se que este software permite criar documentos de texto, dos mais simples aos mais sofisticados, contendo os cálculos desenvolvidos (e eventualmente gráficos) utilizando para isto diversos recursos de edição de texto. Devido a sua grande potencialidade, o MAPLE pode ser utilizado em diversas ciências, como matemática, física, química, estatística, finanças, e em especial, na engenharia. Neste trabalho, a atenção será focada na utilização do MAPLE para a resolução de problemas de transferência de calor, mais especificamente de Convecção Livre, sendo usado para facilitar a resolução das equações, interpolações estatísticas de propriedades físicas e criação de gráficos de forma a evitar a perda de tempo com manipulações algébricas. O software possui recursos para construção e edição de textos, similares aos editores de textos encontrados no mercado com a vantagem de possibilitar a construção de textos que possuam objetos “ativos”, ou seja, equações, gráficos e operadores matemáticos que podem ser usados na resolução dos problemas.

### **3. O AMBIENTE CONVECÇÃO LIVRE**

A ambiente CONVECÇÃO LIVRE é uma aplicação desenvolvida no software Maple que tem por objetivo facilitar, motivar e otimizar o aprendizado da transferência de calor por convecção livre. Trata-se de um hipertexto ativo consistindo em um ambiente onde o aluno pode deparar-se desde os conceitos mais simples de convecção até as aplicações.

A estrutura de edição de texto do software permite uma estrutura de indentação onde o aluno pode mover-se diretamente para as aplicações, se assim desejar. No ambiente existem vários hyperlinks para arquivos tutoriais que mostram, por exemplo, como determinada ferramenta matemática foi desenvolvida, permitindo ao aluno usa-la em outras situações.

A abordagem utilizada inclui a discussão e a obtenção de soluções analíticas existentes, por exemplo, para a placa vertical plana em regime laminar, obtidas pela resolução das equações parciais oriundas do balanço de energia, por transformação de similaridade. O ambiente possui um grande número de correlações empíricas para o cálculo do coeficiente  $h$  de transferência de calor, envolvendo as geometrias e situações mais diversas que tem aplicação em engenharia como, por exemplo: análise dos efeitos de turbulência, convecção livre laminar em uma placa vertical, convecção livre laminar e turbulenta em placas horizontais e inclinadas, convecção livre laminar e turbulenta em um Cilindro longo, convecção livre laminar e turbulenta em esferas, convecção livre laminar em canais formados por placas paralelas, convecção livre laminar em cavidades, convecção livre laminar e turbulenta em cilindros concêntricos e esferas concêntricas.

A “Figura 1”, apresentada a seguir, mostra a estrutura do ambiente CONVECÇÃO LIVRE. Nela pode-se observar que cada tópico corresponde a um hipertexto ativo. Os símbolos “+”, são títulos que se abrem expandindo o hipertexto respectivo. Dentro de cada título estão presentes os principais tópicos a respeito dos temas, incluindo a teoria, as respectivas aplicações, problemas resolvidos e propostos e tutoriais que permitem ao aluno compreender melhor as ferramentas matemáticas utilizadas.

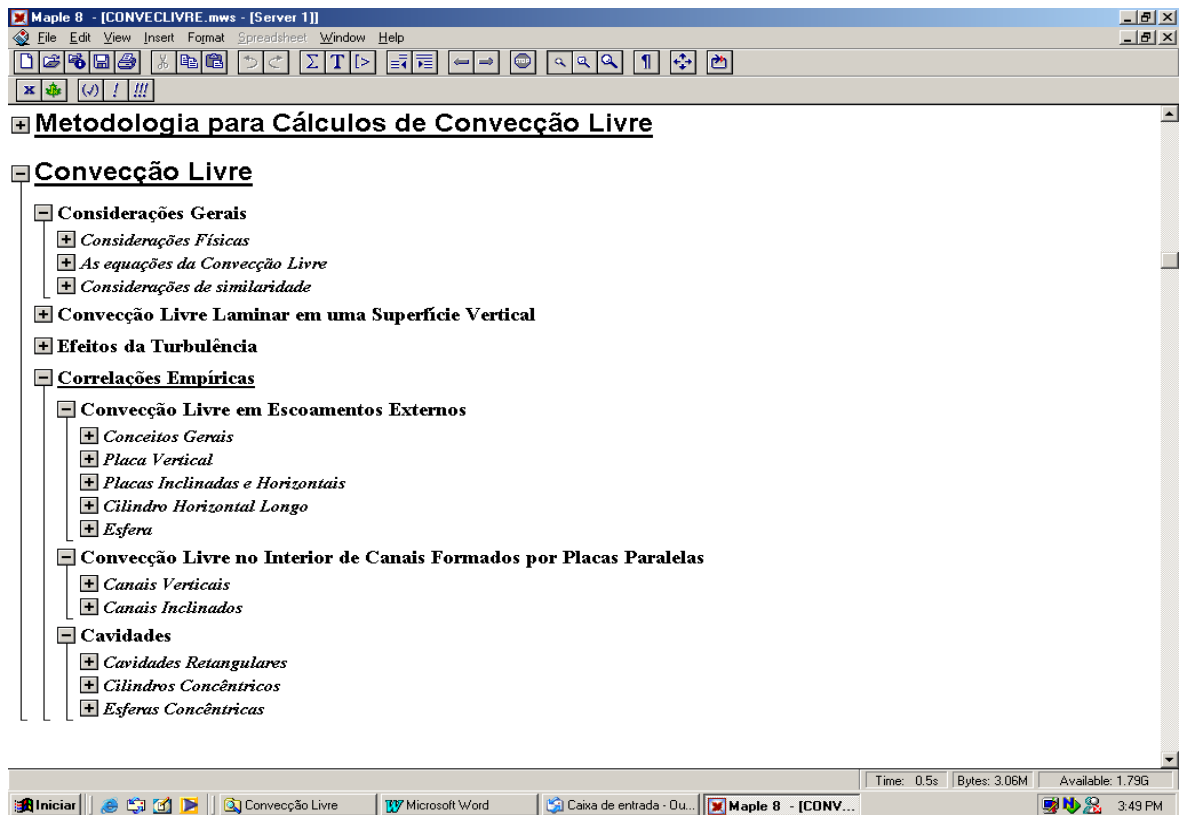


Figura 1 – Aspecto do ambiente convecção livre

Na "Figura 2" apresentamos, como ilustração, a correlação de Churchill e Chu utilizada no exemplo discutido a seguir:

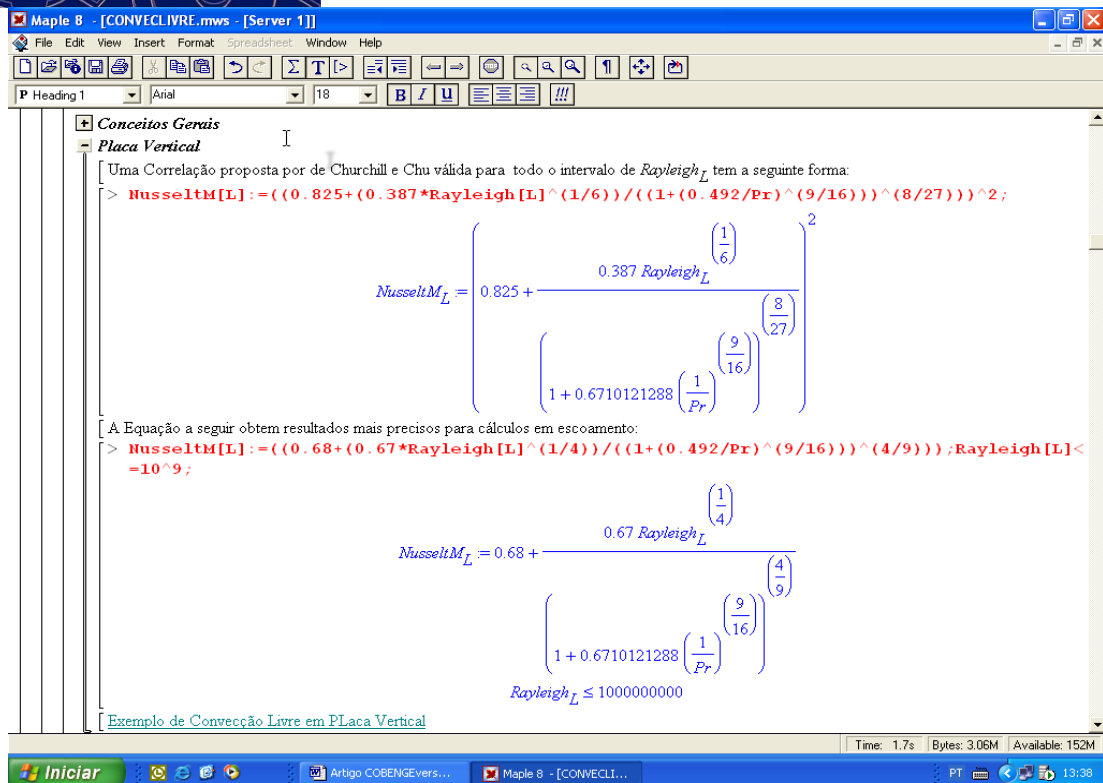


Figura 2 – Exemplo de correlação presente no ambiente CONVECÇÃO LIVRE

Apresentaremos a seguir um exemplo de aplicação do MAPLE na resolução de problemas que envolvem a convecção livre.

### 3.1 Exemplo de convecção livre em placa vertical:

Na “Figura 3” apresentamos o layout utilizado na apresentação do enunciado e uma esquematização que ilustra fisicamente o problema que será analisado: No presente exemplo, o objetivo é calcular a taxa de transferência de calor trocada por convecção livre em uma placa vertical. Para tanto necessitamos então determinar o coeficiente de filme,  $h$ , através de uma correlação apropriada. Utilizamos a correlação de Churchill e Chu. O aluno pode consultar o banco de dados de **correlação empíricas** no próprio texto de **CONVECÇÃO LIVRE**, podendo utilizar outras correlações, comparando os resultados.

Maple 8 - [Exemplo Convecção Livre em Placa Vertical.mws - [Server 1]]

File Edit View Insert Format Spreadsheet Window Help

P Normal Times New Roman 12 B I U

**Exemplo para a Convecção Livre em Placa Vertical**

Um anteparo de vidro, usado em frente a uma lareira para reduzir o arraste do ar ambiente através da chaminé, possui uma altura de 0,71m e uma largura de 1,02m e atinge uma temperatura de 232°C. Se a temperatura da sala é de 23°C, estime a taxa de transferência de calor por convecção do anteparo para a sala.

**Solução:**

Dados: Tela de vidro localizada na entrada de uma lareira.

```
> restart;
```

```
> T[oo] := (23+273.15) : T[sup] := (232+273.15) : L := 0.71 : g := 9.8 : A[sup] := 1.02*0.71;
```

Achar: Transferência de calor por convecção entre a tela e o ar da sala.

**Esquema:**

**Considerações:**

1. Tela a uma temperatura uniforme  $T_{sup}$ .
2. Ar na sala quiescente.

**Propriedades:**

Time: 1.7s Bytes: 3.06M Available: 131M

Iniciar Artigo COBENGEvers... Maple 8 - [Exemplo C... PT 13:41

Figura 3 - Exemplo de convecção livre em placa vertical

Em seguida destacamos no problema o que desejamos calcular e quais propriedades são necessárias na resolução. Nesse ponto o aluno se depara com a necessidade de retirar os dados de propriedades físicas de alguma tabela. Para facilitar a utilização desses dados apresentamos uma série de polinômios que interpolam os dados fornecidos pelo livro texto para algumas substâncias. O aluno pode consultar um *hyperlink* no próprio texto do ambiente onde encontrará a metodologia de ajuste estatístico usada para interpolar os dados, podendo utilizá-la para a resolução de outros problemas no futuro, sendo que ele mesmo poderá interpolar dados para outras substâncias.

Na “Figura 4” apresentamos a correlação usada no exemplo.

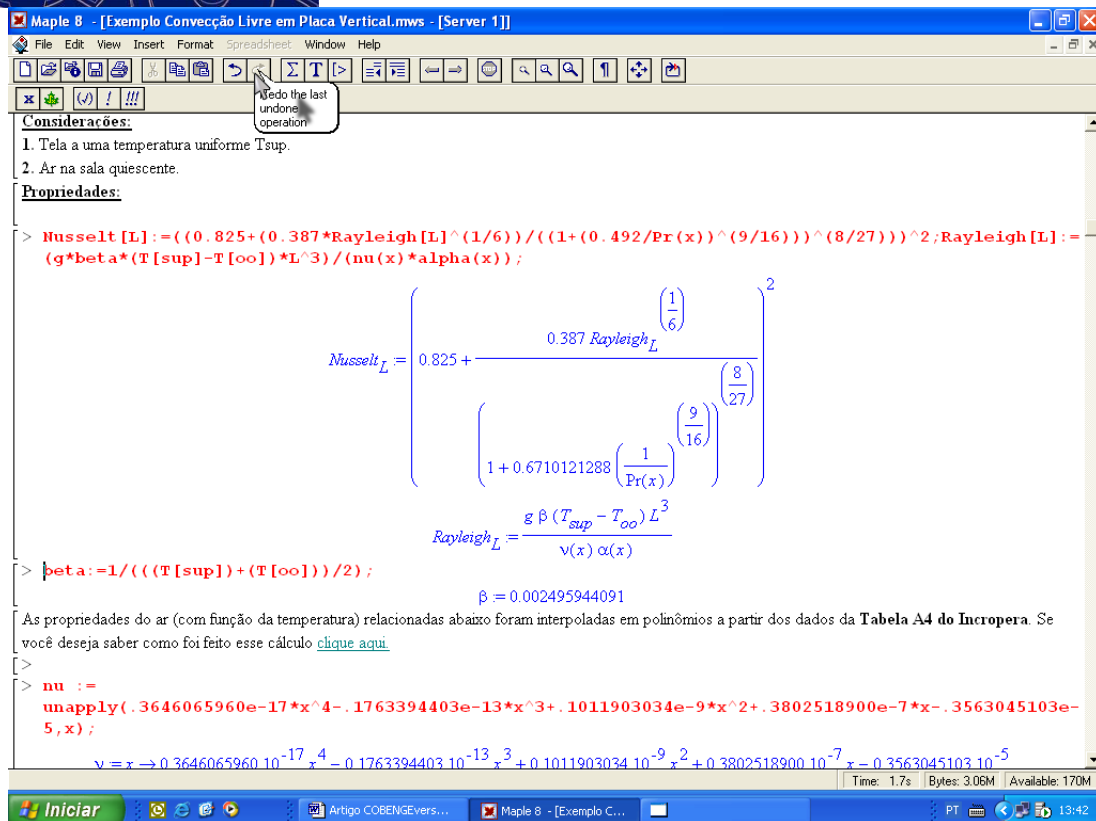


Figura 4 – Correlação aplicada no exemplo

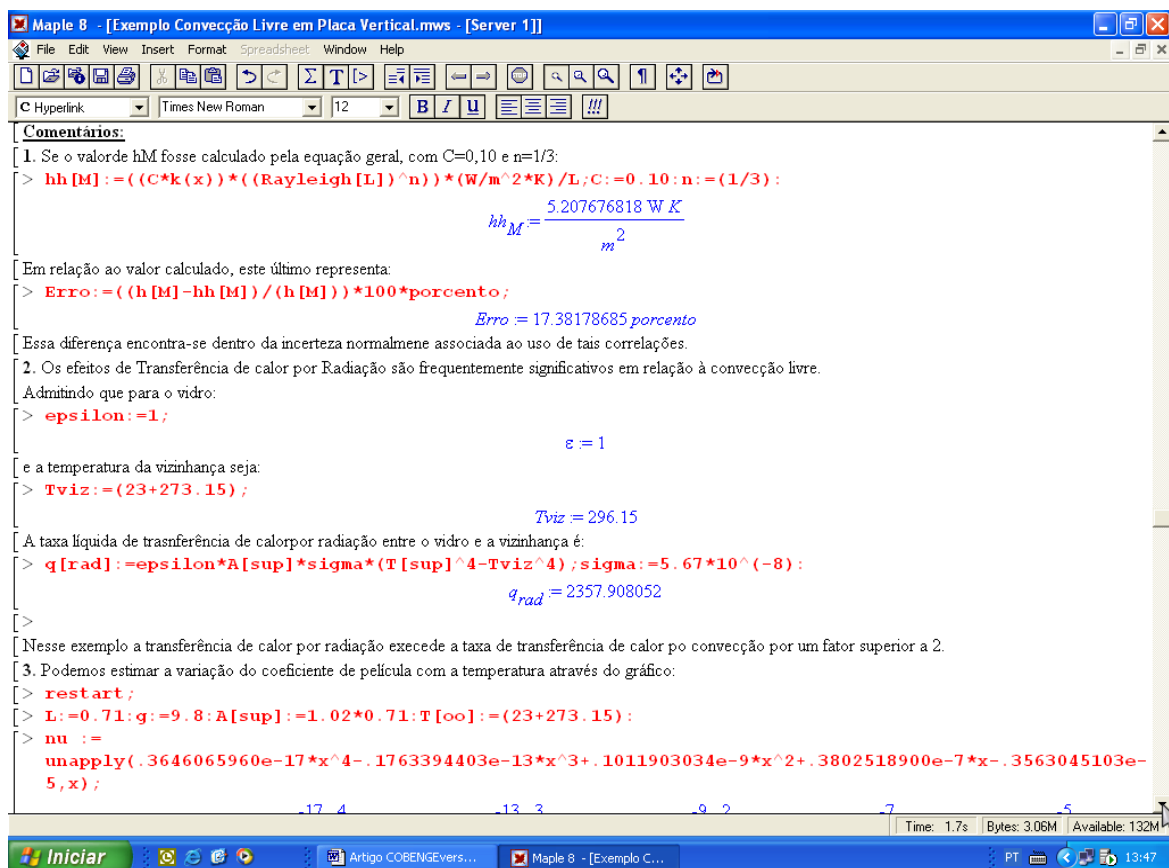




Figura 5 – Comentários do exemplo de convecção livre em placa vertical

Na “Figura 5” são apresentados comentários que complementam a fixação dos conceitos.

Na “Figura 6” é apresentado um gráfico que permite ao aluno verificar com se comporta, por exemplo, o coeficiente de película  $h$  (ordenada do gráfico, em  $W/m^2K$ ) quando aumenta-se a temperatura da superfície  $T_{SUP}$  (abscissa do gráfico, em  $K$ ):

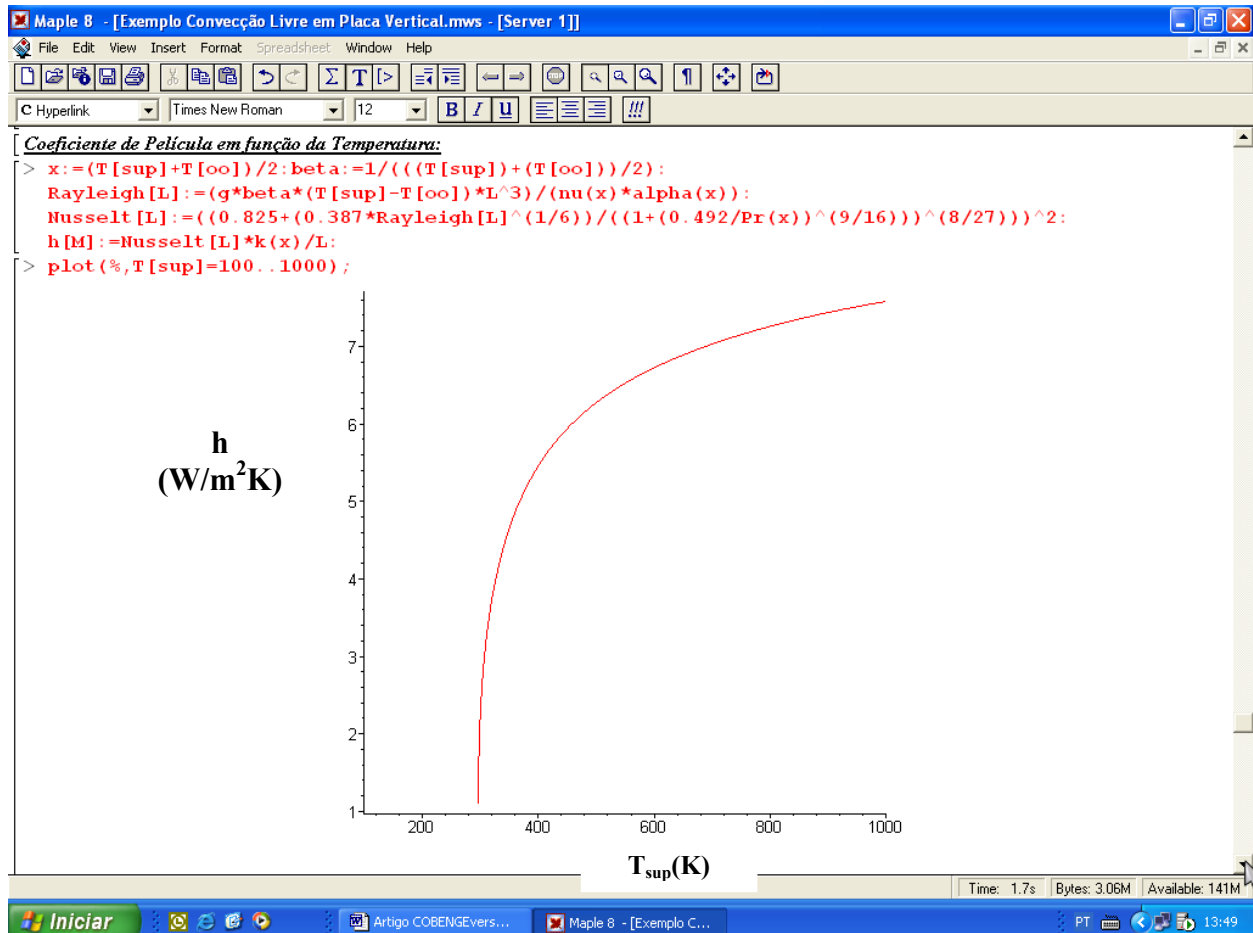


Figura 6 – Variação do coeficiente de película  $h$  (ordenada do gráfico, em  $W/m^2K$ ) em função da temperatura da superfície  $T_{SUP}$  (abscissa do gráfico, em  $K$ ):

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou exemplos de uso do software de computação simbólica MAPLE para a resolução de problemas envolvendo de Transferência de Calor por Convecção, em especial de Convecção Livre. A resolução matemática das equações e obtenção de propriedades físicas é, em geral, uma tarefa cansativa e tediosa e não fornece ao aluno um entendimento claro do mecanismo envolvido no problema em estudo. Através da metodologia didática proposta, esta resolução é feita de maneira relativamente simples e interativa através do uso do software. Foi investigada situação típicas de Convecção Livre em uma Placa Plana Vertical. Como consequência, o aprendizado é fortemente favorecido uma vez que os alunos são capazes, através da visualização dos resultados, de compreender com facilidade o mecanismo envolvido no processo. Vale lembrar que esta metodologia foi aplicada, até a





presente data, apenas experimentalmente e que resultados mais detalhados desta aplicação serão objeto de trabalhos futuros. Os objetivos a médio e a longo prazo são incluir a convecção forçada de escoamentos interiores e exteriores, convecção com mudança de fase. Objetiva-se ainda integrar todos os conteúdos com outros trabalhos realizados na disciplina, como condução transiente, cálculos de aletas e radiação.

## 5. REFERÊNCIAS

Waterloo Maple Inc., <http://www.maplesoft.com/>.

Gonnet, Grunz , "Algebraic Manipulation Systems", *Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, 3 rd Ed., Van Nostrand Reinhold, 1991.

André R. Muniz , Lígia D. F. Marczak ,**Uso do software Maple no ensino de Transferência de Calor, artigo apresentado no COBENGE 2001**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química

F. P. Incropera e D. P. De Witt, **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa**, LTC: 1996, p.494.

ABEL, M. L.; *et al.* **MAPLE V by Example** New York: Academic Press, 1999

BIRD, R. B.; *et al.* **Transport Phenomena** New York: John Wiley & Sons, 1960

BOAS, L. M. **Mathematical Methods in the Physical Sciences** New York: John Wiley & Sons, 1983

GEBHART, B. **Heat Conduction and Mass Diffusion** Singapore, McGraw-Hill, 1993

HECK, A. **Introduction to Maple** New York: Springer-Verlag, 1993

## COMPUTATIONAL INTERACTIVE AMBIENT FOR TEACHING HEAT TRANSFER

***Abstract:** This work is related to an educational project that seeks to improve the teaching of heat transfer in the Department of Chemical Engineering at the Fluminense Federal University. The heat transfer by convection is characterized by transfer of heat in flowing systems. Great part of the learning efforts in heat transfer by convection concentrates on the study of procedures for which the value of the heat transfer coefficient by convection can be determined. In most cases these procedures are very long and tedious and, in some situations, they require numeric techniques in the form of iterative procedures that require repeated and lengthy consultations to tables of data on thermophysical properties of the fluids. To improve the learning of the students and to make friendlier the study of convection, a computer software was developed to help in the conception work, organization of information, correlations and data related to the concepts and procedures for study of convection. The computer software is based in an integrated and interactive ambient using*



*the software Maple and enables the student to have contact with the theory of convection and the applications in an integrated computational ambient. The software allows the students to formulate and solve a series of problems as well as to consult a series of solved problems. It should be pointed out that it is not an ambient where the student “enters with data” and gets “ready answers”. The student is part of the formulation and of the solution, participating in each stage of the formulation and solution of the problem. It is expected that the introduction and use of that interactive atmosphere in the form of an “intelligent” digital book provides a better use of the concepts of heat transfer, preparing them to interpret and analyze heat transfer in a more complete and easy way.*

**Key – words:** *convection, heat transfer, interactive ambient, maple.*