

Tutorial para o uso do aplicativo TransCal 1.1

1 Teoria do aplicativo TransCal 1.1

O aplicativo TransCal é um software com fins educacionais, especialmente projetado para ser um instrumento auxiliar no ensino de disciplinas relacionadas com transferência de calor e mecânica dos fluidos.

É disponibilizado em Português e Inglês sob os nomes TransCal e HeatTransfer, respectivamente. Desenvolvido em linguagem de programação C++, o aplicativo permite resolver problemas de condução de calor em malhas bidimensionais em coordenadas generalizadas, pelo método dos volumes finitos.

Foi desenvolvido entre os anos 1996 e 1998 e pode ser baixado da internet pelo site: <http://www.sinmec.ufsc.br/site/software.php?id=2>. Em 1998, o TransCal versão 1.1 obteve junto ao MEC o prêmio de melhor software do ano no Concurso Nacional de Software.

O aplicativo foi desenvolvido aplicando o método de volumes finitos para a discretização da equação de condução de calor bidimensional, disponível no Cap. 5 da apostila da disciplina TM257. É aplicável tanto a problemas em regime permanente quanto em regime transiente, com ou sem geração de energia. Os domínios de solução em que os problemas são definidos podem ter uma geometria arbitrária

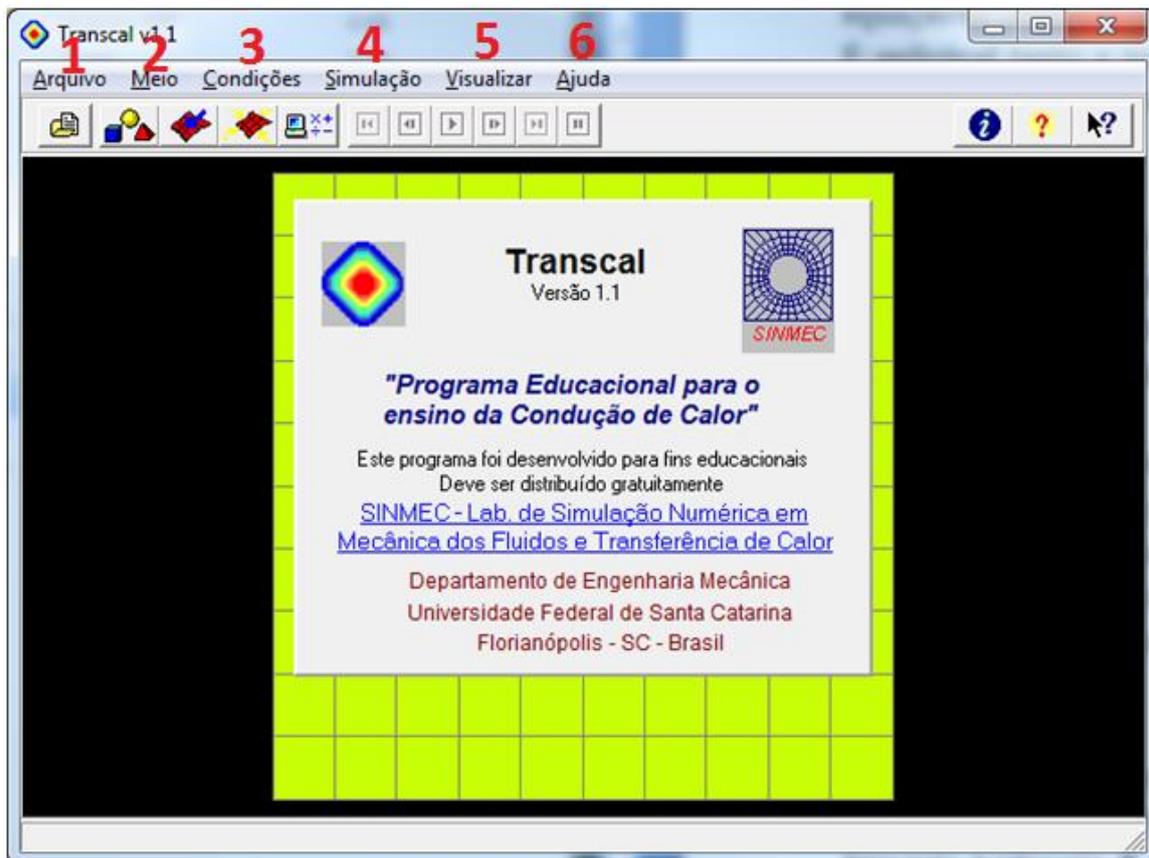
O software pode ser utilizado também em disciplinas relacionadas com métodos numéricos, pois disponibiliza a escolha e configuração de diferentes parâmetros numéricos para a solução dos problemas. Desta forma, torna-se uma ferramenta completa e integrada de aprendizado na área de simulação numérica em transferência de calor.

O TransCal possui uma interface amigável e intuitiva, compatível com o sistema operacional Windows. A interface gráfica permite a entrada de dados para definir o problema a ser resolvido e também possui ferramentas de visualização dos resultados. Após ter sido resolvido um problema, o aluno pode alterar facilmente alguns dados de entrada e visualizar imediatamente o efeito dessa variação nos resultados obtidos, facilitando-se dessa forma o entendimento dos processos físicos envolvidos.

A equipe que realizou o desenvolvimento do software foram: Prof. Clovis R. Maliska, Axel Dihlmann, Rodrigo Becke Cabral, Marcus Vinícius F. dos Reis, Clovis R. Maliska Jr., Vinicius Strugata Ambrosio.

2 Janela principal do aplicativo

Está apresentado na Fig. 1 a janela inicial do aplicativo com os devidos créditos aos autores e a numeração das abas que serão analisadas a seguir.



1 Janela principal do aplicativo com os créditos iniciais

Na aba **número 1, Arquivo**, é possível abrir uma geometria de domínio ou sair do aplicativo.

Na aba **número 2, Meio**, é possível modificar a geometria e discretização do domínio e suas propriedades físicas.

Na aba **número 3, Condições**, é possível alterar as condições de contorno e o chute inicial para dar início ao processo iterativo.

Na aba **número 4, Simulação**, é possível dar início a simulação, modificar parâmetros temporais e do solver, analisar os resultados, modificar tempos para a animação da evolução temporal da simulação e finalmente realizar a animação temporal.

Na aba **número 5, Visualizar**, é possível visualizar Fronteiras, Meio, distribuição da Temperatura e Isotermas, como vetores de fluxo de calor e gráficos dinâmicos.

Na aba **número 6, Ajuda**, seria possível obter a ajuda do código, no entanto por algum motivo na versão disponível não funcionou este recurso.

2 Aba Arquivo

Nesta aba, na opção “Abrir geometria...” há a possibilidade de abertura de uma geometria externa genérica. Junto com o próprio aplicativo há as seguintes geometrias que já foram implementadas: ‘aladim.sdf’, ‘circ.sdf’, ‘circle.sdf’, ‘ferrari.sdf’, ‘geometry.sdf’, ‘malha.sdf’, ‘pet.sdf’, ‘rod.sdf’, ‘tubo.sdf’, ‘válvula.sdf’.

Estas geometrias serão mostradas nas figuras abaixo, respectivamente:

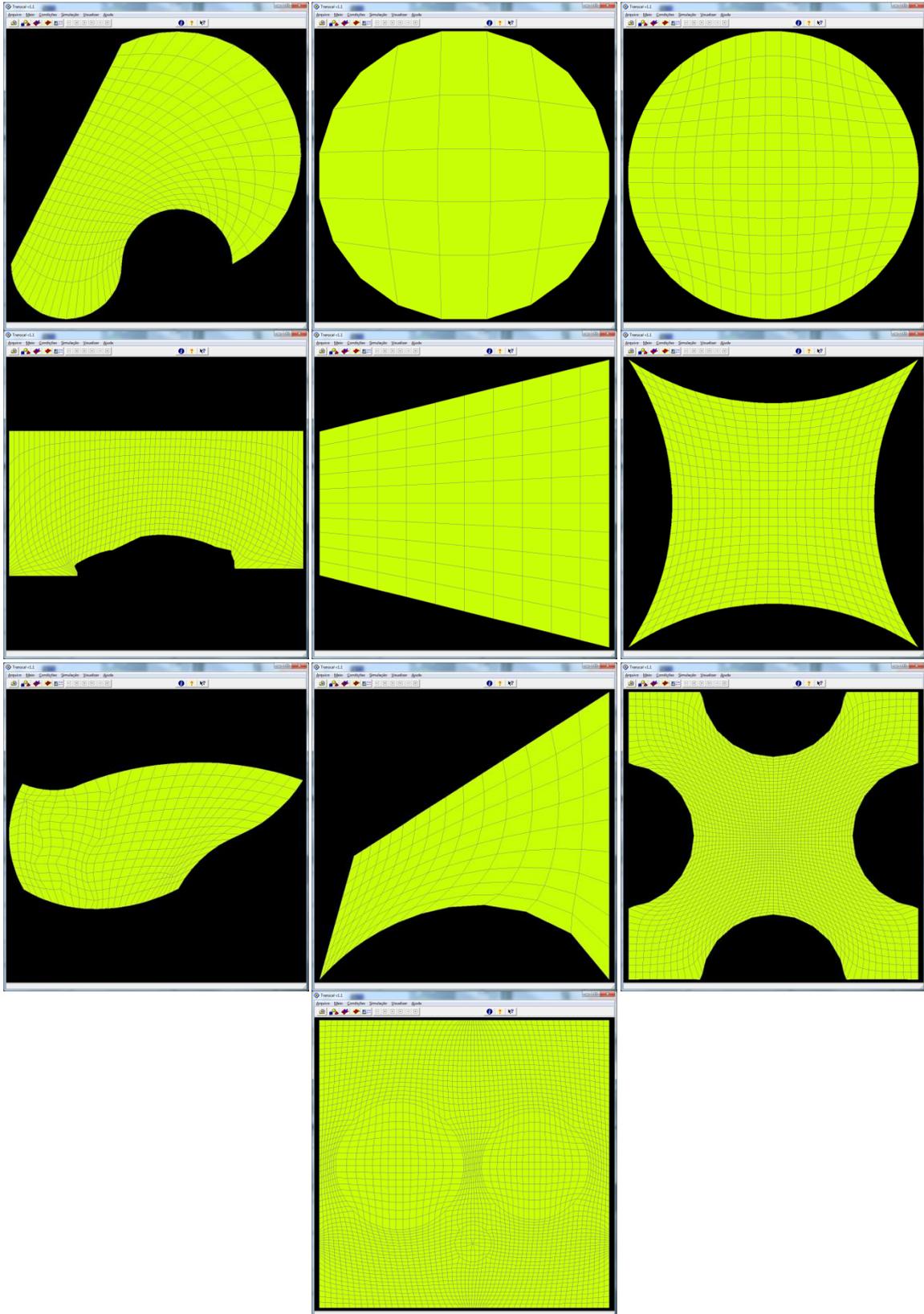


Figura 2 Geometrias programadas que vem com o código Transcal 1.1

2 Aba Meio

Nesta aba há duas opções: “Geometria...” e “Properties Físicas”.

2.1 Opção Geometria

A Fig. 3 mostra as opções da geração da geometria a ser resolvida. Para este exemplo, foi escolhido a primeira opção, a geometria **Cartesiana**

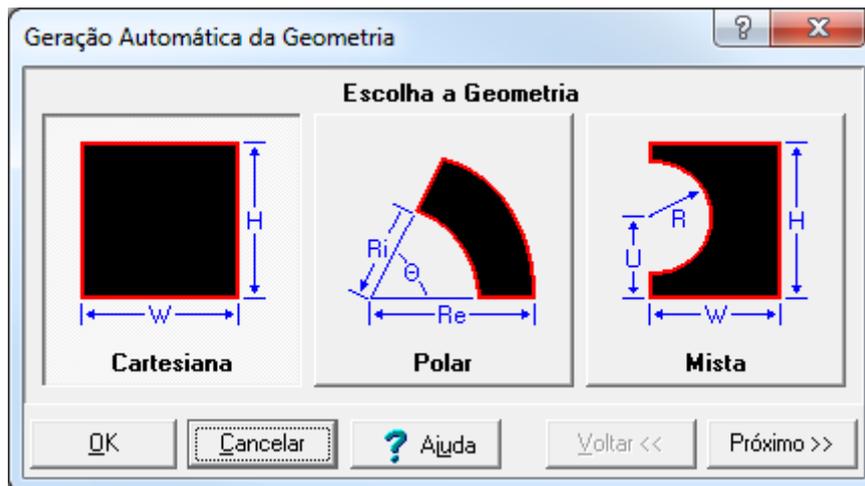


Figura 3 Opção geometria da aba Meio, foi escolhido a primeira opção “Cartesiana”

Ao clicar no botão **próximo**, a seguinte tela aparecerá, mostrada na Fig. 4:

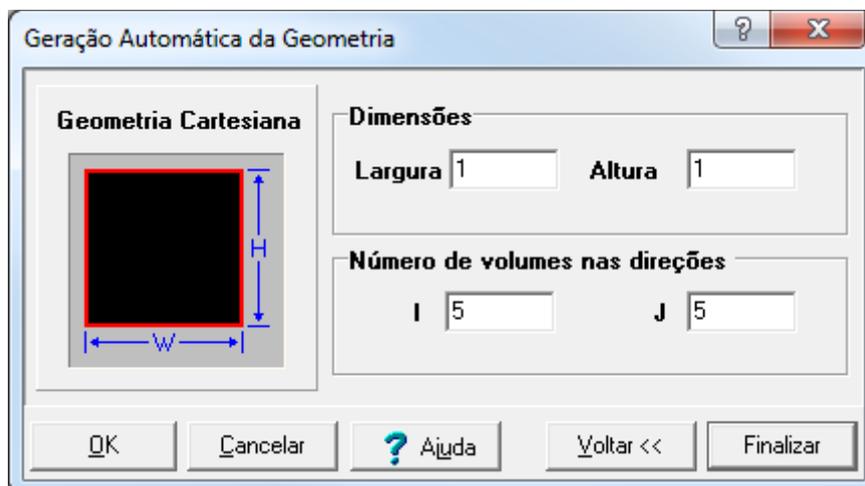


Figura 4 Opções da geometria “Cartesiana”

Na tela da Fig. 4 é possível especificar as dimensões e número de volumes de controle no qual o domínio será discretizado. Para este exemplo foi utilizado uma placa de dimensões unitárias e 5 volumes de controle em cada direção.

Ao clicar no botão “**Finalizar**”, a tela principal do aplicativo irá mostrar a malha gerada, como mostrado na Fig. 5.

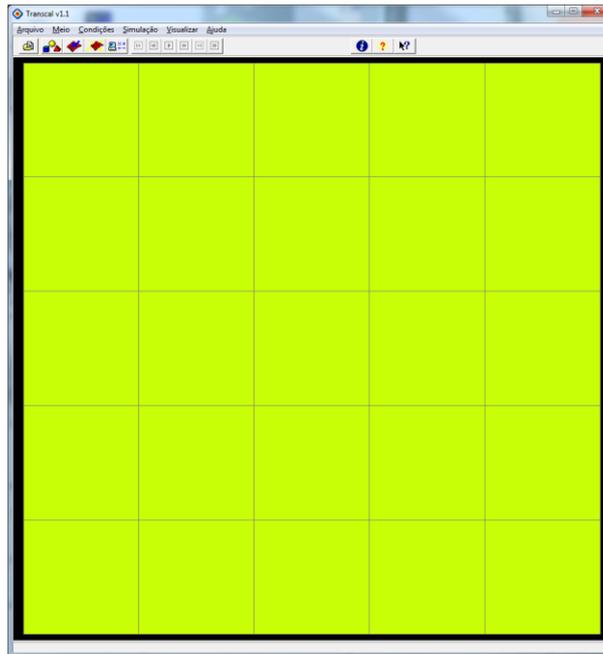


Figura 5 Tela principal do aplicativo com a malha especificada no passo anterior

2.2 Opção Properties Físicas

A Fig. 6 mostra as opções presentes na opção selecionada:

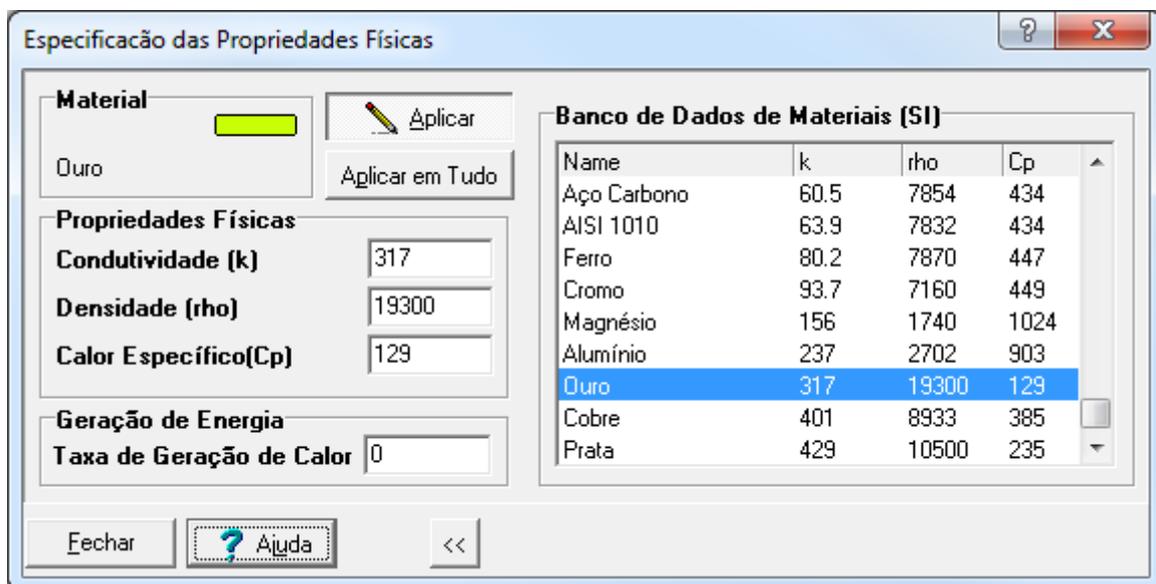


Figura 6 Opções de materiais presentes na opção Properties Físicas

Via esta janela é possível selecionar o material de todo ou de parte do domínio discretizado. Há diversas opções de materiais já programados, no entanto se necessário for, é possível especificar um material personalizado ao modificar as propriedades físicas presentes na janela (Condutividade Térmica, Densidade e Calor Específico).

Outra possibilidade interessante é especificar uma taxa de geração de calor interna de todos ou de apenas alguns volumes dentro do domínio físico. Importante: para aplicar as condições de material ou geração de calor é necessário clicar nos volumes desejados ou no botão “Aplicar em Tudo”.

Será mantido o Ouro como o material a ser simulado

3 Aba Condições

Nesta aba há duas opções: “Contorno...” e “Iniciais”.

3.1 Opção Contorno

A Fig. 7 mostra uma janela onde será selecionado as condições de contorno, as quais serão aplicadas nas faces do domínio.

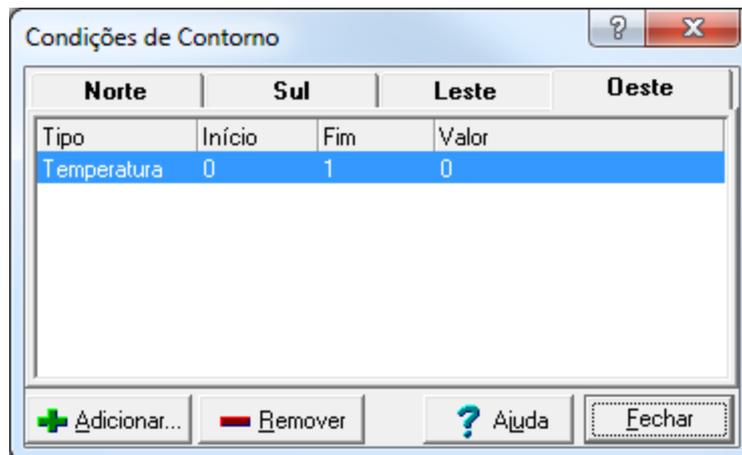


Figura 7 Janela das opções de condições de contorno para as faces do domínio

Para não terem-se dúvidas de quais são os contornos Norte, Sul, Leste e Oeste, basta acessar a aba “Visualizar” e selecionar a opção “Fronteiras”. Ao fazer isso a janela principal irá modificar-se para o mostrado na Fig. 8.

Desta forma será visualizado quem são os contornos Norte, Sul, Leste e Oeste. No caso da geometria cartesiana deduzem-se quem são estes contornos facilmente, no entanto nos outros tipos de geometrias como o círculo, por exemplo, estes contornos ficam modificados.

Será resolvido o problema presente no Cap. 5 da apostila, ou seja, definido pelas Eqs. (5.2) e (5.3).

$$T(0, y) = T(L_x, y) = T(x, 0) = 0 \quad (5.2)$$

$$T(x, L_y) = \text{sen}\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \quad (5.3)$$

Então os contornos Sul, Leste e Oeste ficarão com Temperatura Nula, como já mostrado no contorno Oeste na Fig. 7.

Para alterar-se a condição de contorno, basta apertar no botão “Adicionar” da Fig. 7, o qual abrirá a janela mostrada na Fig. 9, foi apertado no triângulo invertido no campo “Tipo”.

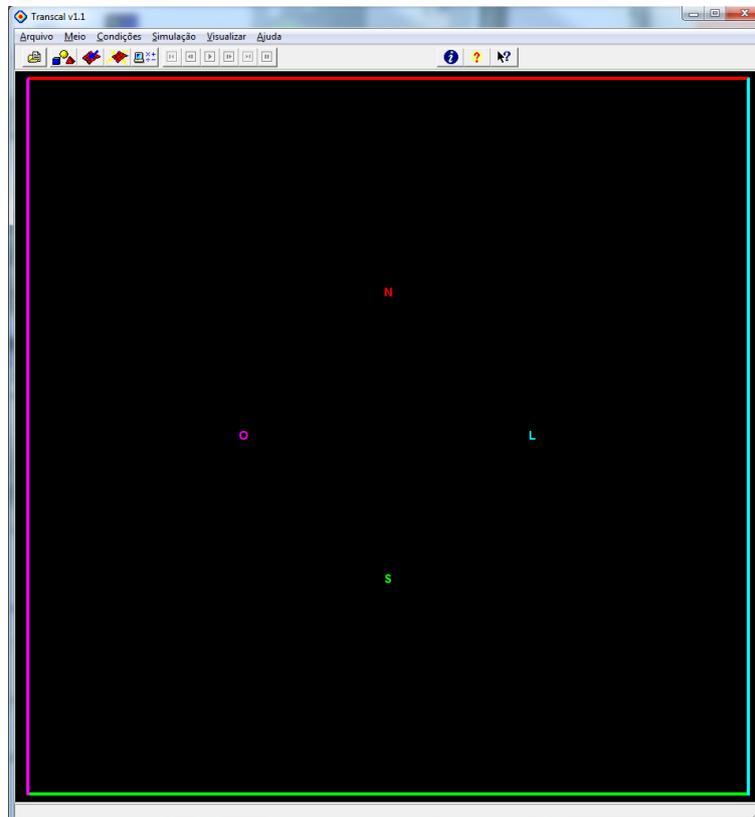


Figura 8 Contornos do domínio os quais as condições de contorno serão aplicadas

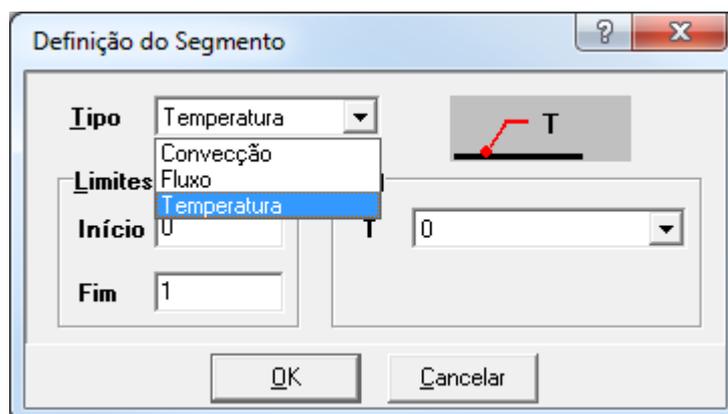


Figura 9 Definição da condição de contorno em qualquer um dos contornos

Ao apertar no campo Tipo, três formas de condições de contorno serão mostradas, são elas: Convecção, Fluxo e Temperatura.

- Convecção: Condição de contorno de Robin, como vista no Cap. 4 da apostila.
- Fluxo: Fluxo de calor conhecido, se igual a 0 também pode ser considerado a condição de simetria, condição de contorno de Newmann.
- Temperatura: Temperatura conhecida, condição de contorno de Dirichlet.

Os contornos Oeste, Leste e Sul serão aplicados a Temperatura nula conhecida. Já na condição de contorno em Norte será aplicado a distribuição senoidal, conforme a Eq. (5.3), mostrado na Fig. 10.

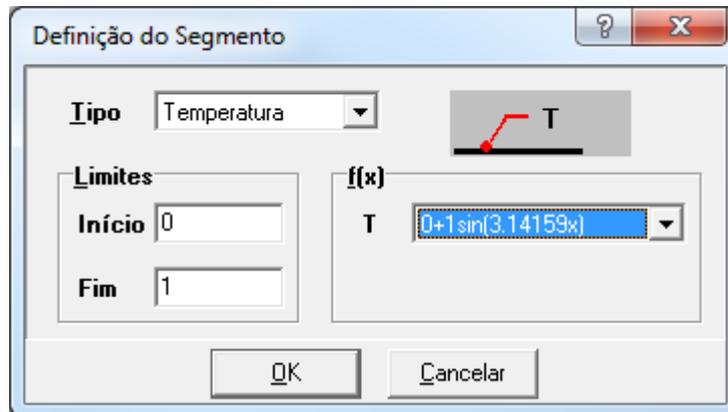


Figura 10 Aplicação da condição de contorno no contorno Norte do domínio

3.2 Opção Iniciais

Ao selecionar esta opção será apresentada uma janela, como mostrado na Fig. 11.

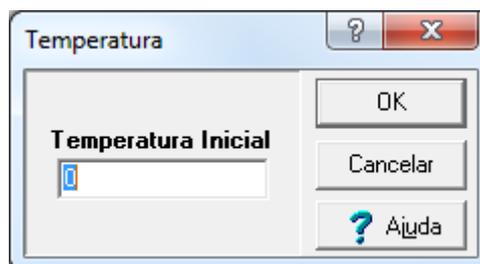


Figura 11 Janela de estimativa inicial

Nesta janela será possível estimar uma determinada temperatura para todo o domínio. Para este exemplo será optado pela temperatura inicial como a estimativa inicial.

4 Aba Simulação

Nesta aba há cinco opções: “Iniciar...”, “Parâmetros”, “Resultados”, “Tempo de Animação” e “Animação”.

4.1 Opção Iniciar

Ao selecionar a opção iniciar será apresentado às condições atuais e parâmetros utilizados na simulação, como mostrado na Fig. 12.

Antes de iniciar a simulação iremos alterar os parâmetros padrão do código para podermos comparar as soluções obtidas pelo uso do TransCal 1.1 com os resultados do código “prof3_cfd_aula”

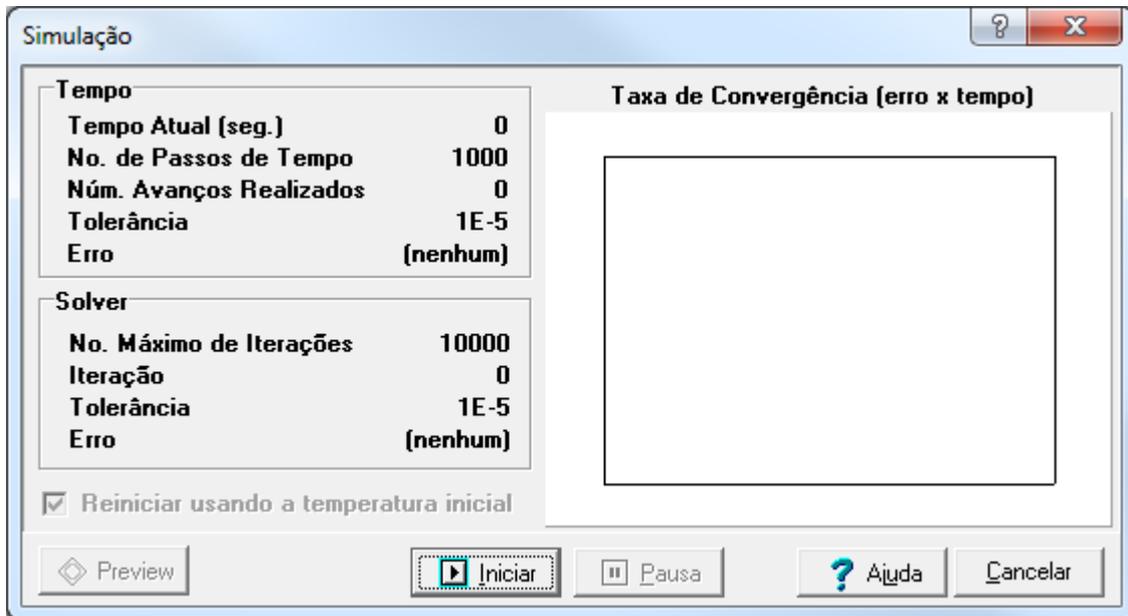


Figura 12 Condições e parâmetros da simulação

Para isto iremos acessar a opção Parâmetros.

4.2 Opção Parâmetros

Assim será aberta a janela da Fig. 13.

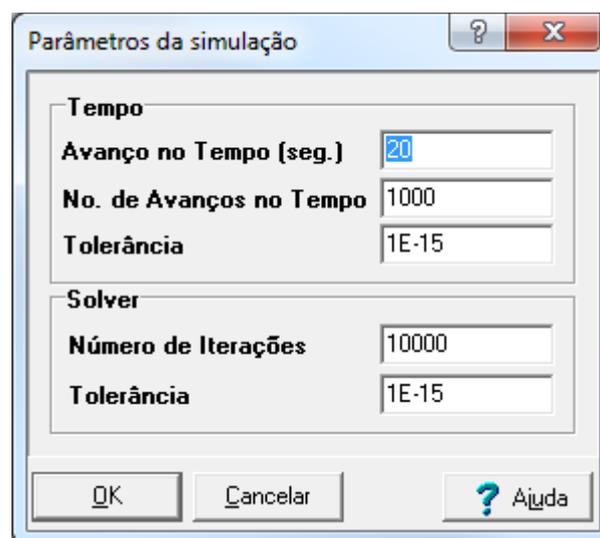


Figura 13 Janela parâmetros

Será alterado a tolerância na seção “Tempo” e seção “Solver” para 1E-15 como mostrado na Fig. 13. Agora basta acessar a opção Iniciar e executar o código, aparecerá a janela mostrada na Fig. 14.

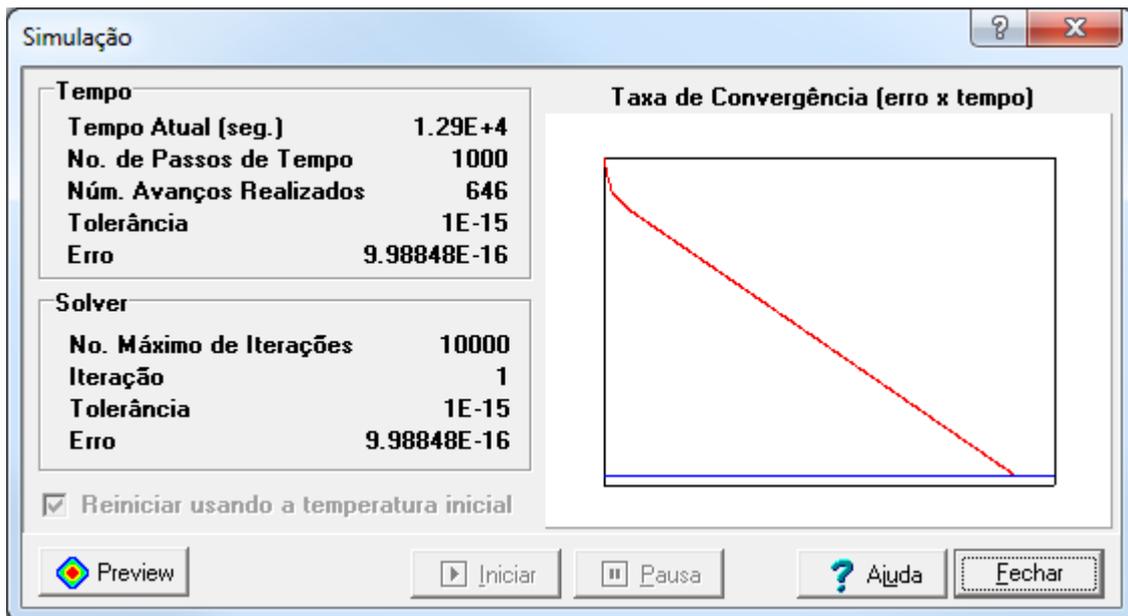


Figura 14 Janela simulação após convergência do código

Basta portanto fechar a janela da simulação. Assim a janela principal do código será modificada para mostrar a distribuição de temperaturas de forma gráfica, como mostrado na Fig. 15.

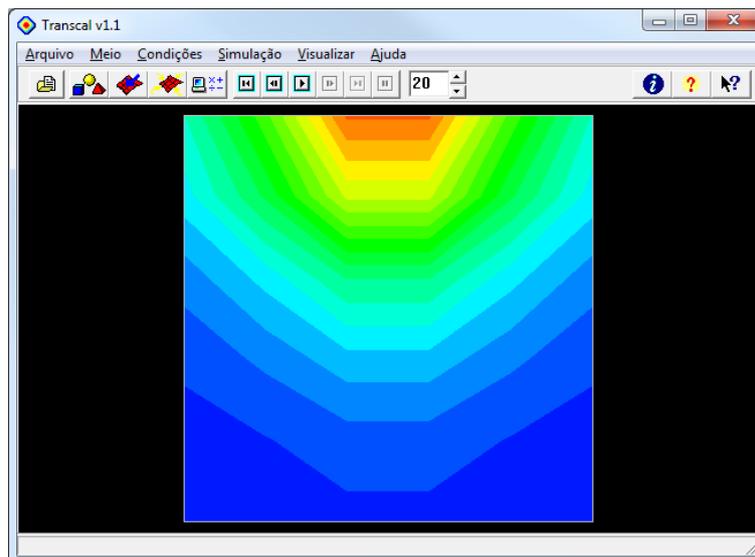


Figura 15 Apresentação da distribuição de temperaturas na forma gráfica

4.3 Opção Resultados

Para mostrar os resultados da simulação basta acessar a opção Resultados, desta forma uma nova janela com resultados em forma de texto será apresentada, apenas a parte importante para o exemplo deste tutorial será apresentada (distribuição de temperaturas) na Fig. 16.

*** Resultados da Simulação

Temperatura:

| | | | | | |
|----|--------------|-------------|------------|-------------|-------|
| 5: | 0.21736628 | 0.56907231 | 0.70341205 | 0.56907231 | 0.2 |
| 4: | 0.11709138 | 0.3065492 | 0.37891566 | 0.3065492 | 0.1 |
| 3: | 0.061541402 | 0.16111748 | 0.19915216 | 0.16111748 | 0.06 |
| 2: | 0.029498151 | 0.077227161 | 0.09545802 | 0.077227161 | 0.02 |
| 1: | 0.0087221901 | 0.02283499 | 0.0282256 | 0.02283499 | 0.008 |

Figura 16 Resultados da simulação atual na forma textual

O campo de temperaturas, obtido via mesmas condições no prog3_cfd_aula, é apresentado na Fig. 17.

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.17366E-01 | 5.69072E-01 | 7.03412E-01 | 5.69072E-01 | 2.17366E-01 |
| 1.17091E-01 | 3.06549E-01 | 3.78916E-01 | 3.06549E-01 | 1.17091E-01 |
| 6.15414E-02 | 1.61117E-01 | 1.99152E-01 | 1.61117E-01 | 6.15414E-02 |
| 2.94982E-02 | 7.72272E-02 | 9.54580E-02 | 7.72272E-02 | 2.94982E-02 |
| 8.72219E-03 | 2.28350E-02 | 2.82256E-02 | 2.28350E-02 | 8.72219E-03 |

Figura 17 Resultados para o mesmo problema simulado no TransCal 1.1 com o aplicativo prog3_cfd_aula

Comparando a distribuição de temperaturas em ambos aplicativos (Fig. 16 para o TransCal 1.1 e Fig. 17 para o prog3_cfd_aula), nota-se que na precisão apresentada ambos demonstram resultados exatamente iguais. O que era previsto por ser utilizado o mesmo método para resolver a equação diferencial e mesma ordem de acurácia.

4.4 Opção Tempo de Animação

Nesta opção é possível alterar a animação da evolução temporal do problema em análise, temos 3 opções de passo de tempo: Linear, Exponencial e Personalizado. Como mostrado na Fig. 18.



Figura 18 Passo de tempo para a animação da evolução temporal do problema em análise

Será selecionado um avanço Exponencial na sua aba respectiva no meio da Fig. 18 e será apertado o botão Configurar.

4.5 Opção Animação

Para realizar a animação após modificar as opções no tempo de animação, será necessário realizar novamente a simulação na aba “Simulação” e “Iniciar” ou pelo atalho CTRL + F9

Ao apertar na opção animação será realizado uma animação na tela principal com a evolução temporal do problema em análise.

5 Aba Visualizar

Nesta aba há seis opções: “Fronteiras”, “Meio”, “Temperatura”, “Isotermas”, “Vetores Fluxo de Calor” e “Gráficos Dinâmicos”.

5.1 Opção Fronteiras

Foi mostrado na Fig. 8 o seu uso, basicamente mostra quem são os contornos do domínio de forma gráfica.

5.2 Opção Meio

É mostrado os volumes no qual o domínio foi discretizado, como na Fig. 5.

5.3 Opção Temperatura

É mostrado a distribuição de temperaturas de forma gráfica, como na Fig. 15.

5.4 Opção Isotermas

Esta opção mostrará as isotermas do problema, como mostrado na Fig. 19.

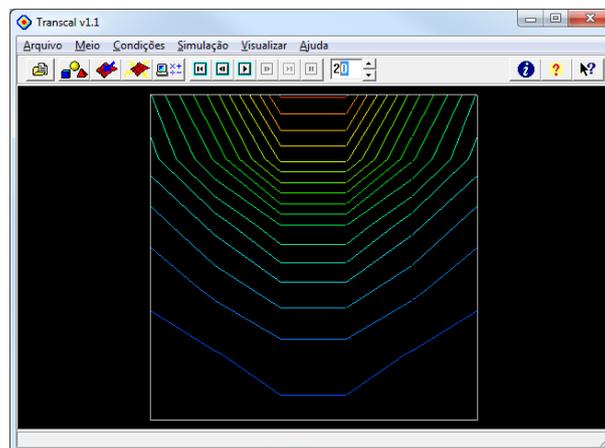


Figura 19 Gráfico das isotermas do problema simulado

5.5 Opção Vetores Fluxo de Calor

Esta opção habilita a criação de vetores em cada volume de controle que mostram a direção do fluxo de calor. É possível mostrar estes vetores em todas as formas anterior de gráfico, “Fronteiras”, “Meio”, “Temperatura” e “Isotermas”.

5.6 Opção Gráficos Dinâmicos

Nesta opção é possível analisar o comportamento de fatias do domínio, as quais podem ser especificadas com as barras: lateral e inferior. Está mostrada na Fig. 20 a temperatura no centro do domínio nesta janela.

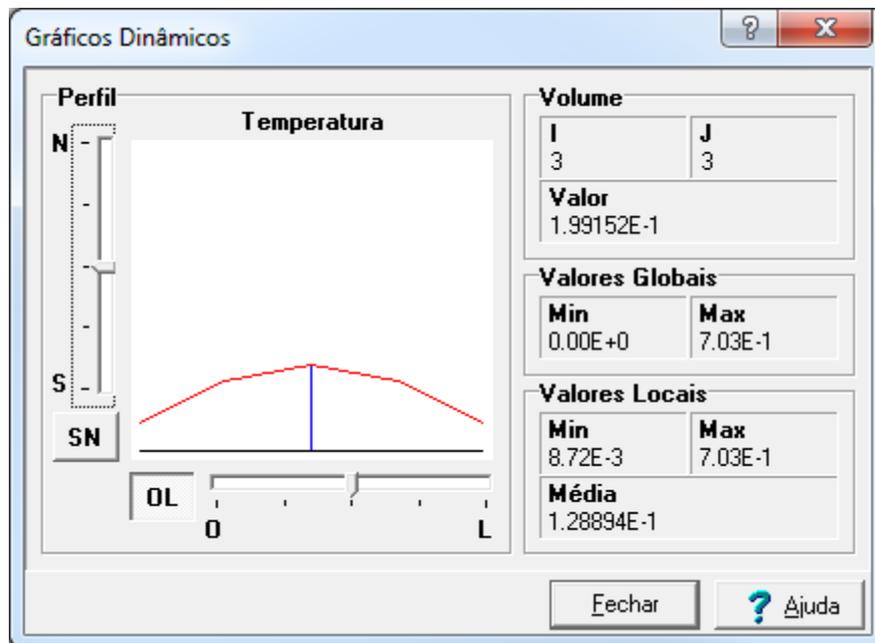


Figura 20 Janela da opção Gráficos Dinâmicos, com o ponto central selecionado

6 Exemplo 2

Aplicar as seguintes condições de contorno:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=L_y} = 0 \text{ (fluxo = 0)}$$

$$T(0, y) = 0$$

$$T(1, y) = 1$$

O resultado será como um problema unidimensional linear, o qual a solução analítica será na forma:

$$T(x,y) = x$$

Na prática a solução apresentada pelo aplicativo com estas condições de contorno apresentará apenas erros de arredondamento.

7 Exemplo 3

Aplicar as seguintes condições de contorno:

$$T(0, y) = T(x, 0) = 0$$

$$T(x, L_y) = x$$

$$T(L_x, y) = y$$

O resultado será como um problema bidimensional linear, o qual a solução analítica será na forma:

$$T(x,y) = x y$$

Na prática a solução apresentada pelo aplicativo com estas condições de contorno apresentará apenas erros de arredondamento.