

Relatório Parcial de Iniciação Científica – PIBIC/CNPQ

Bolsista: Viviane Ribeiro de Siqueira

Orientador: Jeronimo dos Santos Travelho

Título do Projeto: Transporte Transiente de Calor em Geometrias Tridimensionais Complexas

Objetivo:

O objetivo deste trabalho é a aplicação da metodologia sendo desenvolvida no grupo (Abordagem Baseada no Circuncentro) para modelagem numérica de problemas transientes tridimensionais de transferência de calor.

Introdução:

No nosso grupo estamos desenvolvendo uma abordagem para problemas de transporte em geral utilizando malhas triangulares, prismáticas e tetraedrais. Nessa abordagem as variáveis são calculadas no centro da célula, portanto nossa abordagem é dual dos métodos que utilizam polígonos e volumes de Voronoi. Demostramos que para problemas não lineares a ordem de aproximação de nossa abordagem é superior à de Voronoi. No entanto essa vantagem só é válida para problemas bidimensionais estacionários.

Neste projeto pretende-se aplicar essa metodologia ao estudo de problemas transientes e também utilizar malhas tetraedrais. As questões a serem resolvidas nesse trabalho se

referem à ordem de aproximação da abordagem. O fato de utilizar o centro da célula para o cálculo das variáveis melhora a ordem de aproximação para problemas estacionários, mas essa melhoria é incerta para problemas transientes. Serão experimentadas algumas soluções para recuperar a ordem de aproximação como aproximação de segunda ordem para o termo transiente. Estas soluções devem recuperar a ordem de aproximação, porém, não devem adicionar complexidade excessiva à metodologia. O mesmo problema ocorre com a utilização das malhas tetraedrais.

O grupo tem estudado principalmente problemas da Mecânica dos Fluidos e meu projeto é voltado à Transferência de Calor, identificando assim a diferença entre as áreas de estudo.

Desenvolvimento do Projeto:

O estudo feito até agora pode ser dividido em 6 fases, conforme o cronograma e os tópicos abaixo:

	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
1ª fase	X						
2ª fase	X						
3ª fase	X	X	X	X	X	X	X
4ª fase	X	X					
5ª fase			X	X	X	X	
6ª fase						X	X

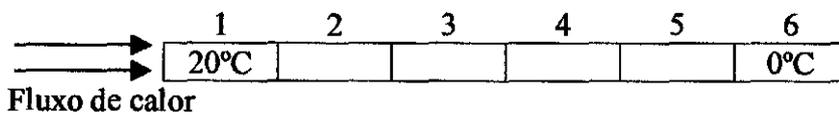
1. O projeto foi iniciado com o estudo e familiarização do sistema operacional Unix, pois anteriormente só tinha conhecimento do Ambiente Windows. Para aprender Unix foi desenvolvido atividades básicas como criar pastas, abrir programas, imprimir documentos. Após a familiarização com o Unix, começou o estudo sobre a linguagem de programação C para haver uma compatibilidade com o grupo, pois os programas desenvolvidos pelo mesmo foram implementados nessa linguagem. Embora já tivesse estudado Técnicas de Linguagem de Programação, não conhecia a linguagem C. Comecei a implementar e executar alguns programas. Foi estudado a definição de bibliotecas, rotinas, definição das estruturas, alocação estática e dinâmica, desenvolvimento de funções.

2. Foi feita uma reunião onde todas as pessoas do grupo estavam presentes. Nela foram abordadas os estudos anteriormente realizados, revisados e discutidos padrões para implementação de novos programas, de forma a deixar todos programas desenvolvidos na grupo compatíveis.

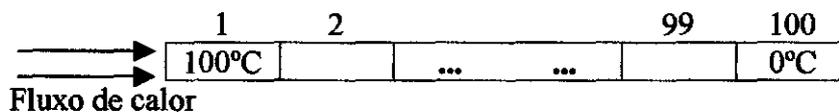
3. Nesta fase começa a familiarização com a física do projeto, onde comecei a estudar fenômenos de transporte. A familiarização foi obtida através de explicações do orientador sobre o fenômeno físico da transferência de calor e também estudo da literatura. Foi estudado os tipos de transporte, dando ênfase à difusão/condução (transporte de calor que ocorre quando a grandeza física varia de um ponto para outro, ou seja, só ocorre a difusão quando um ponto está mais quente que o outro); material isotrópico (material que possui as mesmas propriedades); condutividade

térmica do material; Lei de Fourier. Os estudos na área da física são contínuos, permanecendo até o final do projeto.

4. Início da implementação do modelo unidimensional em regime estacionário. Foi definida uma barra de alumínio de 1 metro de comprimento, com espessura, área, volume e condutividade térmica constantes. A barra foi dividida em seis pedaços e as condições de contorno definidas como 20°C na célula 1 e 0°C na célula 6, como mostra a figura:



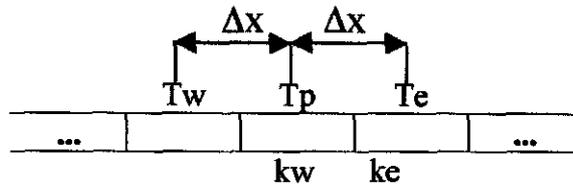
A equação da condução para este caso ficou: $T[i+1] - 2T[i] + T[i-1] = 0$ onde T é a temperatura e $[i]$ é o número da célula. Para resolver esse sistema linear foi utilizado o método de Gauss-Siedel calculando também a norma e o resíduo. Depois foi admitida a mesma barra com mesmas propriedades, somente com condutividade térmica variável. A barra foi dividida em 100 pedaços e as condições de contorno definidas como 100°C na célula 1 e 0°C na célula 100.



A equação que descreve esta condução é :

$$T_P = \frac{\frac{k_w}{\Delta x} T_W + \frac{k_e}{\Delta x} T_E}{\frac{k_w}{\Delta x} + \frac{k_e}{\Delta x}}$$

Onde T_x é a temperatura em determinada célula, k_x é a condutividade térmica na parede da célula e Δx é a distância entre os centros das células.



Para calcular as iterações foi utilizado o método de Gauss-Siedel, resíduo e norma.

5. O entendimento do fenômeno físico da transferência de calor ficou bem simples após a implementação do modelo unidimensional. Para implementar o modelo bidimensional foi utilizado alguns recursos para fazer a visualização da superfície. A superfície foi definida com 1 metro de comprimento por 1 metro de altura e espessura constante. Para a solução do problema foi utilizado o programa Easymesh[4] que cria a malha e a divide interiormente com triângulos e polígonos sobrepostos aos triângulos. Para calcular a transferência de calor somente os triângulos são utilizados, pois nosso método é baseado no circuncentro do mesmo. O Easymesh fornece as coordenadas dos vértices de cada triângulo, as coordenadas dos circuncentros, os índices dos triângulos vizinhos e grava esses dados em diferentes arquivos. Foi utilizado um programa de pré-processamento desenvolvido pelo grupo para ler os dados fornecido pelo Easymesh, processá-los para calcular outras coordenadas importantes como distância entre circuncentros, distância entre circuncentros e paredes, etc e gravar esses dados em um arquivo padrão. Dessa maneira fica fácil a comparação de resultados entre os problemas resolvidos pelo grupo. Após definida a malha, começa fase da discretização das equações em bidimensional estacionário com condutividade térmica variável. A equação que

descreve a condução é $\nabla \cdot (k\nabla T) = 0$. Aplicando o método das diferenças finitas, é

obtida a seguinte equação:
$$T_P = \frac{\frac{T_A k_{ala}}{d_{AP}} + \frac{T_B k_{blb}}{d_{BP}} + \frac{T_C k_{clc}}{d_{CP}}}{\frac{k_{ala}}{d_{AP}} + \frac{k_{blb}}{d_{BP}} + \frac{k_{clc}}{d_{CP}}}$$

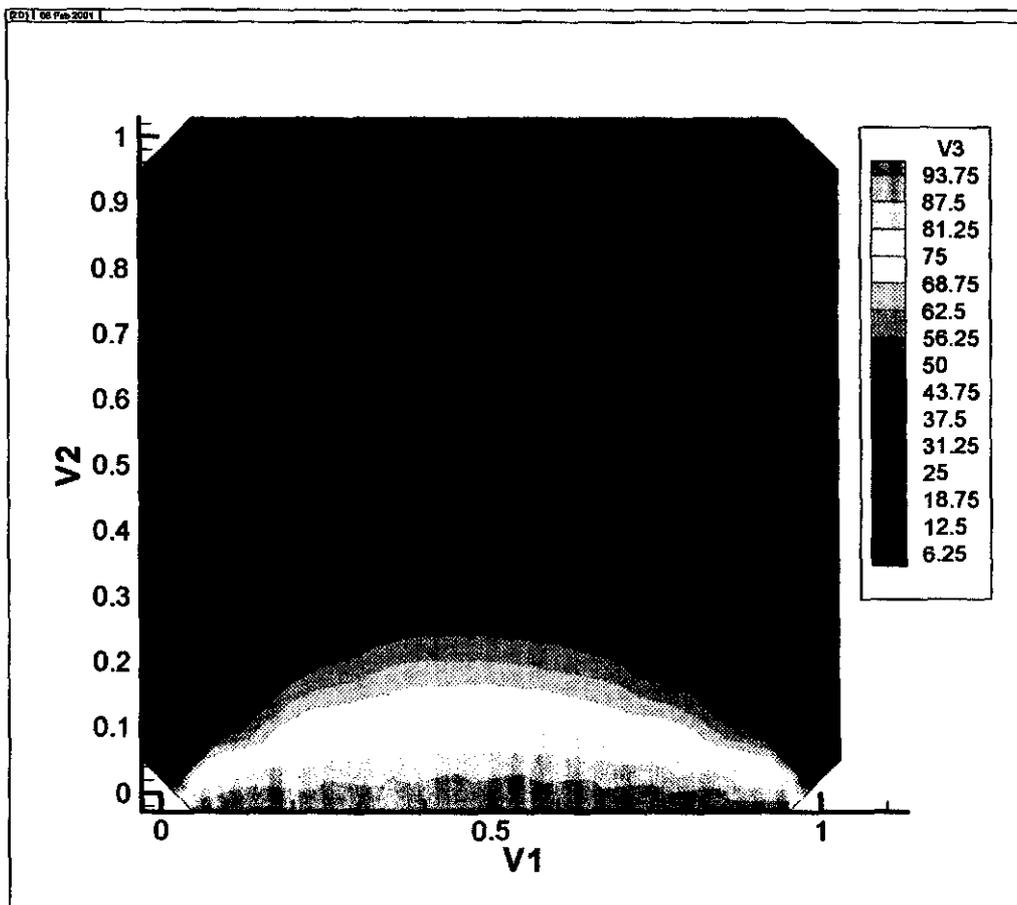
Onde: T_x – Temperatura do triângulo

k_x – Condutividade Térmica na parede x

d_{XY} – Distância entre circuncentros

l_x – Tamanho da parede

Para resolver o sistema linear foi usado o método de Gauss-Siedel calculando também erro e o resíduo médio. Os resultados obtidos estão identificados no gráfico a seguir:



6. Agora está sendo implementado o modelo bidimensional transiente. Utilizando a equação $\nabla \cdot (k\nabla T)\rho c = 0$ e aplicando o método das diferenças finitas, foi obtida a seguinte equação:

$$T_P^{n+1} = \frac{\left[k_a^n \frac{T_A^n - T_P^n}{d_{AP}} l_a + k_b^n \frac{T_B^n - T_P^n}{d_{BP}} l_b + k_c^n \frac{T_C^n - T_P^n}{d_{CP}} l_c + \right] \Delta t + T_P^n}{(\rho c)_P^n A}$$

Onde: T_x – Temperatura do triângulo

k_x – Condutividade Térmica na parede x

d_{XY} – Distância entre circuncentros

l_x – Tamanho da parede

ρ - Massa Específica

c – Calor específico

A – Área do triângulo

Como a implementação desse modelo não acabou, os resultados ainda não podem ser mostrados em gráficos.

Bibliografia:

1. The Unix Operating System – Kaare Christian and Susan Richter
Editora Wiley
2. Turbo C++ - Guia do Usuário - Herbert Schild
Editora MAKRON Books
3. Programação em Turbo C++ - Addison-Wesley
Editora Ciência Moderna
4. <http://www-dinma.univ.trieste.it/~nirftc/research/easymesh/>.

5. Transferência de Calor - Adrian Bejan

Editora Edgard Blücher Ltda.

6. Lectures in Abstract Algebra – N Jacobson

Editorial Board

7. Campos Vetoriais, Espaços Lineares e Tensores na Física – René A. Medrano

Transtec Editorial