

A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra

6,0 Gt CO₂

1,5 Gt CO₂

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)



 **Atena**
Editora

Ano 2019

Ingrid Aparecida Gomes

(Organizadora)

A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra

**Atena Editora
2019**

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P964 A produção do conhecimento nas ciências exatas e da terra [recurso eletrônico] / Organizadora Ingrid Aparecida Gomes. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A produção do Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-238-8

DOI 10.22533/at.ed.388190304

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Gomes, Ingrid Aparecida. II. Série.

CDD 507

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 21 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino e educação.

As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Astronomia/Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química.

O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas.

A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas.

Neste sentido, este volume é dedicado aos trabalhos relacionados a ensino e aprendizagem. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Ingrid Aparecida Gomes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A CONTEXTUALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE UM CURSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA VOLTADO PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	
Rachel Zuchi Faria Daniel Rutkowski Soler Evonir Albrecht Marcos Rogerio Calil Marcos Pedroso Marília Rios	
DOI 10.22533/at.ed.3881903041	
CAPÍTULO 2	11
DETECÇÃO AUTOMÁTICA E DINÂMICA DE ESTILOS DE APRENDIZAGEM DE ESTUDANTES EM SISTEMAS DE GESTÃO DE APRENDIZAGEM UTILIZANDO MODELOS OCULTOS DE MARKOV E APRENDIZAGEM POR REFORÇO	
Arthur Machado França de Almeida Luciana Pereira de Assis Alessandro Vivas Andrade Cristiano Grijó Pitangui	
DOI 10.22533/at.ed.3881903042	
CAPÍTULO 3	29
USO DE SOFTWARE COMO FERRAMENTA DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
Francisco de Assis Martins Ponce Maria Jorgiana Ferreira Dantas Irla Gonçalves Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.3881903043	
CAPÍTULO 4	36
ESPAÇO E MEMÓRIA NA CONSTITUIÇÃO DA CRIANÇA: APROXIMAÇÕES COM A CARTOGRAFIA ESCOLAR	
Thiago Luiz Calandro João Pedro Pezzato	
DOI 10.22533/at.ed.3881903044	
CAPÍTULO 5	58
FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS: UMA LEITURA PEIRCEANA DE NÍVEIS DE SIGNIFICADO DAS ESTAÇÕES DO ANO	
Daniel Trevisan Sanzovo Carlos Eduardo Laburú	
DOI 10.22533/at.ed.3881903045	
CAPÍTULO 6	72
MAPAS CONCEITUAIS E SEU USO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM E ENSINO DE CONCEITOS DE ASTRONOMIA: UM ESTUDO DE CASO	
Marconi Frank Barros Sérgio Mascarello Bisch	

DOI 10.22533/at.ed.3881903046

CAPÍTULO 7 81

VERIFICAÇÃO DA LEI DE TITIUS-BODE EM SISTEMAS EXOPLANETÁRIOS E DETERMINAÇÃO DE FÓRMULAS QUE DESCREVEM AS DISTÂNCIAS PLANETAS-ESTRELA

Vinícius Lima dos Santos
Marcos Rogerio Calil
Manoel de Aquino Resende Neto

DOI 10.22533/at.ed.3881903047

CAPÍTULO 8 97

A RELEVÂNCIA DO APOIO DIDÁTICO NA GRADUAÇÃO DE METEOROLOGIA: ATIVIDADE DO PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL

Leticia Prechesniuki Alves
Laíz Cristina Rodrigues Mello
André Becker Nunes

DOI 10.22533/at.ed.3881903048

CAPÍTULO 9 102

UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DAS DISTINTAS DEFINIÇÕES DE ANEL

Elisandra Cristina Souto
Marlon Soares

DOI 10.22533/at.ed.3881903049

CAPÍTULO 10 109

UMA INTRODUÇÃO AO ENSINO DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC) UTILIZANDO SCILAB®

Nicolly Coelho
Eduardo Vieira Vilas Boas
Paulo Vataavuk

DOI 10.22533/at.ed.38819030410

CAPÍTULO 11 125

METODOLOGIA PARA O ENSINO DE FÍSICA: ENTRE DEUSES MITOLÓGICOS E ASTROS

Bárbara de Almeida Silvério
Ricardo Yoshimitsu Miyahara

DOI 10.22533/at.ed.38819030411

CAPÍTULO 12 134

AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS ATIVAS APLICADAS DURANTE O SEMESTRE 2018.1 - DISCIPLINA ECOLOGIA GERAL

Matheus Cordeiro Façanha
Márcia Thelma Rios Donato Marino
Leonardo Holanda Lima
Vanessa Oliveira Liberato
Suellen Galvão Moraes
Diego Oliveira Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.38819030412

CAPÍTULO 13 140

OS CAMINHOS QUE LEVAM ÀS CIDADES ACESSÍVEIS: O PANORAMA BRASILEIRO E O PREMIO ACCESS. CITY PARA AS CIDADES DA EU

Kaíto Loui Sousa do Amaral
Vlândia Barbosa Sobreira
Angélica de Castro Abreu

DOI 10.22533/at.ed.38819030413

CAPÍTULO 14 148

A UTILIZAÇÃO DO DESENHO A MÃO LIVRE NO AUXÍLIO DO ENSINO DO DESENHO TÉCNICO

Giulia Queiroz Primo
Beatriz Maria Moreira Aires
Sarah Bastos de Macedo Carneiro

DOI 10.22533/at.ed.38819030414

CAPÍTULO 15 154

PROJETO GAMA: UM EXEMPLO BEM-SUCEDIDO DO ENSINO COOPERATIVO NA UFPEL

João Inácio Moreira Bezerra
Rejane Pergher
Cícero Nachtigall

DOI 10.22533/at.ed.38819030415

CAPÍTULO 16 161

CURSOS DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS (UEG) SOB OLHAR DOS EGRESSOS

Camila Lariane Amaro
Adalberto Antunes de Medeiros Neto
Fábio Santos Matos

DOI 10.22533/at.ed.38819030416

CAPÍTULO 17 169

A EXPECTATIVA DOS ALUNOS PARA COM A DISCIPLINA PLANEJAMENTO DA PAISAGEM NO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE FORTALEZA - UNIFOR

Ravena Alcântara Holanda Rocha
Newton Célio Becker de Moura

DOI 10.22533/at.ed.38819030417

CAPÍTULO 18 175

A INFLUÊNCIA DO PROJETO DE ARQUITETURA DE INTERIORES COMERCIAL NO FORTALECIMENTO DA IDENTIDADE VISUAL

Raíssa Gomes Bastos Capibaribe
Maria das Graças do Carmo Dias
Ana Caroline de Carvalho Lopes Dantas Dias

DOI 10.22533/at.ed.38819030418

CAPÍTULO 19	185
ARQUITETURA DE INTERIORES COMO SINALIZADOR DA APRENDIZAGEM	
Thaiany Veríssimo Andrade Batista de Moraes	
Ana Caroline de Carvalho Lopes Dantas Dias	
DOI 10.22533/at.ed.38819030419	
CAPÍTULO 20	192
IMPACTO CONSTRUTIVO NO ENTORNO DE BENS HISTÓRICOS. CASO DO CENTRO DE FORTALEZA-CE	
Naiana Madeira Barros Pontes Camilo	
Anderson Yago Sampaio Brito	
André Soares Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.38819030420	
CAPÍTULO 21	205
O CONTRASTE DAS ABORDAGENS DE PLANEJAMENTO URBANO NO PROCESSO DE ENSIO-APRENDIZAGEM	
Mariana Saraiva de Melo Pinheiro	
Paulo Estênio da Silva Jales	
André Araújo Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.38819030421	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	220

UMA INTRODUÇÃO AO ENSINO DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC) UTILIZANDO SCILAB®

Nicolay Coelho

nicolay.coelho@hotmail.com

Faculdade Campo Limpo Paulista, Faculdade de Engenharia Civil

Rua Guatemala, 167 - Jardim América, Campo Limpo Paulista – SP, CEP 13231-230

Eduardo Vieira Vilas Boas

ev.boas@hotmail.com

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo

Rua Saturnino de Brito, 224 - Cidade Universitária, Campinas - SP, CEP 13083-889

Paulo Vatauvuk

pvatavuk@fec.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo

Rua Saturnino de Brito, 224 - Cidade Universitária, Campinas - SP, CEP 13083-889

RESUMO: Com o desenvolvimento do conhecimento científico, proporcionado pelo avanço tecnológico, muitas ferramentas surgiram para a resolução dos problemas em física, fazendo com que as bases tradicionais de ensino da graduação precisassem de adaptações para melhor atender o mercado. Uma grande revolução deu-se na mecânica dos fluidos, onde os problemas de alta complexidade, antes pouco viáveis de serem solucionados devido aos extensos cálculos numéricos, pudessem ser solucionados e analisados de forma mais

precisa e ágil com a chamada dinâmica dos fluidos computacional (DFC). Este trabalho tem como objetivo explorar ferramentas que permitem o fácil aprendizado de estudantes para a resolução de problemas sobre escoamento de fluidos utilizando software “open source” com uma simples interface, tendo o objetivo de introduzir os aprendizes no assunto com um melhor entendimento, o que possibilitará que estes tenham melhor desempenho em softwares mais complexos. Para alcançar tal objetivo, foi realizado um estudo de transferência de calor a partir da simulação de uma placa que sofre aquecimento em todas as suas bordas, onde a equação governante, na forma diferencial, para esta análise é solucionada por meio do método das diferenças finitas utilizando a expansão em série de Taylor, sendo verificada sua convergência por meio do critério de Sassenfeld e solucionada por Gauss-Seidel. Após tal resolução, foi realizada a implementação computacional utilizando o software Scilab, que demonstrou ser um programa suficiente e de boa qualidade tanto para a demonstração dos resultados quanto para a aplicação em sala de aula.

PALAVRAS-CHAVE: Mecânica dos fluidos; Scilab; Transferência de calor

ABSTRACT: With the development of scientific knowledge, provided by the technological

advance, many tools emerged to solve the problems in physics, making the traditional bases of teaching undergraduate courses needed adaptations to better serve the market. A great revolution took place in fluid mechanics, where the problems of high complexity, previously unlikely to be solved due to extensive numerical calculations, could be solved and analyzed in a more precise and agile way with the so-called computational fluid dynamics (CFD). The aim of this work is to explore tools that allow easy student learning to solve fluid flow problems using open source software with a simple interface, with the aim that learners can be introduced to the subject with a better understanding, which will allow them to perform better in more complex software. In order to achieve this objective, a heat transfer study was carried out by simulating a plate that undergoes heating at all edges, where the governing equation, in the differential form, for this analysis is solved by means of the finite difference method using the series expansion of Taylor, and its convergence was verified by the criterion of Sassenfeld and solved by Gauss-Seidel. After this resolution, demonstrated step by step, the computational implementation was performed using Scilab software, which proved to be a sufficient and good quality program both for the demonstration of the results and for the application in the classroom.

KEYWORDS: Fluid mechanics; Scilab; Heat transfer.

1 | INTRODUÇÃO

Uma especial importância aos métodos numéricos deve ser dada quando se trata da aplicação para resolução de problemas que tratam de escoamentos fluidos, que de acordo com (MALISKA, 2013) são altamente não-lineares, sendo necessário o uso da técnica denominada como Dinâmica dos Fluidos Computacionais (DFC), esta não inclui apenas problemas relacionados à fluidos, mas também problemas da termodinâmica.

Uma excelente razão para justificar o uso dos métodos numéricos é apresentada por (ZIENKIEWICZ e TAYLOR, 1984) que iniciam seu livro dissertando sobre as limitações da mente humana, onde a mesma necessita que problemas complexos sejam divididos em um certo número finito de elementos bem definidos, tanto para a compreensão quanto para a resolução precisa destes, este processo é chamado de *discretização*. Entretanto, ainda segundo o autor, alguns problemas possuem uma divisão de elementos tão grande que é necessário a resolução por modelos matemáticos que conduzem à equações diferenciais, definidas como problemas contínuos.

(FERZIGER e PERIC, 2002) definem a DFC como sendo uma ferramenta que cobre uma vasta gama de campos dentro da mecânica dos fluidos, partindo do desenvolvimento de métodos bem estabilizados da engenharia até as soluções detalhadas das equações de Navier-Stokes. Ressaltando também que o processamento de informações pode ir de uma simples resolução de um problema de condução de escoamento (hidráulica) em tubos, o qual pode ser realizada por um simples

computador ou por uma Workstation, à complexos casos que necessitarão de muitas horas de processamento em supercomputadores.

Já (FORTUNA, 2012) traz uma definição um pouco mais clara e objetiva da técnica dizendo que trata-se de um dos campos da computação científica que visa a preparação de um determinado problema, envolvendo o escoamento fluido, para que se possa realizar a simulação deste, obtendo as propriedades de velocidade, pressão ou temperatura, a fim de se otimizar ou estudar o fenômeno de forma a desenvolver um determinado produto ou conceito, é importante considerar que estas simulações são realizadas considerando ou não a termodinâmica envolvida no processo.

De forma simples, (OLSEN, 1999) define que a dinâmica dos fluidos computacional é a ciência que trata do cálculo do escoamento de fluidos e suas variáveis usando computadores, sendo que a geometria do escoamento deve ser dividida em células ou elementos, formando assim uma malha, onde as equações para as variáveis desconhecidas devem ser calculadas para cada uma dessas células.

É importante ressaltar que os métodos numéricos não podem e nem poderão substituir os procedimentos de laboratório, uma vez que estes validam as resoluções numéricas, sendo de grande importância que os dois estejam caminhando juntos, tal é a significância disso que (MALISKA, 2013) comenta:

“A tendência que se observa, portanto, é a realização de experiências em laboratórios cada vez mais sofisticadas, com o intuito de usar os resultados na corroboração de modelos matemáticos e numéricos, na investigação e entendimento de novos fenômenos que ainda necessitam ser matematicamente modelados, e na avaliação final de um determinado projeto. O laboratório deixará, certamente, de realizar a tarefa repetitiva, que ficará a cargo do computador.”

Os métodos numéricos passaram a ser um requisito essencial para as práticas da engenharia preventiva em qualquer área do conhecimento. Sendo uma ferramenta essencial, mas que ainda sofre preconceito para sua utilização, conforme é demonstrado por (WEINHOLD, 2007) que lista cinco grandes mitos que ainda impedem a utilização destes métodos, bem como a realidade que é escondida por trás destes.

Porém um dos mitos descritos trata-se sobre o alto custo da aquisição de softwares específicos, um grande impeditivo para muitos. (VILAS BOAS e FORMIGONI, 2015) trazem um lista de programas de licença livre que podem ser usados, bem como a importância para o desenvolvimento de tais softwares, neste trabalho para dar foco a esta característica será usado o software Scilab, de fácil operação e programação, com o objetivo de mostrar a possibilidade de se utilizar as ferramentas simples, podendo-se obter um bom entendimento dos conceitos aplicados.

Este trabalho irá ser desenvolvido em cima da ideia apresentada por (VILAS BOAS e FORMIGONI, 2015), priorizando principalmente aqueles que estão iniciando no mundo dos métodos numéricos, utilizando o Scilab para a resolução de um problema simples da termodinâmica, mas que mostra a potencialidade do software

para resolução de problemas mais complexos.

2 | CLASSES DE MÉTODOS NUMÉRICOS

De acordo com (CUNHA, 2000), a essência da solução numérica está em o problema ser um domínio “finito” por meio das discretização do contínuo, porém a solução de um problema com grande precisão requer uma discretização com tantos pontos que é necessário a utilização de um computador ou, em casos extremamente sensíveis, como a previsão do tempo, requer a utilização de supercomputadores ou técnicas avançadas de computação paralela.

Para a resolução numérica de problemas, podem ser considerados os três métodos clássicos mais utilizados para tal finalidade, são eles:

- Método das Diferenças Finitas (MDF)
- Método dos Elementos Finitos (MEF)
- Método dos Volumes Finitos (MVF)

(MALISKA, 2013) relata que no início do desenvolvimento os especialistas em fluidos se utilizavam apenas dos métodos de diferenças finitas e os especialistas em estruturas passaram a utilizar o método dos elementos finitos após o seu desenvolvimento. Tal diferença é devida ao fato de que os problemas de escoamento possuem uma característica altamente não linear, com termos convectivos, diferentemente dos problemas estruturais. Outra característica citada por Maliska em seu livro é de que o MDF, por muito tempo considerou problemas com coordenadas ortogonais (cartesiano, esférico e cilíndrico), sendo que hoje isso não é mais uma verdade, o método também pode usar as malhas não estruturadas, vantagem pertencente ao MEF no início. Por conta destes problemas e outros que os cientistas vinham enfrentando é que se desenvolveu o MVF, que se consolidou na década de 70 com o avanço dos computadores.

Hoje, com a ferramenta computacional mais acessível, os métodos se desenvolveram muito e ambos podem ser usados em problemas de fluidos, muito embora a maior parte dos pesquisadores se utilizem do MVF e alguns o MDF para problemas referentes a fluidos.

Indiscutivelmente, o método que apresenta maior facilidade para entendimento de um leigo é o MDF, que será adotado aqui. Todavia, uma interessante desvantagem do método é apontada por (BORTOLI, 2000), onde este indica que o método requer a aproximação das equações governantes através de expansões em série de Taylor, obrigando com que seja introduzida a dissipação artificial para realizar um

amortecimento das frequências de alta ordem do erro da solução de um sistema.

3 | MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS (MDF)

Conforme citado anteriormente, o MDF foi um dos primeiros métodos a serem criados onde a discretização é feita por meio da expansão em série de Taylor para se encontrar as diferenças centrais, onde sua principal diferença dos outros métodos é que a discretização ocorre por meio de pontos e não por elementos.

Após a discretização é então analisada a convergência do sistema encontrado pelo critério de Sassenfeld e então resolvido pelo método de Gauss-Seidel.

Para um melhor entendimento de como ocorre a discretização da equação a expansão em série de Taylor será demonstrada a seguir

Expansão em série de Taylor

De acordo com (O'CONNOR e ROBERTSON, 2000) o matemático britânico Brook Taylor incluiu um novo campo de estudo da matemática chamado "Cálculo das Diferenças Finitas" inventando o estudo das integrações por partes, o que o levou a descoberta da série conhecida como expansões de Taylor, demonstrada pela primeira vez em seu trabalho "*Methodus incrementorum directa et inversa*" em 1715.

Nas bibliografias atuais é difícil se encontrar as deduções de como funciona as expansões de Taylor, desta forma o entendimento de tal processo torna-se obscuro.

Pode-se então demonstrar tal dedução da seguinte forma: Considerando uma função qualquer $f(x)$ como uma série infinita, temos que:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n \quad (1)$$

Sendo esta uma equação geral, onde c é conhecido por coeficiente de Taylor, podemos dizer que a somatória das derivadas de $f(x)$ partindo de 0 até infinito, teremos:

$$f(x) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + \dots + c_n x^n \quad (2)$$

De modo análogo ao se derivar a Equação (2), várias vezes obtém-se:

$$f'(x) = c_1 + 2.c_2 x^1 + 3.c_3 x^2 + \dots + n.c_n x^{n-1}$$

$$f''(x) = 2.c_2 + 6.c_3 x + 12.c_4 x^2 + \dots + n(n-1)c_n x^{n-2}$$

$$f'''(x) = 6.c_3 + 24.c_4 x + 60.c_5 x^2 + \dots + n(n-1).(n-2)c_n x^{n-3}$$

Ao fazer a solução das equações obtidas para $f(0)$, encontram-se então os seguintes valores para os coeficientes de Taylor:

$$c_1 = f'(x), c_2 = \frac{f''(x)}{2} \text{ e } c_3 = \frac{f'''(x)}{6}$$

Que também pode ser escrito, com mais propriedade matemática, da seguinte forma:

$$c_1 = f'(x), c_2 = \frac{f''(x)}{2!} \text{ e } c_3 = \frac{f'''(x)}{3!}.$$

Portanto, pode-se concluir que a Equação (1) passa a ser escrita da seguinte forma:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^n(a)}{n!} \cdot (x-a)^n \quad (3)$$

A Equação (3) é a conhecida série de Taylor, onde os elementos que devem ser somados, componentes demonstrados na Equação (2), são conhecidos como polinômios de Taylor.

4 | DISCRETIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES

O processo de discretização pelas expansões em séries de Taylor passa a ter três processos ilustrados pelo problema hipotético a seguir.

Considerando um caso unidimensional, no qual a função “F” irá variar apenas no eixo “x”, tem-se o segmento de reta contendo os pontos (x-1), x (ponto central) e (x+1), com espaçamento uniforme de valor a=b=“dx”, conforme ilustrado na Figura 1.

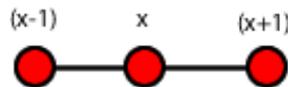


Figura 1 - Segmento contendo os pontos (x-1), x e (x+1)

Analisa-se então a variação do ponto central x até o ponto seguinte (x+1), que será simbolizado como (x+dx), pois o espaçamento entre os pontos não necessariamente será de uma unidade, expandindo-se a função f(x) até o seu primeiro termo, da seguinte forma:

$$f(x+dx) = f(x) + dx \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x + O(dx)^2$$

Com uma manipulação algébrica, com o intuito de encontrar o resultado da variação $\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x$, chega-se à seguinte equação:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x = \frac{f(x+dx) - f(x)}{dx} + O(dx) \quad (4)$$

Repare que a equação passou a $O(dx)$, ou seja, tornou-se de primeiro grau, devido ao “ dx ” que multiplicava a variação $\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x$ passar dividindo os termos do lado direito da equação.

À Equação (4) é dado o nome de *Equação de Diferenças Progressivas*, pois analisa o ponto de interesse em função do ponto imediatamente a frente do ponto de interesse.

Para demonstrar como este tipo de equação se comporta é apresentado na Figura 2 o estêncil desta. O estêncil é uma figura que mostra, de acordo com (FORTUNA, 2012), a posição relativa dos pontos presentes na equação diferencial finita que estão sendo calculados em relação ao ponto central.

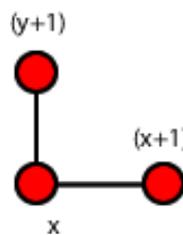


Figura 2 - Estêncil de uma equação progressiva variando em “ x ” e “ y ”

Para que se possa analisar o ponto anterior, procede-se da mesma forma onde a variação irá ocorrer do ponto central (x) até o ponto anterior ($x-1$), e então é feita a expansão da função $f(x)$ até o seu primeiro termo, da seguinte forma:

$$f(x - dx) = f(x) - dx \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x + O(dx)^2$$

É preciso ter extrema atenção com o jogo de sinais quando se isolar a variação $\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x$ ficará:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x = \frac{f(x) - f(x + dx)}{dx} + O(dx) \quad (5)$$

À Equação (5) é dado o nome de *Equação de Diferenças Atrasadas*, pois analisa o ponto central em função do ponto anterior ao ponto de interesse. O estêncil das equações atrasadas é demonstrado na Figura 3.

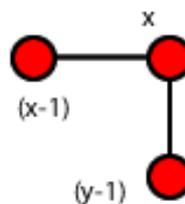


Figura 3 - Estêncil de uma equação atrasada variando em “ x ” e “ y ”

Entretanto, existe ainda a possibilidade de analisar o ponto de interesse levando em conta tanto o ponto anterior quanto o posterior. Para isso é preciso expandir até o

segundo termo para os dois pontos:

$$f(x+dx) = f(x) + dx \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x + \frac{(dx)^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_x + O(dx)^3$$

$$f(x-dx) = f(x) - dx \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x + \frac{(dx)^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_x + O(dx)^3$$

E então é preciso subtrair as duas expansões, chegando no seguinte resultado:

$$f(x+dx) - f(x-dx) = 2dx \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x + O(dx)^3$$

Trabalhando-se algebricamente, chegamos à equação de interesse:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_x = \frac{f(x+dx) - f(x-dx)}{2dx} + O(dx)^2 \quad (6)$$

Esta última equação é conhecida como *Equação de Diferenças Centrais*, de segunda ordem, e de acordo com (FORTUNA, 2012), seu uso é mais vantajoso em relação aos outros. Somente pelo estêncil, apresentado na Figura 8, já é possível verificar que a equação realmente apresenta uma grande vantagem, uma vez que varia para ambos os lados.

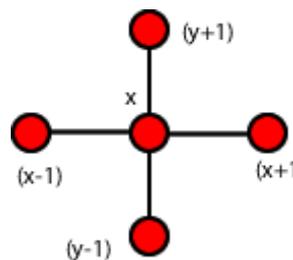


Figura 4 - Estêncil de uma equação de diferenças centrais variando em “x” e “y”

Contudo, nem sempre o problema envolve estas equações, pode ser preciso também encontrar uma solução para equações diferenças centrais de segunda ordem, que é possível seguindo o mesmo passo das equações de diferenças centrais de primeira ordem, com a pequena diferença de que deve-se somar as expansões atrasadas e progressivas, obtendo-se o resultado:

$$\left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_x = \frac{f(x+dx) - 2.f(x) - f(x-dx)}{(dx)^2} + O(dx)^2 \quad (7)$$

Sendo este um caso muito comum em problemas da dinâmica dos fluidos computacional.

5 | TIPOS DE EQUAÇÕES

A representação de problemas físicos por meio da matemática é fundamentalmente

feita a partir das equações diferenciais, daí vem a importância dada pela matéria nos cursos de engenharia.

Para a concepção matemática dos modelos são considerados dois tipos de equações, ao qual (HUGHES e BRIGHTON, 1967) esclarece o uso correto de cada tipo:

- **Equações integrais:** Utilizada quando se deseja obter a solução para os efeitos globais ocorridos no fenômeno.
- **Equações diferenciais:** Utilizada no interesse de estudar como as propriedades são distribuídas no evento considerado, obtendo assim uma solução para cada ponto determinado em uma região e podem ser divididas em equações diferenciais ordinárias e parciais.

(FORTUNA, 2012) salienta que a dinâmica dos fluidos computacional trata-se essencialmente da obtenção das soluções numéricas para as equações diferenciais parciais. Tal afirmação se faz importante para ressaltar a função da DFC, já que para a resolução é preciso discretizar o domínio e estudar o problema ponto a ponto, ficando claro qual tipo de equação deve ser usada nas definições dadas por (HUGHES e BRIGHTON, 1967).

5.1 Malha Computacional

A malha computacional irá mostrar virtualmente os limites físicos do problema, ou seja, a geometria em que o escoamento ocorre seja ela uma forma regular ou irregular, definindo assim os pontos onde as equações das variáveis de interesse serão calculadas, portanto podemos dizer que a malha é um conjunto de pontos que possuem equações específicas para cada um destes.

Um importante passo ressaltado por (BORTOLI, 2000) diz respeito quanto a determinação da natureza malha que é muito bem explicitada por (OLSEN, 1999), quando este analisa os seguintes pontos:

- **Forma:** a malha pode ser elaborada com células na forma triangular, conforme demonstrado na Figura 5 (somente em malhas não-estruturadas), ou em elementos de quatro lados, demonstrado na Figura 6, não sendo necessariamente quadrada ou retangular, como é o caso de malhas não estruturadas, conforme esta ilustrada na Figura 7.

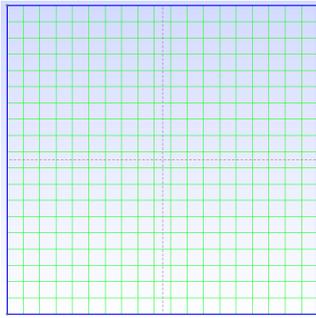


Figura 5 - Malha não-estruturada com elementos triangulares

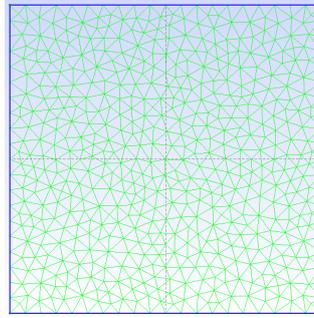


Figura 6 - Malha estruturada com elementos quadriláteros (quadrados)

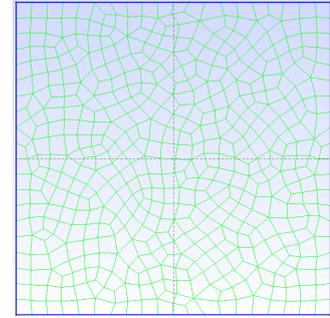


Figura 7 - Malha não-estruturada com elementos quadriláteros

Ortogonalidade: determinada pelos ângulos formados por duas linhas que se cruzam, sendo que se as linhas formarem entre si ângulos de 90° são chamadas de ortogonais, se o ângulo for diferente chama-se então de não-ortogonal, a diferença de uma para outra pode ser vista na Figura 5 e na Figura 7, que são não-ortogonais, já na Figura 6, pode-se verificar que a intersecção das linhas formam um ângulo de 90° , sendo assim uma malha ortogonal.

Estrutura: pode-se dividir em dois grupos: estruturada e não estruturada. Sendo que a estruturada é possível produzir uma matriz bidimensional. Ainda de acordo com (OLSEN, 1999), as malhas estruturadas são de uso comum no método dos volumes finitos (MVF) e as não estruturadas no método dos elementos finitos (FEM). (FORTUNA, 2012) traz a informação de que as malhas não estruturadas estão se popularizando pelo fato de possibilitarem a discretização de domínios complexos de forma mais fácil.

Blocos: quando a malha é estruturada e possui uma forma geométrica complexa é preciso dividi-la em blocos ou sub-regiões, que de acordo com (FORTUNA, 2012) serão “colados” posteriormente.

Posição da variável: na procura de uma melhor qualidade da malha, alguns modelos calculam suas variáveis em posições diferentes das outras, são as chamadas *malhas deslocadas*, se as variáveis estiverem na mesma posição são chamadas de *malhas não-deslocadas*. As malhas deslocadas são extremamente comuns na DFC, sendo que a propriedade que se encontra em posição diferente, normalmente, é a pressão. Para não se utilizar malhas deslocadas em problemas que tratam da pressão é preciso passar pelo processo de *acoplamento*.

5.2 . Problema

Com a teoria apresentada é possível determinar e descrever o problema a ser discutido para aplicação da teoria, atendendo a proposta deste trabalho que é voltada ao ensino, fazendo-se necessário um exemplo para fixação do conhecimento pelo

estudante.

5.3 Termodinâmica

Para aplicação do método das diferenças finitas será utilizado um problema de transferência de calor, onde uma placa quadrada, com dimensão lateral de 5un, é submetida em três de seus lados (L0,L2 e L3) ao aquecimento de 10°C e em seu lado restante (L1) esta sofre o aquecimento de 5°C. Como a aplicação de tal problema no Scilab ainda é de baixa complexidade será utilizada para tal problema uma malha estruturada ortogonal com um espaçamento relativamente grande (1un), conforme é mostrado a seguir na Figura 8.

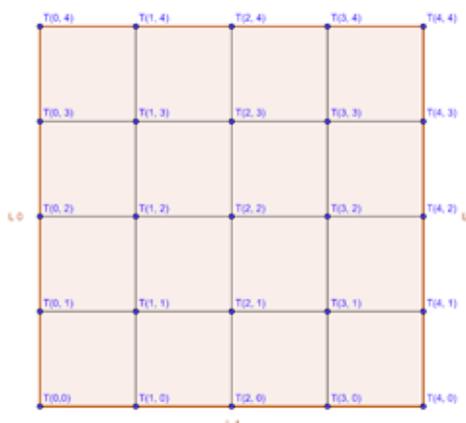


Figura 8 - Malha da placa

Para este tipo de problema a equação que rege o fenômeno é a equação de transferência de calor, que nada mais é que a equação de Laplace, que de acordo com (FORTUNA, 2012) representa as equações diferenciais parciais elípticas:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (8)$$

5.4 Condições de borda

O problema considera que os lados L0, L2 e L3 são aquecidos a 10°C e somente o lado L1 será aquecido com 5°C. Portanto os pontos da malha correspondentes a $y=4$ e x qualquer, $x=0$ e y qualquer e $x=4$ e y qualquer terão seus valores iniciais iguais a 10°C e o lado L1 onde os pontos possuem as coordenadas $y=0$ e x qualquer terão valores iniciais de 5°C.

Sendo assim, os pontos a serem calculados serão os que se encontram no centro da placa.

6 | RESOLUÇÃO

Para iniciar a resolução da equação (8) é preciso então discretiza-la pelo método

de expansão de Taylor, demonstrado anteriormente, levando-se em consideração que se trata de uma equação diferencial parcial de segunda ordem, uma vez que seus elementos são elevados ao quadrado.

Portanto, é necessário utilizar o processo para se chegar à equação (7), obtendo-se o resultado final:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T(x+m, y) - 2T(x, y) + T(x-m, y)}{m^2}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T(x, y+n) - 2T(x, y) + T(x, y-n)}{n^2} \quad (9)$$

Onde, considerando o espaçamento da malha que já fora determinado em 1un e trabalhando-se algebricamente na somatória dos dois termos é obtida a seguinte equação:

$$T(x+1, y) + T(x, y+1) - 4T(x, y) + T(x-1, y) + T(x, y-1) = 0 \quad (10)$$

Com a equação (10) determinada, é obtida então uma equação para cada um dos pontos encontrados no centro da placa que está sendo estudada, como para o ponto T(1,1) que terá suas propriedades calculadas pela seguinte equação:

$$T(1, 1) = T(2, 1) + T(1, 2) - 4T(1, 1) + T(0, 1) + T(1, 0) \quad (11)$$

Determinada as equações para os pontos (1,1 a 3), (2,1 a 3) e (3,1 a 3), é possível montar um sistema de equações que tornará a resolução numérica possível, o procedimento é simples e deve fazer com que as posições correspondam aos valores certos, da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} T(1,1) & T(1,2) & T(1,3) & \dots & T(1, n) \\ T(2,1) & T(2,2) & T(2,3) & \dots & T(2, n) \\ T(3,1) & T(3,2) & T(3,3) & \dots & T(3, n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T(m,1) & T(m,2) & T(m,3) & \dots & T(m, n) \end{bmatrix}$$

Para o problema analisado é preciso encontrar o resultado para 9 pontos, logo a matriz para sua resolução deverá possuir 9 linhas e 9 colunas (sendo que as linhas representaram as equações e as colunas representaram as variáveis que devem ser encontradas). Seguindo estes passos é possível encontrar o seguinte sistema:

$$\begin{bmatrix} -4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(1,1) \\ T(1,2) \\ T(1,3) \\ T(2,1) \\ T(2,2) \\ T(2,3) \\ T(3,1) \\ T(3,2) \\ T(3,3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -T(0,1) & -T(1,0) \\ -T(0,2) \\ -T(0,3) & -T(1,4) \\ -T(2,0) \\ 0 \\ -T(2,4) \\ -T(3,0) & -T(4,1) \\ -T(4,2) \\ -T(4,3) & -T(3,4) \end{bmatrix}$$

Critério de convergência

A convergência é o critério que garantirá que as propriedades obtidas por meio do cálculo numérico se aproximem dos valores exatos da resolução, ou seja, tenderão a 0 (zero) e possa então satisfazer ao critério de parada.

Para o método de Gauss-Seidel um critério de demonstração relativamente fácil para teste de convergência é o Critério de Sassenfeld, que analisa ponto a ponto e atribui coeficientes às equações destes pontos para analisar a sua convergência.

O método é aplicado para a primeira equação da seguinte forma algébrica:

$$\beta_1 = \frac{1}{|X_{1,1}|} \left(\sum_{j=2}^n |X_{1,j}| \right) \quad (12)$$

Assim é calculado um fator para o primeiro ponto, para as demais linhas começa a se multiplicar o termo pelo seu fator calculado anteriormente:

$$\beta_i = \frac{1}{|X_{i,i}|} \left(\sum_{j=1}^{i-1} |X_{i,j}| \beta_j + \sum_{j=i+1}^n |X_{i,j}| \right) \quad (13)$$

Ao realizar o cálculo para cada um dos pontos é analisado o resultado máximo que deve ser $\beta_{\max} < 1$, comprovando a convergência.

Portanto para o teste de convergência para o sistema de equações demonstrado é possível realiza-lo da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{1}{4}(1+0+1+0+0+0+0+0) = 0,5 \\ \beta_2 &= \frac{1}{4}(1,0,5+1+0+1+0+0+0+0) = 0,625 \\ \beta_3 &= \frac{1}{4}(0,0,5+1,0,625+0+0+1+0+0+0) = 0,40625 \\ \beta_4 &= \frac{1}{4}(1,0,5+0,0,625+0,0,40625+1+1+0+0) = 0,625 \\ \beta_5 &= \frac{1}{4}(0,0,5+1,0,625+0,0,40625+1,0,625+1+0+1+0) = 0,8125 \\ \beta_6 &= \frac{1}{4}(0,0,5+0,0,625+1,0,40625+0,0,625+1,0,8125+0+0+1) = 0,5547 \\ \beta_7 &= \frac{1}{4}(0,0,5+0,0,625+0,0,40625+1,0,625+0,0,8125+0,0,5547+1+0) = 0,40625 \\ \beta_8 &= \frac{1}{4}(0,0,5+0,0,625+0,0,40625+0,0,625+1,0,8125+0,0,5547+1,0,40625+1) = 0,5547 \\ \beta_9 &= \frac{1}{4}(0,0,5+0,0,625+0,0,40625+0,0,625+0,0,8125+1,0,5547+0,0,40625+1,0,5547) = 0,30235 \end{aligned}$$

Como o $\beta_{\max} = 0,8125 < 1$, então pelo critério de Sassenfeld o sistema converge.

7 | MÉTODO DE GAUSS – SEIDEL

O método de Gauss – Seidel trata-se de um método iterativo, ou seja, é um processo que se repete diversas vezes para se obter um determinado um determinado resultado que será utilizado na próxima etapa. Tal processo é definido por:

$$X^{(k+1)} = -(L^*+1)^{-1}R^*X^{(k)} + (L^*+1)^{-1}b^*$$

O resultado desse método consiste na determinação de uma sequência aproximada do índice K, como é exposto abaixo:

$$X1^{(k)}, X2^{(k)}, X3^{(k)}, \dots, Xn^{(k)}$$

Para esse processo são utilizados valores iniciais, ou seja:

$$X1^{(0)}, X2^{(0)}, \dots, Xn^{(0)}$$

Este método é utilizado em grande escala para resolução de sistemas lineares e principalmente não lineares. Muitas vezes é comparado ao método do Jacob, visto que ambos seguem os mesmos critérios de convergência, no entanto o primeiro método citado converge mais rapidamente, pois no método de Gauss é utilizado para o cálculo de cada componente $X^{(k+1)}$ o valor mais recente, o último utilizado, nas componentes anteriores. Sendo que a solução dá-se através de um conjunto de equações lineares ou não organizadas em matriz.

O problema aqui tratado foi resolvido por meio de uma planilha eletrônica, a qual pode ser verificada a seguir.

K	T(1,1)	T(1,2)	T(1,3)	T(2,1)	T(2,2)	T(2,3)	T(3,1)	T(3,2)	T(3,3)	E
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
1	3,750000	2,187500	5,546875	2,187500	1,093750	4,160156	4,296875	3,847656	7,001953	7,001953
2	4,843750	4,121094	7,070313	3,808594	3,984375	7,014160	5,664063	6,662598	8,41919	2,890625
3	5,732422	5,446778	8,115235	5,095215	6,054688	8,147278	6,689453	7,790833	8,984528	2,070313
4	6,385498	6,388855	8,634033	6,032410	7,089844	8,677101	7,205811	8,320046	9,249287	1,035156
5	6,855316	6,894798	8,892975	6,537743	7,607422	8,937421	7,464447	8,580289	9,379428	0,517578
6	7,108135	7,152133	9,022389	6,795001	7,866211	9,067007	7,593823	8,709866	9,444218	0,258789
7	7,236784	7,281346	9,087088	6,924205	7,995606	9,131728	7,658518	8,774586	9,476579	0,129395
8	7,301388	7,346021	9,119437	6,988878	8,060303	9,16408	7,690866	8,806937	9,492754	0,064697
9	7,333725	7,378366	9,135612	7,021224	8,092652	9,180255	7,707040	8,823112	9,500842	0,032349
10	7,349898	7,394541	9,143699	7,037398	8,108827	9,188342	7,715128	8,831199	9,504885	0,016175
11	7,357985	7,402628	9,147743	7,045485	8,116914	9,192386	7,719171	8,835243	9,506907	0,008087
12	7,362028	7,406671	9,149764	7,049528	8,120957	9,194407	7,721193	8,837264	9,507918	0,004043
13	7,364050	7,408693	9,150775	7,051550	8,122979	9,195418	7,722204	8,838275	9,508423	0,002022
14	7,365061	7,409704	9,151281	7,052561	8,123990	9,195924	7,722709	8,838781	9,508676	0,001011
15	7,365566	7,410209	9,151533	7,053066	8,124495	9,196176	7,722962	8,839033	9,508802	0,000505
16	7,365819	7,410462	9,151660	7,053319	8,124748	9,196303	7,723088	8,83916	9,508866	0,000253
17	7,365945	7,410588	9,151723	7,053445	8,124874	9,196366	7,723151	8,839223	9,508897	0,000126
18	7,366008	7,410651	9,151754	7,053508	8,124937	9,196397	7,723183	8,839254	9,508913	6,3E-05

8 | IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A implementação computacional em Scilab concentra-se mais em programar o solver, ou seja, o programa que irá solucionar o problema, o método numérico. No caso deste estudo foi utilizado o método de Gauss-Seidel demonstrado anteriormente para a solução da equação da condução de calor modelada por meio do método das

diferenças finitas.

Foi então possível obter os seguintes resultados demonstrados a partir da Figura 8- Transferência de calor $t=0$ até a Figura 12, onde é possível ver a evolução da transferência de calor desde as condições de borda até o momento em que o problema alcança o equilíbrio, sendo assim definido como um problema pseudo-transiente de acordo com (FORTUNA, 2012).

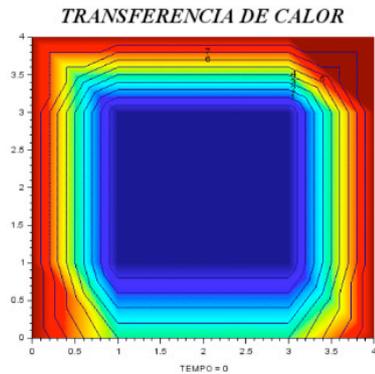


Figura 9 -Transferência de calor $t=0$

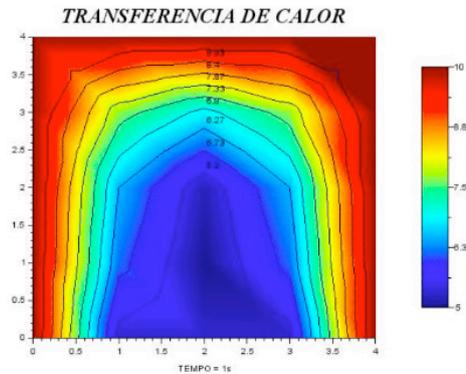


Figura 10 -Transferência de calor $t=1$

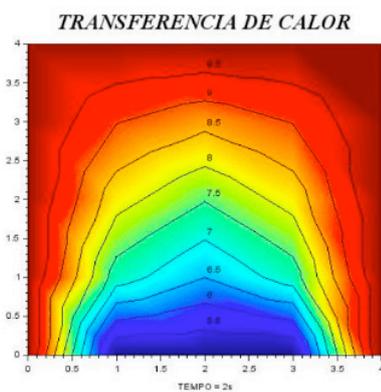


Figura 11 -Transferência de calor $t=2$

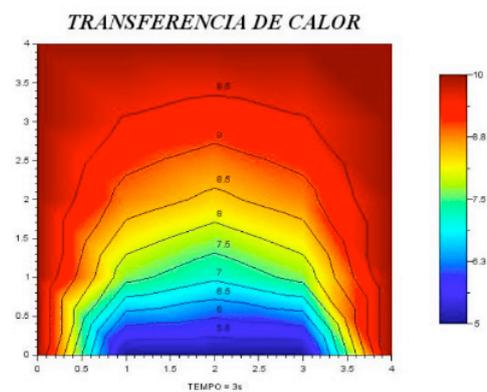


Figura 12 -Transferência de calor $t=3$

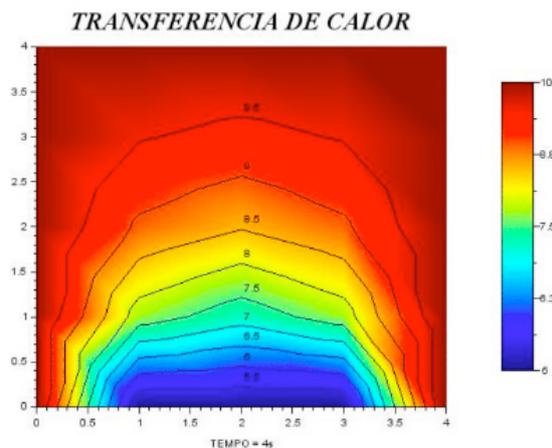


Figura 13 -Transferência de calor $t=4$

É possível que a definição dos gráficos elaborados em Scilab não são de grande definição, até pelo motivo de que faltam tratamentos numéricos para o código e que

pode ser um assunto para que o estudante vá mais a fundo neste conhecimento, servindo até mesmo para assunto de iniciação científica.

9 | CONCLUSÃO

Com a conclusão da pesquisa foi possível determinar que o Scilab pode ser uma ferramenta excelente para o aprendizado de iniciantes na DFC, possuindo uma interface muito agradável e que traz bons resultados. Entretanto, até que os pacotes básicos do programa se desenvolvam, este é satisfatório apenas para a introdução na resolução numérica de problemas físicos simples, dando espaço posteriormente à programas mais complexos, como por exemplo o OpenFOAM, contudo o usuário estará mais preparado para utilizar este último após entender os conceitos na programação para obtenção de resultados no Scilab.

Como fora citado no início deste trabalho, o desenvolvimento da pesquisa em DFC é de extrema importância e meios como o mostrado neste trabalho pode suprir a dificuldade de muitos estudantes que tentam entender os processos necessários para a modelagem dos problemas que necessitam deste tratamento.

REFERÊNCIAS

FERZIGER, J. H.; PERIC, M. **Computational Methods for Fluid Dynamics**. 3ª rev. ed. ed. [S.l.]: Springer, 2002.

FORTUNA, A. D. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. [S.l.]: LTC, 2008.

LOPES, L. C. O. **Utilizando o SCILAB na Resolução de Problemas de Engenharia Química**. XV COBEQ. Curitiba, PR: [s.n.]. 2004.

MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. 2ª revista e ampliada. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

OLSEN, N. R. B. **Computational Fluid Dynamics in Hydraulic and Sedimentation Engineering**. 2ª. ed. Trondheim, Noruega: The Norwegian University of Science and Technology, 1999.

VILAS BOAS, E. V.; FORMIGONI, P. O. **Uso de programas “Open Source” no ensino e na pesquisa de mecânica dos fluidos**. XI Workshop Multidisciplinar sobre Ensino e Aprendizagem. Campo Limpo Paulista: FACCAMP. 2015.

WEINHOLD, I. Myths of CFD. **Machine Design**, Cleveland, v. 79, n. 23, p. 88-90, December 2007. ISSN 00249114.

ZIENKIEWICZ, O. C.; TAYLOR, R. L. **The finite element method**. 4ª. ed. England: McGraw-Hill, v. Vol. 1: Basic formulation and linear problems, 198.

