

## TM-777 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO EM CFD

# **AULAS LECIONADAS EM 2010/3**

**Atualizado em 7 Fev 11 às 8:40 h**

As notas de aula digitais estão em [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/)  
 As leituras complementares estão em <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Bibliografia/>  
 Os aplicativos estão em <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>

### **Aula 24 (PLANO) em 12 Fev 2011 às 9:00 horas no Lena1**

Objetivo: segunda prova sobre os capítulos 5 a 11 do programa da disciplina.

Duração máxima da prova: 4 horas (das 9 às 13 horas)

### **Aula 23 (PLANO) em 7 Fev 2011**

Objetivos:

- Teoria sobre validação de soluções numéricas em CFD.
- Exemplos práticos relacionados à verificação e validação de soluções numéricas em CFD.

Notas de aula:

- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Extrato\\_norma\\_ASME\\_VeV\\_20-2009.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Extrato_norma_ASME_VeV_20-2009.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Extrato\\_TG\\_Jeremie\\_2006.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Extrato_TG_Jeremie_2006.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Extrato\\_relatorio\\_3\\_projeto\\_CFD5.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Extrato_relatorio_3_projeto_CFD5.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2004\\_Hobmeir\\_Marchi\\_CILAMCE\\_2004.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2004_Hobmeir_Marchi_CILAMCE_2004.pdf)

Tarefa para ENTREGAR até 18 Fev 2011: trabalho 5 disponível no arquivo

[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho\\_05\\_TM777\\_VeV-CFD\\_2010\\_3.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho_05_TM777_VeV-CFD_2010_3.pdf)

Leituras complementares:

- Capítulo 10 de Versteeg e Malalasekera (2007)
- Seção 11.1 de Ferziger e Peric (2002)

### **Aula 22 em 28 Jan 2011**

Objetivos:

- Teoria sobre erros de outra natureza em CFD.
- Procedimentos recomendados para detectar erros de outra natureza em CFD.
- Exemplos práticos de erros de outra natureza em CFD.

Notas de aula:

- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Eo/capitulo\\_10\\_outros\\_eros.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Eo/capitulo_10_outros_eros.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Eo/Estimacao\\_eros\\_discretizacao\\_protocolo\\_1p1.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Eo/Estimacao_eros_discretizacao_protocolo_1p1.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Eo/Freitas\\_1993.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Eo/Freitas_1993.pdf)
- Exemplo prático de erro de dedução nos arquivos disponíveis em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Eo/erro\\_deducao.zip](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Eo/erro_deducao.zip)
- Exemplo prático de erro de programação nos arquivos disponíveis em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Eo/erro\\_programacao.zip](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Eo/erro_programacao.zip)
- Exemplo prático de erro de usuário nos arquivos disponíveis em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Eo/erro\\_usuario.zip](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Eo/erro_usuario.zip)

Tarefa para a próxima aula: anotar dúvidas sobre a matéria já vista da segunda prova (caps. 5 a 10 do programa da disciplina); parte da próxima aula será dedicada ao esclarecimento destas dúvidas.

Tarefa para ENTREGAR até 28 Fev 2011: trabalho 4 disponível no arquivo

[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho\\_04\\_TM777\\_VeV-CFD\\_2010\\_3.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho_04_TM777_VeV-CFD_2010_3.pdf)

Leituras complementares:

- Capítulo 9 de: MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- Capítulo 7 de: ROACHE, P. J. **Fundamentals of computational fluid dynamics**. Albuquerque: Hermosa, 1998a.
- Capítulo 5 de: KNUPP, P.; SALARI, K. **Verification of computer codes in computational science and engineering**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2003.

## Aula 21 em 21 Jan 2011

Objetivos:

- Teoria sobre erros de arredondamento em CFD.
- Método para estimar e reduzir os erros de arredondamento.
- Como verificar na prática a precisão dos cálculos em Excel, Maple e Fortran
- Exemplos dos efeitos do erro de arredondamento em CFD.

Notas de aula:

- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/Notas\\_de\\_aula\\_Epi.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/Notas_de_aula_Epi.pdf)
- Manuscrito disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/propagacao\\_de\\_eros.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/propagacao_de_eros.pdf)
- Manuscrito disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/estimacao\\_e\\_reducao\\_de\\_Epi.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/estimacao_e_reducao_de_Epi.pdf)
- Demonstração com Excel para 2/3 e variando o número de casas decimais de 0 a 20
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/maple\\_T.txt](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/maple_T.txt)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/precisao\\_Fortran.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/precisao_Fortran.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/Figura\\_4.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/Figura_4.pdf)
- Arquivo disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aula\\_Epi/efecto\\_precisao\\_nos\\_processador\\_Diego.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aula_Epi/efecto_precisao_nos_processador_Diego.pdf)

Leituras complementares:

- Goldberg (1991)
- Juretic e Gosman (2010) [sobre erro de discretização 2D/3D em volumes finitos]

**AVISO:** por motivos de força maior, a aula 20 será a última deste ano de 2010. As aulas 21 a 24 serão ministradas somente em janeiro de 2011, em datas e horários a serem combinados com todos os alunos por e-mail meu no início de 2011.

## Aula 20 em 1 Dez 2010

Objetivos:

- Teoria sobre erros de iteração em CFD.
- Mostrar aplicações da teoria através de artigo e do programa ICE 1.0.

Notas de aula:

- Manuscrito disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Erros\\_de\\_Iteracao\\_Teorica\\_basica.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Erros_de_Iteracao_Teorica_basica.pdf)
- Artigo Martins e Marchi (2003) disponível na pasta  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2003\\_Martins\\_Marchi\\_CILAMCE\\_2003.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2003_Martins_Marchi_CILAMCE_2003.pdf)
- Aplicativo ICE 1.0 disponível na pasta  
<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>

## Aula 19 em 29 Nov 2010

### Objetivos:

- Mostrar aplicações de MER.
- Explicar novas variáveis do programa Richardson 3.0, relacionadas a MER, com o exemplo do programa Pecllet 1Dp 1.3 (26 malhas) da pasta do programa Richardson 3.1.

### Notas de aula:

- Artigo Marchi et al. (2011), da seção 5.2 até o fim, disponível na pasta [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2011\\_Marchi\\_Novak\\_Santiago\\_Vargas\\_submetido\\_NHT-B/](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2011_Marchi_Novak_Santiago_Vargas_submetido_NHT-B/)
- Artigo Marchi e Germer (2009), apenas COM MER, disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2009\\_Marchi\\_Germer\\_CILAMCE\\_2009.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2009_Marchi_Germer_CILAMCE_2009.pdf)
- Resumo do artigo Marchi et al. (2010) disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2010\\_Marchi\\_Araki\\_Alves\\_Suero\\_Goncalves\\_Pinto\\_ENCIT\\_2010.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2010_Marchi_Araki_Alves_Suero_Goncalves_Pinto_ENCIT_2010.pdf)
- Aplicativo Richardson 3.0 disponível na pasta <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>

### Leitura complementar:

- Marchi, Suero e Araki (2009)

**AVISO:** na aula do dia 6 de dezembro, segunda-feira, devido ao vestibular da UFPR, entrar pela portaria da biblioteca, no térreo, identificando-se como aluno de pós-graduação que terá aula às 7:30 no Lena3, na engenharia mecânica, com o prof. Marchi. Se tiver problema para entrar, ligue-me no celular 9906-5002.

## Aula 18 em 24 Nov 2010

### Objetivos:

- Teoria sobre multiextrapolação de Richardson (MER).
- Mostrar aplicações de MER.

### Notas de aula:

- Manuscrito disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Teoria\\_multiextrapolacao\\_Richardson.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Teoria_multiextrapolacao_Richardson.pdf)
- Artigo Marchi et al. (2011), até a seção 5.1, disponível na pasta [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2011\\_Marchi\\_Novak\\_Santiago\\_Vargas\\_submetido\\_NHT-B/](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2011_Marchi_Novak_Santiago_Vargas_submetido_NHT-B/)

## Aula 17 em 22 Nov 2010

### Objetivos:

- Mostrar o efeito da malha sobre a ordem efetiva do erro de discretização.
- Erros truncamento em malhas não-uniformes 1D de aproximações numéricas de volumes finitos para termos advectivos e difusivos.
- Tipos de refino de malhas não-uniformes de volumes finitos.
- Aplicar a teoria já vista sobre problemas difusivos e advectivos.

### Notas de aula:

- 1) Capítulo 19 disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 2) Artigo de Schneider e Marchi (2004) disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2004\\_Schneider\\_Marchi\\_CILAMCE\\_2004.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2004_Schneider_Marchi_CILAMCE_2004.pdf)
- 3) Artigo de Marchi e Silva (2000) disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2000\\_Marchi\\_Silva\\_SIMMECT\\_2000.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2000_Marchi_Silva_SIMMECT_2000.pdf)
- 4) Artigo de Schneider e Marchi (2006) disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2006\\_Schneider\\_Marchi\\_CILAMCE\\_2006.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2006_Schneider_Marchi_CILAMCE_2006.pdf)

### Leitura complementar:

- Fechamento da parte III (páginas 272 e 273) disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- Capítulo 21 disponível no arquivo [ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

## Aula 16 em 20 Nov 2010 às 9:00 horas

Objetivo: primeira prova sobre os capítulos 1 a 4 do programa da disciplina.

Duração máxima da prova: 4 horas (das 9 às 13 horas)

## Aula 15 em 17 Nov 2010

Objetivos:

- Erros de poluição e de truncamento em malhas não-uniformes 1D de aproximações numéricas de diferenças finitas para as derivadas de primeira e segunda ordens e média da variável primária.
- Esclarecer dúvidas sobre a matéria da primeira prova.
- Tipos de refino de malhas não-uniformes de diferenças finitas.
- Aplicar a teoria já vista sobre a advecção permanente de um escalar com fonte.
- Aplicar a teoria já vista sobre a difusão permanente de um escalar com fonte.

Notas de aula:

- 1) Página 215, Capítulos 14, 15 e 16, Tabela 17.6 e Capítulo 18 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

Leitura complementar:

- Capítulo 17 disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

## Aula 14 em 10 Nov 2010

Objetivos:

- Teoria e exemplos de estimativa de erro de discretização em problemas multidimensionais.
- Esclarecer dúvidas sobre a matéria da primeira prova.

Notas de aula:

- 1) Artigo Marchi e Silva (2005) [da seção "Simultaneous Refinement ..." na página 435 até o fim]  
disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2005\\_Marchi\\_Silva\\_JBSMSE.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2005_Marchi_Silva_JBSMSE.pdf)

Leitura complementar:

- Marchi, Suero e Schneider (2006)

## Aula 13 em 8 Nov 2010

Objetivos:

- Verificar o efeito do tipo de aproximação numérica sobre a equação de advecção-difusão 1D permanente.
- Verificar o efeito de normas de vetores sobre a análise de erros de discretização.
- Teoria e exemplos de estimativa de erro de discretização em problemas multidimensionais.

Notas de aula:

- 1) Artigo Marchi e Germer (2009), apenas SEM MER, disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2009\\_Marchi\\_Germer\\_CILAMCE\\_2009.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2009_Marchi_Germer_CILAMCE_2009.pdf)
- 2) Resumo do artigo Marchi e Martins (2010) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2010\\_Marchi\\_Martins\\_ENCIT\\_2010.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2010_Marchi_Martins_ENCIT_2010.pdf)
- 3) Artigo Marchi e Silva (2005) [até o fim da seção "One-Dimensional ..." na página 435] disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2005\\_Marchi\\_Silva\\_JBSMSE.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2005_Marchi_Silva_JBSMSE.pdf)

Leituras complementares:

- Marchi, Laroca, Silva e Hinckel (2004)
- Araki e Marchi (2008)

Tarefa para a próxima aula: anotar dúvidas sobre a matéria da primeira prova (caps. 1 a 4 do programa da disciplina); parte da próxima aula será dedicada ao esclarecimento destas dúvidas.

## Aula 12 em 3 Nov 2010

Objetivos:

- Aplicar a teoria já vista sobre a advecção-difusão permanente de um escalar.

- Verificar o efeito do número de Peclet e de correção adiada sobre erros e suas ordens das equações de advecção-difusão e Burgers 1D permanentes.
- Verificar o efeito do tipo de aproximação numérica no tempo e da existência ou não de termo fonte sobre a equação de Fourier 1D.

Notas de aula:

- 1) Capítulo 13 (páginas 200 a 209) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 2) Artigo Marchi e Alves (2008) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/2008\\_Marchi\\_Alves\\_CILAMCE\\_2008.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/2008_Marchi_Alves_CILAMCE_2008.pdf)

Leitura complementar:

- Fechamento da parte II (páginas 210 a 214) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

Tarefa para ENTREGAR em 17 Nov 2010: trabalho 3 disponível no arquivo

[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho\\_03\\_TM777\\_VeV-CFD\\_2010\\_3.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho_03_TM777_VeV-CFD_2010_3.pdf)

**Dia 1 Nov 2010:** recesso na UFPR (sem aula)

### **Aula 11 (PLANO) em 27 Out 2010**

Objetivos:

- Aplicar a teoria já vista sobre a advecção permanente de um escalar com fonte.
- Aplicar a teoria já vista sobre a difusão permanente de um escalar com fonte.

Notas de aula:

- 1) Capítulo 8 (páginas 136 a 156) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 2) Capítulo 12 (páginas 185 a 193) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

Leituras complementares:

- Capítulos 9, 10 e 11 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- Capítulo 12 (páginas 194 a 199) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

### **Aula 10 em 25 Out 2010**

Objetivos:

- Mostrar exemplo de uso do programa Richardson 3.1 com muitas malhas (26, Peclet 1Dp 1.3)
- Mostrar exemplo de uso do programa ACES 1.0 (soluções numéricas coerentes).
- Erros de poluição e de discretização em malhas uniformes 1D de aproximações numéricas para as derivadas de primeira e segunda ordens.
- Erro de truncamento de variáveis secundárias.
- Erro de truncamento de integral numérica pela regra do trapézio.
- Erro de truncamento de integral numérica pela regra do retângulo.

Notas de aula:

- 1) Aplicativo Richardson 3.1 (64 bits) disponível na pasta  
<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>
- 2) Aplicativo ACES 1.0 disponível na pasta  
<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>
- 3) Página 126 e Capítulo 7 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 4) Manuscrito disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/erro\\_variaveis\\_secundarias.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/erro_variaveis_secundarias.pdf)
- 5) Manuscrito disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/erro\\_integral\\_trapezio.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/erro_integral_trapezio.pdf)
- 6) Manuscrito disponível no arquivo

[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/erro\\_integral\\_retangulo.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/erro_integral_retangulo.pdf)

### **Aula 9 em 20 Out 2010**

#### Objetivos:

- Explicar novas variáveis do programa Richardson 3.0 com os exemplos da seção 2.9 da tese.
- Soluções numéricas coerentes.

#### Notas de aula:

- 1) Aplicativo Richardson 3.0 disponível na pasta  
<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>

- 2) Capítulo 20 disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

#### Leituras complementares:

- Capítulo 6 e fechamento da parte I (páginas 114 a 125) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- Marchi e Silva (1999)

### **Aula 8 em 18 Out 2010**

#### Objetivos:

- Envolventes da solução analítica e do erro de discretização.
- Solução numérica convergente e sua incerteza.
- Teoria básica do programa Richardson 3.0.

#### Notas de aula:

- 1) Seções 5.2 e 5.3 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

- 2) Manuscrito disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Teoria\\_basica\\_aplicativo\\_Richardson.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Teoria_basica_aplicativo_Richardson.pdf)

- 3) Conteúdo disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Richardson\\_3p0\\_variaveis.f90](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Richardson_3p0_variaveis.f90)

#### Leitura complementar:

- Marchi e Silva (2002)

### **Aula 7 em 13 Out 2010**

#### Objetivos:

- Ver exemplos de aplicação dos estimadores de erro de discretização Richardson, Delta, GCI, bicoeficiente e tricoeficiente.
- Definir ordem aparente da estimativa do erro de discretização, ver seu cálculo com base em três soluções numéricas, e ver exemplos.
- Definir intervalo de convergência da ordem aparente.
- Definir a série de Richardson.

#### Notas de aula:

- 1) Seções 3.6, 4.2, 4.3 e 5.1 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

- 2) Seção The Richardson Series (páginas 177 e 178) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Bibliografia/2002\\_Marchi\\_Silva\\_NHT\\_B.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Bibliografia/2002_Marchi_Silva_NHT_B.pdf)

#### Leituras complementares:

- a) Artigo Leonard (1994)
- b) Artigo Leonard (1995)

**Dia 11 Out 2010:** recesso na UFPR (sem aula)

### **Aula 6 em 6 Out 2010**

#### Objetivos:

- Definir estimativa do erro de discretização de uma variável de interesse e a sua equação geral

- Definir efetividade, confiabilidade e acuracidade de uma estimativa do erro de discretização
- Definir os estimadores de erro de discretização Richardson, Delta, GCI e multicoeficientes.

Notas de aula:

- 1) Equação 3.3 e texto pertinente, e seções 3.1 a 3.5 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)

### **Aula 5 em 4 Out 2010**

Objetivos:

- Aplicativo Richardson 3.0: executar 4 exemplos da seção 2.9 da tese; e exercício com base em DDS-1 para a derivada de primeira ordem da seção 2.9 da tese.
- Prever o erro de truncamento ( $\varepsilon$ ) e suas ordens de aproximações numéricas usadas com o método de volumes finitos.

Notas de aula:

- 1) Aplicativo Richardson 3.0 disponível na pasta  
<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>
- 2) Manuscrito disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Aproximacoes\\_erros\\_Volumes\\_Finitos.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Aproximacoes_erros_Volumes_Finitos.pdf)

Observações:

- A entrega do Trabalho 2 foi adiada para o dia 13 Out 10.
- A definição das variáveis dos exemplos do aplicativo Richardson 3.0 estão no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/Exemplos\\_Richardson\\_3p0.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/Exemplos_Richardson_3p0.pdf)

### **Aula 4 em 29 Set 2010**

Objetivos:

- Definir erro de discretização de uma variável de interesse e a sua equação geral
- Definir ordem efetiva do erro de discretização, ver seu cálculo com base em uma e duas soluções numéricas, prever os valores possíveis, e ver exemplos.
- Aplicativo Richardson 3.0: transferir; leia-me; mostrar padrões de arquivos de dados; executar exemplo de UDS-1 para derivada de primeira ordem da seção 2.9 da tese, com  $p_L$  e  $dp_L$  certos e errados.

Notas de aula:

- 1) Equações 3.1 e 3.2, e texto pertinente, disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 2) Seções 4.1 e 4.3 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 3) Aplicativo Richardson 3.0 disponível na pasta  
<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Aplicativos/>

Tarefa para ENTREGAR em 6 Out 2010:

- a) Trabalho 2 disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho\\_02\\_TM777\\_VeV-CFD\\_2010\\_3.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho_02_TM777_VeV-CFD_2010_3.pdf)

### **Aula 3 em 27 Set 2010**

Objetivo:

- Prever e medir o erro de truncamento ( $\varepsilon$ ) e suas ordens de aproximações numéricas usadas com o método de diferenças finitas.

Notas de aula:

- 1) Capítulo 2 (exceto seção 2.8) disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- 2) Subseções 2.3.5, 2.3.6, 2.4.2 e Tabela 2.1 disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/IMC\\_cap\\_02.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/IMC_cap_02.pdf)

Tarefa para ENTREGAR em 4 Out 2010:

- a) Trabalho 1 disponível no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho\\_01\\_TM777\\_VeV-CFD\\_2010\\_3.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Trabalho_01_TM777_VeV-CFD_2010_3.pdf)

## **Aula 2 em 22 Set 2010**

### Objetivo:

- Concluir a Introdução (definição dos conceitos básicos que serão usados na disciplina).

### Notas de aula:

- 1) Seções 1.6.1 a 1.7.2 (páginas 18 a 27, exceto a seção 1.6.5) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
  - 2) Seções 3.1 e 3.2 (páginas 1 a 5) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/TM701\\_CFD1\\_capitulo\\_3\\_2010\\_2.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/TM701_CFD1_capitulo_3_2010_2.pdf)
- Tarefa para 27 Set 2010:
- a) Ler as seções 3.3 a 3.7 (páginas 5 a 27) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/TM701\\_CFD1\\_capitulo\\_3\\_2010\\_2.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/TM701_CFD1_capitulo_3_2010_2.pdf)

## **Aula 1 em 20 Set 2010**

### Objetivos:

- Apresentar o plano de ensino da disciplina disponível em  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/plano\\_TM777\\_VeV-CFD\\_2010\\_3.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/plano_TM777_VeV-CFD_2010_3.pdf)
- Introdução: definir os conceitos básicos que serão usados na disciplina.

### Notas de aula:

- 1) Seções 1.2 a 1.6 (páginas 7 a 18) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
- Tarefa para 24 Set 2010:
- a) Ler seções 1.6.1 a 1.7.2 (páginas 18 a 27, exceto a seção 1.6.5) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/tese\\_Marchi\\_2001.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/tese_Marchi_2001.pdf)
  - b) Ler seções 3.1 e 3.2 (páginas 1 a 5) disponíveis no arquivo  
[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila\\_2010\\_3/TM701\\_CFD1\\_capitulo\\_3\\_2010\\_2.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM777/Apostila_2010_3/TM701_CFD1_capitulo_3_2010_2.pdf)