



Relatório técnico final do projeto

Otimização do método multigrid em dinâmica dos fluidos computacional

CFD-8

Processo CNPq 475885/2006-6

Período: 1 Out 2006 a 7 Dez 2008

Palavras-chave: *solver*, diferenças finitas, volumes finitos, transferência de calor, termoelasticidade, mecânica dos fluidos

Projeto de pesquisa financiado pelo
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)
através do Edital MCT/CNPq 02/2006 - Universal

Carlos Henrique Marchi (coordenador)

Professor efetivo adjunto da Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Caixa postal 19040, CEP 81531-980, Curitiba, PR

Telefone: (41) 3361-3126; Fax: (41) 3361-3701

e-mail: marchi@ufpr.br

Curitiba, 21 de janeiro de 2009.

RESUMO

O método *multigrid* é um dos métodos iterativos mais eficientes e gerais conhecidos hoje para solução de sistemas de equações. Teoricamente, o tempo de processamento (CPU) necessário para resolver um problema de dinâmica dos fluidos computacional (CFD), mesmo usando o método *multigrid*, pode ser reduzido de 10 a 100 vezes do atual. O objetivo principal deste projeto é desenvolver algoritmos com o método *multigrid* que permitam reduzir, em relação ao estado-da-arte atual, o tempo de CPU necessário para obter a solução numérica de problemas de transferência de calor, termoelasticidade e mecânica dos fluidos. O projeto está dividido em oito etapas, que serão executadas em dois anos por uma equipe de sete pesquisadores ligados a quatro instituições (UFPR, UEPG, Unibrasil e Unicenp). Tipos de malha a usar: totalmente uniforme, uniforme por direção, não-uniforme e não-estruturada. Alguns parâmetros a investigar: número de incógnitas; número de iterações internas; número de malhas; razão de engrossamento e de aspecto da malha; tipo de *solver*; esquemas CS e FAS; com e sem FULL-MG; tipos de restrição, prolongação e relaxação; tipo de condição inicial; tolerância e critério de convergência; métodos de diferenças finitas e volumes finitos; modelos matemáticos constituídos por uma, duas e três equações diferenciais, entre eles, equações de Laplace e de Navier-Stokes bidimensionais. Os resultados obtidos com a execução deste projeto foram: submetidos dois artigos a periódicos; publicados nove artigos em congressos; formado um doutor; concluídos três projetos de tese; realizados dois eventos; e adquiridos novos equipamentos para o grupo de pesquisa do coordenador do projeto e da UEPG. Além disso, estão em andamento: a submissão de três artigos para publicação em periódicos; a orientação de quatro teses de doutorado sobre o tema deste projeto, com defesas previstas para 2009 a 2011; a preparação de quatro artigos a serem publicados em congressos em 2009.

OBJETIVOS DO PROJETO

Os objetivos deste projeto são:

- 1) Desenvolver algoritmos com o método *multigrid* que permitam reduzir, em relação ao estado-da-arte atual, o tempo computacional necessário para obter a solução numérica de problemas de transferência de calor, termoelasticidade e mecânica dos fluidos.
- 2) Identificar causas da degeneração do desempenho do método *multigrid* em relação ao seu potencial teórico, contribuindo para atingir o objetivo 1.
- 3) Divulgar o método *multigrid* no Brasil e no exterior através de artigos, *site* do projeto, disciplinas de pós-graduação e apostila sobre o método.
- 4) Fornecer tema de tese para cinco doutorandos, sendo que três deles defenderão suas teses durante a execução do projeto.
- 5) Melhorar a infra-estrutura computacional dos dois grupos de pesquisa, registrados no CNPq, que integram este projeto, um da UFPR e outro da UEPG.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos com a execução deste projeto foram:

1 Tese de doutorado concluída e orientada pelo coordenador do projeto:

- PINTO, M. A. V. **Comportamento do *multigrid* geométrico em problemas de transferência de calor**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. Tese de doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia.

3 Projetos de tese de doutorado defendidos e aprovados, e orientados pelo coordenador do projeto:

- OLIVEIRA, F. **Otimização de ciclos, roteiros e parâmetros do *multigrid* geométrico com e sem anisotropia geométrica**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Projeto de tese de doutorado em Engenharia Mecânica.
- SANTIAGO, C. D. **Otimização do método *multigrid* geométrico para sistemas de equações 2D em CFD**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008. Projeto de tese de doutorado em Engenharia Mecânica.
- SUERO, R. **Otimização do método *multigrid* algébrico para problemas difusivos e advectivos 2D**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Projeto de tese de doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia.

2 Artigos submetidos a periódicos:

- MARCHI, C. H.; PINTO, M. A. V.; SANTIAGO, C. D.; OLIVEIRA, F. Optimal parameter values of the geometric multigrid method for one-dimensional problems. **Applied Mathematics and Computation**, 2008.
- PINTO, M. A. V.; MARCHI, C. H. Optimal parameter values of the geometric multigrid method for the two-dimensional Laplace equation. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 2008.

9 Artigos apresentados/publicados em congressos:

- PINTO, M. A. V.; MARCHI, C. H. Efeito da razão de aspecto de malha sobre o tempo de CPU para a equação de Laplace 2D resolvida com o método *multigrid*. In: XXVII CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE). **Anais...** Belém, 2006.
- PINTO, M. A. V.; MARCHI, C. H. Efeito de parâmetros do método *multigrid* CS e FAS sobre o tempo de CPU para a equação de Laplace bidimensional. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS (ENCIT). **Anais...** Curitiba, 2006.
- OLIVEIRA, F.; PINTO, M. A. V.; SANTIAGO, C. D.; MARCHI, C. H. Efeito de parâmetros do método *multigrid* CS e FAS sobre o tempo de CPU em problemas 1D lineares e não-lineares. In: XXVII CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE). **Anais...** Belém, 2006.

- SANTIAGO, C. D.; MARCHI, C. H. Optimum parameters of a geometric multigrid for a two-dimensional problem of two-equations. In: XIX INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING (COBEM). **Anais...** Brasília, 2007.
- PINTO, M. A. V.; MARCHI, C. H. Optimum parameters of a geometric multigrid for the two-dimensional Laplace's equation. In: XIX INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING (COBEM). **Anais...** Brasília, 2007.
- SUERO, R.; PINTO, M. A. V.; MARCHI, C. H. Efeito da anisotropia física sobre o método multigrid na solução da equação de advecção-difusão 2D. In: XXIX CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE). **Anais...** Maceió, 2008.
- OLIVEIRA, F.; PINTO, M. A. V.; MARCHI, C. H. Efeito de roteiros do método multigrid sobre o tempo de CPU para a equação de Laplace 2D. In: XXIX CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE). **Anais...** Maceió, 2008.
- SANTIAGO, C. D.; MARCHI, C. H. Parâmetros ótimos do método multigrid geométrico CS e FAS para problemas 2D com duas equações. In: XXIX CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE). **Anais...** Maceió, 2008.
- MARCHI, C. H.; NOVAK, L. A.; SANTIAGO, C. D. Múltiplas extrapolações de Richardson para reduzir e estimar o erro de discretização da equação de Laplace 2D. In: XXIX CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE). **Anais...** Maceió, 2008.

2 Eventos realizados e organizados pelo coordenador do projeto:

- 1º SEMINÁRIO DO PROJETO *MULTIGRID*, em 17 de abril de 2008, na UFPR, com a apresentação de cinco palestras sobre trabalhos realizados pela equipe do projeto e duas palestras de pesquisadores com interesse em aplicar *multigrid* em seus trabalhos.
- 5º SEMINÁRIO DO GRUPO DE CFD/UFPR, em 22 de outubro de 2008, na UFPR, com a apresentação de oito palestras sobre trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa em CFD da UFPR, sendo quatro trabalhos da equipe do projeto sobre *multigrid*.

Equipamentos:

A infra-estrutura do grupo de pesquisa em CFD, da UFPR, e do grupo da UEPG foi melhorada com os recursos financeiros deste projeto. Foram adquiridos:

- 4 microcomputadores
- 2 impressoras
- 1 compilador Fortran

COMENTÁRIOS FINAIS

Em resumo, os resultados obtidos com a execução deste projeto foram: submetidos dois artigos a periódicos; publicados nove artigos em congressos; formado um doutor; concluídos três projetos de tese; realizados dois eventos; e adquiridos novos equipamentos para o grupo de pesquisa do coordenador do projeto e para o grupo da UEPG.

Além disso, estão em andamento: a submissão de três artigos para publicação em periódicos; a orientação de quatro teses de doutorado sobre o tema deste projeto, com defesas previstas para 2009 a 2011; a preparação de quatro artigos a serem publicados em congressos em 2009.

A equipe original de sete pessoas foi ampliada com a inclusão de mais quatro: o prof. Leandro Franco de Souza (USP), a profa. Luciane Grossi Bombacini (UEPG), a profa. Viviana Cocco Mariani (PUC-PR) e a doutoranda Simone de Fátima Tomazzoni Gonçalves.

Material relativo aos resultados deste projeto estão disponíveis na internet em <ftp://ftp.demec.ufpr.br/CFD/>.

Agradecemos o apoio do CNPq a este projeto, que motivou a equipe e proporcionou avançar nas pesquisas realizadas no grupo de CFD da UFPR.