



Relatório técnico de execução parcial da UFPR do projeto

Validação em propulsão e aerodinâmica de foguetes

CFD-19

Período: 2013

Projeto número 20 financiado pela
Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)
Edital PRÓ-ESTRATÉGIA 50/2011

Carlos Henrique Marchi (UFPR)
(Coordenador-geral)

Curitiba, 29 de janeiro de 2014.

1 – RESULTADOS PRINCIPAIS ALCANÇADOS

Os resultados alcançados pelos três pesquisadores (C. H. Marchi, L. K. Araki e M. A. V. Pinto), e demais membros da equipe da UFPR, com a execução do projeto durante o seu segundo ano (2013) foram:

Artigos publicados em periódicos (3):

- MARCHI, C. H.; ARAKI, L. K.; ALVES, A. C.; SUERO, R.; GONÇALVES, S. F. T.; PINTO, M. A. V. Repeated Richardson extrapolation applied to the two-dimensional Laplace equation using triangular and square grids. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, p. 4661-4675, 2013.
- MARCHI, C. H.; NOVAK, L. A.; SANTIAGO, C. D.; VARGAS, A. P. S. Highly accurate numerical solutions with repeated Richardson extrapolation for 2D Laplace equation. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, p. 7386-7397, 2013.
- MARCHI, C. H.; GERMER, E. M. Effect of ten CFD numerical schemes on repeated Richardson extrapolation (RRE). **J Appl Computat Math** 2:128, 2013.

Artigos publicados em congressos (11):

- MORO, D. F.; MARCHI, C. H.; ARAKI, L. K.; BERTOLDO, G.; RADTKE, J. J.; GERMER, E. M. Validação da solução numérica do escoamento de ar a 17,25 bar e 833 K em tubeira com razão de expansão 6,6. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 6 p.
- GERMER, E. M.; MARCHI, C. H.; ARAKI, L. K.; MORO, D. F.; BERTOLDO, G.; RADTKE, J. J. Validação da solução numérica do escoamento de ar a 8,9 bar e 289 K em tubeira com razão de expansão 2,5. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.
- GIACOMINI, F. F.; MARCHI, C. H.; SANTIAGO, C. D. Multiextrapolação de Richardson para reduzir o erro de discretização de campos em CFD. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.
- BERTOLDO, G.; MARCHI, C. H.; ARAKI, L. K.; MORO, D. F.; GERMER, E. M.; RADTKE, J. J. Verificação e validação do coeficiente de arrasto frontal para escoamento supersônico e hipersônico de ar sobre cones. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.
- RADTKE, J. J.; MARCHI, C. H.; ARAKI, L. K.; BERTOLDO, G.; MORO, D. F.; GERMER, E. M. Verificação e validação da solução numérica do código Mach2D para problemas de propulsão de foguetes. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.
- ANUNCIACÃO, M. A. M.; PINTO, M. A. V.; ARAKI, L. K.; MARCHI, C. H.; MARTINS, M. A. Redução do erro de iteração e aceleração do método *multigrid* com o uso de extrapoladores. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.
- MARTINS, M. A.; MARCHI, C. H.; PINTO, M. A. V.; ARAKI, L. K.; GONÇALVES, S. F. T.; GROSSI, L.; LA GUARDIA, G. G. Efeito do tipo de norma sobre a ordem de acurácia do erro de soluções numéricas em CFD. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.
- MARTINS, M. A.; MARCHI, C. H.; NOVAK, L. A.; PINTO, M. A. V.; ARAKI, L. K.; GONÇALVES, S. F. T. Multiextrapolação de Richardson com interpolação para reduzir o

erro de discretização em CFD. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 5 p.

- GONÇALVES, S. F. T.; MARCHI, C. H.; PINTO, M. A. V.; ARAKI, L. K. Efeito de componentes do *full multigrid* sobre o tempo de CPU em problemas 2D de CFD. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013. 6 p.
- CARVALHO, N. F.; MARCHI, C. H.; PERSTCHI, C. T. Methods for calculating the thermal conductivity at the control-volume surfaces. In: XXII INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING (COBEM). **Anais...** Ribeirão Preto, 2013. 6 p.
- NEUNDORF, R. L. A.; Pinto, M. A. V.; ARAKI, L. K.; CALVETTI, L. Desempenho de um algoritmo multigrid paralelo aplicado à equação de Laplace. In: II Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sudeste (CMAC-SE). **Anais...** Bauru, 2013.

Resumos de artigos publicados em congressos (2):

- DIAS, E. L. S.; MARCHI, C. H.; MORO, D. F. Validação da solução numérica do escoamento de ar a 8,9 bar e 289 K em tubeira de motor-foguete com razão de expansão 2,5. In: Evento de Iniciação Científica da UFPR. **Anais...** Curitiba, 2013. p. 300. EVINCI/2013.
- QUELUZ, T. P.; MARCHI, C. H. Projeto, montagem e teste de um espaçomodelo de baixo custo. In: Evento de Iniciação Científica da UFPR. **Anais...** Curitiba, 2013. p. 300. EVINCI/2013.

Teses de doutorado concluídas (4):

- GIACOMINI, F. F. **Multiextrapolação de Richardson completa para reduzir o erro de discretização.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.
- GONÇALVES, S. F. T. **Estudo de parâmetros do método multigrid geométrico para equações 2D em CFD e volumes finitos.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.
- VARGAS, A. P. S. **Multiextrapolação de Richardson e esquemas de 1ª e 2ª ordens, mistos e Crank-Nicolson sobre as equações 2D de advecção-difusão e Fourier.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.
- MARTINS, M. A. **Multiextrapolação de Richardson com interpolação para reduzir e estimar o erro de discretização em CFD.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.

Dissertações de mestrado concluídas (2):

- ANUNCIACÃO, M. A. M. **Redução do erro de iteração e aceleração do método multigrid com o uso de extrapoladores.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Dissertação de mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia. Orientador: PINTO, M. A. V.
- NEUNDORF, R. L. A. **Desempenho de um algoritmo multigrid paralelo aplicado à equação de Laplace.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Dissertação de mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia. Orientador: PINTO, M. A. V.

Projetos (qualificações) de doutorado aprovados (0):

Projetos (qualificações) de mestrado aprovados (1):

- MORO, D. F. **Otimização teórico-experimental do empuxo de micromotor-foguete.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Projeto de dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.

Trabalhos de fim de curso de graduação concluídos (1):

- MORO, D. F. **Simulação numérica de escoamento em motor-foguete.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Trabalho de fim de curso de graduação em engenharia mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.

Orientações de iniciação científica concluídas (1):

- DIAS, E. L. S. **Validação da solução numérica do escoamento de ar a 8,9 bar e 289 K em tubeira de motor-foguete com razão de expansão 2,5.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Trabalho de iniciação científica de aluno de graduação em engenharia mecânica. Orientador: MARCHI, C. H.

Aplicativos computacionais relevantes implementados (2):

- MARCHI, C. H.; ARAKI, L. C.; BERTOLDO, G.; MORO, D. F.; GERMER, E. M.; RADTKE, J. J. **Mach2D 7.0** (1989-2013): solução numérica das equações de Euler e Navier-Stokes (laminar e turbulento) bidimensionais, em qualquer regime de velocidade, utilizando-se variáveis co-localizadas em coordenadas generalizadas de escoamentos reativos (congelado, equilíbrio químico local e taxa finita de reação). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.
- MARCHI, C. H.; MARTINS, M. A. **Richardson 4.0** (1998-2013): analisador e estimador de erros de discretização com base na extrapolação de Richardson. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

Relatórios de pesquisa preparados (0):**2 – OUTROS RESULTADOS E ATIVIDADES****Artigos submetidos a periódicos (4):**

- CARVALHO, N. F.; MARCHI, C. H.; PERSTCHI, C. T. Numerical schemes to calculate the thermal conductivity at the faces of volume controls. Submetido a **International Journal of Computer Mathematics**.
- SANTIAGO, C. D.; MARCHI, C. H.; SOUZA, L. F. Performance of geometric multigrid method for coupled two-dimensional systems in CFD. Submetido a **Applied Mathematical Modelling**.
- MARCHI, C. H.; GIACOMINI, F. F.; SANTIAGO, C. D. Repeated Richardson extrapolation to reduce field discretization error in computational fluid dynamics. Submetido a **Applied Mathematical Modelling**.
- MARCHI, C. H.; ALVES, A. C. Verification of numerical solutions of advection-diffusion and Burgers equations. Submetido a **SOP Transactions on Applied Mathematics**.

Artigos submetidos a congressos e aceitos (2):

- VARGAS, A. P. S.; M.; MARCHI, C. H.; PINTO, M. A. V. Multiextrapolação de Richardson e verificação da ordem de acurácia de esquemas híbridos sobre a equação 2D

de Fourier com termo fonte. In: I Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sul (CMAC-Sul). **Anais...** Curitiba, 2014. 6 p.

- MARTINS, M. A.; MARCHI, C. H.; ARAKI, L. K.; PINTO, M. A. V. Estimativa para o erro de discretização com o emprego de multiextrapolação de Richardson em CFD. In: I Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Sul (CMAC-Sul). **Anais...** Curitiba, 2014. 6 p.

Orientações em andamento em 25 Jan 2014 (15):

Orientador principal	Marchi	Araki	Pinto	Total
Iniciação científica	7	2	0	9
Trabalho de fim de curso	0	0	0	0
Mestrado	2	2	0	4
Doutorado	5	0	3	8
Total	14	4	3	21

Citações de artigos publicados em periódicos na base SCOPUS:

- 9 = MARCHI, C. H.
- 3 = ARAKI, L. K.
- 0 = PINTO, M. A. V.

Total = 12

Previsão de conclusão de orientações e defesas em 2014 (7):

3 = Doutorado (Bertoldo, Germer, Radtke)

2 = Mestrado (Foltran, Moro)

0 = Trabalho de fim de curso (-)

2 = Iniciação científica (Smythe, Oliveira)

Outras atividades executadas:

- Março: visita da empresa Acrux (participante do projeto), de São José dos Campos (SP)
- Abril: visita da empresa Boa Vista Modelismo (participante do projeto), de Recife (PE)
- Abril: foram formadas três equipes, com 18 de alunos de graduação, visando participar da competição de foguetemodelismo que seria realizada pela AEB (Agência Espacial Brasileira) em outubro.
- Abril: criado o blog “Foguete UFPR” (<http://fogueteufpr.blogspot.com.br/>) para apresentar notícias sobre as atividades com foguetes realizadas pelo grupo de foguetes da UFPR (www.foguete.ufpr.br) e pelo grupo de pesquisa em CFD, propulsão e aerodinâmica de foguetes da UFPR (www.cfd.ufpr.br).
- Junho: visita do pesquisador Artur E. M. Bertoldi (membro da equipe da UnB no projeto), da UnB, Brasília (DF)
- Junho: visita da empresa Inotech, de São José dos Campos (SP)
- Junho: visita do pesquisador Carlos Alberto Rocha Pimentel, da UFABC, de Santo André (SP)
- Julho: visita dos pesquisadores Juan Pablo de Lima Costa Salazar e Rafael de Camargo Catapan, da UFSC, de Joinville (SC)
- Agosto: dois pesquisadores (Marchi e Araki) e seis alunos de pós-graduação (Bertoldo, Radtke, Germer, Moro, Silva e Foltran), envolvidos no projeto, visitaram as equipes do projeto, e suas instalações, do IAE e ITA, bem como as empresas Acrux e Edge of Space, e a divisão de propulsão do IAE, além do Memorial Aeroespacial Brasileiro, em São José dos Campos (SP)

- Setembro: foi criado o *Festival de Minifoguetes de Curitiba* (que está sendo organizado por membros pesquisadores e estudantes da equipe da UFPR no projeto) a ser realizado em abril de 2014. Este evento pretende reunir principalmente grupos de estudantes universitários brasileiros para competirem em diversas categorias usando minifoguetes.
- Novembro: visita do pesquisador Rafael de Camargo Catapan e diversos alunos do curso de engenharia aeroespacial da UFSC, de Joinville (SC)
- Visando o desenvolvimento de um minifoguete para estudos de propulsão, aerodinâmica e trajetória, foram executadas as seguintes atividades: (1) estudos preliminares para preparo e queima de propelente baseado em nitrato de potássio e sacarose (KNSu); (2) pré-projeto de um motor-foguete para obtenção da velocidade de queima do propelente KNSu em função da pressão de combustão; e (3) testes de queima de amostras do propelente KNSu, à pressão ambiente, preparadas com cinco densidades diferentes.
- Ao longo do ano, foram realizados os seguintes experimentos com motores-foguete e minifoguetes ou seus sistemas: 76 testes de sistemas; 19 testes de propelentes; 20 testes de resistência; 143 testes estáticos; e 48 lançamentos. Portanto, no total, foram realizados 306 experimentos em solo e dinâmicos.

3 – ESTÁGIO DE CONSECUÇÃO DAS METAS ESTABELECIDAS

Meta 1: rede de pesquisa

- Etapa 1.1: implantar a rede. Em 2012 foi feito um site-piloto, mas seu uso efetivo seria muito complicado, necessitando apoio técnico. Assim, em 2013, criamos um blog (<http://fogueteufpr.blogspot.com.br/>) para divulgar as notícias e atividades do projeto, que é operado (blogger) pelo próprio coordenador do projeto. Além disso, temos usado e-mails para trocar informações entre os coordenadores das 5 instituições envolvidas no projeto. Também tem sido usado o endereço na internet <ftp://ftp.demec.ufpr.br/CFD>, do grupo de pesquisa da UFPR, para divulgar informações sobre o projeto. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.
- Etapa 1.2: publicar trabalhos. Foram publicados 16 trabalhos em periódicos e eventos. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.
- Etapa 1.3: incluir novos membros na rede. Foram incluídos na rede, através da equipe da UFPR, os seguintes novos pesquisadores: (1) Juan Pablo de Lima Costa Salazar e (2) Rafael de Camargo Catapan, ambos da UFSC, de Joinville (SC); (3) Carlos Alberto Rocha Pimentel e (4) Cayo Prado Fernandes Francisco, ambos da UFABC, de Santo André (SP); (5) Roberta Suero, do IFPR, de Paranaguá (PR); (6) Ana Paula da Silveira Vargas, da UNIBRASIL, de Curitiba (PR); (7) Márcio André Martins, da UNICENTRO, de Guarapuava (PR); e (8) Fabiana de Fátima Giacomini, da UTFPR, de Apucarana (PR). Também foram incluídos na rede, através da equipe da UFPR, os seguintes novos estudantes de pós-graduação: (1) Antônio Carlos Foltran (mestrado); (2) Ana Eliza Gonçalves Ferreira (doutorado); (3) Nicholas Dicati Pereira da Silva (mestrado); (4) Grazielli Vassoler Rutz (doutorado); (5) Sebastião Romero Franco (doutorado); (6) Márcio Alexandre Maciel de Anunciação (doutorado); (7) Carlos Alberto Rezende de Carvalho Junior (mestrado); e (8) Inajara da Silva Freitas. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.

Meta 2: obter resultados experimentais já existentes.

- Etapa 2.1: dados aerodinâmicos da equipe do IAE. Já recebemos diversos dados do IAE. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.
- Etapa 2.2: dados propulsivos da equipe do ITA. Não conseguimos obter nenhum dado ainda porque o motor-foguete do ITA está inoperante; eles estão buscando recursos financeiros para comprar um equipamento necessário para colocar o motor em operação. Em relação ao ano 2013, **nada foi executado do previsto.** Em andamento.
- Etapa 2.3: dados propulsivos da equipe da UnB. Embora tenhamos pedido por diversas vezes à equipe da UnB, ainda não recebemos nenhum dado deles. Em relação ao ano 2013, **nada foi executado do previsto.** Em andamento.
- Etapa 2.4: dados propulsivos da equipe do INPE. Já recebemos diversos dados do INPE. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.
- Etapa 2.5: dados aerodinâmicos de outras fontes. Foram obtidos dados disponíveis na literatura mundial. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.
- Etapa 2.6: dados propulsivos de outras fontes. Foram obtidos dados disponíveis na literatura mundial, sendo principalmente de trabalhos da NASA. Em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.

Meta 3: realizar novos experimentos.

- Etapa 3.1: experimentos aerodinâmicos da equipe do IAE. Em andamento.
- Etapa 3.2: experimentos propulsivos da equipe do ITA. Em andamento.
- Etapa 3.3: experimentos propulsivos da equipe da UnB. Em andamento.
- Etapa 3.4: experimentos propulsivos da equipe do INPE. Em andamento.
- Etapa 3.5: experimentos propulsivos da equipe da UFPR. Foram realizados 306 experimentos em solo e dinâmicos com minifoguetes durante 2013. Em andamento.

Meta 4: código computacional VonBraun

- Etapa 4.1: otimizar os subcódigos. Em 2012, foram publicados 4 relatórios técnicos a respeito. Em 2013, conseguiu-se um avanço significativo na redução do custo computacional de soluções numéricas das equações de Burgers utilizando-se múltiplas extrapolações de Richardson (MER). Em 2014, este avanço está sendo estendido às equações de Navier-Stokes incompressíveis, e em 2015 ao código Mach2D. Está previsto um novo esforço concentrado nesta etapa entre Set/14 e Ago/15. Em andamento.
- Etapa 4.2: melhorar os subcódigos. Em andamento; foram publicados 4 relatórios técnicos a respeito. Em 2013, conseguiu-se eliminar um problema relacionado ao efeito do passo de tempo sobre as soluções numéricas, bem como aplicar exatamente alguns dos tipos de condições de contorno no código Mach2D. Em andamento.
- Etapa 4.3: ampliar os subcódigos. A inclusão de radiação térmica avançou em 2013 através de uma dissertação de mestrado. Incluiu-se o método das características para

resolver escoamentos em tuberias (propulsão). Outros subcódigos são descritos abaixo na etapa 4.5. Em andamento.

- Etapa 4.4: verificar os subcódigos. Vários testes de verificação foram feitos em 2013, tanto em aerodinâmica quanto em propulsão, no desenvolvimento de alguns trabalhos já publicados em 2013. Mas, novos testes de verificação ainda deverão ser feitos. Em andamento.
- Etapa 4.5: criar a primeira versão completa do código computacional VonBraun. Nesse sentido, foi gerada a versão 7.0 do código Mach2D, bem como uma versão preliminar com interface gráfica para usuário. Também implementou-se o código Richardson 4.0, versão de usuário, que permite reduzir o erro de discretização. Avanços também foram obtidos no código Trajetoria, para cálculos de trajetória, e no código Flame 1.0 para problemas de combustão. Além disso, foram geradas versões preliminares do código Roache, para aplicar MER em campos 1D e 2D de diferenças finitas. Em andamento.
- Etapa 4.6: validar o código VonBraun com resultados experimentais já existentes. Os dados aerodinâmicos da equipe do IAE estão sendo usados em simulações feitas pela equipe da UFPR, visando validar o código Mach2D; um artigo conjunto entre as equipes do IAE e UFPR deverá ser publicado em 2014. Os dados propulsivos da equipe do INPE serão usados em 2014 em simulações da equipe da UFPR, visando validar o código Mach2D. Os dados obtidos em outras fontes já foram usados em simulações feitas pela equipe da UFPR, visando validar o código Mach2D; outras simulações e validações com estes dados ainda estão em andamento. Os dados propulsivos de outras fontes já foram usados em simulações feitas pela equipe da UFPR, visando validar o código Mach2D; outras simulações e validações com estes dados ainda estão em andamento. Em andamento.
- Etapa 4.7: treinar usuários das equipes do projeto interessadas no código VonBraun. A ser realizado.
- Etapa 4.8: validar o código VonBraun com os novos experimentos das equipes. A ser realizado.
- Etapa 4.9: gerar nova versão completa do código VonBraun. A ser realizado.
- Etapa 4.10: divulgar o código VonBraun. A ser realizado.

Meta 5: formar e aperfeiçoar pessoal

- Etapa 5.1: doutores. Foram titulados 4 doutores em 2013, conforme previsto no relatório anterior. Portanto, em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.
- Etapa 5.2: mestres. Foram titulados 2 mestres em 2013, conforme previsto no relatório anterior. Portanto, em relação ao ano 2013, foi executado 100% do previsto.

4 – CRONOGRAMA ATÉ A CONCLUSÃO DO PROJETO

Início: janeiro/2014.

Término: janeiro/2017.

Duração: 37 meses

Meta 1: rede de pesquisa. Período: jan/14 a jan/17.

- Etapa 1.1: implantar a rede. Período: jan/14 a dez/15.
- Etapa 1.2: publicar trabalhos. Período: jan/14 a jan/17.
- Etapa 1.3: incluir novos membros na rede. Período: jan/14 a jan/17.

Meta 2: obter resultados experimentais já existentes. Período: jan/14 a dez/14.

- Etapa 2.1: dados aerodinâmicos da equipe do IAE. Concluído.
- Etapa 2.2: dados propulsivos da equipe do ITA. Período: jan/14 a dez/14.
- Etapa 2.3: dados propulsivos da equipe da UnB. Período: jan/14 a dez/14.
- Etapa 2.4: dados propulsivos da equipe do INPE. Concluído.
- Etapa 2.5: dados aerodinâmicos de outras fontes. Concluído.
- Etapa 2.6: dados propulsivos de outras fontes. Concluído.

Meta 3: realizar novos experimentos. Período: jan/14 a jan/17.

- Etapa 3.1: experimentos aerodinâmicos da equipe do IAE. Período: jan/14 a jan/17.
- Etapa 3.2: experimentos propulsivos da equipe do ITA. Período: jan/15 a jan/17.
- Etapa 3.3: experimentos propulsivos da equipe da UnB. Período: jan/15 a jan/17.
- Etapa 3.4: experimentos propulsivos da equipe do INPE. Período: jan/14 a jan/17.
- Etapa 3.5: experimentos propulsivos da equipe da UFPR. Período: jan/14 a jan/17.

Meta 4: código computacional VonBraun. Período: jan/14 a jan/17.

- Etapa 4.1: otimizar os subcódigos. Período: jan/14 a jul/16.
- Etapa 4.2: melhorar os subcódigos. Período: jan/14 a jul/16.
- Etapa 4.3: ampliar os subcódigos. Período: jan/14 a jul/16.
- Etapa 4.4: verificar os subcódigos. Período: jan/14 a jul/16.
- Etapa 4.5: criar a primeira versão completa do código computacional VonBraun. Período: jan/14 a ago/16.
- Etapa 4.6: validar o código VonBraun com resultados experimentais já existentes. Período: jan/14 a jul/15.
- Etapa 4.7: treinar usuários das equipes do projeto interessadas no código VonBraun. Período: dez/14 a mai/15.
- Etapa 4.8: validar o código VonBraun com os novos experimentos das equipes. Período: jan/14 a jul/16.
- Etapa 4.9: gerar nova versão completa do código VonBraun. Período: set/16 a jan/17.
- Etapa 4.10: divulgar o código VonBraun. Período: jun/15 a jan/17.

Meta 5: formar e aperfeiçoar pessoal. Período: jan/14 a jan/17.

- Etapa 5.1: doutores. Período: jan/14 a jan/17.
- Etapa 5.2: mestres. Período: jan/14 a jan/17.

5 – EQUIPE PARTICIPANTE PELA UFPR

A equipe que participou da execução do projeto durante o ano 2013 soma 41 pessoas, e foi a seguinte:

5 professores doutores da UFPR

Carlos Henrique Marchi
Luciano Kiyoshi Araki
Márcio Augusto Villela Pinto
Simone de Fátima Tomazzoni Gonçalves
Alessandro Marques

12 professores colaboradores de outras instituições

Fabiane de Oliveira (UEPG)
Cosmo Damião Santiago (UTFPR)
Giuliano Gadioli La Guardia (UEPG)
Luciane Grossi (UEPG)
Juan Pablo de Lima Costa Salazar (UFSC)
Rafael de Camargo Catapan (UFSC)
Carlos Alberto Rocha Pimentel (UFABC)
Cayo Prado Fernandes Francisco (UFABC)
Roberta Suero (IFPR)
Ana Paula da Silveira Vargas (UNIBRASIL)
Márcio André Martins (UNICENTRO)
Fabiana de Fátima Giacomini (UTFPR)

7 doutorandos

Guilherme Bertoldo
Jonas Joacir Radtke
Eduardo Matos Germer
Ana Eliza Gonçalves Ferreira
Grazielli Vassoler Rutz
Sebastião Romero Franco
Márcio Alexandro Maciel de Anunciação

5 mestrandos

Diego Fernando Moro
Antônio Carlos Foltran
Nicholas Dicati Pereira da Silva
Carlos Alberto Rezende de Carvalho Junior
Inajara da Silva Freitas

12 graduandos

Éderson Luiz dos Santos Dias
Tobias Pinheiro Queluz
Gabriel Vergara
André Luis Smythe
Loreno Tischer Filho
Lucas Schlossmacher
Felipe Augusto Schwarzbach Caron
Ruan Henrique Colombo
Carlos Eduardo Germino Filho
Eduardo Boneti Moreira
Marlus Rafael Bially
Felipe Matheus Machado

6 – CONCLUSÃO

Em resumo, os resultados obtidos durante o segundo ano de execução deste projeto foram:

- Publicados 3 artigos em periódicos
- Publicados 11 artigos em congressos
- Publicados 2 resumos de artigos em congressos
- Concluídas 4 teses de doutorado
- Concluídas 2 dissertações de mestrado
- Aprovado 1 projeto de dissertação de mestrado
- Concluída 1 orientação de trabalho de fim de curso
- Concluída 1 orientação de trabalho de iniciação científica
- Implementadas 2 versões de aplicativo computacional relevante

Além disso:

- Foram submetidos 4 artigos para publicação em periódicos
- Foram submetidos 2 artigos a congressos, e já aceitos
- Estão em andamento a orientação de 8 teses de doutorado, 4 dissertações de mestrado e 9 trabalhos de iniciação científica
- Foram obtidas 12 citações de artigos publicados em periódicos

Os artigos, teses, dissertações, trabalhos de graduação, projetos de pesquisa, aplicativos computacionais e relatórios técnicos estão disponíveis na internet em <http://www.cfd.ufpr.br/>