



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/07.07.21.24-PRP

DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS DE VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE ELETRODINÂMICA ESPACIAL VISANDO HPC

Varlei Everton Menconi - Desenvolvedor
Odim Mendes Júnior - Supervisor
Margarete oliveira Domingues - Co-supervisora

Relatório de Atividade de Desenvolvimento Científico-Tecnológico -
Período do projeto: 01/07/2013 a
30/06/2015 INPE, CEA: 14 de junho de 2017

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3P8GPGB>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/07.07.21.24-PRP

DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS DE VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE ELETRODINÂMICA ESPACIAL VISANDO HPC

Varlei Everton Menconi - Desenvolvedor
Odim Mendes Júnior - Supervisor
Margarete oliveira Domingues - Co-supervisora

Relatório de Atividade de Desenvolvimento Científico-Tecnológico -
Período do projeto: 01/07/2013 a
30/06/2015 INPE, CEA: 14 de junho de 2017

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3P8GPGB>>

INPE
São José dos Campos
2017



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.



RELATÓRIO TÉCNICO

DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS DE VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE ELETRODINÂMICA ESPACIAL VISANDO HPC

Especificação do trabalho de desenvolvimento científico-tecnológico:

Este relatório do trabalho desenvolvido refere-se a projeto do processo institucional 455097/2013-5 do programa MCTI-INPE/PCI, número do processo individual 302451/2013-7, desenvolvido pelo engenheiro Varlei Everton Menconi, supervisionado pelo Dr. Odim Mendes Júnior, da Divisão de Geofísica Espacial (DGE), da Coordenação Geral de Ciências Espaciais (CEA), e co-supervisionado pela Dra. Margarete Oliveira Domingues, do Laboratório de Computação e Matemática Aplicada (LAC), da Coordenação de Tecnologias Especiais (CTE), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O seu conteúdo está situado no contexto de projetos maiores estruturadores em desenvolvimento no INPE, que dizem respeito a implantação e uso de um núcleo de processamento utilizando computadores de alto desempenho (HPC, High Performance Computer, financiamento: MCTI/FINEP/CT-INFRA 01120527-00, responsável de subprojeto Dr. Odim Mendes Jr.), com o objetivo de execução de modelagens de plasmas espaciais e astrofísicos. Juntamente com o pesquisador supervisor, o engenheiro participou da concepção e projeto do recurso HPC em 2011 e a decorrente submissão de projeto a FINEP/CT-INFRA e formação de equipe embrionária científica (na CEA e LAC) para utilização. Visando necessidades futuras da equipe no uso do HPC, iniciou-se um esforço de desenvolvimento de recursos de visualização científica e simulação de eletrodinâmica espacial.

1) Histórico

Em contexto histórico, em projeto anterior recente, uma abordagem de metodologia de análise multiescala de dados foi realizada com sucesso, encorajando uma outra etapa. Esta agora mais desafiadora e mais sofisticada. Este projeto atual, realizado pelo bolsista, insere-se, no contexto geral, no programa de pesquisas das Ciências Espaciais e Atmosféricas (Pol. Esp. 4183) e, no contexto específico, no projeto aprovado de bolsa de produtividade do CNPq, Protocolo No. 312246/2013-7, intitulado "Investigação de Processos de Plasma Espacial e sua Geofetividade Magnética", do pesquisador supervisor. O projeto faz parte também de uma cooperação entre o INPE (DGE/CEA e LAC/CTE) e a equipe de aplicações numéricas da École Normale Supérieure, do Centre Nationale de la Recherche Scientifique, e Université d'Aix-Marseille II, França, e com pesquisador do centro de estudos de MHD, da Alemanha.



2) Resumo do Projeto

O projeto realiza a instalação de ferramentas numérico-computacionais de interesse das pesquisas em Eletrodinâmica Espacial. Estabelece as configurações para otimização ao trabalho a ser desenvolvido. Analisa e seleciona casos para consideração. Define processos para receberem implementações numérico-computacionais específicas. Implementa códigos para os estudos de interesse quanto a cálculos e visualizações científicas. E realiza por fim testes de conceito e procede validações dos resultados.

3) Objetivo

Um dos objetivos principais no cumprimento da missão do INPE é realizar pesquisa científica e tecnológica para o domínio do Espaço Próximo. Assim, o projeto tem por objetivo específico produzir uma transposição dos conhecimentos científicos já estruturados para algoritmos computacionais e as adequadas implementações, constituindo nesta primeira etapa a realização de testes de conceito em ambiente de trabalho em situação real.

4) Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa

Como atividades, realizaram-se a instalação de modelos MHD e a escolha de recursos de visualização científica. A base para essas instalações foram a definição e configuração de recursos computacionais de processamento para apresentarem desempenho adequado, que implicam nas situações que permitem validar os modelos de interesse. Os resultados alcançados nas atividades foram a disponibilidade de recursos para a investigação científica e a produção de resultados científicos em decorrência.

4.1 - Atividades de instalação de Modelos MHD.

O arcabouço do trabalho realizado fica aqui descrito de maneira muito resumida. No estudo dos processos eletrodinâmicos espaciais, têm-se que as equações de movimento dos íons são determinadas pelos campo elétrico e magnético presentes no plasma, os quais por sua vez dependem da distribuição, densidade e corrente de íons, via equações de Maxwell. Tal comportamento torna o fenômeno altamente não-linear, de forma que a solução completa das equações para cada elétron e íon presente no plasma seja impossível. Nesse contexto surgem as considerações e simplificações frequentemente utilizadas no estudo de plasmas, tais como o modelo híbrido e MHD, explicados a seguir – entende-se aqui que somente se torna possível o desenvolvimento de tais trabalhos com o suporte de adequados recursos computacionais implementados. O que caracteriza um trabalho desafiador e dedicado.

Na magneto-hidrodinâmica (MHD) ideal, o plasma é descrito por um sistema de equações que representam a conservação da massa, do momento e da energia e a variação temporal do campo magnético. Tais equações são dadas, respectivamente, por



$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{c} - \nabla p \quad (2)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \nabla \cdot (e \mathbf{v}) = -p \nabla \cdot \mathbf{v} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \frac{c^2}{4\pi\sigma} \nabla^2 \mathbf{B} \quad (4)$$

onde ρ é a densidade de massa do fluido, \mathbf{v} é a velocidade do fluxo, p é a pressão térmica do plasma, e é a densidade de energia interna e σ é a condutividade do plasma. É importante mencionar ainda que a pressão p e a densidade ρ estão relacionadas por $p = (\gamma - 1)e$.

Tendo em mente que as equações acima foram deduzidas por meio de aproximações e suposições simplificadoras, é natural esperar que a abordagem discutida tenha limitações. Dessa forma, esse modelo se aplica somente quando nenhuma região do gás está distante do equilíbrio termodinâmico local, o plasma obedece a uma distribuição maxwelliana, o fluxo de calor não é importante, a suposição de neutralidade de carga é válida (ou seja, $\mathbf{n}_i \cong \mathbf{n}_e$) e as componentes de alta frequência do campo elétrico podem ser desprezadas.

O modelo híbrido é aplicado geralmente em plasmas não-colisionais, onde a massa dos elétrons pode ser desprezada. Tal abordagem consiste em resolver as equações relativas ao momento e à posição dos íons para cada partícula:

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \frac{q_i}{m_i} \left(\mathbf{E} + \frac{\mathbf{v}_i \times \mathbf{B} - \eta \mathbf{J}}{c} \right) \quad (5)$$

$$\frac{d\mathbf{x}_i}{dt} = \mathbf{v}_i \quad (6)$$

onde \mathbf{J} é a velocidade de corrente, η é a resistividade e \mathbf{v}_i a velocidade dos íons.

Por outro lado, o campo elétrico \mathbf{E} é calculado por

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi n_i e} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} - \frac{1}{n_i e c} \mathbf{J}_i \times \mathbf{B} - \frac{1}{n_i e} \nabla (n_e T_e) + \eta \mathbf{J} \quad (7)$$

onde T_e é a temperatura do gás de elétrons, enquanto \mathbf{n}_i e \mathbf{n}_e são as densidades numéricas de íons e de elétrons, respectivamente. Além disso, a lei de Ampère toma a forma:



$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi}{c} (\mathbf{J}_i + \mathbf{J}_e), \quad (8)$$

sendo \mathbf{B} o campo magnético e \mathbf{J}_i e \mathbf{J}_e representando as densidades de corrente de íons e de elétrons, respectivamente.

A temperatura T_e é calculada por meio de

$$\frac{\partial T_e}{\partial t} + \mathbf{v}_e \cdot \nabla T_e + \frac{3}{2} T_e \nabla \cdot \mathbf{v}_e = \frac{2}{3n_e} \eta \mathbf{J}^2 \quad (9)$$

com \mathbf{v}_e representando a velocidade dos elétrons.

Um modelo é definido como a representação de um processo físico, criado com o objetivo de se descrever os fenômenos relativos a tal processo e se fazer previsões. É importante mencionar que em geral tais modelos assumem a forma de equações matemáticas. Por outro lado, a simulação consiste basicamente no modelo em ação. Geralmente uma simulação é um código computacional que executa um ou mais modelos, no sentido de descrever o comportamento de um ou mais sistemas físicos. Entre os modelos de interesse neste trabalho estão o da Universidade de Nagoya, o da Universidade de Michigan (BAT-R US), da Universidade de Princeton (Athenas), o da Universidade de Chicago (FLASH), o modelo GPU da NASA e o módulo MHD do AMROC e de multiresolução que estão em desenvolvimento com parceria do LAC/INPE. O projeto se ocupou de dar condições, entre outras aplicações de análise, à detalhamento de recursos, sua configuração, seu funcionamento, e a produção de resultados. Um breve descrição destes modelos já em utilização são apresentadas a seguir.

1. O código de MHD da Universidade de Nagoya foi criado visando à modelagem da magnetosfera terrestre, onde a atmosfera é representada como uma grade uniforme de blocos cúbicos. É um sistema relativamente simples, porém com a desvantagem de que, para se obter alta resolução na região onde é necessário, deve-se consumir muitos recursos computacionais em regiões que não requerem alta resolução. Para detalhes, vide [13] e na página:
<http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/web1/simulation/index.html>
2. O modelo Block-Adaptive-Tree-Solarwind-Roe-Upwind-Scheme (BATS-R US) foi desenvolvido pelo Computational Magnetohydrodynamics (MHD) Group da Universidade de Michigan. Ele foi projetado usando o Message Passing Interface (MPI) e o FORTRAN90, sendo executado em grandes sistemas de computação paralela. Basicamente, ele resolve equações tridimensionais da MHD em volumes finitos [11]. Existem implementados diversos fluxos numéricos [15, 16]. Para detalhes, vide [6] e na página:



<http://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/modelinfo.php?model=BATS-R-US>

3. Athena é um código baseado nos métodos de Godunov de ordens superiores e que foi desenvolvido para a modelagem da MHD em cenário astrofísico. Particularmente, seu desenvolvimento foi orientado ao estudo do meio interestelar, formação de estrelas e fluxos de acreção. Detalhes podem ser encontrados em [5] e nas páginas:

<http://iopscience.iop.org/0067-0049/178/1/137/fulltext/>

<https://trac.princeton.edu/Athena/>

4. O modelo FLASH consiste em um software de alto desempenho, tendo arquitetura modular e flexível. Os módulos que compõem o sistema são intra-operáveis e podem ser combinados para gerar diferentes aplicações. Tal código é capaz de manipular múltiplos modelos físicos paralelamente, gerando simulações de, por exemplo, problemas de fluxo compressível encontrados em diversos cenários astrofísicos. Além disso, tais características tornam o FLASH especialmente adequado para a simulação de problemas magnetohidrodinâmicos e outros em física de plasma, por exemplo o FLASH possui um modelo híbrido desenvolvido pelo Instituto Espacial da Suécia [10]. Detalhes podem ser encontrados em [1] e na página:

<http://flash.uchicago.edu/site/flashcode/>

5. O modelo em MHD ideal em GPU recém lançado pela NASA e publicado em [2], já está implementado no servidor Walkjrjas da DGE/INPE e já foram adicionadas funcionalidades relativas a implementação e visualização das saídas para o ambiente VisIT:

<https://wci.llnl.gov/codes/visit/home.html>

Esse modelo tem características interessantes para compor um futuro modelo misto de arquiteturas de teste pois utiliza-se dos mesmos fluxos numéricos [12] e de correção de divergência descrita em [3]. A implementação de um modelo MR baseado neste código está em desenvolvimento na CAP/INPE com o apoio técnico deste bolsista.

6. O modelo de MHD utilizando análise multirresolução vem sendo implementado no INPE nos últimos anos [4,8,9] Esse modelo é baseado no modelo de MR hidrodinâmico descrito em [7,14].



Referências e citações bibliográficas mencionadas:

- [1] L. B. Reid A. Dubey and R. Fisher. Introduction to FLASH 3.0, with application to supersonic turbulence. **Phys. Scr.**, T132:014046, 2008.
- [2] C. M. Bard and J. C. Dorelli. A simple gpu-accelerated two-dimensional MUSCL-Hancock solver for ideal magnetohydrodynamics. **J. Comput. Phys.**, 259(0):444 – 460, 2014.
- [3] A. Dedner et al. Hyperbolic divergence cleaning for the MHD equations. **J. Comput. Phys.**, 175:645–673, 2002.
- [4] A. K. F. Gomes et al. An adaptive multiresolution method for ideal magneto-hydrodynamics using divergence cleaning with parabolic-hyperbolic correction. **Applied Numerical Mathematics**, 2014.
- [5] J. M. Stone et al. Athena: A new code for astrophysical MHD. **ApJ Supplement Series** , 178:137–177, Sept. 2008.
- [6] K. G. Powell et al. A solution-adaptative upwind scheme for ideal magneto-hydrodynamics. **J. Comput. Phys.**, 154(2):284–309, September 1999.
- [7] M. O. Domingues et al. An adaptative multiresolution scheme with local time stepping for evolutionary pdes. **J. Comput. Phys.**, 227:3758–3780, 2008.
- [8] M. O. Domingues et al. Extended generalized lagrangian multipliers for magnetohydrodynamics using adaptive multi-resolution methods. ESAIM: **Proceedings**, 43:95–107, December 2013.
- [9] A. K. F. Gomes. Análise multirresolução adaptativa no contexto da resolução numérica de um modelo de magnetohidrodinâmica ideal. Master's thesis, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, São José dos Campos, September 2012.
- [10] M. Holmström. Hybrid modeling of plasmas. In Proceedings of ENUMATH 2009, page 451–458. 8th **European Conference on Numerical Mathematics and Advanced Applications**, Springer, 2010.
- [11] R. J. LeVeque. Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. **Cambridge University Press**, Cambridge, UK, 2002.
- [12] T. Miyoshi and K. Kusano. A multi-state hll approximate riemann solver for ideal magnetohydrodynamics. **J. Comput. Phys.**, 208(1):315–344, 2005.
- [13] T. Ogino. A three-dimensional mhd simulation of the interaction of the solar wind with the earth's magnetosphere: The generation of field-aligned currents. **J. Geophys. Res.: Space Phys.**, 91(A6):6791–6806, June 1986.
- [14] O. Rousell, K. Schneider, A. Tsigulin, and H. Bockhorn. A conservative fully adaptative multiresolution algorithm for parabolic PDEs. **J. Comput. Phys.**, 188:493–523, 2003.
- [15] E. F. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics: A Practical Introduction. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 1999.
- [16] M. Wesenberg. Efficient Finite-Volume Schemes for Magnetohydrodynamics Simulations in Solar Physics. PhD thesis, **Universitat Freiburg**, Freiburg, Germany, 2003.



4.2 - Recursos computacionais de processamento implementados, utilizados para validar os modelos.

4.2.1 - cluster HPC "Orion-d11"

Participação no conceito, estudos de necessidades e equipamentos para um sistema computacional para pesquisas e simulações de plasmas espaciais, astrofísicos e de clima espacial da CEA/INPE.

Solução de Cluster HPC, de arquitetura 64 bits, formado pelo conjunto de 12 (doze) servidoras Supermicro (<http://www.supermicro.com>), motherboards modelo X9DRFF-iG+/-7G=/-iTG+/-7TG+. Cada unidade servidora é composta por:

- 02 (dois) processadores Intel Xeon, modelo E5-2660v2, 10 núcleos de processamento, 2.20 GHZ de frequência, 25 mb cache l2, totalizando assim 220 núcleos de execução. Taxa de rpeak nominal de 1.056 teraflops/s;
- 64 GBytes de memória RAM, DDR 3, 18666 ghz por servidora, totalizando 768 gigabytes para a solução;
- 1.2 TB de discos SAS (2 unidades de 600 GB) por servidora, totalizando 15.6 terabytes para armazenamento;
- GPU Nvidia, linha Tesla, modelo Kleper K20M, equipada por 2.496 CUDA cores, 5 GB de memória RAM GDDR5, bandwidht 208 GB. Taxa de rpeak nominal de 3.52 Tflops em simples precisão e de 1.17 Teraflps em dupla precisão;

Instalação e configuração do Sistema Operacional GNU/Linux, distribuição Cent/OS release 6.6 de arquitetura 64 bits como ambiente de desenvolvimento de aplicações, compilação e testes dos modelos computacionais desenvolvidos pelo grupo de pesquisa;

Planejamento de uso, recursos e processos computacionais do cluster pelos usuários e linha de pesquisa;

Planejamento de upgrade dos atuais recursos de hardware do cluster.

Apoio no processamento dos modelos numéricos em teste e em desenvolvimento pela linha de pesquisa.

4.2.2 - servidor "Moringa"

Servidor marca HP, linha Proliant, modelo ML350p, equipado com:

- 04 (quatro) processadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2640v2, de 2.00 GHZ de frequência, com 8 cores de processamento cada processador, totalizando 32 núcleos de processamento. Taxa de rpeak nominal de 128 gigaflops/s;
- 132 GB de memória RAM em módulos DDR3 de 1.866 ghz;
- 6 TB de disco para armazenamento;

Instalação e configuração do Sistema Operacional GNU/Linux, distribuição Opensuse, release 13.2 (Harlequin), arquitetura x86_64 bits como ambiente de desenvolvimento,



compilação e testes de aplicações dos modelos computacionais utilizados pelo grupo de pesquisa;

4.2.3 - servidor “Walkjrjas”

Servidor marca HP, linha Proliant, modelo DL585G5, equipado com:

- 04 (quatro) processadores AMD-Opteron (tm), modelo 8378, de 2.40 GHZ de frequência, com 4 cores de processamento cada processador, totalizando 16 núcleos de processamento. Taxa de rpeak nominal de 76.8 gigaflops/s;
- 32 GB de memória RAM, em módulos DDR2 de 800 mhz;
- 600 GB de disco para armazenamento;

Instalação e configuração do Sistema Operacional GNU/Linux, distribuição Ubuntu, release 14.04 (Trusty), arquitetura x86_64 bits como ambiente de desenvolvimento, compilação e testes de aplicações dos modelos computacionais utilizados pelo grupo de pesquisa;

4.2.4 - servidor “ThinkStation E32”

Servidor marca Lenovo, linha ThinkStation, modelo E32, equipado com:

- 01 (um) processador Intel(R) Xeon(R), modelo E3-1240v3 de 3.40GHz de frequência, com 4 cores de processamento, totalizando 4 núcleos de processamento. Taxa de rpeak 27.2 gigaflops/s;
- 08 GB de memória RAM, em módulos DDR3 de 1600 mhz;
- 01 TB de disco para armazenamento;
- 01 GPU Nvidia, linha NVS-Quadro, modelo K2000, equipada 384 CUDA cores, 2 GB de memória RAM GDDR5, bandwidth 64 GB.

Instalação e configuração do Sistema Operacional GNU/Linux, distribuição Ubuntu, release 14.04 (Trusty), arquitetura x86_64 bits como ambiente de desenvolvimento, compilação e testes de aplicações dos modelos computacionais utilizados pelo grupo de pesquisa;

5) Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

- Recursos computacionais implementados e com configuração otimizada.
- Cálculos e visualizações científicas de análises de Geofísica Espacial, possibilitando resultados científicos.
- Cálculos de modelagem para casos escolhidos de Eletrodinâmica Espacial, resultando em resultados científicos atualmente sob análise e posterior publicação pela equipe.



6) Publicações Científicas realizadas durante o período da bolsa

Artigos Publicados

- OJEDA, A. G.; MENDES, O. ; DOMINGUES, M. O. ; MENCONI, V. E. . *Daubechies wavelet coefficients: a tool to study interplanetary magnetic fluctuations. Geofísica Internacional*, v. 53, p. 101-115, 2014.

Artigos Submetidos

- M. O. DOMINGUES; O. MENDES; M. K. KAIBARA, V. E. MENCONI; E. Bernardes. *Explorando a transformada wavelet contínua*, Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), abril/2015.

O bolsista participou ativamente de diversas atividades de pesquisa do INPE. Essa participação está reconhecida explicitamente nos seguintes trabalhos:

- BINOD ADHIKARI. *HILDCAA-related effects recorded in middle-low latitude magnetometers*. 2015. Tese de doutorado em Geofísica Espacial - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- CLEDENILSON MENDONÇA DE SOUZA. *Aspectos da Variabilidade Espacial e Arrasto em Sítios Experimentais da Floresta Amazônica*. 2014. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- ARIAN OJEDA GONZALEZ. *Identification and characterization of interplanetary magnetic clouds*. 2013. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

7) Conclusões Gerais

O trabalho desenvolvido no projeto mostrou-se de importância para a Divisão de Geofísica Espacial, contribuindo com o compromisso do INPE de produção científica de excelência. Propiciando a articulação de cooperações, o projeto visando recursos HPC viabiliza trabalhos de um número maior de pesquisadores da CEA e de outras áreas parceiras, como LAC e outras instituições no exterior. Resultados científicos têm sido produzidos, analisados e submetidos a publicação em decorrência deste projeto.