



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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/01.13.16.49-PRP

**RESULTADO DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO  
FINEP 01.12.0527.00: AQUISIÇÃO, IMPLANTAÇÃO E  
FUNCIONAMENTO DO HPC PARA MODELAGEM DE  
PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E DE CLIMA  
ESPACIAL**

Odim Mendes Júnior  
Oswaldo Duarte Miranda  
Margarete Oliveira Domingues  
Marcelo Banik de Pádua  
Ivan Márcio Barbosa  
Renato Henrique Ferreira Branco  
Clezio Marcos de Nardin

Relatório de Atividade de  
Desenvolvimento Científico-  
Tecnológico Chamada pública  
MCTIC/FINEP/CT-INFRA-  
PROINFRA-01/2011.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UP4BT8>

INPE  
São José dos Campos  
2020

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):****Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

**Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

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

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

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/01.13.16.49-PRP

**RESULTADO DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO  
FINEP 01.12.0527.00: AQUISIÇÃO, IMPLANTAÇÃO E  
FUNCIONAMENTO DO HPC PARA MODELAGEM DE  
PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E DE CLIMA  
ESPACIAL**

Odim Mendes Júnior  
Oswaldo Duarte Miranda  
Margarete Oliveira Domingues  
Marcelo Banik de Pádua  
Ivan Márcio Barbosa  
Renato Henrique Ferreira Branco  
Clezio Marcos de Nardin

Relatório de Atividade de  
Desenvolvimento Científico-  
Tecnológico Chamada pública  
MCTIC/FINEP/CT-INFRA-  
PROINFRA-01/2011.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UP4BT8>

INPE  
São José dos Campos  
2020



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 de Atividade de Desenvolvimento Científico-Tecnológico

### **RESULTADOS DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO FINEP 01.12.0527.00: AQUISIÇÃO, IMPLANTAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO HPC-CEA PARA MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E DE CLIMA ESPACIAL**

#### **Resumo:**

Este documento apresenta o relatório da atividade de desenvolvimento científico e tecnológico referente a subprojeto com financiamento obtido no projeto MCTIC/FINEP/CT-INFRA processo 01.120527.00, decorrente do edital da Chamada pública MCTIC/FINEP/CT-INFRA – PROINFRA – 01/2011. Este subprojeto designado como *Sistemas de Clusters Computacionais para simulações computacionais em plasmas espaciais e astrofísicos* da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA/INPE) tem por responsável e supervisão o Dr. Odim Mendes Júnior, contando com o auxílio de uma equipe de coordenação. O objetivo primordial foi a aquisição, implantação e funcionamento do HPC-CEA para modelagem de plasmas espaciais, astrofísicos e de processos de clima espacial. Neste relatório, compondo o conteúdo, descrevem-se o contexto e a fundamentação científica desta iniciativa desenvolvida; os equipamentos adquiridos e instalados; os recursos de infraestrutura computacionais por meio de uma documentação visual; as etapas realizadas; as utilizações até o momento; os resultados já obtidos; outros aprimoramentos alcançados por novas colaborações; e comentários finais. Cabe destacar que esta iniciativa e estes esforços propiciaram a estruturação no Brasil de um ambiente dedicado à computação científica espacial e estão dando origem a uma área emergente de modelagem numérico-computacional para plasmas espaciais, astrofísicos e de aplicações espaciais para clima espacial. Fica assim demonstrado, portanto, o sucesso do teste de conceito. A expectativa é sensibilizar a novos financiamentos o governo e motivar empreendimentos pela sociedade para aprimoramento robusto na capacidade computacional da área espacial, que constitui uma das áreas estratégicas de grande importância na geopolítica nesta metade do século XXI. Este relatório amplia, por atualização, o relatório de 12 de abril de 2018, constituindo agora versão final de 12 de outubro de 2018, e publicada em outubro de 2019.



**CHAMADA PÚBLICA MCTIC/FINEP/CT-INFRA – PROINFRA – 01/2011**  
**RELATÓRIO CIENTÍFICO DE SUBPROJETO: 09 DE OUTUBRO DE 2019**

**TÍTULO DO SUBPROJETO:**

Sistemas de Clusters Computacionais para simulações computacionais em plasmas espaciais e astrofísicos da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA/INPE)

**COORDENADOR DO SUBPROJETO:**

Dr. Odim Mendes Júnior, DIDGE, CGCEA - INPE

**PROPÓSITO DO PROJETO:**

SISTEMA DE SERVIDORAS PARA PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL EM PLASMAS ESPACIAIS

**METAS FÍSICAS DO PROJETO:**

(1) Aquisição e (2) instalação de um sistema computacional para pesquisas e simulações em plasmas espaciais, astrofísicos e de processos de clima espacial da CGCEA

**EQUIPAMENTO E MATERIAL PERMANENTE NACIONAL:**

SISTEMA DE SERVIDORAS PARA PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL EM PLASMAS ESPACIAIS

**EXECUÇÃO ORÇAMENTÁRIA:**

Duas unidades clusters, cada R\$ 354.779,00, no montante de R\$ 709.558,00

**DESCRIÇÃO TÉCNICA RESUMIDA:**

Com a execução do subprojeto, constituiu-se um sistema de computação de alto desempenho (HPC, High Performance Computer) para pesquisas e simulações em plasmas espaciais, astrofísicos e processos de clima espacial da CGCEA. Esse sistema HPC está composto de e identificado pelos hostnames dos clusters e suas finalidades:



orion-d11.cea.inpe.br

(cluster para pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico em plasmas espaciais e astrofísicos)

helios.cea.inpe.br

(preferencialmente, mas não necessariamente, cluster de aplicação para operação em clima espacial)

### **CONTEÚDO DO RELATÓRIO:**

Este relatório, atualizado em 12 de outubro de 2018 como versão final, compõe-se de:

1. Contexto e fundamentação científica do subprojeto
2. Descrição do equipamento recebido
3. Fotos do equipamento completo
4. Etapas atuais realizadas do subprojeto
5. Descrição do estado de utilização
6. Resultados obtidos (Parte 1)
7. Resultados obtidos (Parte 2)
8. Outros aprimoramentos por colaboração
9. Comentários finais



## **1 - Contexto e fundamentação científica do subprojeto**

A Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas desenvolve desde a origem da instituição, em 1961, pesquisas para o conhecimento do ambiente espacial e da própria atmosfera ionizada do planeta Terra. Os esforços envolvendo o desenvolvimento de estudos observacionais e a elaboração de experimentos fizeram-se com sucesso ao longo da evolução do instituto. No entanto, as condições para se manter na vanguarda científica e tecnológica implicam implantar e evoluir em um centro que possibilite a modelagem dos fenômenos de plasmas que caracterizam o espaço, as regiões do ambiente espacial mais vizinhos à Terra, a compreensão da eletrodinâmica da atmosfera ionizada planetária e ainda os aspectos de influência do campo magnético da Terra na interação com esse meio espacial.

Via o projeto MCTI/FINEP/CT-INFRA – PROINFRA – 01/2011 (processo 01120527-00) da coordenação do Dr. Oswaldo Duarte Miranda - INPE, com este subprojeto “Sistema de servidoras para processamento computacional”, no custo real de R\$ 709.558,00, sob a liderança e a coordenação do Dr. Odim Mendes Jr., da Divisão de Geofísica Espacial (DIDGE), foi implantada uma infraestrutura pioneira de computação de alto desempenho (High Performance Computer), designada como HPC/CEA. A sua finalidade é prover os grupos de Astrofísica, Geofísica Espacial e Clima Espacial de infraestrutura para simulação de plasmas espaciais e astrofísicos. Com este propósito, foram feitas parcerias com pesquisadores do Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada (LAC) para o avanço em metodologias de vanguarda com o propósito de aplicações aos estudos de plasmas espaciais e astrofísicos. O sucesso deste projeto envolveu a participação e cooperação de um time numeroso de pesquisadores e profissionais de excelência da instituição. Salienta-se em especial o auxílio inestimável do Engenheiro de Ciências de Computação Varlei Everton Menconi, que foi bolsista do programa MCTIC-INPE/PCI (processos 302451/2013-7 e 170085/2016-3).

Os objetivos científicos pretendidos com essa nova capacidade institucional, e que estão em franco desenvolvimento, são:

- ✓ Modelagens magneto-hidrodinâmicas e híbridas de plasmas espaciais: análise de teorias físicas e teste de modelos;
- ✓ Modelagens magneto-hidrodinâmicas e híbridas de plasmas espaciais: desenvolvimentos avançados de métodos matemáticos e técnicas computacionais;
- ✓ Investigação de processos físicos solares, astrofísicos, interplanetários, magnetosféricos, ionosféricos, geomagnéticos, e da interação eletrodinâmica Sol-Terra pelo confronto de resultados experimentais e resultados de processos modelados.





- ✓ Desenvolvimento de aplicações no contexto de tempo e clima espaciais, implementando ou criando produtos e serviços das demandas recentes e crescentes da sociedade.
- ✓ Análise de efeitos do ambiente espacial sobre o ambiente terrestre e sobre as facilidades do cotidiano humano, como telecomunicações, geoposicionamento, aeronavegação, prospecções geofísicas, segurança de serviços eletro-eletronicamente sensíveis, caracterização de parâmetros para a meteorologia, etc.

Este relatório, cuja primeira versão foi de 12 de abril de 2018, foi atualizado até 12 de novembro de 2018 para constituir a versão final. Ele documenta o sucesso da realização do subprojeto e os produtos que já puderam ser conseguidos (e continuam se ampliar) com sua existência. Revela-se de grande importância estratégica para o país contar o desenvolvimento de estrutura HPC robusta para modelagens de plasmas espaciais, astrofísicos e de aplicação a programa de clima espacial. A prova de conceito alcançou pleno sucesso, contando a primeira vez no país com uma ferramenta bem estabelecida para as pesquisas de simulações em ciências espaciais, um time bastante amplo de pesquisadores interessados e interatuantes, e esforços de desenvolvimento no Brasil ambicionando uma atuação para a vanguarda desta área de ciências. Como uma conclusão muito clara, este financiamento deve continuar e aprofundar todas as potencialidades que um tal recurso suscita.

## **2 - Descrição do Equipamento recebido**

O equipamento adquirido e já completamente instalado com recursos CT-INFRA/FINEP, conforme estabelecido no projeto, constitui-se de um sistema com dois clusters para maior desempenho computacional: um para atender a área de pesquisa científica e o outro para atender as aplicações de ciências para Clima Espacial e atingir condição de operação.

Cada parte do sistema HPC, os clusters do Orion-d11 e do Helios, é composta pelos seguintes recursos estruturantes:

12 (doze) servidores Supermicro (<http://www.supermicro.com>), sendo um destes servidores com a função de head-node e storage-node e os outros 11 servidores com a função de work-node. Cada unidade destes servidores compostas por:

- Motherboards server Supermicro, modelo X9DRFF-iG+/-7G=-iTG+/-7TG+;
- 02 (dois) processadores Intel Xeon, modelo E5-2660v2, 10 núcleos de processamento, 2.20 GHZ de frequência, 25 mb cache l2, totalizando 220 núcleos de execução;



- 64 GBytes de memória RAM, DDR 3, 18666 ghz por node/servidor. (Totalizando 768 gigabytes de memória RAM para cada cluster);
- 1.2 TB de discos SAS ( 2 unidades de 600 GB) por node/servidor. (Totalizando 15.6 terabytes para armazenamento);

Observação: A fabricante (Supermicro) agrupa 4 (quatro) unidades de servidores em um console proprietário.

03 unidades GPGPU's Nvidia, linha Tesla, modelo Kepler K20M. Cada GPU equipada por:

- 2.496 CUDA cores, 5 GB de memória RAM GDDR5, bandwidth 208 GB;
- 01 Switch 3 COM, 24 portas Giga-Ethernet L3 para rede de comunicação e gerenciamento entre os nodes computacionais;
- 01 Switch Mellanox, 16 portas para rede infiniband 40 Gbps, para fluxo de processamento e dados entre os nodes-computacionais;
- 01 Console KVM BlackBox 16 portas e vídeo LCD para comutação de vídeo e teclado entre os nodes computacionais;
- 01 UPS APC, modelo Smart-UPS RT 15000 RM XL, de 15 kva's para alimentação elétrica do cluster;
- 01 Rack ATTIC, 44 U's, para comportar os equipamentos que compõem cada cluster.

### 3 - Fotos do equipamento completo, instalado e em funcionamento



Fig. 01 - Clusters recebidos e instalados



Fig. 02 - Operação em console do cluster

Detalhamento visual circunstanciado em 04 de abril de 2018:



Fig. 03 – À esquerda, frente e, à direita, fundos dos clusters, respectivamente, Órion-d11 e Helios.

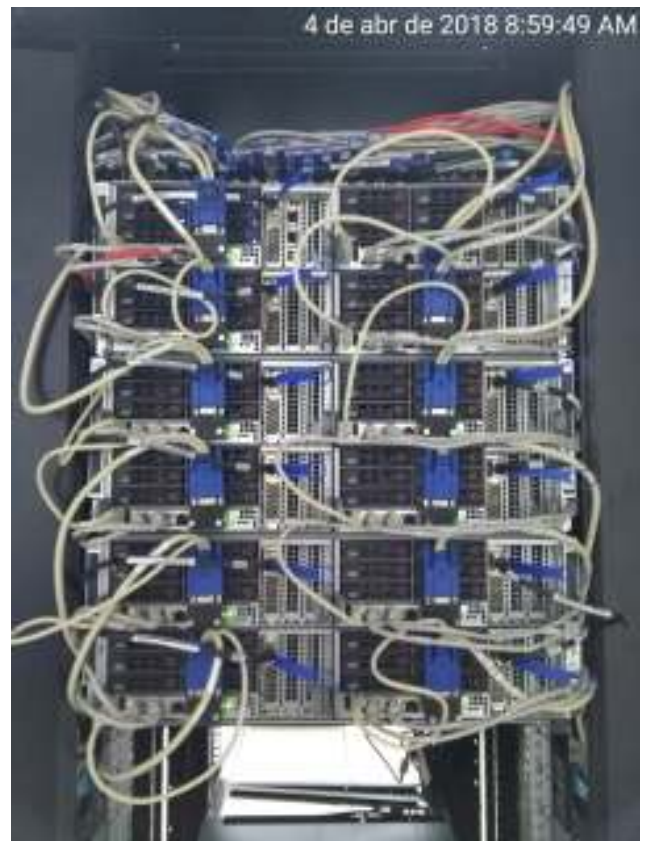


Fig. 04 – No orion-d11, placa de patrimônio, nós computacionais, unidade de armazenamento e a porta da unidade.

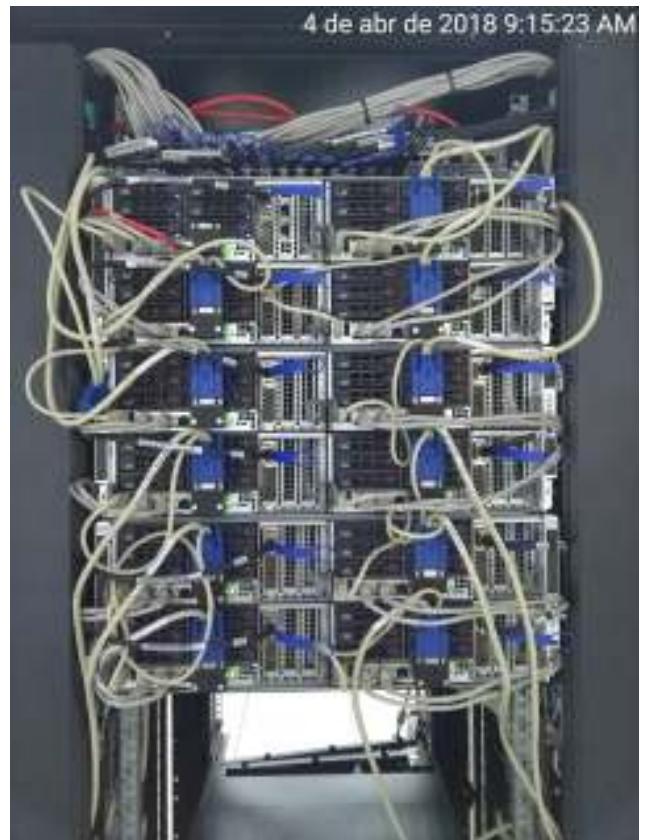


Fig. 05 – No helios, placa de patrimônio, nós computacionais, unidade de armazenamento e a porta da unidade.

Detalhamento visual de conservação, de ampliação técnica e pleno funcionamento em 29 de outubro de 2018:

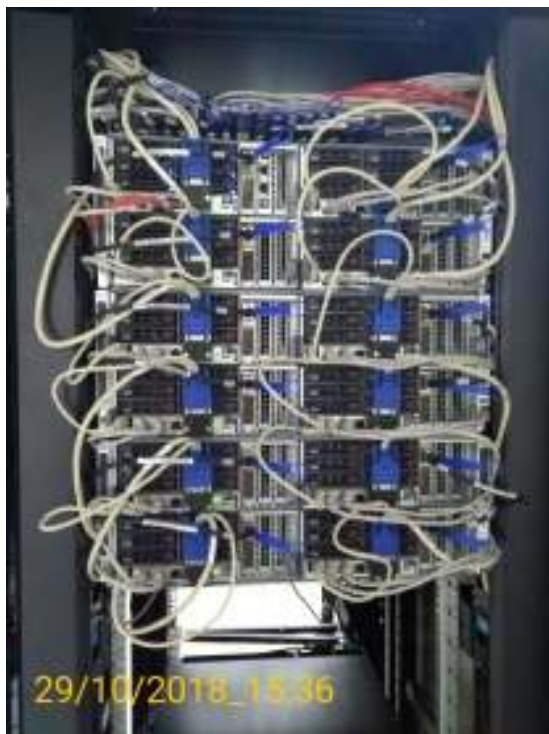


Fig. 06 – Do orion-d11, a vista frontal, a vista traseira, as conexões, e a unidade de armazenamento.



Fig. 07 – No orion-d11, a constatação do estabelecimento do patrimônio institucional. Há um elemento a mais instalado do que no helios.

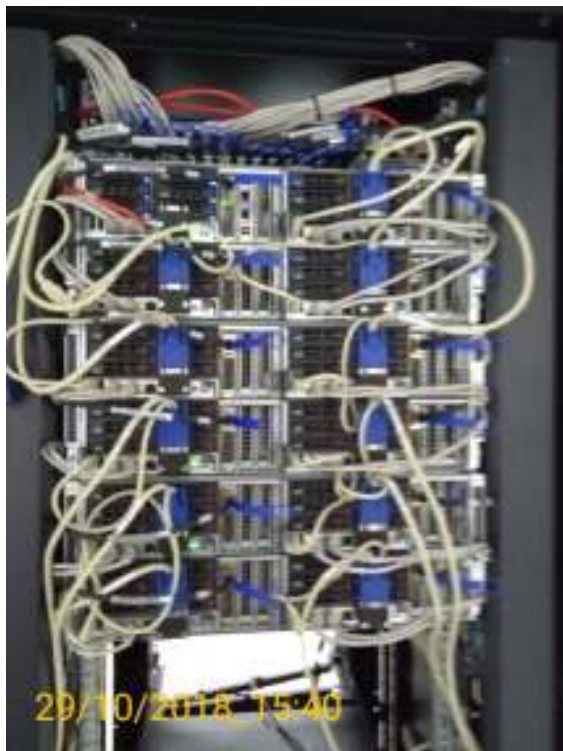


Fig. 06 – Do helios, a vista frontal, a vista traseira, as conexões, e a unidade de armazenamento.





Fig. 08 – No helios, a constatação do estabelecimento do patrimônio institucional.



#### **4 - Etapas realizadas do projeto**

Constituíram etapas do projeto as seguintes etapas: a aquisição e implantação, o provimento da estrutura pioneira de trabalho, e a obtenção de resultados

##### **A) A aquisição e implantação de sistema de servidoras para processamento computacional de maior performance**

A realização de pesquisas básicas e aplicadas em Ciências Espaciais e Atmosféricas envolve a utilização de instrumentação científica competitiva. Para tanto, é necessário que se disponha de uma infraestrutura laboratorial adequada para permitir o desenvolvimento e otimização de trabalhos científicos buscando o estado de arte.

Para os estudos sobre plasmas espaciais, a infraestrutura computacional anteriormente disponível consistia apenas de computadores pessoais e de limitado poder de processamento para rodar os modelos e simulações necessárias para a evolução das atividades em linhas de pesquisas da CGCEA.

Houve, portanto, a necessidade de um substancial aporte para início de uma capacidade de processamento, provendo uma infraestrutura computacional de alta performance e robusta, essencialmente necessária para o avanço no desenvolvimento dos estudos de simulação de plasmas espaciais e astrofísicos. Este projeto constituiu uma prova de conceito.

O equipamento está adquirido, instalado e funcionando.

##### **b) Provimento de infraestrutura pioneira para simulação de plasmas espaciais e astrofísicos para os grupos de Astrofísica, Geofísica Espacial e Clima Espacial da CGCEA e Computação Científica do Laboratório de Computação e Matemática Aplicada.**

Na parte de instrumentação, a aquisição desses sistemas de servidores computacionais híbridos e de alto desempenho, adquiridos por este projeto FINEP, viabilizaram nas Ciências Espaciais do Brasil as primeiras condições de desenvolvimentos para estudos científicos que devem inspirar-se pela fronteira do conhecimento, tais como simulações e modelagens numéricas de plasmas espaciais



e de interação com meio terrestre. Igualmente, tem possibilitado desenvolvimentos de novas metodologias e tecnologias para aplicações espaciais e áreas afins.

Os clusters em questão atendem inicialmente os grupos de pesquisa da DIDGE (Divisão de Geofísica Espacial); grupos de pesquisa da DIDAS (Divisão de Astrofísica); e também estudos do Programa de Clima Espacial do INPE (Embrace). O instrumental fomenta a extensão de sua utilização via parcerias em pesquisas e projetos científicos a outras coordenarias do instituto, como por exemplo, o Laboratório de Computação e Matemática Aplicada (LABAC) e, estendido recentemente, ao Laboratório de Plasmas (LABAP), da Coordenação de Tecnologias Especiais (COCTE).

O equipamento já opera atendendo as aplicações dos grupos científicos do INPE, como também de parcerias (nacionais e internacionais).

### **c) Obtenção de resultados científicos**

Dentro do escopo do uso dos equipamentos, resultados já são obtidos nas três utilizações planejadas: estudos da Geofísica Espacial, já envolvendo parceria com equipes do LABAC; estudos da Astrofísica, com parcerias com a Geofísica Espacial; e estudos do programa de Clima Espacial, com parcerias com a Astrofísica e a Geofísica Espacial.

Resultados já são obtidos e prosseguem com sucesso avançando com as fronteiras de investigações em Ciências Espaciais por meio do uso dos equipamentos instalados e funcionando. Essa fase de conceito permitiu demonstrar que o país pode, com muito proveito para produtividade, dotar-se de recurso de computação de alto desempenho. No entanto é imprescindível a Instituição e o Estado brasileiro assegurar novos investimentos e honrar o mérito de área estratégica.

## **5 - Descrição do estado de utilização**

Os clusters já dispõem, inclusive com contribuição de desenvolvimento brasileiro, de modelos implementados e funcionando, decorrentes da instalação, configuração, e esforços de desenvolvimentos científicos. A seguir relacionam-se os recursos já aportados para cada cluster.



Descrevem-se a seguir programas de multiprocessamento implementados nos clusters Orion-d11 e helios, que envolvem trabalhos e parcerias da DIDGE, DIDAS, LABAC, DIDAE. do Programa de Clima Espacial (EMBRACE), e também parcerias fora do INPE nacionais e internacionais. Os códigos e modelos estão apresentado e descritos a seguir:

a) O código de MHD (modelo Magneto-Hidrodinâmico) da Universidade de Nagoya foi criado visando à modelagem da magnetosfera terrestre, onde a atmosfera é representada como uma grade uniforme de blocos cúbicos, descrito no link <http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/web1/simulation/index.html>. O trabalho já obteve resultados (**Figura 1**) de modelagem da magnetosfera terrestre, envolvendo uma bolsa “modalidade sanduíche” de doutoramento com parceria internacional, em que o INPE ofereceu o ambiente de pesquisa e trabalho. Atualmente novas funcionalidades têm sido acrescidas, criando no Brasil a primeira solução MHD-3D da magnetosfera em tempo real com dados de satélite.

b) O modelo Block-Adaptive-Tree-Solarwind-Roe-Upwind-Scheme (BATS-R-US) foi desenvolvido pelo Computational Magnetohydrodynamics Group da Universidade de Michigan. Basicamente, o BATS-R-US resolve equações tridimensionais da MHD em volumes finitos, implementando diversos fluxos numéricos (**Figura 2**). Código desenvolvido em MPI, para ser executado em grandes sistemas de computação paralela. Modelo descrito no link <http://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/modelinfo.php?model=BATS-R-US>

c) Athena é um código baseado nos métodos de Godunov de ordens superiores, desenvolvido para a modelagem da MHD em cenário astrofísico, orientado ao estudo do meio interestelar, formação de estrelas e fluxos de acreção. Maiores detalhes nos links <http://iopscience.iop.org/0067-0049/178/1/137/fulltext/>, e <https://trac.princeton.edu/Athena/> .

d) 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. Tais características tornam o FLASH especialmente adequado para a simulação de problemas magneto-hidrodinâmicos e outros em física de plasma encontrados em diversos cenários astrofísicos (**Figura 3**).

Modelo descrito no link <http://flash.uchicago.edu/site/flashcode/>



e) O modelo MUSCL-Hancock é baseado em MHD ideal, e foi lançado pela NASA, em 2014. Seu código foi projetado para processamento paralelo em dispositivos GPGPU's. Esse modelo tem características interessantes para compor um futuro modelo misto de arquiteturas de teste. Já foram adicionadas funcionalidades relativas a implementação e visualização das saídas deste modelo para o ambiente VisIT, uma ferramenta de visualização. Uma nova implementação de um modelo MR (Multi-Resolução) baseado neste código está em desenvolvimento na CAP/LAC/INPE.

f) Um modelo de MHD utilizando análise multirresolução (**Figura 4**) vem sendo implementado no INPE pela Doutora Margarete (CAP/LAC/INPE), baseado no trabalho "An adaptive multiresolution method for ideal magneto-hydrodynamics using divergence cleaning with parabolic-hyperbolic correction."

g) O Modular Electromagnetic Inversion Software (ModEM), desenvolvido pela Oregon State University, realiza inversão de dados de indução geomagnética. Foi utilizado para processar dados de sondagens magnetotélúricas realizadas no nordeste do Brasil, cujos resultados foram usados em trabalho de pós-doutoramento. A **Figura 5**, em modelo3D, ilustra o resultado obtido.

h) O Space Weather Modeling Framework (SWMF), desenvolvido pela University of Michigan, que permite a integração de vários modelos em um sistema coerente, sendo utilizado principalmente para aplicações relacionadas com física espacial e clima espacial. O programa está sendo utilizado em um pós-doutoramento para o estudo do transporte de energia para região interna da magnetosfera terrestre devido à interação de diferentes estruturas interplanetárias geofetivas utilizando simulação numérica MHD tridimensional Global (**Figura 6**).

i) O Bayesian Inference Engine (BIE), desenvolvido pela UMass Amherst university, é uma aplicação computacional baseada nos algoritmos MCMC que permite obter distribuição a posteriori dos parâmetros de uma modelagem experimental (física e/ou estatística), definir intervalos de confiança e comparar resultados provenientes de diferentes modelos. As **Figura 7 e 8** (relacionadas à Figura 5) ilustram o conceito de utilização e resultados obtidos.

j) O GALPHAT(do inglês GALaxy PHotometric ATtributes) é uma extensão para analisar imagens de galáxias utilizando o modelo de Sersic para definir um perfil de brilho superficial para cada objeto. Informa-se que atualmente há ainda várias amostras para processar e obter as distribuições a posteriori para poder realizar uma



análise astrofísica dos parâmetros estruturais, considerando o modelo de Sersic e outro modelo Bojo mais disco: 2 galáxias em 5 bandas (já processadas); 435 Galáxias em andamento; 5400 a processar. A **Figura 9** ilustra a estrutura do programa e alguns exemplos de galáxias modeladas.

h) O iPIC3D, que constitui-se de um código de simulação por partículas (metodologia PIC), é usado para modelagem de reconexão magnética e análise de fenômenos microscópicos na região da magnetopausa terrestre (**Figuras 10 e 11**). A resolução das equações e o número de partículas utilizadas na simulação tornam inviável o uso de computador pessoal comum. Também devido à grande escala e o uso de simulação tridimensional, a disponibilidade de um sistema HPC torna-se de extrema importância viabilizar desenvolvimento de estudos e buscar capacitação para o estado de arte nas Ciências Espaciais.

## **6 - Resultados obtidos**

Como resultados obtidos, consideram-se aqui (a) exemplos de resultados científicos (**item 6.2**, ilustrados por gráficos ou figuras) que só foram possíveis ou facilitados pela existência e utilização de um HPC dedicado a modelagens magneto-hidrodinâmicas de plasmas espaciais, astrofísicos ou de aplicações em clima espacial; e (b) uma tabela com a síntese de várias quantidades de produtos (**item 6.1**) de esforços em Ciências Espaciais e em Computação Científica, seguida de compilação (**itens de 6.3 a 6.10**) que, embora não esgote os resultados em curso, documente boa parte de realizações alcançadas ou relacionadas com o HPC. Para possibilitar um visão bem facilitada dos progressos crescentes que têm sido obtidos, a informação atualizada de produtividade a partir de março de 2018 foi introduzida em uma segunda parte, bem identificada como **item 7**. Este novo conteúdo segue uma estruturação como o do **item 6**. No entanto, destacamos que a **Tabela 7.1** inclui tudo: as contribuições anteriores e as posteriores a março de 2018 até o corrente mês: outubro de 2018.



**6.1 - Tabela de resultados obtidos até 04 de abril de 2018:**

<b>Item</b>	<b>Descrição de resultados obtidos:</b>	<b>Unidades:</b>
01	pesquisadores envolvidos na coordenação do projeto	06
02	pesquisadores usuários diretos envolvidos	17
03	programas de pós-graduações envolvidos	03
04	pós-graduações conduzidas (mestrado e doutorado)	08
05	Pós-docs, iniciações científicas e estágios	06
06	Projetos científicos implementados	18
07	Curso ministrado voltado para soluções em HPC	01
08	Participações em congressos, conferências ou workshops (nacionais e internacionais)	35
09	Cooperações internacionais (número de países envolvidos)	05
10	Visitantes internacionais	05
11	Relatório e manuais técnicos para HPC	03
12	Publicações (internacionais e nacionais)	26

## 6.2 – Exemplos de resultados científicos (representado por gráficos e figuras)

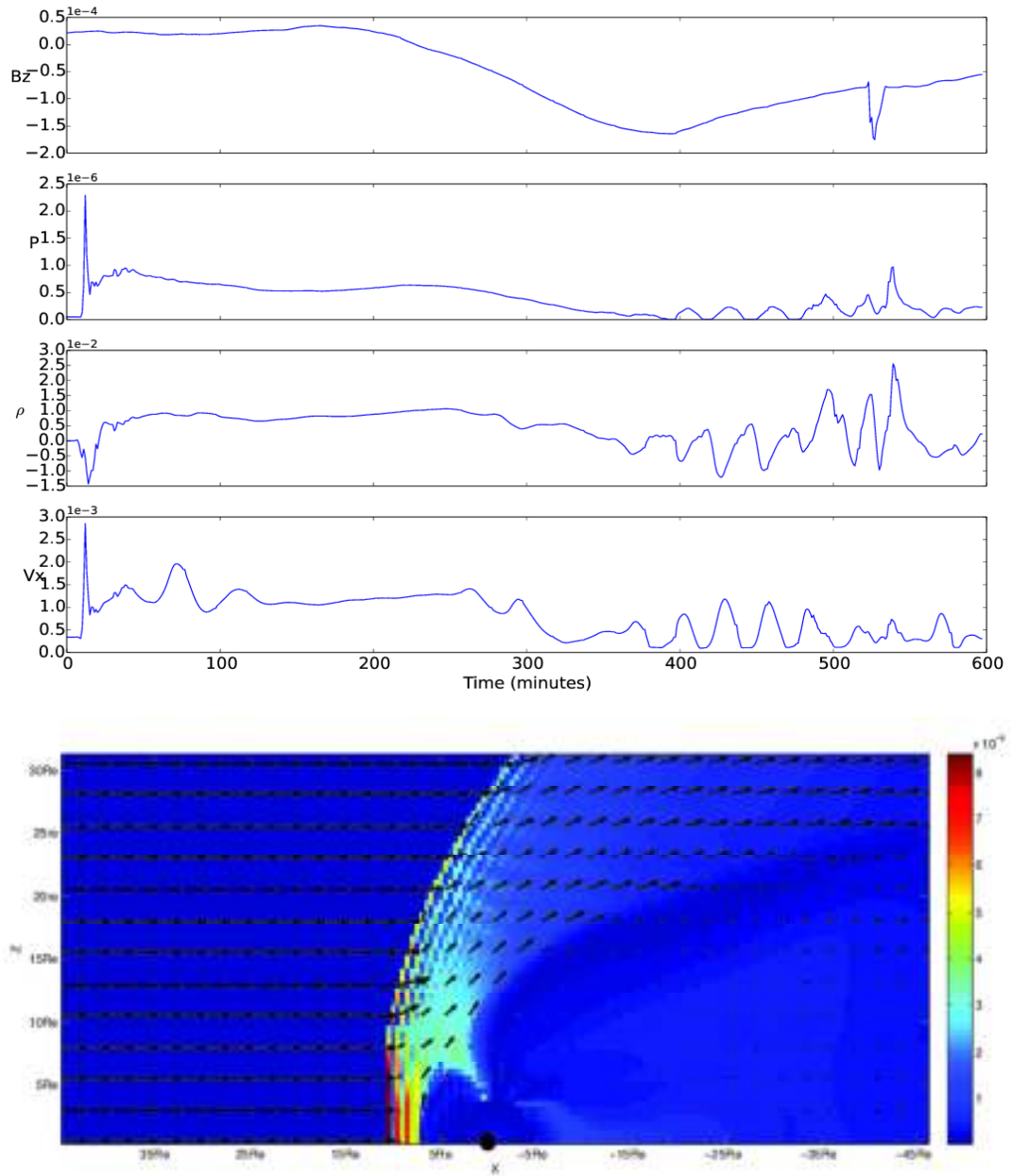


Fig. 1 – No topo, parâmetros do meio interplanetário relacionados a evento geofetivo HILDCAA e, abaixo, resposta da magnetosfera obtida por modelagem MHD 3D.



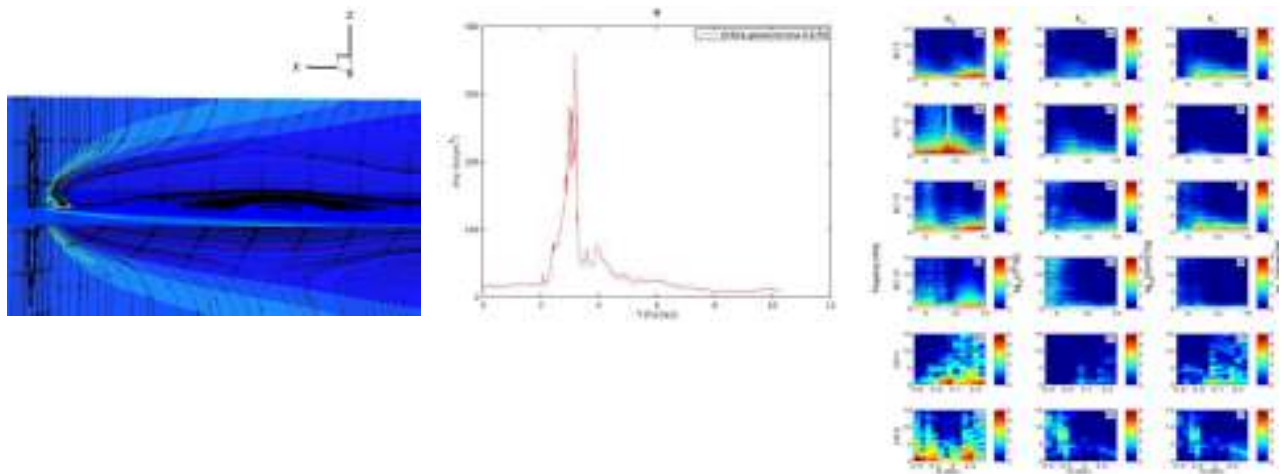


Fig. 2 – Com o uso do código MHD3D SWMF/BATS-R-US, (a) interação de um feixe Alfvénico com o campo geomagnético formado a magnetosfera terrestre, (b) a variação da densidade durante a interação vento solar perturbado com a magnetosfera, e (c) um espectro de potência das ondas ULF em diferentes MLT.

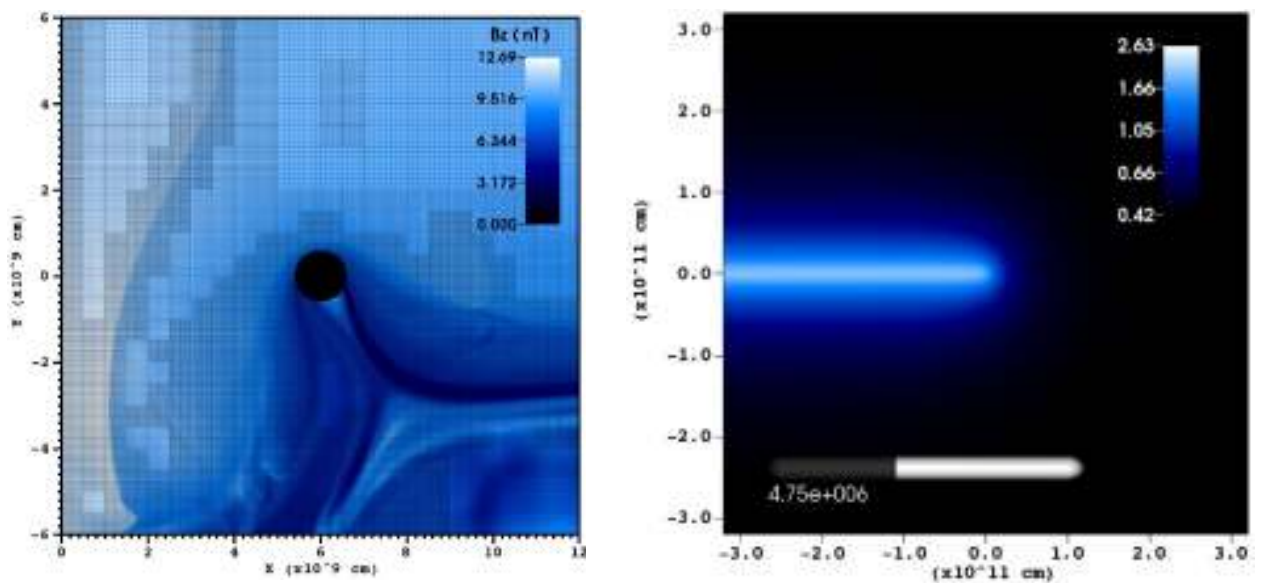
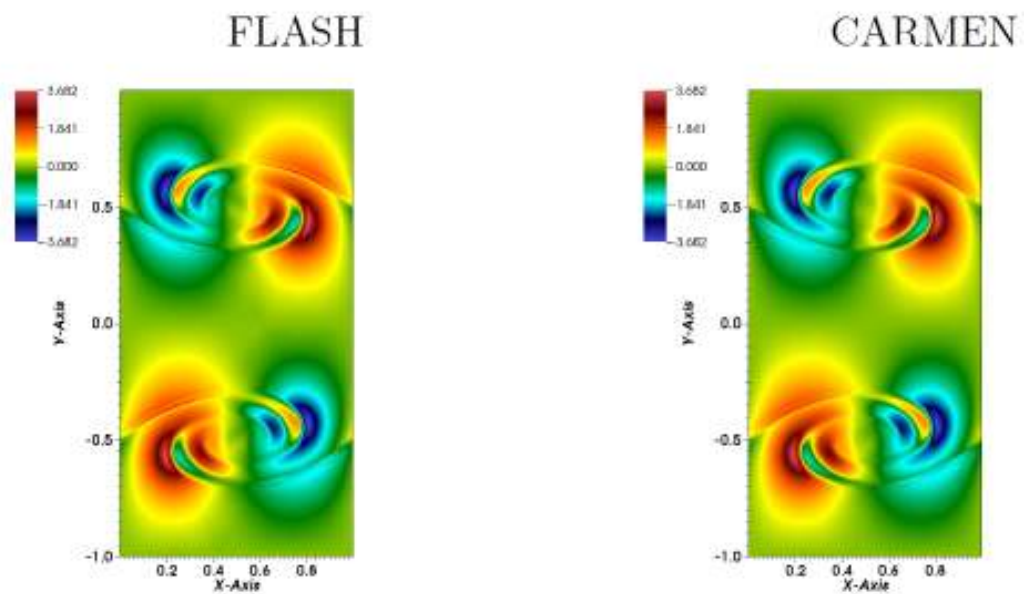


Fig. 3 – Utilização e estruturação de funcionalidade no código Flash para modelagem de ambientes fluidodinâmicos e magneto-hidrodinâmicos de cometas e entorno estelar.

## Results

y-component of velocity



## Results

x-component of magnetic field and Adaptive mesh

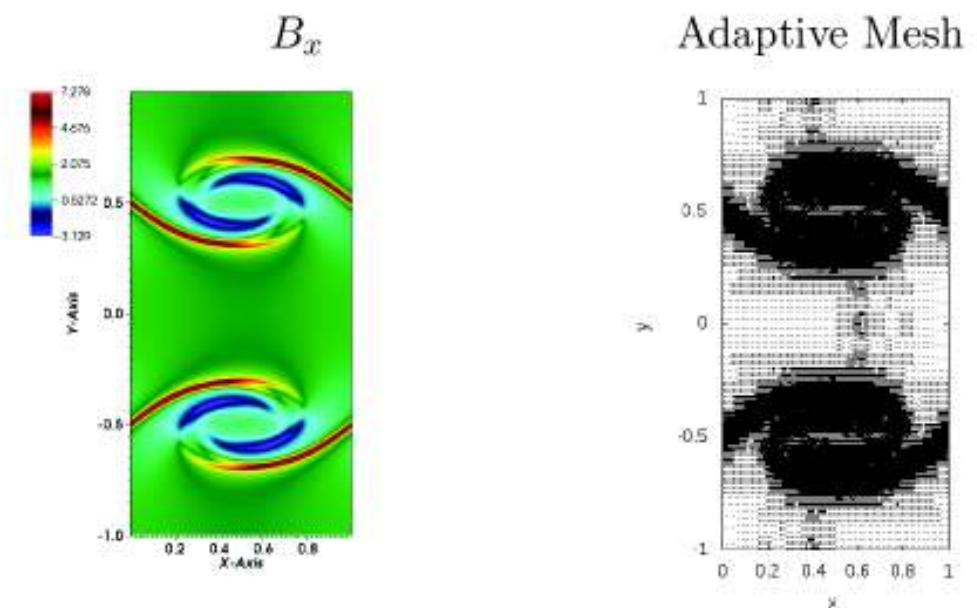


Fig. 4 - Implementação e aprimoramento do modelo MHD no código Carmen comparado com o código astrofísico Flash. Funcionalidade da malha adaptativa apresentada.

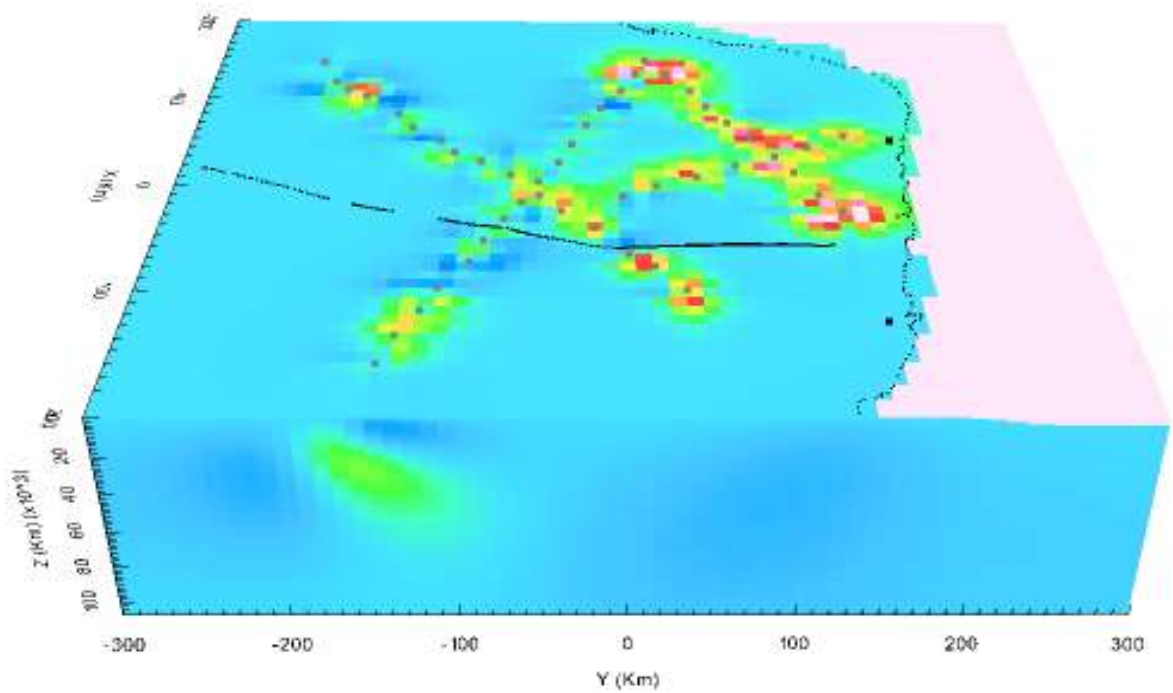


Fig. 5 - Modelagem 3D de resultados para modelagem telúrica

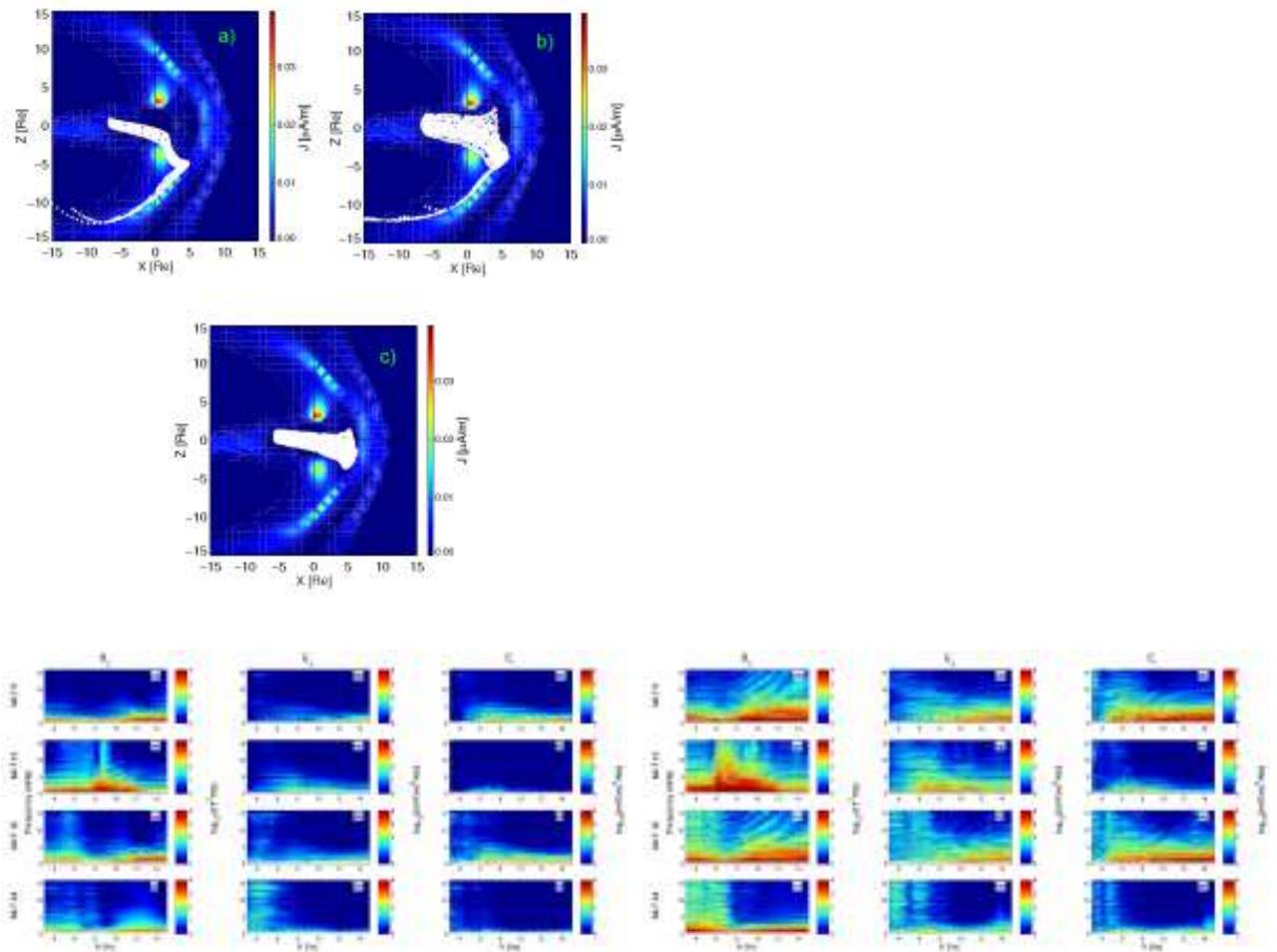


Fig. 6 - Com o uso do código MHD3D SWMF/BATS-R-US, representação de estruturas de corrente elétrica e de frequências de fenômenos na magnetosfera em diferentes MLT.



Fig. 7 – Representação de dispositivo de inferência bayesiana para modelagens experimentais

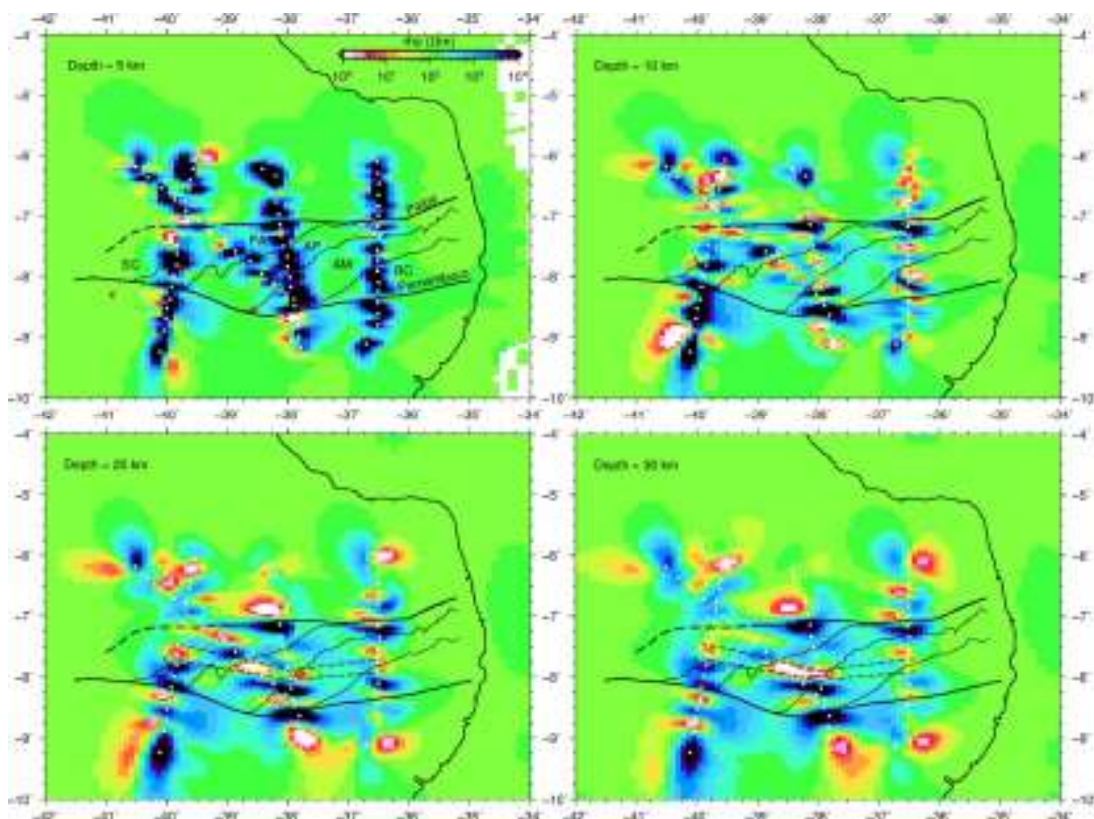
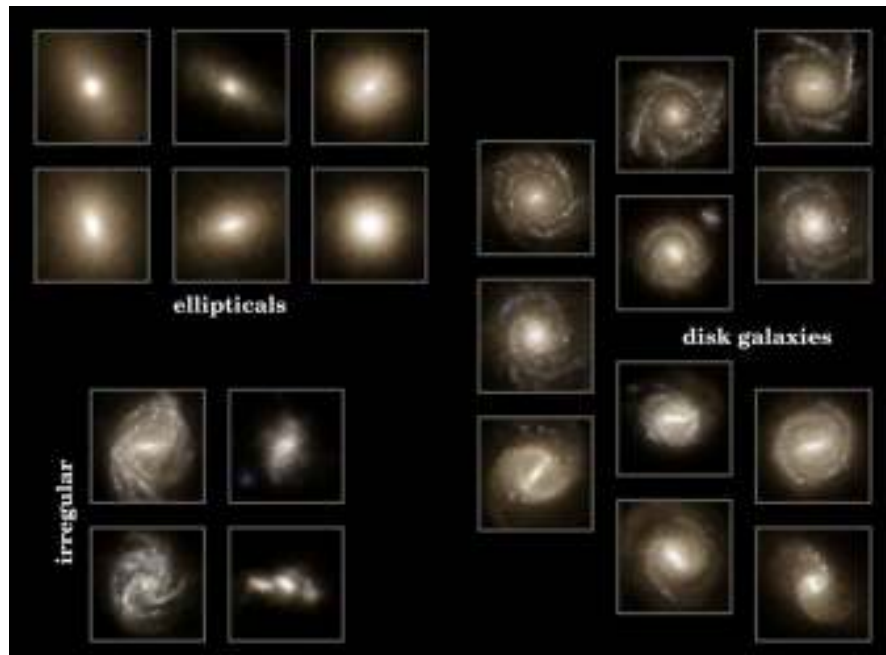


Fig. 8 - Modelo de distribuição de resistividades elétricas em diferentes profundidades na região nordeste do Brasil (Padilha et al., 2016).



### - Surface Photometry of Galaxies Using a Bayesian Scheme

In the last five years we have invested considerable time and effort in the development of a new galaxy image decomposition tool, GALPHAT (GALaxy PHotometric ATtributes), which is a front-end application of the Bayesian Inference Engine (BIE). BIE is a parallel Markov chain Monte Carlo package, providing full posterior probability distributions and reliable confidence intervals for all model parameters. This approach was extensively tested using an ensemble of simulated Sérsic model galaxies over a wide range of observational conditions. The test results for simulated galaxies demonstrate that, with a careful choice of Markov chain Monte Carlo algorithms and fast model image generation, GALPHAT is a powerful analysis tool for reliably inferring morphological parameters for a large number of galaxies over a wide range of different observational conditions.

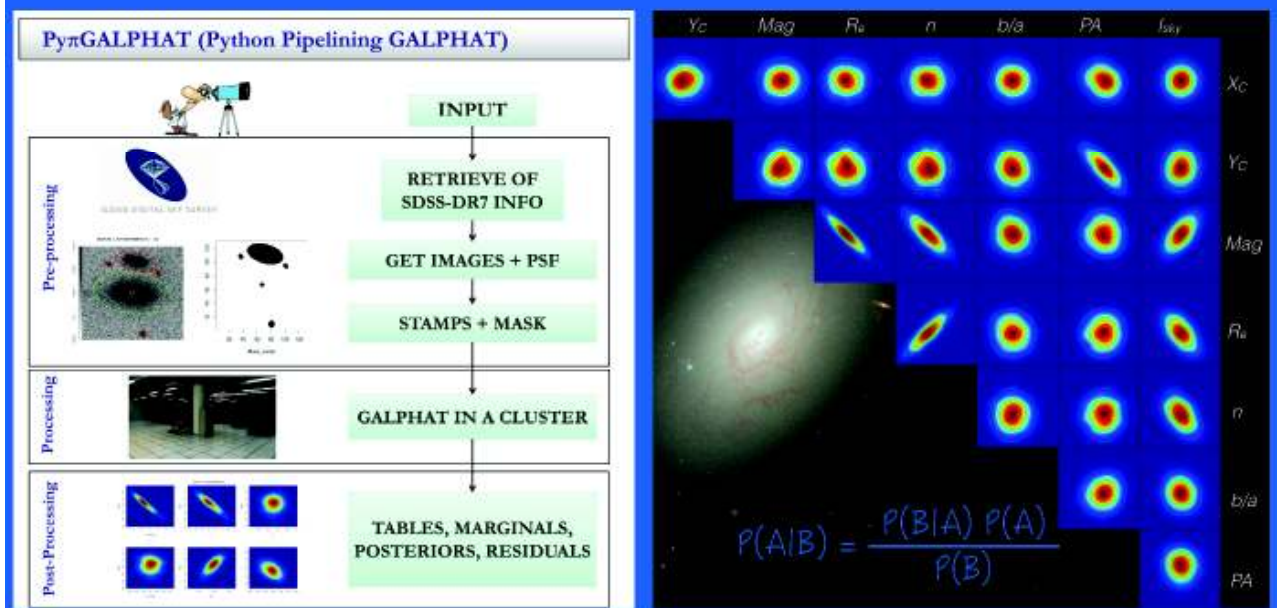


Fig. 9 - Análise de imagens de galáxias utilizando o modelo de Sérsic para definir um perfil de brilho superficial de objetos.

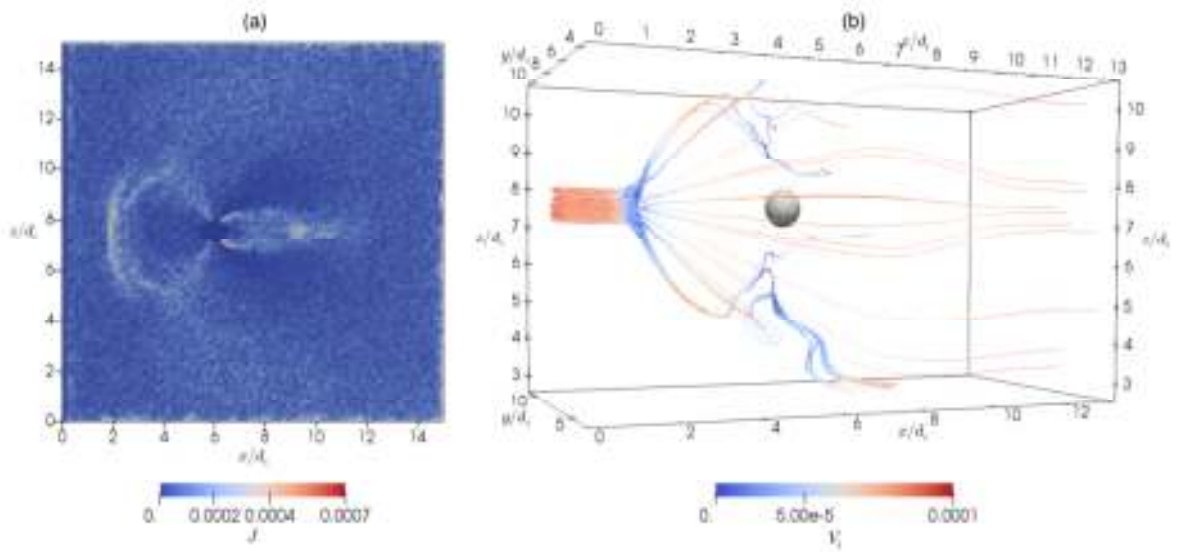


Fig. 10 - Com código PIC, simulação 3D da (a) magnetosfera de um planeta e (b) das partículas.

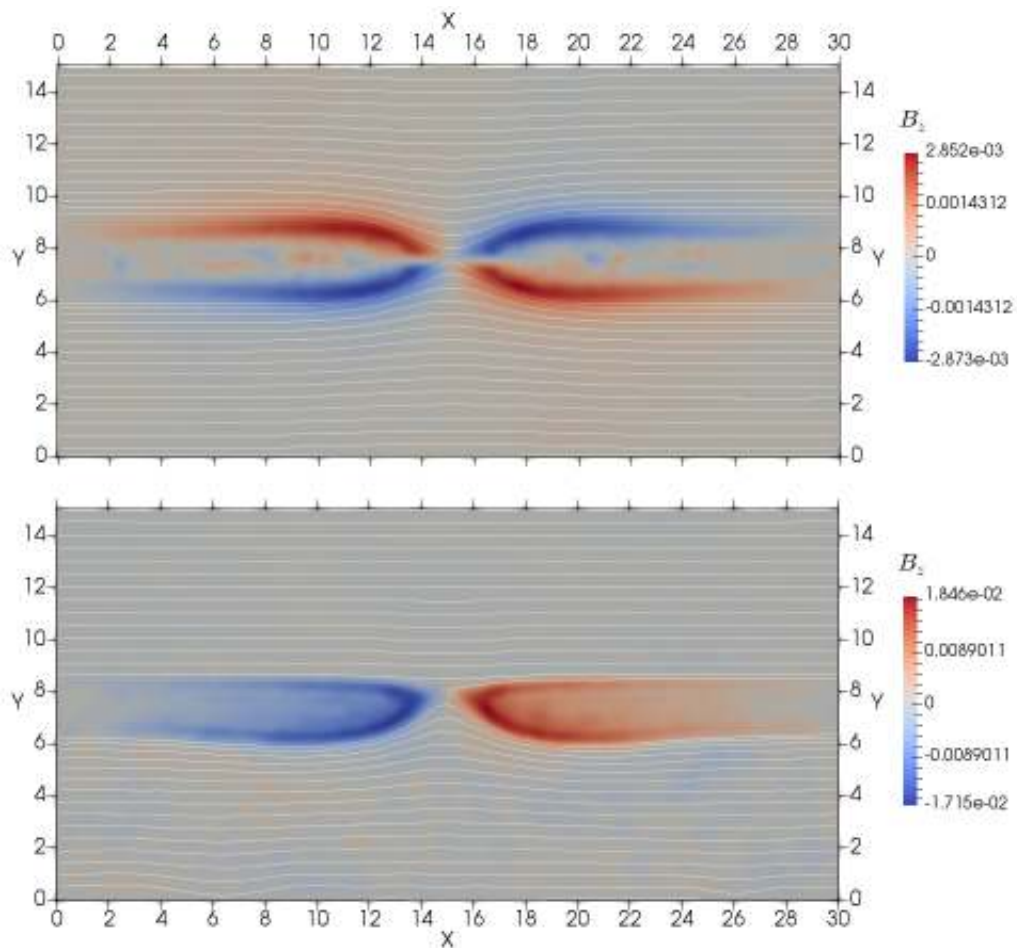


Fig. 11 – Usando código PIC, estruturas quadripolar e dipolar na reconexão magnética.



### **6.3 - Lista dos pesquisadores na equipe de coordenação do HPC:**

Odim Mendes Jr., DGE/CGCEA – líder e coordenador do subprojeto

Oswaldo Duarte Miranda, DAS/CGCEA – Coordenador geral do projeto FINEP

Margarete Oliveira Domingues, LABAC/COCTE – Computação científica

Marcelo Banik, Programa Embrace – Gerente de operações

Ivan Márcio Barbosa, CGCEA – consultor de recursos de HPC

Renato Henrique Ferreira Branco, CGETE - consultor de gestão

### **6.4 - Lista dos usuários que operam ou operaram diretamente os recursos do HPC:**

anna [anna.gomes@inpe.br](mailto:anna.gomes@inpe.br)  
cecatto [jr.cecatto@inpe.br](mailto:jr.cecatto@inpe.br)  
diego [stalderdiego@gmail.com](mailto:stalderdiego@gmail.com)  
edgard [edgard.evangelista@inpe.br](mailto:edgard.evangelista@inpe.br)  
grala [marcos.barbosa@inpe.br](mailto:marcos.barbosa@inpe.br)  
ivan [ivan.barbosa@inpe.br](mailto:ivan.barbosa@inpe.br)  
joaquim [joaquim.costa@inpe.br](mailto:joaquim.costa@inpe.br)  
lopes [carlos.lopes@inpe.br](mailto:carlos.lopes@inpe.br)  
marcelo [marcelo.banik@inpe.br](mailto:marcelo.banik@inpe.br)  
margarete [margarete.domingues@inpe.br](mailto:margarete.domingues@inpe.br)  
muller [muller.lopes@inpe.br](mailto:muller.lopes@inpe.br)  
odim [odim.mendes@inpe.br](mailto:odim.mendes@inpe.br)  
oswaldo [oswaldo.miranda@inpe.br](mailto:oswaldo.miranda@inpe.br)  
paulo [pauloricardojauer@gmail.com](mailto:pauloricardojauer@gmail.com)  
roberta [roberta.schmitz@inpe.br](mailto:roberta.schmitz@inpe.br)  
varlei [varlei.menconi@inpe.br](mailto:varlei.menconi@inpe.br)  
vitor [vitormoura21@gmail.com](mailto:vitormoura21@gmail.com)

### **6.5 - Minicurso para HPC ministrado:**

Ralf Deiterding (University of Southampton, England), Block-structured adaptive mesh refinement in C++: the AMROC framework for parallel AMR. 30 de junho a 01 de julho de 2016, São José dos Campos, São Paulo, Brazil. Coordenadores (INPE): Drs. Margarete Domingues, Odim Mendes, Oswaldo Miranda, Celso Mendes.





## **6.6 - Artigos publicados, em publicação e a serem submetidos:**

ALVES, L. R.; SOUZA, V. M.; JAUER, P. R.; DA SILVA, L. A.; MEDEIROS, C.; BRAGA, C. R.; ALVES, M. V.; KOGA, D.; MARCHEZI, J. P.; DE MENDONÇA, R. R. S.; DALLAQUA, R. S.; BARBOSA, M. V. G.; ROCKENBACH, M.; DAL LAGO, A.; MENDES, O.; VIEIRA, L. E. A.; BANIK, M.; SIBECK, D. G.; KANEKAL, S. G.; BAKER, D. N.; WYGANT, J. R.; KLETZING, C. A. The Role of Solar Wind Structures in the Generation of ULF Waves in the Inner Magnetosphere. *SOLAR PHYSICS*. , v.292, p.92 - , **2017**. Homepage:

[[http://https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-017-1113-4#aboutcontent](https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-017-1113-4#aboutcontent)]

ALVES, L. R.; DA SILVA, L. A.; SOUZA, V. M.; SIBECK, D. G.; JAUER, P. R.; VIEIRA, L. E. A.; WALSH, B. M.; SILVEIRA, M. V. D.; MARCHEZI, J. P.; ROCKENBACH, M.; LAGO, A. DAL; MENDES, O.; TSURUTANI, B. T.; KOGA, D.; KANEKAL, S. G.; BAKER, D. N.; WYGANT, J. R.; KLETZING, C. A. Outer radiation belt dropout dynamics following the arrival of two interplanetary coronal mass ejections. *Geophysical Research Letters*. , v.42, p.n/a - n/a, **2015**. Home page: [doi:10.1002/2015gl067066]

Barchi, P. H., Sautter, R. , da Costa, F. G., Moura, T. C., Stalder, D. H., Rosa, R.R., de Carvalho, R.R. Improving galaxy morphology with machine learning. *JCIS*, 7, 114, **2017**. (doi:10.6062/jcis.2016.07.03.0114).

Bologna, M. S., Egbert, G. D., Padilha, A. L., Pádua, M. B., Vitorello, Í. 3-D inversion of complex magnetotelluric data from an Archean-Proterozoic terrain in northeastern São Francisco Craton, Brazil. *Geophysical Journal International* 210 (3), 1545-1559, **2017**.

de Carvalho, R. R., Ribeiro, A. L. B., Stalder, D. H., Rosa, R. R., Costa, A. P., Moura, T. C. Investigating the Relation between Galaxy Properties and the Gaussianity of the Velocity Distribution of Groups and Clusters. *AJ*, 154, 96, **2017**.

Deiterding, R. & Domingues, M. O. Evaluation of multiresolution mesh adaptation criteria in the AMROC framework. *Civil-Comp Proceedings*, **2017**, 111.



Deiterding, R.; Domingues, M. O.; Gomes, S. M. & Schneider, K. Comparison of Adaptive Multiresolution and Adaptive Mesh Refinement Applied to Simulations of the Compressible Euler Equations. *SIAM Journal on Scientific Computing*, **2016**, 38, S173-S193.

Deiterding, R.; Domingues, M. O. & Schneider, K..Multiresolution analysis as a criterion for effective dynamic mesh adaptation -- A case study for Euler equations in the parallel SAMR framework AMROC. *Journal of Computational Physics*, **2018**. (submetido)

Evangelista, E. F.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Miranda, O. D. A brief study of instabilities in the context of space magnetohydrodynamic simulations. *Revista Brasileira de Ensino de Física, scielo*, **2016**.

Evangelista, E. F. D.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Miranda, O. D.. Simulating the Interaction of a Comet With the Solar Wind Using a Magnetohydrodynamic Model *Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity*, **2018**. (Aceito)

*Evangelista, E.F.D., Miranda, O.D., Mendes, O. and Domingues, M.O. Simulating the interaction of a non-magnetized planet with the stellar wind using the FLASH Code. Brazilian Journal of Physics, to be submitted (2018).*

*Evangelista, E.F.D., Miranda, O.D., Mendes, O. and Domingues, M.O. Simulation of the interaction of a comet with the solar wind in a scenario where the parameters are time-dependent. Icarus, to be submitted (2018).*

Gomes, A. K. F.; Domingues, M. O. & Mendes, O. Ideal and resistive magnetohydrodynamic two-dimensional simulation of the Kelvin-Helmholtz instability in the context of adaptive multiresolution analysis. *Trends in Applied and Computational Mathematics (TEMA)*, **2017**, 18, 317-333.

Gomes, A. K. F.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Schneider, K.. On the verification of adaptive three-dimensional multiresolution computations of the magnetohydrodynamic equations. *Journal of Applied Nonlinear Dynamics*, **2018**. (Aceito)

Lorenzo Sierra, M.; Domingues, M. O.; Mecas León, A.; Menconi, V. E. & Mendes, O. On the Use of Space-Environmental Satellite Data for



Global Magnetohydrodynamic Simulations. *Brazilian Journal of Physics*, **2016**, 46, 703-713.

Magrini, L. A.; Domingues, M. O. & Mendes, O.. On the effects of gaps and uses of approximation functions on the time-scale signal analysis: A case study based on space geophysical events. *Brazilian Journal of Physics*, **2017**, 47, 167-181

Moreira Lopes, M.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Schneider, K.. An adaptive multiresolution scheme with second order local time-stepping for reaction-diffusion equations. *Journal of Applied Nonlinear Dynamics*, **2018**. (Aceito)

Moreira Lopes, M.; Deiterding, R.; Gomes, A. K. F.; Mendes, O. & Domingues, M. O. An Ideal Compressible Magnetohydrodynamic Solver with Parallel Block-structured Adaptive Mesh Refinement. *Computer & Fluids*, **2018**. (Aceito)

Padilha, A. L., Vitorello, Í., Antunes, C. E., Pádua, M. B. Imaging three-dimensional crustal conductivity structures reflecting continental flood basalt effects hidden beneath thick intracratonic sedimentary basin *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 120 (7), 4702-4719, **2015**.

Padilha, A. L., Vitorello, Í, Pádua, M. B., Fuck, R. A. Deep magnetotelluric signatures of the early Neoproterozoic Cariris Velhos tectonic event within the Transversal sub-province of the Borborema Province, NE Brazil *Precambrian Research* 275, 70-83, **2016**.

Old, L., Wojtak, R., Pearce, F. R., Gray, M. E., Mamon, G. A., Sifón, C., Tempel, E., Biviano, A., Yee, H. K. C., de Carvalho, R., Müller, V., Sepp, T., Skibba, R. A., Croton, D., Bamford, S. P., Power, C., von der Linden, A., Saro, A. Galaxy Cluster Mass Reconstruction Project – III. The impact of dynamical substructure on cluster mass estimates. *MNRAS*, 475, 853-866, **2018**.

(<https://doi.org/10.1093/mnras/stx3241>)

SOUZA, V. M.; LOPEZ, R. E.; JAUER, P. R.; SIBECK, D. G.; PHAM, K.; DA SILVA, L. A.; MARCHEZI, J. P.; ALVES, L. R.; KOGA, D.; MEDEIROS, C.; ROCKENBACH, M.; GONZALEZ, W. D. Acceleration of radiation belt



electrons and the role of the average interplanetary magnetic field B z component in high speed streams. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SPACE PHYSICS. , v.122, p.1 - , **2017**.

Costa et al. **2018**, MNRAS, 473, L31

Stalder et al. **2018**, AJ, accepted, in press

Rosa et al. **2018**, MNRAS, accepted, in press

Moura et al. **2018**, ApJ, Submitted.

### **6.7 - Apresentações em congressos:**

ALVES, L. R.; MARCHEZI, J. P. ; DA SILVA, L. A. ; MENDES, O. ; MEDEIROS, C. ; SOUZA, V. M. ; VIEIRA, L.E.A. ; ROCKENBACH, M. ; Dal Lago, A. . Spectral analysis of magnetospheric ULF waves observed after two interplanetary shocks. In: IAU - 328, 2016, Maresias, SP. IAU - 328, **2016**.

ALVES, L. R.; da Silva, L. A. ; SOUZA, V. M. ; Jauer, P. ; VIEIRA, L. E. A. ; SILVEIRA, M. V. D. ; Rockenbach, M. ; Dal Lago, A. . OUTER RADIATION BELT DROPOUT ON SEPTEMBER 12, 2014. In: 14º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2015, Rio de Janeiro. Anais do 14º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, **2015**.

ALVES, L. R.; SOUZA, V. M. ; JAUER, P. R. ; da Silva, L. A. ; MEDEIROS, C. ; BRAGA, C. R. ; Alves, M. V. ; Koga, D. ; Marchezi, J. P. ; DE MENDONÇA, R. R. S. ; DALLAQUA, R. S. ; BARBOSA, M. V. G. ; Rockenbach, M. ; Dal Lago, A. ; MENDES, O. ; VIEIRA, L. E. A. ; Banik, M. ; SIBECK, D. G. ; KANEKAL, S. G. ; BAKER, D. N. ; WYGANT, J. R. ; KLETZING, C. A. . The Role of Solar Wind Structures in the Generation of ULF Waves in the Inner Magnetosphere. SOLAR PHYSICS, v. 292, p. 1-15, **2017**.

ALVES, L. R.; da Silva, L. A. ; SOUZA, V. M. ; SIBECK, D. G. ; JAUER, P. R. ; VIEIRA, L. E. A. ; WALSH, B. M. ; SILVEIRA, M. V. D. ; Marchezi, J. P. ; Rockenbach, M. ; LAGO, A. DAL ; MENDES, O. ; TSURUTANI, B. T. ; Koga, D. ; KANEKAL, S. G. ; BAKER, D. N. ; WYGANT, J. R. ; KLETZING, C. A. . Outer radiation belt dropout dynamics following the arrival of two interplanetary



coronal mass ejections. *Geophysical Research Letters*, v. 0000, p. n/a-n/a, **2015**.

ARAÚJO, P. N. ; MAGRINI, LUCIANO A. ; DOMINGUES, M. O. ; MENDES, O. Interpolação linear de séries temporais de Geofísica Espacial sob o ponto de vista multiescala: estudo preliminar. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, XXXVII, 2017, São José dos Campos. CNMAC 2017, Proceedings. São Carlos: SBMAC, **2017**.

BARBOSA, M. V. G.; ALVES, M. V.; SCHMITZ, R. G. Particle-in-cell simulations of Earth-like magnetosphere during a magnetic field reversal. AGU Fall Meeting **2017**, New Orleans, LA, USA.

DA SILVA, L. A.; ALVES, L. RIBEIRO; DALLAQUA, R. S.; MARCHEZI, J. P.; MEDEIROS, C.; SOUZA, V. M.; JAUER, P.R.; KOGA, D.; VIEIRA, L. E. A.; LAGO, A. D.; ROCKENBACH, M.; MENDES JUNIOR, O.; DENARDIM, C. M.; SIBECK, D. G. Contribution of the ULF wave activity to the global recovery of the outer radiation belt during the passage of a high-speed solar wind stream observed in September 2014 In: AGU Fall Meeting, 2016., 2016, San Francisco. AGU Fall Meeting, 2016. , **2016**.

DA SILVA, L. A. et al. Dynamic mechanisms of rapid dropout in the outer radiation belt observed after the Coronal Mass Ejection associated with Shock in July 2016. In: AGU Chapman Conference on Particle dynamics in the Earth's radiation belts. Cascais, Portugal, **2018**.

DA SILVA, L. A. ; ALVES, L. R. ; Dallaqua, R. ; MARCHEZI, J. P. ; MEDEIROS, C. ; SOUZA, V. M. ; JAUER, P. R. ; KOGA, D. ; VIEIRA, L.E.A. ; Dal Lago, A. ; ROCKENBACH, M. ; MENDES, O. ; DENARDINI, C.M. ; SIBECK, D. G. . Contribution of the ULF wave activity to the global recovery of the outer radiation belt during the passage of a high-speed solar wind stream observed in September 2014. In: AGU Fall Meeting, 2016, San Francisco. AGU Fall Meeting, **2016**.

Deiterding, R. & Domingues, M. O.. Mueller, S. & Ryan, J. (Eds.) Multiresolution analysis as a criterion for improved block-based dynamic mesh adaptation using WENO and MUSCL schemes - A comprehensive study for Euler equations in the parallel SAMR framework AMROC. *International Conference in Spectral and High order methods. ICOSAHOM 2018. Minisymposium. Multiwavelet techniques for numerical treatment of PDEs.*, **2018**.



Deiterding, R. & Domingues, M. O. Iványi, P.; Topping, B. & Várady, G. (Eds.) Evaluation of multiresolution mesh adaptation criteria in the AMROC framework *Fifth International Conference of Parallel, Distributed, Grid and Cloud Computing for Engineering*, **2017**, 111.

Deiterding, R. & Domingues, M. O.. Domingues M. O., F. M. T. & Mesquita, C. A. (Eds.) Wavelet criteria in magnetohydrodynamics modelling using the parallel framework AMROC. *VIII WWlet-Wavelet & Applications.*, SBMAC, **2017**.

Deiterding, R.; Domingues, M. O. & Mendes, O.. Application of multiresolution smoothness detection in the block-based adaptive mesh refinement method: Preliminary results *WONAPDE 2016 Fifth Chilean Workshop on Numerical Analysis of Partial Differential Equations*, **2016**

Domingues, M. O.; Deiterding, R. & Schneider, K. Multiresolution mesh adaptation within AMROC. *Parallel CFD 2017. 29th International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics*, **2017**.

Evangelista, E. F. D.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Miranda, O. D..Simulating the interaction of a comet with the solar wind using a magnetohydrodynamic model. *XXX VI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC)*, **2016**.

Evangelista, E. F. D.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Miranda, O. D..Simulating the interaction of a cometwith the solarwind using a magnetohydrodynamic model. *6th International Conference on Nonlinear Science and Complexity*, **2016**.

GOMES, A. K. F., DOMINGUES, M. O., Mendes, O. Kelvin-Helmholtz instability simulation in the context of adaptive multiresolution analysis. CNMAC, **2016**

Gomes, A. K. F.; Domingues, M. O. & Mendes, O. Kelvin-Helmnholtz instability simulation in the context of adaptive multiresolution analysis *XXXVI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC)*, **2016**.



Gomes, A. K. F.; Domingues, M. O. & Mendes, O.. On the verification of an adaptive three-dimensional magnetohydrodynamic model. *6th International Conference on Nonlinear Science and Complexity*, **2016**.

Gomes, A. K. F.; Domingues, M.; Mendes, O. & Schneider, K.. A Resistive Magneto-Hydrodynamic Numerical Model in the Context of Cell-Averaged Adaptive Multiresolution Methods: Verification Tests. *SIAM Conference on Computational Science and Engineering*, **2017**.

LIVIA R, A.; SILVA, L. A.; SOUZA, V. M.; JAUER, P. R.; VIEIRA, L. E. A.; SILVEIRA, M. V.; ROCKENBACH, M.; LAGO, A. D. Outer radiation belt dropout on September 12, 2014. In: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015., 2015, Rio de Janeiro. in: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, **2015**. Homepage: [[http://m2comunicacoes.com.br/sbfg/trabalhos/trabalhos/sbfg\\_317.pdf](http://m2comunicacoes.com.br/sbfg/trabalhos/trabalhos/sbfg_317.pdf)]

Lopes, M.; DOMINGUES, M. O. ; Mendes, Odin ; SCHNEIDER, KAI . Discussão sobre estabilidade em métodos de multirresolução adaptativa. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computação, 2018, São José dos Campos. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics. São Carlos: SBMAC, **2018**. v. 6. p. 1.

Lopes, M. ; DOMINGUES, M. O. ; MENDES, O. ; SCHNEIDER, KAI . High order time synchronisation in multiresolution adaptive models. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, XXXVII, 2017, São José dos Campos. CNMAC 2017, Proceedings. São Carlos: SBMAC, **2017**.

MARCHEZI, J. P. ; ALVES, L. R. ; DA SILVA, L. A. ; ROCKENBACH, M. ; Dallaqua, R. ; MEDEIROS, C. ; SOUZA, V. M. ; VIEIRA, L.E.A. ; Dal Lago, A. ; MENDES, O. . Contribuição de ondas de Ultra-Baixa Freqüência na dinâmica do fluxo de elétrons no cinturão de radiação externo. In: 6ª SBGEA, 2016, Jataí, Go. 6ª SBGEA, **2016**.

MEDEIROS, C. ; SOUZA, V. M. ; VIEIRA, L.E.A. ; SIBECK, D. G. ; HALFORD, A. J. ; ALVES, L. R. ; DA SILVA, L. A. ; MARCHEZI, J. P. ; JAUER, P. R. ; ROCKENBACH, M. ; SILVEIRA, M. V. D. ; KOGA, D. ; Dallaqua, R. ; MENDES, O. . Investigating an unusual pitch angle distribution during the dropout on september 12-13, 2014: wave-particle interactions and magnetopause compression as a major role for dropout in different energy levels and Lstar. In:



AGU Fall Meeting, 2016, San Francisco. AGU Fall Meeting 2016, **2016**.

Moreira Lopes, M.; Domingues, M. & Mendes, O. Discussão sobre estabilidade em métodos de multirresolução adaptativa **2017**.

Moreira Lopes, M.; Domingues, M. O.; Mendes, O. & Schneider, K. Domingues M. O., F. M. T. & Mesquita, C. A. (Eds.) High order time synchronisation in multiresolution adaptive models. *VIII WWlet-Wavelet & Applications., SBMAC, 2017*.

ROCKENBACH, M. ; DEGGERONI, V. ; DA SILVA, L. A. ; ALVES, L. R. ; SOUZA, V. M. ; JAUER, P. R. ; MEDEIROS, C. ; MARCHEZI, J. P. ; MENDES, O. Van Allen Radiation Belt Electron Flux During Intense Geomagnetic Storms. In: IAU - 328, 2016, Maresias, SP. IAU - 328, **2016**.

SCHMITZ, R. G.; ALVES, M. V.; BARBOSA, M. V. G. Particle-in-cell simulations of asymmetric guide-field reconnection: quadrupolar structure of Hall magnetic field. AGU Fall Meeting **2017**, New Orleans, LA, USA.

SEO, R. T. ; MARCHEZI, J. P. ; MENDES, O. ; DOMINGUES, M. O. ; CARNEIRO, E. M. ; JESUS, R. S. . Ferramenta visual multiescala para o auxílio na identificação de perturbações geomagnéticas. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, XXXVII, 2017, São José dos Campos. CNMAC 2017, Proceedings. São Carlos: SBMAC, **2017**.

SOUZA, V. M. ; LOPEZ, R. E. ; JAUER, P. R. ; SIBECK, D. G. ; PHAM, K. ; DA SILVA, L. A. ; Marchezi, J. P. ; **ALVES, L. R.** ; Koga, D. ; MEDEIROS, C. ; Rockenbach, M. ; GONZALEZ, W. D. . Acceleration of radiation belt electrons and the role of the average interplanetary magnetic field Bz component in high speed streams. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SPACE PHYSICS, **2017**.

Apresentação de Poster / Painel no(a) Parker Reconnection workshop, **2014**. (Congresso) Validation of the reconnection component model and determination of the reconnection X- line for different configurations of the interplanetary magnetic field using the 3D MHD BATS-R-US model.

Apresentação (Outras Formas) no(a) Space Weather (Clima Espacial), **2014**.





(Seminário) Space Weather (Clima Espacial).

Apresentação de Poster / Paineis no(a) AGU Fall Meeting 2013, **2013**. (Congresso) Study of energy transfer from the solar wind to Earth's magnetosphere using the 3D-MHD BATS-R-US global model.

Apresentação de Poster / Paineis no(a) XII Encontro Brasileiro de Física dos Plasmas, **2013**. (Encontro) Study of energy transfer from the solar wind to Earth's magnetosphere using the 3D-MHD BATS-R-US global model.

### **6.8 - Relatórios e manuais para uso do HPC:**

MENCONI, V. E.; MENDES, O.; DOMINGUES, M. O. Capacitação computacional institucional em modelos MHD e híbridos para sistema HPC. **2017**.

MENCONI, V. E. ; MENDES, O.; DOMINGUES, M. O. DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS DE VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE ELETRODINÂMICA ESPACIAL VISANDO HPC. **2017**.

MENCONI, V. E. ; MENDES, O.; DOMINGUES, M. O. GUIA BÁSICO PARA CLUSTER HPC-PLASMAS NO INPE - VERSÃO 1. **2017**.

### **6.9 – Projetos científicos em desenvolvimento ou desenvolvidos:**

#### **2016-2018:SPRINT FAPESP com a Universidade de Southampton**

Título:

**Advanced criteria for dynamic mesh adaption in computational space weather forecasting**

Pesquisador Responsável: Margarete Oliveira Domingues e Ralf Deiterding

Descrição:

This project contributes to an ongoing research effort in combining two techniques used for mesh adaptation in evolutionary partial differential equations used in hydrodynamic and magneto-hydrodynamic models. Namely, the wavelet-based multi-resolution regularity detection methodology with the generic block-structured mesh adaptation software AMROC (Adaptive Mesh Refinement in Object-oriented



C++). The overarching objective is the development of a three-dimensional parallel dynamically adaptive finite volume solver that will permit fast and reliable space weather magneto-hydrodynamic simulations. During this project, two and three-dimensional hydrodynamic and space plasma ideal magneto-hydrodynamic models will be used to test the present and new developments in terms of accuracy and computational efficiency. Subsequently, technically relevant configurations of space physics instabilities will be studied. During the proposed visits, discussion sessions and short courses will be offered. Moreover, we plan a small scientific meeting (mini-symposium) in a well established conference and a workshop at the University of Southampton to discuss these subjects with the international and the UK community and organise future joint projects.

### **2016-2018:FAPESP**

Título:

#### **Development of multiscale modelling for non-linear local plasma instabilities of Astrophysics and Space Geophysics**

Pesquisador Responsável: Margarete Oliveira Domingues

Descrição: This project contributes to an ongoing research effort of combining the wavelet-based multiresolution regularity detection with advanced non-linear techniques in order to improve multiscale magnetohydrodynamic simulations and related data. The purpose is to provide powerful numerical tools for non-linear local instabilities that occur in plasmas of astrophysics and space geophysics environments. As an overarching branch, this long-term challenge implies the development of innovative and computational efficient non-linear techniques. Within this project, we propose to study, develop, implement, test, verify and document new tools for numerical simulations and data modelling applied to these areas of space plasmas.

### **2016-2018: CNPq**

Título:

#### **Modelagem Multiescala no contexto de Ciências e Tecnologias Espaciais**

Pesquisador Responsável: Margarete Oliveira Domingues

Descrição:

A análise multiescala teve um salto quantitativo de interesse nas últimas décadas, quando ferramentas como as análises wavelet proporcionaram uma sinergia entre os anseios de aplicação e o formalismo teórico em diversas áreas da matemática, da física e das engenharias. Neste projeto pesquisam-se, inovam-se, desenvolvem-se e aplicam-se metodologias de técnicas de análise multiescala, como a análise wavelet



e extração de informação, para resolução numérica adaptativa de equações diferenciais parciais e para a análise de sinais em estudos em ciências e tecnologias espaciais. Entre essas ferramentas, destacam-se o estudo de estruturação de malhas adaptativas para a solução numérica de equações diferenciais parciais de forma automática e mais computacionalmente eficiente. Tais inovações facilitam e viabilizam simulações ou modelagem multidimensionais que são estratégicas ao estudo e desenvolvimento de pesquisas espaciais, em especial no contexto de clima espacial e de ambiente espacial próximo e astrofísico.

## **2016: British Council/Newton Fund/FAPESP**

Título:

**Adaptive multiresolution criteria in the AMROC framework applied to a two-dimensional ideal magnetohydrodynamic model for space weather**

Pesquisador Responsável: Margarete Oliveira Domingues

Descrição:

This visit contributes to an ongoing research effort in combining the wavelet-based multiresolution regularity detection methodology by the applicant with the generic block-structured mesh adaptation software AMROC (Adaptive Mesh Refinement in Object-oriented C++), developed by the co-application. The overarching, long-term objective is the development of a three-dimensional parallel dynamically adaptive finite volume solver that will permit fast and reliable space weather simulations. During the visit, two-dimensional hydrodynamic and space plasma magnetohydrodynamic models will be used to test the present developments in terms of accuracy and computational efficiency. Subsequently, technically relevant configurations of space physics instabilities will be studied. During the visit, a short course and discussion sections on the AMROC framework will be offered. Discussion meetings for future joint projects will also be carried out.

## **PCI-MCTIC 2015**

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE

Título do Projeto: **Modelagem Numérica das perturbações Geomagnéticas**

Processo nº: 313281/2015-7

Nome do bolsista: Paulo Ricardo Jauer

Nome do Orientador/Supervisor: Marcelo Banik de Pádua

Nome do Coordenador PCI: Alisson Dal Lago



Data de início do projeto: 01/11/2015

Categoria do projeto (Científico/Tecnológico)

Área de atuação: Ciências Espaciais e Atmosféricas

Área temática/objetivo no Projeto Institucional: Geofísica Espacial

Resumo do projeto:

Os estudos do geomagnetismo desenvolvidos no INPE baseiam-se na realização de medidas das variações temporais do campo magnético terrestres observadas na superfície da Terra. Por meio deste seguimento, atualmente o grupo de geomagnetismo vem trabalhando na modelagem dos efeitos do clima espacial, os quais se manifestam na entrada de energia no ambiente magnetosférico, ionosfera e alta atmosfera, durante períodos magneticamente perturbados. Nestes períodos, ocorre a intensificação dos sistemas de correntes que acoplam a magnetosfera global e a ionosfera. Estes intensos circuitos de correntes ionosféricas induzem correntes no solo (GICs - Geomagnetically Induced Currents), que podem danificar estações de abastecimento de energia, degradar dutos de combustíveis e levar a grandes danos e prejuízos socioeconômicos sem precedentes. Uma das ferramentas fundamentais que permitem investigar sistemas complexos como os mencionados anteriormente são as simulações numéricas magneto-hidrodinâmica (MHD 3D). Neste projeto, propõe-se a utilização do modelo MHD 3D Space Weather Modeling Framework/Block-Adaptive Tree Solar Wind Roe Upwind Scheme (SWMF/BATS-R-US) que permite estudar, dentro do seu limite teórico, os efeitos do acoplamento vento solar-magnetosfera terrestre e as suas manifestações, que são medidas pelas perturbações causadas no campo geomagnético na superfície da Terra. Estas perturbações estão associadas com a intensidade das variações dos índices geomagnéticos. O estudo e a modelagem destes índices são de fundamental importância para a previsão do clima espacial. Atualmente, os meios disponíveis não permitem prever se um evento solar ocorrerá e quão severos serão seus impactos na magnetosfera terrestre. No entanto, pode-se de certo modo antecipar os seus efeitos, reconstruindo estes intrincados e complexos cenários a partir de modelos autoconsistentes.

O cluster Hélio/Orion adquirido pelo projeto CT-Infra FINEP, esta possibilitando diferentes grupos de pesquisa na instituição INPE a desenvolver pesquisa científica e publicações dos resultados em revistas de alto nível de qualidade na área de física de plasma espacial. As Simulações MHD 3D da magnetosfera terrestre em combinação com observações de satélites estão hoje ocupando um lugar de destaque na comunidade científica. A solução de um conjunto acoplado de equações, por exemplo, MHD3D só é possível através da aplicação de um método numérico, aonde o sistema de equações é decodificado, e desta forma, é possível obter informações de regiões do ambiente em estudo por meio das informações obtidas da solução numérica. Para que tal ambiente virtual seja modelado é preciso que os modelos escritos em alguma linguagem de baixo nível sejam compilados em um supercomputado ou Cluster, e deste modo, há uma necessidade fundamental no uso de um Cluster para rodar de forma rápida e eficiente estes modelos e realizar pesquisas científicas de qualidade. A seguir ilustramos alguns resultados obtidos durante o projeto supracitados (PCI) com o modelo MHD3D SWMF/BATSRUS que esta em funcionamento nos cluster Hélio/Orion do programa de Clima Espacial EMBRACE-INPE.



## **Projeto CNPq-Pq**

Processo: 307083/2017-9

**Título: Eletrodinâmica Espacial em processos do plasma espacial e sua interação com a Terra**

Pesquisador responsável: Dr. Odim Mendes Jr.

Resumo:

Avançando sobre uma base analisada (no projeto anterior) de fenômenos de geofetividade caracterizados na superfície (por exemplo, eventos HILDCAAs, tempestades geomagnéticas, efeito GIC, etc), este projeto tem o objetivo de caracterizar os processos no meio interplanetário e identificar aspectos mais específicos da interação plasma solar-magnetosfera-ionosfera via perturbações geomagnéticas no interior desse sistema. A metodologia consistirá de verificar as condições em que se dão os processos de plasma no meio espacial, em particular próximo à Terra, e relacionar à resposta eletrodinâmica no interior do sistema magnetosfera-ionosfera. Quanto às técnicas, análise de sinais por meio de formalismo multiescala, avaliações com abordagens não-lineares e simulações numérico-computacionais de magneto-hidrodinâmica serão empregadas. A ambição é caracterizar processos do meio interplanetário de uma forma mais aprimorada e possibilitar uma visão mais integrada com as respostas geomagnéticas no interior do sistema magnetosfera-ionosfera. A importância do projeto é contribuir para a continuidade de pesquisas e maior domínio da fenomenologia da Eletrodinâmica Espacial, cujo entendimento implica auxílio a diagnósticos práticos dos efeitos eletromagnéticos em serviços eletro-eletronicamente sensíveis em uso pela sociedade no dia a dia e a desenvolvimentos de produtos para programas de monitoramento de clima espacial, como o EMBRACE do Brasil.

## **PCI-MCTIC 2016**

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE

Título do Projeto:

**Capacitação computacional em modelos MHD e Híbrido espaciais para sistema HPC**

Processo institucional nº: 454779/2015-1

Processo individual nº: 170085/2016-3

Nome do bolsista: Varlei Everton Menconi

Nomes dos Orientadores/Supervisores: Odim Mendes Júnior e Margarete Oliveira Domingues

Nome do Coordenador PCI: Alisson Dal Lago

Data de início do projeto: 2016



Categoria do projeto (Científico/Tecnológico)

Área de atuação: Ciências Espaciais e Atmosféricas

Área temática/objetivo no Projeto Institucional: Geofísica Espacial

Resumo:

O projeto de "Capacitação computacional em modelos MHD e Híbrido espaciais para sistema HPC" realiza a implantação e capacitação em recursos computacionais especializados para as modelagens de plasmas espaciais demandados pela equipe de pesquisa de Ciências Espaciais, da Coordenação de Ciências Espaciais, em cooperação com equipe de Computação Científica do Laboratório de Computação e Matemática Aplicada, dos Laboratórios Associados e equipe do programa de Clima Espacial do INPE (Embrace). O procedimento será de instalação dos pré-requisitos necessários, a implementação de um conjunto de códigos de magneto-hidrodinâmica, a implantação de recursos visualizadores, compatibilização de servidoras, subsídios à documentação pertinente ao trabalho, e capacitação de recursos humanos. Como resultados do projeto, esperam-se o sistema computacional com funcionalidades MHD e híbridas ativadas, informações e instruções estruturadas, organizadas e disponíveis em documento, e capacitação inicial de equipe supervisora. Um resultado científico será gerado com a análise de um caso básico de interação do meio interplanetário com a Terra.

## **PCI-MCTIC 2013**

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE

Título do Projeto:

**Desenvolvimento de recursos de visualização e simulação de eletrodinâmica espacial visando HPC**

Processo institucional nº: 455097/2013-5

Processo individual nº: 302451/2013-7

Nome do bolsista: Varlei Everton Menconi

Nomes dos Orientadores/Supervisores: Odim Mendes Júnior e Margarete Oliveira Domingues

Nome do Coordenador PCI: Alisson Dal Lago

Data de início do projeto: 2013

Categoria do projeto (Científico/Tecnológico)

Área de atuação: Ciências Espaciais e Atmosféricas

Área temática/objetivo no Projeto Institucional: Geofísica Espacial

Resumo:

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.

## **Research Project**

### **Postdoctoral project of China-Brazil Joint Laboratory for Space**

#### **Weather - 2018**

Title

**Study of the effects of the interaction of different geoeffective interplanetary structures on the global and inner dynamics of the terrestrial magnetosphere using Global Numerical Simulation MHD-3D.**

Candidate

Dr. Paulo Ricardo Jauer

Place

Division of Space Geophysics – DGE

National Institute of Space Research – INPE

São José dos Campos - SP

Supervisor/Brazil

Dra. Maria Virginia Alves – DGE

National Institute of Space Research – INPE

São José dos Campos - SP

February de 2018

#### **Goals of Research Proposal:**

The objective of this research proposal is to make a comprehensive study on the interaction of different interplanetary structures as mentioned above that hit the terrestrial magnetosphere and cause magnetic storms and substorms and an increase of ULF wave activity in the internal magnetosphere by using MHD-3D simulation in combination with satellite observations. The model we will use is an state-of-the-art with high performance and flexibility and self-consistent MHD-3D model, SWMF / BATS-R-US (TÓTH et al., 2005; GOMBOSI et al., 2001), that coupled different domains and physical models from the solar surface to the surface of the Earth. In the case of modeling the interaction of different interplanetary structures with terrestrial magnetosphere, the SWMF/BATS-R-US allows the coupling to other models: inner magnetosphere (IM), and an ionospheric model (IE). With this set of coupled models for magnetosphere simulation, it is possible to extract physical parameters that characterize different mechanisms of the terrestrial magnetosphere during substorms (e.g, Cross



Polar Cap Potential) (CPCP) and geomagnetic storms index (e.g Dst (Disturbance Storm Time) and Kp (Planetary Index). In addition, the model also makes it possible to investigate geomagnetic (db/dt) perturbations from virtual ground magnetometers that can be located at any position on the Earth's surface.

### **Projeto de doutorado – CNPq 2016.**

Nome: Marcos Vinicius Grala Barbosa

Projeto: **Características da corrente da magnetopausa em diferentes regimes de equilíbrio de pressão**

Orientado por: Maria Virginia Alves

Período: fevereiro de 2016 a fevereiro de 2020

Agência de fomento: CNPq

Resumo da atividade:

Para o trabalho é utilizado um código de simulação por partículas, chamado iPIC3D. Devido a grande escala e o uso de simulação tridimensional o cluster é de extrema importância para as rodadas. É utilizado um código por partículas com a intenção de observar a importância de fenômenos microscópicos na região da magnetopausa terrestre.

### **Projeto de doutorado – CNPq 2015**

Nome: Roberta Gonçalves Schmitz

Projeto: **Mecanismos envolvidos em transferência de energia em reconexão magnética simétrica e assimétrica via simulações por partículas**

Orientado por: Maria Virginia Alves

Período: fevereiro de 2015 a fevereiro de 2019

Agência de fomento: CNPq

Resumo da atividade: Realização de simulações por partículas (PIC) de reconexão magnética. O código utilizado é o iPIC3D, que necessita de muitos processadores. A resolução das equações e o número de partículas utilizadas na simulação tornam inviável o uso de computador pessoal comum.

### **Projeto de doutorado – CNPq 2013**

Nome: Anna Karina Fontes Gomes.

Título: **Simulação Numérica de um modelo magneto-hidrodinâmico multidimensional no contexto da multirresolução adaptativa por médias**





**celulares**. 2017. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Margarete Oliveira Domingues (PG-CAP) e Odim Mendes Junior (PG-GES).

### **Projeto de mestrado – CNPq 2012**

Nome: Müller Moreira Souza Lopes.

Título: **Método de alta ordem para ajuste de passo de tempo local para resolução numérica de equações diferenciais evolutivas com o uso de análise multirresolução adaptativa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Margarete Oliveira Domingues (PG-CAP) e Odim Mendes Junior (PG-GES).

### **Projeto de doutorado – CNPq 2014**

Nome: Müller Moreira Souza Lopes.

Título: **Métodos numéricos adaptativos para resolução de equações diferenciais parciais evolutivas em aplicações espaciais**. Início: 2014. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. (Orientador).

### **Projeto de pesquisa e Doutorado: Previsão de explosões solares através de técnicas de mineração e computação de alto desempenho - 2015**

Pesquisadores responsáveis: Discola Junior, S.L.; Cecatto, J.R

Descrição:

Explosões solares são súbitas liberações de grande quantidade de energia pelo Sol que podem, entre outros problemas, danificar dispositivos eletrônicos de naves espaciais tripuladas e satélites, prejudicar sistemas de comunicação e de posicionamento e até provocar pane em redes de distribuição de energia. Assim, a previsão de explosões solares é de grande interesse para alertar as organizações que operam sistemas de alta tecnologia, que são sensíveis aos fenômenos solares, com a devida antecedência para mitigar os efeitos indesejáveis ou até evitá-los se possível. Dados de séries temporais solares são adquiridos a cada 12 minutos, produzindo uma enorme quantidade de dados que devem ser analisados automaticamente, a fim de alertar as organizações interessadas sobre a possível ocorrência de uma nova explosão solar. Os métodos tradicionais de classificação de “data mining” categorizam observações em rótulos. No entanto, em relação ao problema da



explosão solar, estamos interessados em rotular dados ainda não observados. Além disso, as explosões solares intensas e extremas ocorrem raramente, portanto os conjuntos de dados neste domínio são muito desequilibrados: há muito mais tuplas classificadas como "Nenhuma ocorrência de explosão solar" do que o contrário. Logo, este projeto de pesquisa tem como objetivo desenvolver um método que preveja explosões solares empregando computação de alto desempenho e mineração de dados de séries temporais. O método proposto também deve lidar com a questão do desequilíbrio de dados e abordar possíveis previsões duvidosas.

Estima-se trabalhar com ao menos uma década de dados como séries temporais de raios-X e séries de magnetograma. Logo, a preparação da base e posterior construção do modelo de previsão requer um grande volume de processamento de dados. Para isto, este projeto necessita de um cluster de nós que incluam placas com tecnologia CUDA a fim de viabilizar o processamento dos algoritmos utilizados na construção do modelo de previsão de explosões solares. Como explicado no artigo [1], com o aumento do volume de dados, é necessário a otimização dos algoritmos para garantir a viabilidade do processo de previsão. Além disto, este artigo demonstra resultados preliminares e promissores da técnica que está sendo empregada. Estima-se trabalhar com 2 ou 3 nós do cluster do INPE a fim de efetuar tal processamento. Em outubro/2017 foram realizados testes preliminares no cluster do INPE e na configuração dos computadores que serão usados na fase de desenvolvimento e homologação deste projeto. Este projeto está sendo realizado pelo doutorando Sérgio Luisir Discola Junior da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), sob supervisão do seu orientador Prof. Dr. Márcio Merino Fernandes (UFSCar) e colaboração da Profa. Dra Marcela Xavier Ribeiro (UFSCar), com o fundamental apoio do pesquisador do INPE, Dr. José Roberto Cecatto, que está fornecendo o suporte na área de explosões solares. O projeto teve início em Março de 2015 e tem previsão de término em Julho/2019. De acordo com o planejado, estima-se a utilização do cluster do INPE nas fases de finalização de desenvolvimento e homologação a partir de 05/2018 até 07/2019.

Bibliografia:

- [1] Discola Junior, S.L.; Cecatto, J.R.; Merino Fernandes, M.; Xavier Ribeiro, M. SeMiner: A Flexible Sequence Miner Method to Forecast Solar Time Series. Information 2018, 9, 8.

### **Projeto temático da fapesp**

**Título: "What Drives the Stellar Mass Growth of Early-Type Galaxies? Born or made: the saga continues..."**

Pesquisador responsável: Reinaldo de Carvalho, DIDAS/INPE



Vigência do projeto: 2016 a Julho/2018.

O "cluster" foi utilizado dentro do contexto do projeto temático da fapesp "What Drives the Stellar Mass Growth of Early-Type Galaxies? Born or made: the saga continues...".

Abordagem científica:

Uso do HPC em vários temas específicos como: 1) Modelagem Bayesiana de Imagens de Galáxias, que se constitui num dos principais investimentos do projeto temático; 2) Estudo de Populações Estelares em Grupos Compactos; 3) Estudo da Relação entre a Dinâmica de Aglomerados e a População Estelar de suas Galáxias Membro; e 4) Classificação Morfológica de Galáxias. Todos esses projetos utilizaram maciçamente o "cluster" tornando factível a investigação sobre amostras consideravelmente grandes de galáxias.

### **Projeto Pós-Doc: Implementação de modelagem de Vento Estelar visando ao estudo de instabilidades**

Pós-Doc: Edgard de Freitas Diniz Evangelista

**Supervisores:** Dr. Oswaldo Duarte Miranda (DIDAS), Dr. Odim Mendes (DIDGE), Dra. Margarete Oliveira Domingues (LAC)

**Período:** 01/02/2018 a 30/06/2018

**Agência:** CNPq (bolsa PCI-DA)

**Resumo do projeto:** O projeto consiste fundamentalmente na criação de uma modelagem do ambiente de vento estelar e sua interação com corpos levando-se em consideração a existência de campos magnéticos, propiciando uma ferramenta para futuras abordagens na investigação científica de formação de instabilidades magneto-hidrodinâmicas (MHD) em tal ambiente. Será realizada, no contexto da MHD, modelagem do ambiente estelar em interação com um planeta, onde este será modelado em duas situações: com e sem campo magnético próprio. O vento estelar será modelado com base no modelo de Parker representando o vento estelar com as condições específicas, de forma a permitir futura abordagem das instabilidades. A seguir o modelo será utilizado outro estudo de caso consistindo na simulação de um cometa sob regimes distintos: inicialmente sob efeito do vento produzido por estrela tal como o Sol e, para comparação, sob influência do vento produzido por uma estrela massiva e quente. O objetivo é determinar se há instabilidades ou outros fenômenos que são característicos dos regimes correspondentes a cada caso. O principal código utilizado será o FLASH e, além disso, será pesquisada a viabilidade de uso do AMROC na simulação de tais cenários.

**Resumo de uso dos equipamentos:** Os clusters têm sido utilizados na simulação do ambiente de vento estelar e sua interação com planetas; além disso, simulam-se cometas em 2D e 3D sob efeito do vento solar. Tais cenários são abordados no formalismo da Magneto-hidrodinâmica, utilizando-se o código FLASH em suas versões 2 e 4 para o tratamento numérico dos sistemas de equações e geração dos resultados. Além disso, o



código AMROC (Blockstructured Adaptive Mesh Refinement in object-oriented C++) foi instalado e tem sido testado.

### **Projeto relacionado ao Instituto Nacional de Ciência de Tecnologia para Estudos Tectônicos**

Os projetos de pesquisa desenvolvidos, com financiamento externo de grande porte para a coleta de dados, que fazem uso do HPC são:

INCT-ET (Instituto Nacional de Ciência de Tecnologia para Estudos Tectônicos)

Grant 573713/2008-1, financiamento CNPq (2009-atual),

**coordenador:** Reinhandt A. Fuck (UnB)

Instituto do Milênio (grant 420222/05-6), financiamento CNPq

(2005-2009), coordenador Reinhandt A. Fuck (UnB)

Auxílio à Pesquisa Temático (grant 09/50493-8), financiamento da FAPESP

(2009-2015), coordenador Ícaro Vitorello (INPE)

### **Resumo do uso do HPC:**

Esses equipamentos são utilizados para obter soluções 3D para métodos geofísicos eletromagnéticos com fonte natural. Esses métodos permitem estimar a distribuição da condutividade elétrica em sub-superfície, a partir de medidas das variações no tempo dos campos magnético e elétrico naturais na superfície terrestre. Uma parte crucial desse procedimento é a etapa de inversão dos dados, na qual se usam métodos iterativos que ajustam estatisticamente os dados, minimizando a diferença entre as medidas e o cálculo, geral mente considerando o desvio quadrático médio (RMS). Para obtenção dos modelos de distribuição espacial da condutividade, os códigos disponíveis utilizam diferentes tipos de algoritmos e discretizam o interior da Terra com blocos com dimensões variáveis, mas fixas durante o processo de inversão, que podem ser 3D (cubos variando em profundidade e 2 direções horizontais). O processo de inversão consiste em variar o valor da resistividade de cada um desses blocos para ajustar os dados experimentais. O código que temos utilizado é o ModEM, instalado nos nossos clusters e que utiliza processamento em paralelo para minimizar o tempo computacional.



## **6.10 - Iniciações científicas e estágios:**

Trabalho de extensão (orientação de aluno de iniciação científica) entre INPE e o curso de Engenharia Física USP de Lorena.

**Camila Abrantes da Fonseca Batista.**

Trabalho: **Tratamento, manipulação, visualização e interpretação dos dados de saída modelados pelo código Magnetohidrodinâmico (MHD) 3-D SWMF/BATS-R-US.** 2018. Iniciação científica (Engenharia Física) -

Universidade de São Paulo

Referências adicionais: Brasil/Português.

Devido à relevância e o interesse do tema deste projeto, está contribuindo com a formação de pessoal através de uma co-orientação de iniciação científica (IC/PIBIC/INPE) em parceria com a USP-Lorena, curso de Engenharia Física. A co-orientação já encontra-se em cursos e com a bolsa PIBIC da Aluna implementada pelo programa de PIBIC do INPE.

### 3.1 Resumo do projeto de IC/PIBIC

A interação entre o sistema: Sol, meio interplanetário, magnetosfera terrestre, ionosfera e alta atmosfera tem despertado grande interesse científico e tecnológico nas últimas décadas, devido aos seus efeitos no ambiente que circunda à Terra. O plasma (vento solar magnetizado) emitido de forma contínua pelo sol, e em todas as direções e com velocidade supersônica e super Alfvênica interage com diferentes obstáculos magnetizados ou não durante a sua propagação. Um destes obstáculos, condutor à sua propagação é o campo magnético terrestre. Desta interação, resulta uma cavidade ou estrutura, no meio interplanetário comumente conhecida como magnetosfera terrestre. Esta estrutura, é composta de diversas regiões, por exemplo: Magnetopausa, cúspides polares, cinturões de radiação, magnetocauda e a lâmina de plasma. Quando ocorre explosões solares, há uma grande liberação e aumento significativo, de massa, momentum e energia que se propaga através do vento solar gerando choques e interações com o plasma ambiente que é denominada Ejeções Coronais de Massa. Este aumento abrupto de massa, momentum, energia e fluxo magnético, pode interagir com a magnetosfera terrestre. E é através do processo físico de reconexão magnética, que ocorre na magnetopausa terrestre que permite a entrada deste conteúdo energético e magnetizado. Este aumento abrupto da energia pode causar às tempestades e subtempestades magnéticas, que são manifestações deste acoplamento. Sendo assim, todo o ambiente terrestre torna-se vulnerável a todo momento a este conteúdo energético, tanto os seres humano como animais, bem como, os sistemas tecnológicos, tanto em Terra como no espaço. Deste modo, é de grande importância estudar e conhecer este ambiente. Uma maneira é através de medidas e monitoramento de satélites, no entanto, estes apesar de ser vital, cobrem somente pequenas regiões devido às grandes escalas envolvidas. Sendo assim, surgiu a simulação MHD 3D, que vem como uma ferramenta para auxiliar os meios já existente. A simulação MHD3D é um conjunto de códigos numéricos que resolvem



numericamente um conjunto de equações de forma auto-consistente, que permite reproduzir com certo grau de precisão e confiabilidade uma sistema Sol-Terra, virtual. As simulação MHD3D da magnetosfera permite ao cientista reproduzir ou recriar cenários, perturbados que após uma análise minuciosa e detalhada dos dados chegara a uma conclusão de qual seria os possíveis impactos na vida humana e nos sistemas tecnológicos, e quais seriam as medidas possíveis a serem tomadas para contornar ou minimizar seus efeitos. As simulações MHD3D, como cobrem vastos Raios terrestres geram um grande número de dados a serem tratados e analisados. Deste modo, é fundamental ter ferramentas de análise e visualização dos dados de saída dos Modelos.

Joelson da Conceição Batista **Pós-Doutorado (2014-2015)**, CNPq, supervisor: Antônio Lopes Padilha, INPE.

Katia Ailin Horvath **Mestrado (2015-2017)**, CNPq, supervisor: Antônio Lopes Padilha, INPE.

Rodrigo Seo Takeshi. **Mestrado (2017-2018)**, CNPq. Programa CAP. Supervisores: Margarete Oliveira Domingues (LABAC, COCTE) e Odim Mendes Jr (DIDGE/CGCEA).

Raphael Villanova Moreno. **Estágio (2017-2019)**, CIEE/INPE, Supervisor: Odim Mendes Jr. (DIDGE/CGCEA). Desenvolvimento de sistemas para aplicação científica visando uso em HPC.



## 7 - Resultados obtidos entre março e outubro de 2018

<b>7.1 - Tabela de resultados obtidos até outubro de 2018:</b>		
<b>Item</b>	<b>Descrição de resultados obtidos:</b>	<b>Unidades:</b>
01	pesquisadores envolvidos na coordenação do projeto	06
02	pesquisadores usuários diretos envolvidos	26
03	programas de pós-graduações envolvidos	03
04	pós-graduações conduzidas (mestrado e doutorado)	12
05	Pós-docs, iniciações científicas e estágios	09
06	Projetos científicos implementados	31
07	Curso ministrado voltado para soluções em HPC	02
08	Participações em congressos, conferências ou workshops (nacionais e internacionais)	41
09	Cooperações internacionais (número de países envolvidos)	07
10	Visitantes internacionais	05
11	Relatório e manuais técnicos para HPC	04
12	Publicações (internacionais e nacionais)	32

## 7.2 – Exemplos de resultados científicos (representado por gráficos e figuras)

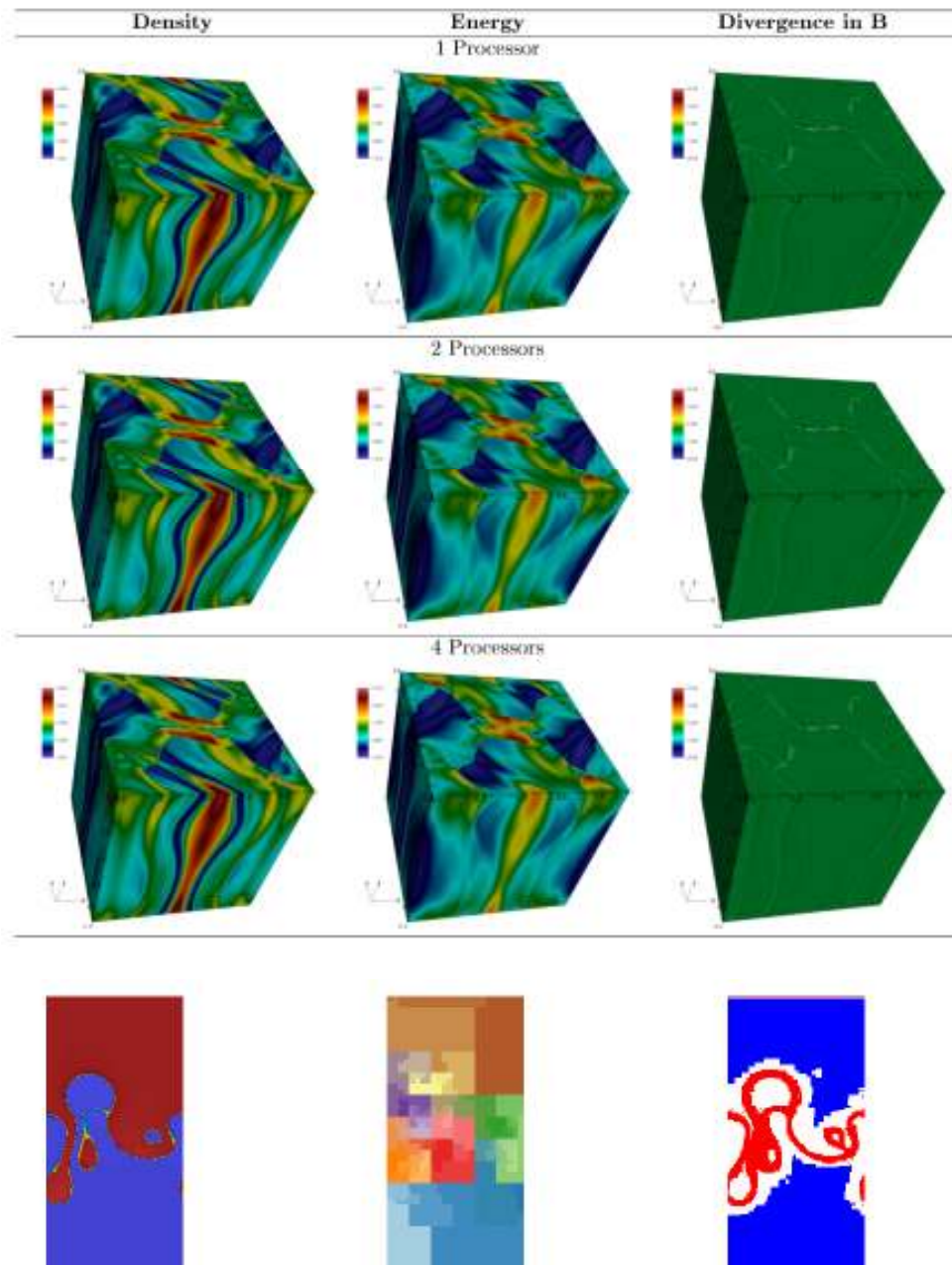


Fig. 7.1 – Com ferramentas computacionais em desenvolvimento no INPE e envolvendo parcerias internacionais, mostram-se exemplos de estudos envolvendo estruturas MHD simuladas e, na parte inferior, representação de desenvolvimento de instabilidade de plasmas espaciais.



A Figura 7.1 mostra etapa de evolução dos desenvolvimentos de recursos próprios de modelagem computacional para processos de magneto-hidrodinâmica. Tais modelagens têm-se tornado area essencial na compreensão de dinâmicas multiescalas da Geofísica Espacial e da Astrofísica. As investigações teórico-observacionais completam-se com os resultados das simulações numéricas. No entanto, simulações MHD plenas são tipicamente muito demandantes e podem requerer substanciais esforços computacionais. Como exemplo da importância desses esforços de desenvolvimento, a previsão computacional para clima espacial é um objetivo de longo termo, que se justifica pelas necessidades de mitigação de efeitos deletérios nas tecnologias de telecomunicações ou sobre o tecnologias eletronicamente sensíveis. Desta forma, busca-se dotar de novas características “solvers” MHD compressivo para modelagens bi e tridimensional como o implementado no framework paralelizado AMROC (Adaptive Mesh Refinement in Object-oriented C++) considerando critérios de adaptação de malha por meio de técnicas wavelet.

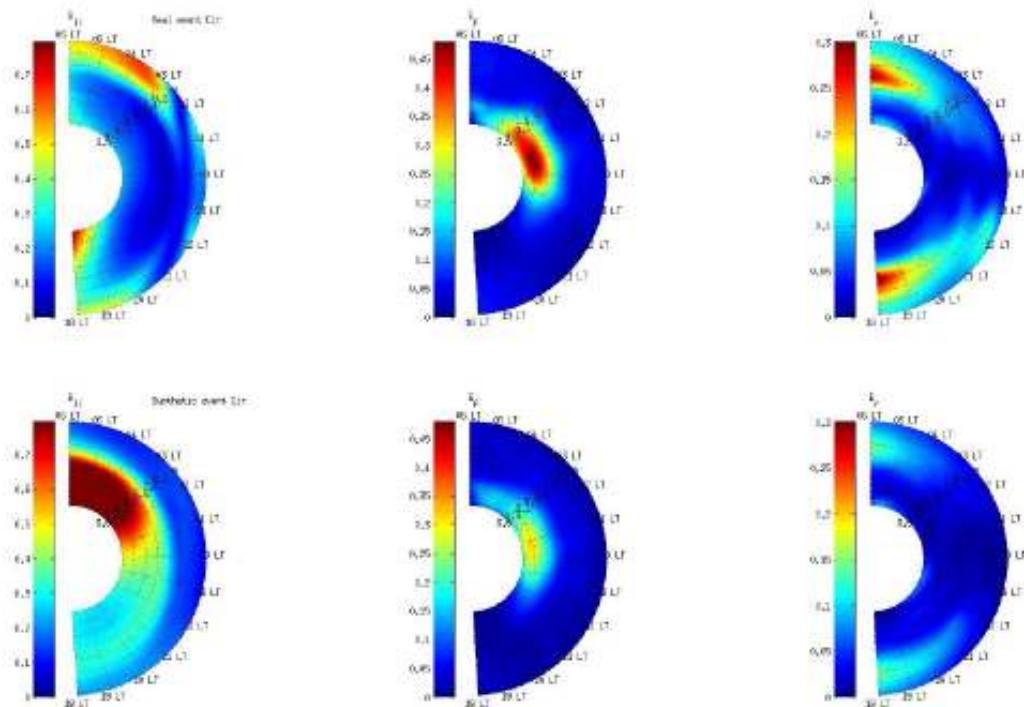


Fig. 7.2 – Representação do espectro de potência das componentes ( $B_{||}$ (paralelo),  $E_{\phi}$ (azimutal),  $E_r$ (radial)) das ondas ULF (PSD) no plano equatorial de Re(3,5-9,0), na região noturna, na faixa de (0,5-16,6 mhz), para um evento modelado com parâmetros reais (parte superior) e para uma evento sintético (parte inferior) .

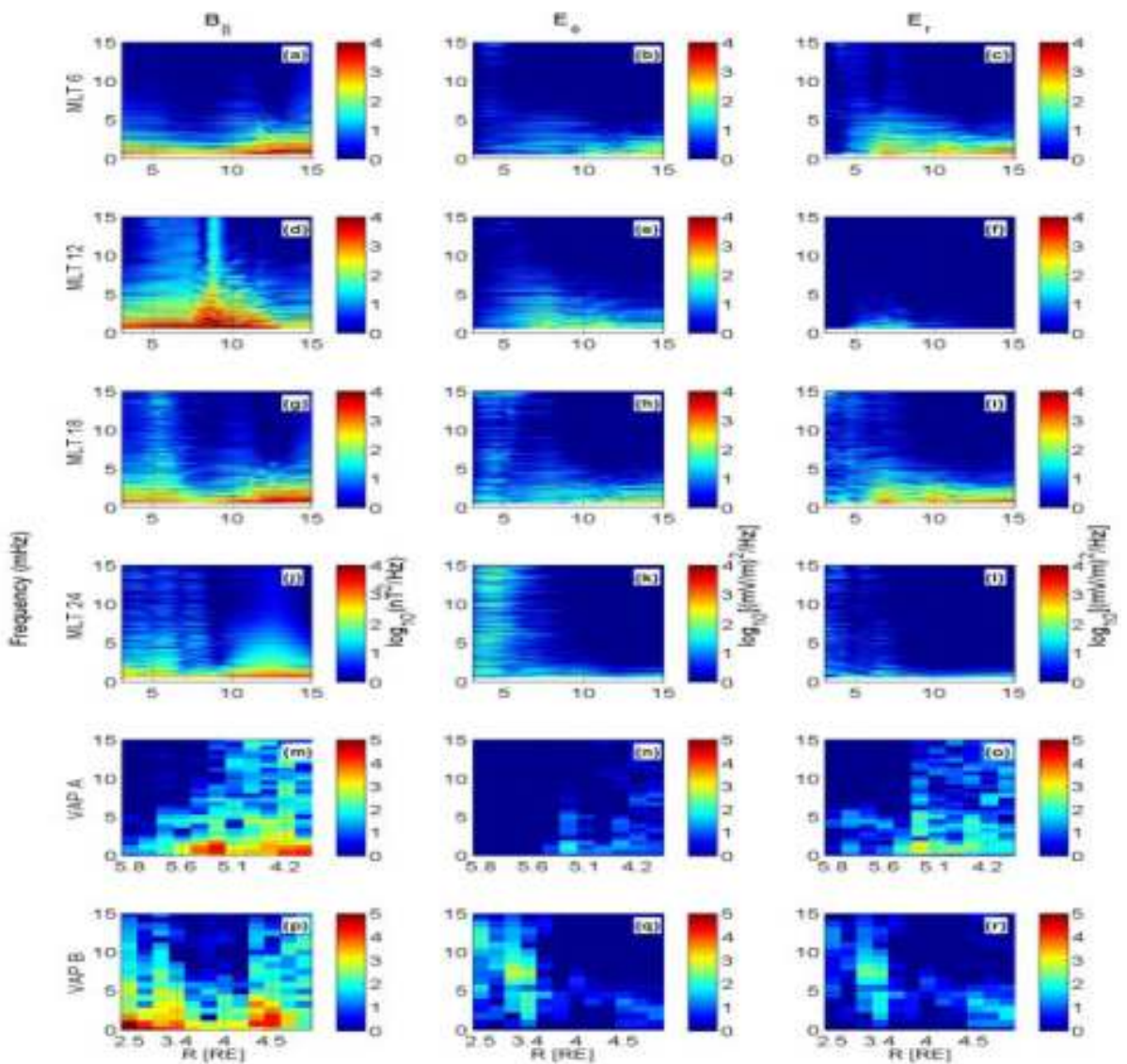


Figura 3- Ilustração do espectro de potência das ondas ULF em diferentes MLT. Nas figuras de (a-l), ilustra-se o PSD modelado a partir do modelo MHD3D SWMF/BATSRUS e as figuras (m-r), o PSD, obtido pela sonda Van Allen. Esta figura é uma ilustração da publicação de L.R.Lívia et, al (2017).

O sistema HPC, constituído dos clusters orion-d11 e hélios, é de grande importância para estudos exploratórios do ambiente espacial. Essa importância pode ser caracterizada com uma breve e sucinta apresentação do uso para alguns resultados de projeto. Na palavra de um usuário, “os clusters Helio e orion adquiridos pelo projeto CT-Infra FINEP está possibilitando diferentes grupos de pesquisa na instituição a desenvolver pesquisas científicas e publicações em revistas de alto nível de qualidade na área de física de plasmas espaciais. As Simulações MHD 3D

da magnetosfera terrestre em combinação com observações de satélites estão hoje ocupando um lugar de destaque na comunidade científica internacional. A solução de um conjunto acoplado de equações, por exemplo MHD3D, torna-se possível por meio da aplicação de um método numérico, em que as equações são resolvidas e, desta forma, obtêm-se as informações de regiões do ambiente em estudo representadas na solução numérica. Para que tal ambiente virtual seja modelado é preciso que os modelos escritos em alguma linguagem de baixo nível sejam compilada em um supercomputado ou cluster com ótima performance no tempo. Na Figura 7.2, ilustram-se alguns resultados obtidos durante o projeto com o modelo MHD3D SWMF/BATSRUS que já está em funcionamento no programa de Clima Espacial (Embrace) do INPE.”

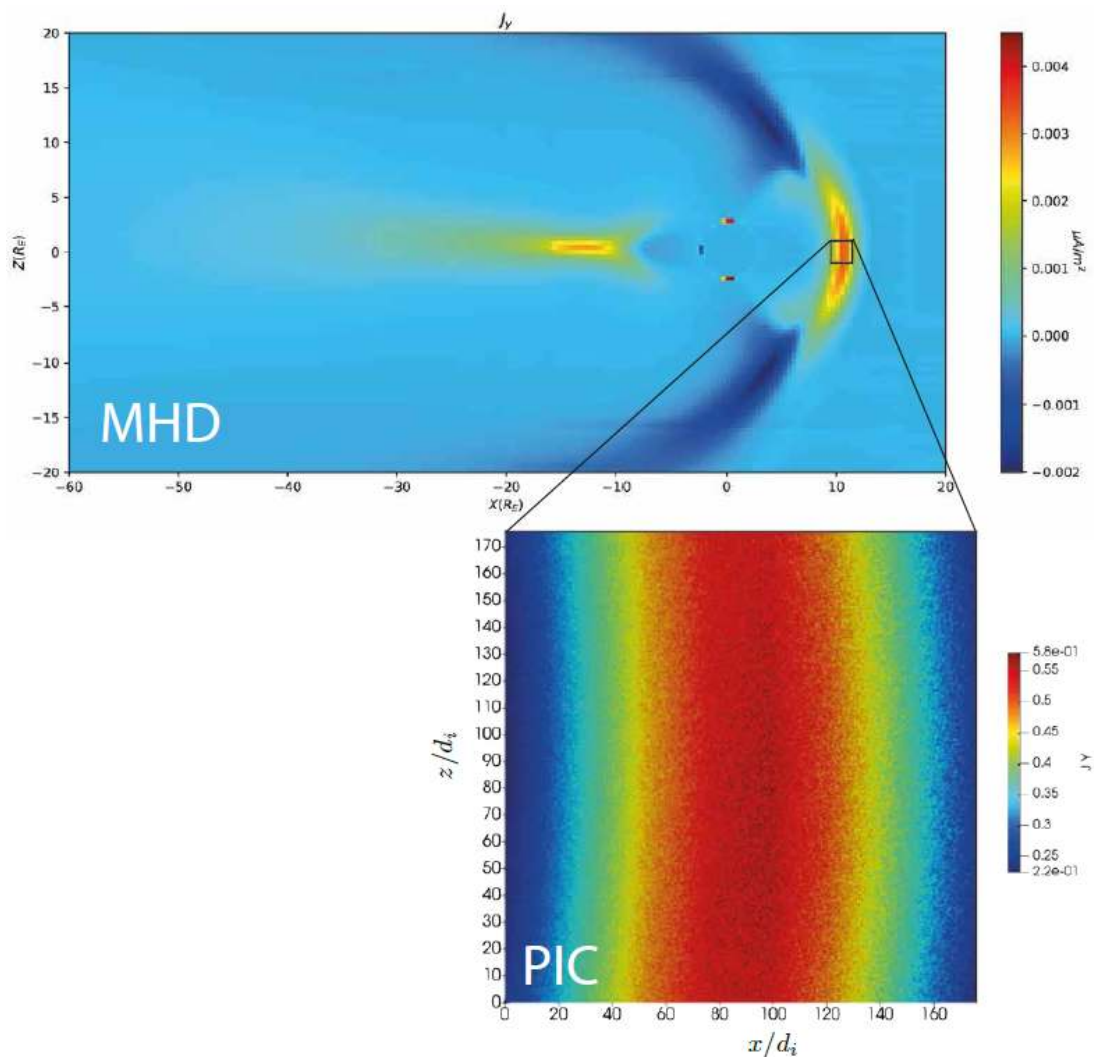


Fig. 7.3 – Ilustração de resultado de simulação em código de Particles in Cell (PIC).

# Particle-in-cell simulations of the magnetopause current in different solar wind Mach number

Marcos Vinicius Grala Barbosa  
 ALVES M. V., SCHMITZ R. G.  
 National Institute for Space Research

## Introduction

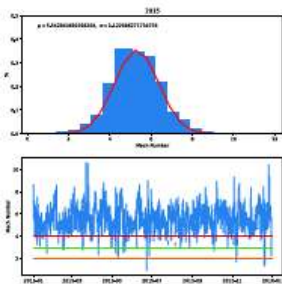
The region that separates the processes controlled by the solar wind magnetic field and Earth's magnetic field is called magnetopause. In it, there is a current formed by the change in magnetic field configuration. This current is populated by the particles that are coming from the solar wind and are deflected by the dipolar magnetic field of the Earth. The size of this current, based on macroscopic features of the magnetopause, was estimated around 400-1600km varying with latitude and solar wind conditions [1]. Since the launch of the Magnetospheric Multiscale (MMS) Mission [2], we have access to magnetospheric data with higher resolution in time and space. This allows for the study of the magnetopause on a smaller scale than before [3]. With the recent development of optimized codes, better computers simulations of plasma process have grown, including the ones using particle simulation, which have always required higher computational resources. Our objective is to combine MHD and PIC simulations with observations of magnetopause to understand the changes that occur in the magnetopause current for different solar wind magnetosonic Mach number.

## Mach number

For the solar wind to have low magnetosonic Mach number, either the flux speed must be low or the magnetic field high:

$$M_{MS} = \frac{v_{sw}}{\sqrt{v_A^2 + v_{te}^2}}$$

More generally, the low Mach number can have many impacts in the magnetosphere. Focusing on the magnetopause, the reconnection rate in the magnetopause can be affected by the Mach number and the thickness of the current layer can also be modified [4].



It is not common for the solar wind to have low Mach number, and it is harder to find periods with a Mach number smaller than 2. As can be seen in Figure 1, that shows the distribution of Mach number for 2015 obtained from the OMNI dataset [5], there is only a small number of moments where the mean Mach number for the solar wind was below 3 and even fewer below 2.

Figure 1 (Top) Histogram of Mach number of the solar wind for the year 2015. (Bottom) Distribution of Mach number by day of the year with 1 hour average. The red, green and yellow lines represent Mach numbers of 4, 3 and 2, respectively.

Here we show the attempts to run a PIC code using global MHD simulation as the initial and boundary conditions to investigate the magnetopause current within low Mach Number.

## Methodology

To begin our work, a global MHD simulation performed with the BATS-R-US [6] code was used. This simulation had normal solar wind parameters (density of 10 particles per cubic centimeter, flow speed of 300km/s and zero IMF). At the end of this simulation, a square box of size 2R<sub>E</sub> was defined at the magnetopause nose. Then, the values of the magnetic field, velocity, density, current and pressure were interpolated to a grid with a greater resolution and only two dimensions (X and Z). This interpolation was done using cubic splines to reduce problems with derivative later. The values obtained for the MHD code were used to initialize and define the boundary conditions for the PIC simulation using the iPIC3D particle code [7]. Figure 2 includes the current in the Y direction for the MHD and the initial state of the PIC simulation in the box defined.

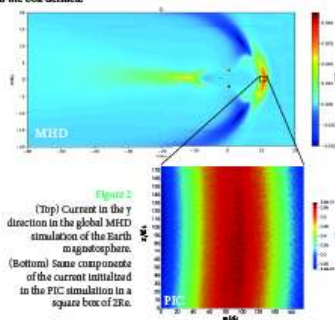


Figure 2 (Top) Current in the y direction in the global MHD simulation of the Earth magnetosphere. (Bottom) Same component of the current initialized in the PIC simulation in a square box of 2R<sub>E</sub>.

At each cell, the velocity was used as the mean velocity to generate a Maxwellian distribution of ions, and these particles are equally spaced based on the density given by the MHD results. For the electron velocity, a combination of ion velocity and the total current was used. The kinetic pressure is used to determine the thermal speed of the particles they are given by the following equations:

$$v_{th} = v_{th} - \frac{j}{ne} \quad \text{and} \quad P = \frac{1}{2} m v_{th}^2$$

The electric field is defined using  $E = -\nabla\phi$  since this is the frozen-in condition in the MHD simulation. If at any time step a particle exit the simulation box, it is deleted and a new particle is added in the simulation to maintain a constant number of particles. The density and magnetic field were normalized using the solar wind parameters, while the velocity  $w$  is normalized by the light speed. The ion inertial length has a value of 75 km, and our simulation box is a square of 2 Earth radii size, and the grid is 200x200 cells. The normalized time step is 0.01 and the number of particles in each cell is 550 including one species of ion and one of electrons. The normalized electron mass is 64.

The implementation of the initialization of the PIC code using the MHD result took longer than expected and, at the end, the result is still not good. These steps were based on the SWMF coupling of the iPIC3D and BATS-R-US codes, with the main distinction that the SWMF has a two-way coupling [8], so the two codes run together; at each time step the MHD provides the boundary and the PIC model is used to improve the MHD solution.

## Preliminary results

In Figure 3 are the snapshots taken in the first 3 time steps, and then in the time step 30 for the current. As we can see there is a fluctuation propagating through the simulation box, propagating away from the Earth.

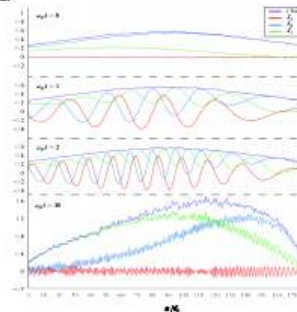


Figure 3 Line graph of all three components of the current in the PIC simulation taken at  $t=0$ . In the beginning of the simulation the main component is in the y direction. In the next step, a fluctuation appear and propagates from left to right (Earth to Sun). The fluctuation reduces amplitude with rise of the current intensity.

This is followed by a similar fluctuation in the electric field and density, although it is smaller in the later. The magnetic field remains mainly constant throughout the simulation.

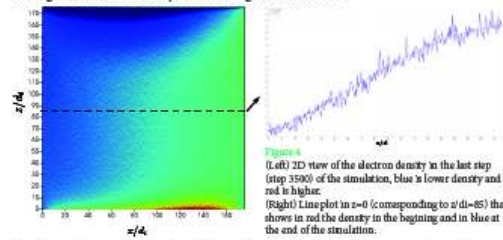


Figure 4 (Left) 2D view of the electron density in the last step (step 3500) of the simulation, blue is lower density and red is higher. (Right) Line plot in  $x=0$  (corresponding to  $y=0$ ) that shows in red the density in the beginning and in blue at the end of the simulation.

The electron density in the center line of the simulation box has only small fluctuations during the entire 3500 steps of the simulation, as can be seen in the Figure 4. At a later time step, particles started being lost at the bottom and top of the simulation box. This is due to the lack of implementation of the proper boundary conditions for the particles, that were only implemented at the left and right boundary.

## Future work

The next steps is to fix these issues and use data from the events where the Mach number is low and normal and run a BATS-R-US code for each. And once that is made, the PIC simulations will be performed to find the changes in the current region. One additional step will be use MMS data in the chosen days to understand the differences in the real magnetopause.

## Bibliography

- [1] Bartram, Irma, and C. T. Russell. "The thickness of the magnetopause current layers HE1 and 2 observations." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 77, (1982).
- [2] Burch, J. L., et al. "Magnetospheric multiscale overview and science objectives." *Space Science Reviews* 188, 1-4 (2014).
- [3] Russell, C. T., et al. "Structure, time behavior, and topology of Earth's magnetopause." *Science* 356, 4341 (2017).
- [4] Leonard, Bruce, and Joseph G. Borovsky. "Global solar-wind-magnetosphere interaction at low Mach numbers. Current sheet structure." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 113 (2008).
- [5] King, J. H., and N. E. Papadimitriou. "Solar wind-particle scale in and comparison of hourly Wind and ACE plasma and magnetic field data." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 110 (2005).
- [6] Powell, Kenneth G., et al. "A solution-adaptive upwind scheme for ideal magnetohydrodynamics." *Journal of Computational Physics* 154, 2 (1999).
- [7] Minikawa, Yoshio, and Giovanni Lapenta. "Multi-scale simulation of plasma with iPIC3D." *Mathematics and Computers in Simulation* 81, 7 (2018).
- [8] Dickson, Lynn K.S., et al. "Two-way coupling of a global MHD magnetospheric model with a local implicit particle-in-cell model." *Journal of Computational Physics* 241 (2014).

## Acknowledgements



Contact information

e-mail: marcos.barbosagr@inpe.br

Fig. 7.4 – Exemplo de simulações com resultado apresentado em congresso internacional.

No trabalho há gráficos de simulações (Figura 7.3 e 7.4), em que se rodou o código BATS-R-US e, após a estabilização da magnetosfera, rodou-se o código iPIC3D na região da magnetopausa. O HPC viabiliza estudos mais completos.

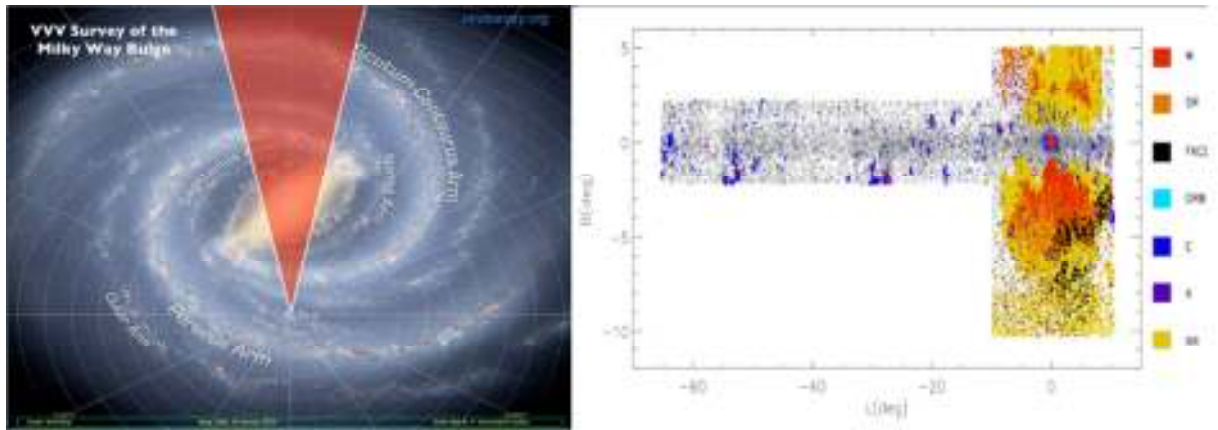


Fig. 7.5 – Detalhe relativo à análise de exploração de variabilidade da Via Láctea.

A Figura 7.5 mostra região do céu VVV (painel à esquerda, créditos à ESO) e conhecidas estrelas variáveis (painel à direita). As cores indicam os tipos de características em atenção. Essa sub-amostra das fontes conhecidas representam apenas 5% de todas as estrelas variáveis incluídas no catálogo. Portanto, um significativo avanço no estudo da evolução estelar e da população no centro galáctico torna-se possível deste tipo de resultado alcançado. Nas palavras de outro usuário, realmente esses resultado apenas foram alcançados graças às facilidades computacionais providas do projeto MCTIC/FINEP (CT-INFRA 01120527-00) conduzidos pela CGCEA e operado com o auxílio do programa Embrace no INPE. As técnicas para desenvolver essas análises foram desenvolvidas e testadas, e possíveis com agilidade, utilizando o sistema.

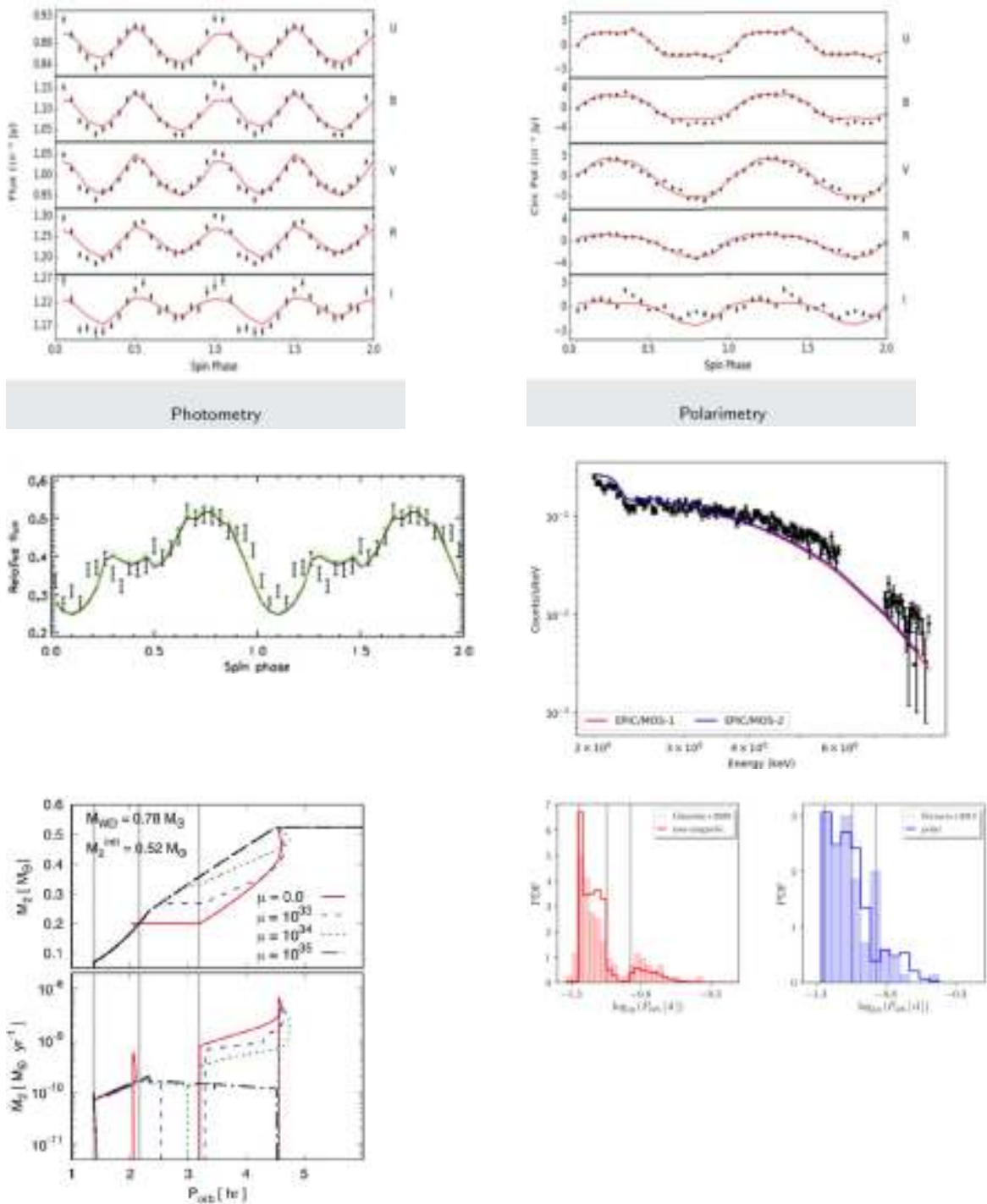


Fig. 7.6 - Dados e modelo produzido com o código Cyclops da estrela binária V405 Aur, do tipo polar intermediária. Os painéis representam a variação do fluxo e da polarização nas bandas U, B, V, R e I (painel superior), variação do fluxo em raios X (painel intermediário) e espectro em raios X (painel inferior).



Constitui facilidade de grande importância para os estudos do grupo de variáveis cataclísmicas da Divisão de Astrofísica (DIDAS, do INPE) e seus colaboradores científicos a disponibilidade de recursos de computação de alto desempenho como o sistema HPC da CGCEA (projeto FINEP-CT-INFRA 01120527-00) e operado pelo programa Embrace. Para maior clareza da importância, o usuário relata: “O cluster helios do sistema HPC pelo grupo de variáveis cataclísmicas da Divisão de Astrofísica do INPE está sendo utilizado para cálculos do código Cyclops descritos em Costa & Rodrigues (2009, MNRAS, 398, 240-1) e Silva et al. (2013). Essa utilização iniciou-se no segundo semestre de 2018 por Diogo T. Belloni e Isabel de J. Lima, sob supervisão da Dra. Cláudia V. Rodrigues. A Figura 7.6 ilustra resultados obtidos no estudo desenvolvido com auxílio da facilidade computacional. Em uma descrição sucinta, durante as explosões solares, a geometria do campo magnético pode ser analisada por meio da sua componente de emissão em micro-ondas com imagens não resolvidas pelos instrumentos atuais. Portanto, para se fazer a análise dessas imagens e espectros usam-se as equações integrais que não têm soluções analíticas, e somente os métodos de tentativa e erro (ou "forward-fitting method") serem possíveis de descrevê-los. O nosso trabalho consiste em calcular várias imagens e espectros sob condições parecidas as observadas (parâmetros encontrados na literatura) e construir um banco de modelos. Esse banco serve para posterior comparação com as explosões observadas para inferir os parâmetros. Um exemplo de aplicação, referente a modelagem da emissão de variáveis cataclísmicas magnéticas, foi mostrado na figura. Ela representa o ajuste da variação do fluxo em óptico (painel superior) e em raios X (painel central) e da polarização (painel superior) com a fase de rotação da anã branca e também do espectro em raios X (painel inferior) do sistema binário V405 Aur (vide figura). Essa variação é causada por emissão bremsstrahlung e ciclotrônica da base de uma coluna de acréscimo formada do fluxo de matéria proveniente de uma estrela de baixa massa da sequência principal. Este trabalho faz parte do doutorado de Isabel de Jesus Lima, foi apresentado na última reunião da Sociedade Astronômica Brasileira e está sendo usado na redação de um artigo a ser submetido em breve como requisito para defesa.”

Caracterizando o crescente interesse pelo sistema HPC implantado pelo MCTI-FINEP CT-INFRA, outros usuários já manifestam as suas propostas de utilização e propósito de pesquisas, envolvendo pesquisadores da instituição, estudantes e outros colaboradores externos ao INPE. Um dos grupos, em física solar, explica: “Durante as explosões solares, a geometria do campo magnético pode ser analisada através da sua componente de emissão em micro-ondas com imagens não resolvidas pelos instrumentos atuais. Portanto, para se fazer a análise dessas imagens e espectros usam-se as equações integrais que não têm soluções analíticas, e somente os métodos de tentativa e erro (ou "forward-fitting method") serem possíveis de



descrevê-los. O nosso trabalho consiste em calcular várias imagens e espectros sob condições parecidas as observadas (parâmetros encontrados na literatura) e construir um banco de modelos. Esse banco serve para posterior comparação com as explosões observadas para inferir os parâmetros.” Ainda com mais um relato e aproximação para uso, destacamos: “

O colaborador da DC-UFSCar fez um primeiro contato em 2017 para conhecer o sistema HPC e estrutura. De acordo com ele, o modelo de previsão de explosões solares existente necessitava avançar e concluir o desenvolvimento antes de ser instalado e usado no cluster. Estou aguardando um comunicado dele referente 'a conclusão e solicitação do uso do cluster... De qualquer forma, estou preparando um projeto da colaboração para ser submetido a uma agência financiadora - eventualmente até' numa chamada específica para projetos de Clima Espacial... Quando o projeto estiver pronto estarei comunicando.”

### **7.3 - Lista dos pesquisadores na equipe de coordenação do HPC:**

Odim Mendes Jr., DGE/CGCEA – líder e coordenador do subprojeto

Oswaldo Duarte Miranda, DAS/CGCEA – Coordenador geral do projeto FINEP

Margarete Oliveira Domingues, LABAC/COCTE – Computação científica

Marcelo Banik, Programa Embrace – Gerente de operações

Ivan Márcio Barbosa, CGCEA – consultor de recursos de HPC

Renato Henrique Ferreira Branco, CGETE - consultor de gestão

### **7.4 - Lista dos usuários que operam ou operaram diretamente os recursos do HPC:**

Anna Karina Fontes Gomes, anna.gomes-at-inpe.br

Carlos Eduardo Ferreira Lopes, carlos.lopes-at-inpe.br

Diego Stalder, stalderdiego-at-gmail.com

Diogo Teixeira Belloni, belloni-at-camk.edu.pl

Edgard Freitas Diniz Evangelista, edgard.evangelista-at-inpe.br

Isabel de Jesus Lima, isabel.lima-at-inpe.br

Ivan Marcio Barbosa, ivan.barbosa-at-inpe.br

Joaquim Eduardo Rezende Costa, joaquim.costa-at-inpe.br

Jose Roberto Cecatto, jr.cecatto-at-inpe.br





Marcelo Banik de Padua, marcelo.banik-at-inpe.br  
Marcos Vinicius Grala Barbosa, marcos.barbosa-at-inpe.br  
Margarete Oliveira Domingues, margarete.domingues-at-inpe.br  
Muller Moreira Souza Lopes, muller.lopes-at-inpe.br  
Odim Mendes Junior, odim.mendes-at-inpe.br  
Operacao Embrace, operacao.embrace-at-inpe.br  
Oswaldo Duarte Miranda, osvaldo.miranda-at-inpe.br  
Paulo Henrique Barchi, paulo.barchi-at-inpe.br  
Paulo Ricardo Jauer, paulo.jauer-at-inpe.br  
Roberta Goncalves Schmitz, roberta.schmitz-at-inpe.br  
Varlei Menconi, varlei.menconi-at-inpe.br  
Vitor Moura, vitormoura21-at-gmail.com

Pesquisadores responsáveis de trabalhos ou participantes nas soluções de simulação:

Antônio Lopes Padilha, antonio.padilha-at-inpe.br  
Maria Virgínia Alves, mvirginia.alves-at-inpe.br  
Reinaldo Rosa de Carvalho, rrdecarvalho2008-at-gmail.com  
Cláudia Rodrigues Villega, claudia.rodrigues-at-inpe.br  
Andrea Cristina Lima Santos Matos, alimageo-at-gmail.com

### **7.5 – Minicurso/recurso para HPC:**

- Um embasamentos de programação científica está sendo ministrado na disciplina Física Solar-Terrestre (GES-300) do programa de pós-graduação de Geofísica Espacial, INPE.

### **7.6 - Artigos publicados, em publicação e a serem submetidos:**

ALVES, L. R.; SOUZA, V. M.; JAUER, P. R.; DA SILVA, L. A.; MEDEIROS, C.; BRAGA, C. R.; ALVES, M. V.; KOGA, D.; MARCHEZI, J. P.; DE MENDONÇA, R. R. S.; DALLAQUA, R. S.; BARBOSA, M. V. G.; ROCKENBACH, M.; DAL LAGO, A.; MENDES, O.; VIEIRA, L. E. A.; BANIK, M.; SIBECK, D. G.;



KANEKAL, S. G.; BAKER, D. N.; WYGANT, J. R.; KLETZING, C. A. The Role of Solar Wind Structures in the Generation of ULF Waves in the Inner Magnetosphere. SOLAR PHYSICS. , v.292, p.92 - , 2017.

ALVES, L. R.; DA SILVA, L. A.; SOUZA, V. M.; SIBECK, D. G.; JAUER, P. R.; VIEIRA, L. E. A.; WALSH, B. M.; SILVEIRA, M. V. D.; MARCHEZI, J. P.; ROCKENBACH, M.; LAGO, A. DAL; MENDES, O.; TSURUTANI, B. T.; KOGA, D.; KANEKAL, S. G.; BAKER, D. N.; WYGANT, J. R.; KLETZING, C. A. Outer radiation belt dropout dynamics following the arrival of two interplanetary coronal mass ejections. Geophysical Research Letters. , v.42, p.n/a - n/a, 2015. [doi:10.1002/2015gl067066]

EVANGELHISTA, E. F. D. ; DOMINGUES, M. O. ; MENDES, ODIM ; MIRANDA, O. D. . Simulating the Interaction of a Comet With the Solar Wind Using a Magnetohydrodynamic Mode. Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity, v. 7, p. 143-149, 2018.

C E Ferreira Lopes, N J G Cross, F Jablonski; New Insights into Time Series Analysis III: Setting constraints on period analysis, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 481, Issue 3, 11 December 2018, Pages 3083–3097, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2469>

GOMES, A. K. F. ; DOMINGUES, M. O. ; MENDES, ODIM ; SCHNEIDER, K . On the verification of adaptive three-dimensional multiresolution computations of the magneto hydrodynamic equations. Journal of Applied Nonlinear Dynamics, v. 7, p. 231-242, 2018.

LOPES, M. M. S. ; DOMINGUES, M. O. ; MENDES, ODIM ; SCHNEIDER, K . An adaptive multiresolution scheme with second order local time-stepping for reaction-diffusion equations. Journal of Applied Nonlinear Dynamics, v. 7, p. 287-295, 2018.

LOPES, M. M. S. ; DEITERDING, R. ; GOMES, A. K. F. ; MENDES, O. ; Oliveira Domingues, Margarete . An ideal compressible magnetohydrodynamic solver with parallel block-structured adaptive mesh refinement. COMPUTERS & FLUIDS, v. 173, p. 293-298, 2018.

Rosa et al. 2018 Gradient pattern analysis applied to galaxy morphology, MNRAS, 477, L101



SOUZA, V. M.; LOPEZ, R. E.; JAUER, P. R.; SIBECK, D. G.; PHAM, K.; DA SILVA, L. A.; MARCHEZI, J. P.; ALVES, L. R.; KOGA, D.; MEDEIROS, C.; ROCKENBACH, M.; GONZALEZ, W. D. Acceleration of radiation belt electrons and the role of the average interplanetary magnetic field B z component in high speed streams. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SPACE PHYSICS.* , v.122, p.1 - , 2017.

Valente A. Cuambe, J. E. R. Costa, P. J. Simões, Flare parameters inferred from a 3D loop model data base. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 477, Issue 2, 21 June 2018, Pages 1508–1519, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty867>

### **7.7 - Apresentações em congressos (nacionais e internacionais):**

DA SILVA, L. A.; ALVES, L. RIBEIRO; DALLAQUA, R. S.; MARCHEZI, J. P.; MEDEIROS, C.; SOUZA, V. M.; JAUER, P.R.; KOGA, D.; VIEIRA, L. E. A.; LAGO, A. D.; ROCKENBACH, M.; MENDES JUNIOR, O.; DENARDIM, C. M.; SIBECK, D. G. Contribution of the ULF wave activity to the global recovery of the outer radiation belt during the passage of a high-speed solar wind stream observed in September 2014 In: AGU Fall Meeting, 2016., 2016, San Francisco.

AGU Fall Meeting, 2016. , 2016.

DEITERDING, R. DOMINGUES, M. O. . Mueller, S. & Ryan, J. (Eds.) Multiresolution analysis as a criterion for improved block-based dynamic mesh adaptation using WENO and MUSCL schemes - A comprehensive study for Euler equations in the parallel SAMR framework AMROC International Conference in Spectral and High order methods. ICOSAHOM 2018. Minisymposium. Multiwavelet techniques for numerical treatment of PDEs., 2018

DEITERDING, R. DOMINGUES, M. O. Implementation of Massively Parallel Hyperbolic Multiresolution Methods in the Block-structured Mesh Refinement Framework AMROC 16th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), 2018

DOMINGUES, M. O.; DEITERDING, R. ; LOPES, M. M. S. ; GOMES, ANNA KARINA F. ; MENDES, ODIM ; SCHNEIDER, K. . Wavelet-based parallel dynamic Mesh adaptation for magnetohydrodynamics. In: Parallel CFD 2018: 30a International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics, 2018,



Indianapolis. Parallel CFD 2018, 2018.

LIVIA R, A.; SILVA, L. A.; SOUZA, V. M.; JAUER, P. R.; VIEIRA, L. E. A.; SILVEIRA, M. V.; ROCKENBACH, M.; LAGO, A. D. Outer radiation belt dropout on September 12, 2014. In: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015., 2015, Rio de Janeiro. in: 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. , 2015.

[[http://m2comunicacoes.com.br/sbgf/trabalhos/trabalhos/sbgf\\_317.pdf](http://m2comunicacoes.com.br/sbgf/trabalhos/trabalhos/sbgf_317.pdf)]

Apresentação de Poster / Painel no(a) Parker Reconnection workshop, 2014. (Congresso): Validation of the reconnection component model and determination of the reconnection X- line for different configurations of the interplanetary magnetic field using the 3D MHD BATS-R-US model..

Apresentação (Outras Formas) no(a) Space Weather (Clima Espacial), 2014. (Seminário) Space Weather (Clima Espacial).

Apresentação de Poster / Painel no(a) AGU Fall Meeting 2013, 2013. (Congresso)  
Study of energy transfer from the solar wind to Earth's magnetosphere using the 3D-MHD BATS-R-US global model.

Apresentação de Poster / Painel no(a) XII Encontro Brasileiro de Física dos Plasmas, 2013. (Encontro): Study of energy transfer from the solar wind to Earth's magnetosphere using the 3D- MHD BATS-R-US global model.

Participação de Reinaldo Rosa, Paulo Barchi e Reinaldo de Carvalho, na XLII Reuniao Anual da Sociedade Astronômica Brasileira, 9 a 12 de Julho de 2012.

Participação em evento de Congresso 2018, com o trabalho intitulado: A GLOBAL MAGNETOHYDRODYNAMIC SIMULATION STUDY OF ULTRA-LOW FREQUENCY WAVES ACTIVITY IN THE INNER MAGNETOSPHERE: COROTATING INTERACTION REGION + ALFVENIC FLUCTUATIONS, está sendo apresentado no congresso brasileiro SBGEA 2018.

Um trabalho relacionado será apresentado no Estados Unidos em dezembro de 2018 no Congresso AGU.



SPANET WORKSHOP ON TIME SERIES IN ASTRONOMY, apresentação Oral - Carlos Eduardo Ferreira Lopes, Título: New Insights into Time Series Analysis Claudia Vilega Variaveis Cataclismicas\_20181112. Data: 25/10/2018 Local: São Paulo/SP-Brasil

9th VVV Science Meeting, apresentação Oral - Carlos Eduardo Ferreira Lopes, Título: The variability analysis of VVV survey, Data: 04/04/2018, Local: Florianópolis/SC-Brasil

### **7.8 - Manual para uso do HPC:**

Um manual básico para usuários do sistema HPC-CEA está sendo preparado para auxiliar na utilização de recursos computacionais de alto desempenho.

### **7.9 – Projetos científicos em desenvolvimento ou desenvolvidos:**

#### Teses de doutoramento

Tese de doutorado: estudante Aysses do Carmo Oliveira - Orientador Francisco Jablonsky, Detection of missed variable stars in the large surveys (Em andamento).

Tese de doutorado: estudante Maibys Sierra Lorenzo. Diferencias finitas adaptativas usando wavelets: aplicación a problemas atmosféricos y magnetohidrodinámicos. Jan 2018. Tese (Doutorado em Ciências Matemáticas) - Universidade de Havana, coorientador: Margarete Oliveira Domingues.

Tese de Doutorado ou post-doc: Base de dados para análise de explosões solares usando dipolos magnéticos em 3D, supervisora Dr. Cláudia Vilega e Joaquim Costa, DIDAS

Tese de doutorado: estudante Paulo Barchi. PGAST, supervisor: Dr. Joaquim Costa. Este projeto faz uso extensivo do cluster da CEA.



Projetos de pesquisa e cooperações nacionais e internacionais

(envolvidas com os trabalhos em desenvolvimento)

- New Insights into Time Series Analysis

It is a project lead by me in collaboration with Nicholas Cross (Royal observatory of Edinburgh) and Francisco Jablonsky (INPE).

- The variability analysis of VVV survey - It is a project lead by me in collaboration with Nicholas Cross (staff member of the Royal observatory of Edinburgh), Marcio Catela (Full professor of Pontificia Universidad Católica de Chile), Francisco Jablonsky (INPE), among many other chilean and european researchs.

- Postdoctoral project of China-Brazil Joint Laboratory for Space Weather, Dr. Paulo Jauer. Study of the effects of the interaction of different geoeffective interplanetary structures on the global and inner dynamics of the terrestrial magnetosphere using Global Numerical Simulation MHD-3D. Supervisores: Dra. Maria Virginia Alves – DGE, Dr. Chi Wang-CAS, Dr. Liu Zhengkuan-NSSC-NSSC.

- New Insights into Time Series Analysis

- The variability analysis of VVV survey

- Cooperação com a Universidade de Southampton, Reino Unido (Projeto Fapesp/SPRINT, Fapesp/British Council)

Cooperação com a Universidade de Aix-Marseille, França (Projeto Regular Fapesp)

Cooperação com a Universidade de Havana, Cuba (Projs. CNPq TWAS e PCI-BEV)

- Três projetos submetidos ao CNPq: Universal categoria B, TWAS-PDJ, PDJ: Margarete Oliveira Domingues

- Modelos de explosões solares usando dipolos magnéticos em 3D; Silva et al. 2013, MNRAS, 432, 1587) e BSE (Hurley et al. 2002, MNRAS, 329, 897; Belloni et al. 2018, MNRAS, 478, 5639), Supervisora: Dra. Cláudia Vilega.



- Martin Winberg (UMASS/USA) - Bayesian surface photometry analysis for early-type galaxies.
- Francesco La Barbera (OAC/Italy) - Improving galaxy morphology with machine learning Using KIDS.
- Temático Fapesp 2014/11156-4 - What Drives the Stellar Mass Growth of Early-Type Galaxies? Born or made: the saga continues...

### Visitantes nacionais ou internacionais

(relacionados a trabalhos que envolvam resultados de modelagens ou derivados)

- Dr. Ralf Deiterding, Universidade de Southampton, 3-14 de outubro de 2018.
- Visita Santiago Chile, Instituições: Universidad de Chile and Pontificia Universidad Católica de Chile, Datas: 22/06/2018 a 22/07/2018
- Visita Santiago Chile, Instituição: Pontificia Universidad Católica de Chile, Datas: 07/11/2018 a 03/12/2018
- Dr. Chi Wang-CAS (Postdoctoral project of China-Brazil Joint Laboratory for Space Weather)
- Dr. Liu Zhengkuan-NSSC-NSSC (Postdoctoral project of China-Brazil Joint Laboratory for Space Weather)
- Pesquisadores da Universidade Presbiteriana do Mackenzie (<https://www.mackenzie.br/pos-graduacao/mestrado-doutorado/sao-paulo-higienopolis/ciencias-e-aplicacoes-geoespaciais/>)
- Projeto: What Drives the Stellar Mass Growth of Early-Type Galaxies? Born or made: the saga continues... Lista de pesquisadores abaixo:

Anderson Caproni (UNICSUL)



Diego A.F. Gonçalves (EACH-USP)  
Gustavo Lanfranchi (UNICSUL)  
Hugo V. Capelato (INPE/MCTI)  
Joaquim E.R. Costa (INPE/MCTI)  
Oswaldo D. Miranda (INPE/MCTI)  
Reinaldo R. de Carvalho (INPE/MCTI)  
Reinaldo R. Rosa (INPE/MCTI)  
André L.B. Ribeiro (UESC)  
Esteban Walter Gonzalez Clua (IC/UFF)  
Fabricio Ferrari (IMEF/FURG)  
Henri Plana (UESC)  
João L.K. Moreira (ON/MCTI)  
Sandro Rembold (UFSM)  
Thiago S. Gonçalves (OV/UFRJ)  
Alberto G.O. Krone-Martins (Lisbon Univ/Portugal)  
Francesco La Barbera (OAC-INAF/Italy)  
Gary Mamon (IAP/France)  
Ignacio Ferreras (UCL/UK)  
Joseph Silk (IAP/France)  
Marcelle S. Santos (Fermilab/USA)  
Martin Weinberg (UMASS/USA)  
Neal Katz (UMASS/USA)  
Roy Gal (Univ. Of Hawaii/USA)





### **7.10 - Iniciações científicas e estágios:**

Camila Abrantes da Fonseca Batista. Tratamento, manipulação, visualização e interpretação dos dados de saída são modelados pelo código Magneto-hidrodinâmico (MHD) 3-D SWMF/BATS-R-US. 2018. Iniciação científica (Engenharia Física) - Universidade de São Paulo. Supervisor: Dr. Paulo Jauer.

#### Resumo do projeto:

A interação entre o sistema: Sol, meio interplanetário, magnetosfera terrestre, ionosfera e alta atmosfera tem despertado grande interesse científico e tecnológico nas últimas décadas, devido aos seus efeitos no ambiente que circunda a Terra. O plasma (vento solar magnetizado) emitido de forma contínua pelo sol, e em todas as direções e com velocidade supersônica e super Alfvênica interage com diferentes obstáculos magnetizados ou não durante a sua propagação. Um destes obstáculos, condutor à sua propagação é o campo magnético terrestre. Desta interação, resulta uma cavidade ou estrutura, no meio interplanetário comumente conhecida como magnetosfera terrestre. Esta estrutura é composta de diversas regiões, por exemplo: Magnetopausa, cúspides polares, cinturões de radiação, magnetocauda e a lâmina de plasma. Quando ocorrem explosões solares, há uma grande liberação e aumento significativo de massa, momentum e energia que se propaga através do vento solar gerando choques e interações com o plasma ambiente que é denominada Ejeção Coronal de Massa. Este aumento abrupto de massa, momentum, energia e fluxo magnético, pode interagir com a magnetosfera terrestre. E é através do processo físico de reconexão magnética, que ocorre na magnetopausa terrestre que permite a entrada deste conteúdo energético e magnetizado. Este aumento abrupto da energia pode causar as tempestades e subtempestades magnéticas, que são manifestações deste acoplamento. Sendo assim, todo o ambiente terrestre torna-se vulnerável a todo momento a este conteúdo energético, tanto os seres humano como animais, bem como, os sistemas tecnológicos, tanto em Terra como no espaço. Deste modo, é de grande importância estudar e conhecer este ambiente. Uma maneira é através de medidas e monitoramento de satélites, no entanto, estes apesar de ser vital, cobrem somente pequenas regiões devido às grandes escalas envolvidas. Sendo assim, surgiu a simulação MHD 3D, que vem como uma ferramenta para auxiliar os meios já existente. A simulação MHD3D é um conjunto de códigos numéricos que resolvem numericamente um conjunto de equações forma auto-consistente, que permite reproduzir com certo grau de precisão e confiabilidade uma sistema Sol-



Terra, virtual. As simulações MHD3D da magnetosfera permite ao cientista reproduzir ou recriar cenários, perturbados que após uma análise minuciosa e detalhada dos dados chegara a uma conclusão de qual seriam os possíveis impactos na vida humana e nos sistemas tecnológicos, e quais seriam as medidas possíveis a serem tomadas para contornar ou minimizar seus efeitos. As simulações MHD3D, como cobrem vastos Raios terrestres geram um grande número de dados a serem tratados e analisados. Deste modo, é fundamental ter ferramentas de análise e visualização dos dados de saída dos Modelos.

## **8 - Colaborações e acréscimos ao HPC para modelagens em plasmas espaciais**

O projeto FAPESP 2016 “**Development of multiscale modelling for non-linear local plasma instabilities of Astrophysics and Space Geophysics**“, responsável Dra. Margarete Oliveira Domingues (LABAC/COCTE), contribuiu com o sistema do Cluster Orion-D11 complementando a área de armazenamento e a licença do sistema operacional.

Projeto temático da Fapesp 2016 “**What Drives the Stellar Mass Growth of Early-Type Galaxies? Born or made: the saga continues...**“, responsável Dr. Reinaldo de Carvalho (DIDAS/CGCEA), contribuiu com o sistema do Cluster Orion-D11 pela instalação de mais dispositivos de ar condicionado para melhor refrigeração do HPC.

Projeto FAPESP-RTI 2017 “**Aprimoramento de Laboratório Computacional para Modelagens de Plasmas Espaciais e Astrofísicos do INPE: Ampliação da Capacidade de Armazenamento de dados**“, responsável Dr. Odim Mendes Jr. (DIDGE/CGCEA), contribuiu para ampliar a capacidade de operação do HPC por meio do aumento de área disponível para armazenamento dos dados numéricos.

## **9 – Comentários finais**

A aquisição e instalação do sistema HPC hoje disponível no CGCEA tornou factível uma nova fronteira de trabalhos científicos e de desenvolvimentos tecnológicos tanto para as Ciências Espaciais e a Astrofísica, como para a Computação Científica e aplicações de clima espacial. Esse teste de conceito bem sucedido mostrou a capacidade de iniciativa e desenvolvimento de áreas estratégicas emergentes e essenciais para o Brasil. Como conclusão principal, o financiamento de um novo ciclo de sistema HPC para modelagens de plasmas espaciais, astrofísicos e de aplicações de clima espacial é demanda que pode ser interpretada como de



grande importância nas estratégias de financiamento do Governo, para assegurar soberania em Ciências e Tecnologias e participação na geopolítica desta primeira metade do século XXI. Recursos humanos de excelência e instrumentos robustos para a elevação de produtividade, de uma forma competitiva internacional, colaboram assim para dotar o Brasil de condições de enfrentar e obter sucesso no posicionamento da geopolítica das próximas décadas e na qualidade de vida da sociedade.