



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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/04.23.19.21-PRP

**RELATÓRIO DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO
FAPESP-RTI 2016/23884-0: AMPLIAÇÃO DA
CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS DO
LABORATÓRIO COMPUTACIONAL (HPC-CEA) PARA
MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS,
ASTROFÍSICOS E APLICAÇÕES DE CLIMA ESPACIAL**

Odim Mendes
Varlei Everton Menconi

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QULCP2>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

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

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

Membros:

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

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

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

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

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

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

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 Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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

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



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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/04.23.19.21-PRP

**RELATÓRIO DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO
FAPESP-RTI 2016/23884-0: AMPLIAÇÃO DA
CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS DO
LABORATÓRIO COMPUTACIONAL (HPC-CEA) PARA
MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS,
ASTROFÍSICOS E APLICAÇÕES DE CLIMA ESPACIAL**

Odim Mendes
Varlei Everton Menconi

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QULCP2>>

INPE
São José dos Campos
2018



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

RELATÓRIO DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO FAPESP-RTI 2016/23884-0: AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS DO LABORATÓRIO COMPUTACIONAL (HPC-CEA) PARA MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E APLICAÇÕES DE CLIMA ESPACIAL

Resumo:

Este documento apresenta o relatório do desenvolvimento científico e tecnológico referente a subprojeto com financiamento obtido no projeto FAPESP/ Reserva Técnica para Infraestrutura - Proc. 2016/23884-0. Este subprojeto designado **AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS DO LABORATÓRIO COMPUTACIONAL (HPC-CEA) PARA MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E APLICAÇÕES DE CLIMA ESPACIAL**, da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA/INPE), teve por responsável e supervisor o Dr. Odim Mendes Júnior. Tal subprojeto insere-se nos esforços do projeto estruturante MCTIC/FINEP/CT-INFRA processo 01.120527.00 no projeto parte designado como *Sistemas de Clusters Computacionais para simulações computacionais em plasmas espaciais e astrofísicos* (<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QTKT3B>). Com a execução do subprojeto, aprimoraram-se a capacidade de armazenamento dos dados gerados no sistema de computação de alto desempenho (HPC-CEA) e a capacidade de fluxo de dados e inclusão de outras funcionalidades e uso de recursos computacionais. A primeira capacidade foi atendida pela compra de um storage server (unidade de armazenamento) e a segunda foi atendida pela aquisição de dois switches, um para cada cluster que compõe o HPC, de forma a substituir os switches anteriores já sobrecarregados. Para completeza do entendimento, a finalidade do HPC-CEA é atender às pesquisas e simulações em plasmas espaciais, astrofísicos e processos de clima espacial. Esse sistema HPC está composto dos clusters, identificados pelos hostnames e suas finalidades: orion-d11.cea.inpe.br, cluster para pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico em plasmas espaciais e astrofísicos, e helios.cea.inpe.br, preferencialmente, mas não necessariamente, cluster de aplicação para operação em clima espacial.



FAPESP/ Reserva Técnica para Infraestrutura - Proc. 2016/23884-0

RELATÓRIO CIENTÍFICO DE SUBPROJETO: 18 DE ABRIL DE 2018

TÍTULO DO SUBPROJETO:

Ampliação da Capacidade de Armazenamento de dados do Laboratório Computacional para Modelagens de Plasmas Espaciais e Astrofísicos

COORDENADOR DO SUBPROJETO:

Dr. Odim Mendes Júnior, DIDGE, CGCEA - INPE

PROPÓSITO DO SUBPROJETO:

Aprimoramento de storage server e switches de sistema de computação de alto desempenho (HPC) para modelagem de plasmas espaciais e astrofísicos

METAS FÍSICAS DO SUBPROJETO:

Aquisição de 1 storage server e 2 switches de sistema HPC para pesquisas e simulações em plasmas espaciais, astrofísicos e de processos de clima espacial da CGCEA

EQUIPAMENTO E MATERIAL PERMANENTE NACIONAL:

1 Storage server e 2 switches para HPC usado em processamento computacional de plasmas espaciais e astrofísicos

EXECUÇÃO ORÇAMENTÁRIA:

Storage server no valor de R\$69.988,45 e dois switches no valor total de R\$10.000,00



DESCRIÇÃO RESUMIDA:

Com a execução do subprojeto, aprimoraram-se a capacidade de armazenamento dos dados gerados no sistema de computação de alto desempenho (HPC-CEA) e a capacidade de fluxo de dados e inclusão de outras funcionalidades e uso de recursos computacionais. A primeira capacidade foi atendida pela compra de um storage server (unidade de armazenamento) e a segunda pela aquisição de dois switches, um para cada cluster que compõe o HPC, de forma a substituir os switches anteriores já sobrecarregados. Para completeza do entendimento, a finalidade do HPC-CEA é atender às pesquisas e simulações em plasmas espaciais, astrofísicos e processos de clima espacial. Esse sistema HPC está composto de dois clusters, identificados pelos hostnames e suas finalidades: orion-d11.cea.inpe.br, cluster para pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico em plasmas espaciais e astrofísicos, e helios.cea.inpe.br, preferencialmente, mas não necessariamente, cluster de aplicação para operação em clima espacial.

CONTEÚDO DO RELATÓRIO:

Este relatório compõe-se de:

1. Introdução (contexto e necessidade científica do subprojeto)
2. Objetivo do subprojeto
3. Histórico da pesquisa e da instrumentação
4. Resultados científicos esperados
5. Descrição técnica das aquisições para aprimoramento computacional
6. Processo de compra de *Storage Server*
7. Processo de compra de *Switches*
8. Foto do equipamento completo, instalado e em funcionamento
9. Descrição do estado de utilização
10. Síntese dos resultados científicos obtidos
11. Comentários finais
12. Anexos:
 - Anexo 1 – Exemplos de resultados científicos (por gráficos e ilustrações)
 - Anexo 2 – Lista dos pesquisadores na equipe de coordenação do HPC
 - Anexo 3 – Lista dos usuários que operam ou operaram diretamente os recursos do HPC
 - Anexo 4– Minicurso para HPC ministrado
 - Anexo 5 – Artigos publicados, em publicação e a serem submetidos
 - Anexo 6 – Apresentações em congressos
 - Anexo 7 – Relatórios e manuais para uso do HPC
 - Anexo 8 – Projetos científicos em desenvolvimento ou desenvolvidos
 - Anexo 9 – Iniciações científicas e estágios



AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS DO LABORATÓRIO COMPUTACIONAL (HPC-CEA) PARA MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E APLICAÇÕES DE CLIMA ESPACIAL.

Coordenadoria Geral das Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA/INPE)

Pesquisador responsável: Odim Mendes Jr., DGE/CEA

1 – Introdução: contexto e necessidade científica

Compreende-se atualmente que, para um real acesso ao espaço e capacidade de utilização de tecnologias espaciais, são imprescindíveis entender o ambiente espacial, principalmente o entorno imediato à Terra, e desenvolver métodos e técnicas de diagnóstico e previsão do comportamento deste ambiente e seus significativos efeitos na atmosfera terrestre. As comunidades internacionais como a NASA e NOAA nos Estados Unidos da América do Norte e a ESA na Europa aceleram estudos do espaço e estimam esforços de 10 a 15 anos para previsões em Clima Espacial.

Enfrentando tais desafios técnico-científicos que têm consequências no cenário geopolítico para os países, a CEA, composta das Divisões DAS, DGE e DAE, juntamente com seus parceiros LAC, LAP, ETE, CPTEC e Embrace, tem liderado a estruturação no Brasil de um núcleo de computação de alto desempenho para a simulação de processos de plasmas espaciais e astrofísicos. Como esta é uma situação completamente diferente do ambiente de atmosfera neutra, um conjunto próprio de recursos físicos e métodos precisa ser implantado. Uma situação embrionária e limitada foi alcançada a partir do financiamento CT-INFRA/FINEP de 2013. Em uma fração do total, o recurso estava limitado a um valor de R\$ 709.558,00. Com todo esforço das equipes científicas e técnicas envolvidas na definição da melhor máquina possível, o resultado alcançado foi a aquisição, instalação e funcionamento de dois (2) clusters como sistemas de servidoras robustas para processamento computacional de plasmas espaciais. Um deles – o módulo de pesquisa - é dedicado ao desenvolvimento de



pesquisa científica criando ou implementando modelos e o outro – um módulo preferencialmente de produção - dedicado à entrega para a sociedade de resultados ou produtos das ciências e tecnologias espaciais. Eles precisam manter um compromisso de evolução espelhada dos módulos para assegurar total compatibilidade entre o desenvolvimento das pesquisas e uma ágil apropriação por um ambiente de produção.

Torna-se agora necessário iniciar, em etapas planejadas, o aprimoramento do Laboratório Computacional para Modelagens de Plasmas Espaciais e Astrofísicos do INPE, que contemple os desenvolvimentos das pesquisas científicas e os de aplicações das Ciências Espaciais. Resumidamente, alguns objetivos científicos imediatos e de grande relevância/impacto podem ser relacionados:

- ✓ 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.

Descrição sucinta do parque de equipamentos: Há um sistema de clusters (composto no total de 24 nodes sendo dois (head-nodes) de gerenciamento e os demais para processamento, 440 núcleos de processamento e 1,4 teraflops de operação por segundo, que pode ser ampliado para 3,5 teraflops com o uso das 6 unidades de processamento gráfico já disponíveis),



para atuar como computadores de alta performance (HPC): um estande dedicado ao desenvolvimento de pesquisas e o outro à implementação de aplicações de clima espacial. O sistema já se encontra instalado e funcionando no prédio CEA-II do INPE, em sala exclusiva, dispondo atualmente do sistema de refrigeração adequado e de casa de força para provimento ininterrupto de energia elétrica (esta última em finalização da implantação). O objeto do aprimoramento é o sistema físico dos clusters, com o aumento da capacidade de armazenamento de dados e de melhora do recurso de comunicação de rede. O acesso ao sistema é feito a partir dos computadores de trabalho (desktops) dos usuários que se cadastram.

2 - Objetivo do subprojeto

Ampliar as capacidades de armazenamento de dados gerados e de fluxo dos dados, que auxiliam a modernizar e capacitar o atual conjunto de clusters para modelagens dos plasmas espaciais e astrofísicos e viabilizar o desenvolvimento dos projetos científicos em Ciências Espaciais e Astrofísicos e de aplicação de ciências por meio das modelagens voltadas ao programa de Clima Espacial.

3 – Histórico da pesquisa e da instrumentação

A Coordenação geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas desenvolve desde a origem da instituição, em 1961, as pesquisas para o conhecimento do ambiente espacial e da própria atmosfera ionizada. 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 projeto MCTI/FINEP/CT-INFRA – PROINFRA – 01/2011 (processo 01.12.0527.00), no subprojeto “Sistema de servidoras para processamento computacional”, no custo real de R\$ 709.558,00, sob a coordenação e supervisão do Dr. Odim Mendes Jr., da Divisão de Geofísica Espacial (DGE), foi implantada essa infraestrutura de computação de mais alto desempenho (High Performance Computer), designada como HPC/CEA. A 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 ao 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).

Já existem interações com grupos do exterior analisando desenvolvimentos que agreguem alto valor e originalidade às intenções de evolução de recursos matemático-computacionais e de pesquisas aplicadas, como por exemplo, os contatos e entendimentos com pesquisador da Universidade de Southampton, Inglaterra. Isso materializou-se com o oferecimento no INPE, aberto a comunidade do país, do curso “Block-structured Adaptive Mesh Refinement in C++: the AMROC Framework for Parallel AMR”, em 30 jun-01 jul, 2016 (financiado pela FAPESP 2015/50403-0 e 2015/25624-2).

Na fase atual, que é de estabilização da operação dos clusters, trabalhos científicos já têm sido conduzidos com sucesso. Tais pesquisas iniciais dizem respeito a: (1) modelagem do acoplamento eletrodinâmico do plasma do vento solar e do sistema terrestre magnetosfera-ionosfera (baseado em implementação no INPE sobre o código MHD da Universidade de Nagoya, Japão); (2) modelagem de tempestades geomagnéticas na superfície utilizando eventos interplanetários específicos (usando o código BATS-R-US, Universidade de Michigan, EUA); e (3) Análise de imagens de galáxias para definir um perfil de brilho superficial de objetos (aplicando o modelo de Sersic). Esses procedimentos identificaram



dificuldades relacionadas ao volume de dados gerados, que pedem uma ampliação e aprimoramento da capacidade de armazenamento de dados.

Torna-se assim importante aprimorar a infraestrutura do laboratório de modelagem de plasmas espaciais e astrofísicos, nesta etapa com uma melhoria na capacidade de armazenamento de dados, de forma a possibilitar viabilização de modelagens mais robustas e, oportunamente, ambicionar atuação em tópicos escolhidos de vanguarda.

Justificativa

Este projeto de melhoria da capacidade laboratorial da Instituição, busca situar o INPE em um esforço continuado e indispensável de aprimoramento para posicionar o Brasil na geopolítica científica, tecnológica e social agendada para o primeiro terço do século XXI.

A infraestrutura que está sendo melhorada e os esforços de pesquisa cumprem com Objetivos Estratégicos do Plano Diretor do INPE 2016-2019, que estão identificados em:

O. E. 5: Gerar conhecimento científico por meio de pesquisa básica e de tecnologias com desenvolvimento instrumental na área de Ciências Espaciais e Atmosféricas.

O. E. 9: Expandir a capacidade do sistema do Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (Embrace).



4 - Resultados científicos esperados

Com o aprimoramento da capacidade de armazenamento dos resultados gerados, o que alivia os núcleos processadores para a sua tarefa específica, o sistema de clusters poderá sustentar rodadas mais estendidas no tempo e um relativo aumento da complexidade dos tipos de modelagens realizados. Com isso, esperam-se os seguintes resultados científicos (materializados por publicações em revistas de excelência):

- Caracterização de processos de plasmas espaciais no ambiente interplanetário por meio de modelagens MHD e híbridas;
- Aprofundamento do entendimento de processos de acoplamento eletrodinâmico do plasma do vento solar com a magnetosfera da Terra por meio de modelagens MHD e híbridas;
- Estimativa de efeitos (perturbações) geomagnéticos na superfície por meio de simulações MHD;
- Produção de cenários físicos específicos na investigação de processos de perdas e aceleração de partículas que afetam os cinturões de radiação;
- Desenvolvimentos de metodologias físico-matemáticas e implementações de códigos computacionais para a investigação de problemas da Eletrodinâmica Espacial;
- Estruturação de aplicações de plasmas espaciais para propósitos de monitoramento do Clima Espacial.

5 - Descrição técnica da aquisição

Demanda:

Um (1) storage-server e elementos para o núcleo HPC/CEA, com o objetivo de armazenar maior volume de resultados produzido pela modelagem dos clusters (necessidade real atual de 28 terabytes, que deverá ser ampliada no futuro). Esta solução tem por requisito a integração às soluções já em prática. Incrementa-se também a atualização dos dispositivos de comunicação de rede interna (switches) do HPC-CEA. Custos estimados: R\$ 80.000,00 (storage: R\$ 70.000,00 e switch: R\$ 10.000,00). Pelo menos três orçamentos foram tomados,



realizando-se como compras no país.

Status do armazenamento:

À época da proposta do subprojeto, o volume de armazenamento do HPC/CEA era de 1.1 terabytes, sendo bastante restrito às necessidades de processamento. Essa capacidade foi determinada pela limitação das verbas disponíveis na época da aquisição.

Aquisições para ampliação:

Storage server (servidor para armazenamento): custo estimado R\$ 70.000,00

A solução do recurso de armazenamento (storage), que deve obedecer critérios de compatibilidade*, deve comportar:

- Sistema operacional com suporte com GNU/LINUX, para integração do volume de dados ao sistema de cluster (GNU/CentOS);
- Servidor com dois (2) processadores (mínimo), linha Intel Xeon, série E5-26xx v4;
- 32 GB de memória RAM, frequência mínima de 2.133 Ghz, DDR4;
- 01 disco SSD (Solid State Disc), de 240 GB (mínimo) para instalação do Sistema Operacional;
- Controladoras LSI para 24 discos SASv3, com suporte a operação em modos 0, 1, 5, 6, 10, 50 e 60;
- Bateria para as controladoras LSI;
- uma (1) interface Cashcade para aceleração de i/o;
- 24 baias para instalação de discos SAS v3, 2.5" SFF.;
- Volume de armazenamento mínimo de 28 TB, em discos SAS v3, 2.5", 7.2K RPM, taxa de transferência de 12 Gb/s;
- duas (2) interfaces de rede Infiniband 40 Gb/s (mínimo);
- duas (2) interfaces de rede Ethernet 10 GBe;
- Cabos para as conexões de rede, mínimo 3 metros;



- Software gerenciador dos recursos de storage, para monitoramento, controle e gerenciamento de i/o nos discos.

* A compatibilidade advém da solução de uma aquisição integrada, contemplando a instalação customizada e efetiva no sistema cluster da CEA, junto aos fornecedores potenciais. O requisito considerado é de permitir aquisição e disponibilidade da solução focada na execução para excelência dos trabalhos científicos.

Dispositivo de comunicação de rede interna (switch): custo estimado R\$ 10.000,00

Os equipamentos de comunicação de rede interna (switches) demandavam troca urgente, pois os dispositivos até então em uso no conjunto de clusters do HPC/CEA estavam com as portas saturadas (não conseguiam expandir para novos equipamentos conectados à rede). Na quantidade de dois equipamentos para atender os recursos HPC/CEA, a descrição do equipamento switch segue abaixo:

Switch

Switch Gigabit Ethernet com gerenciamento inteligente pela Web e total de 52 portas: 48 portas Gigabit 10/100/1000, 2 portas 10GBASE-T de 10 Gigabits e 2 portas SFP+ de 10 Gigabits. Roteamento estático de camada 3, ACLs, três formas de árvore de abrangência, login de rede 802.1X. Empilhamento verdadeiro. Tendo as seguintes características:

- Portas
 - (48) portas RJ-45 10/100/1000 com negociação automática
 - (2) portas 1000/10000 SFP+ fixas
 - (2) portas RJ-45 1/10GBASE-T
- Memória e processador
 - 128 MB de flash
 - Tamanho do buffer de pacotes: 3 MB
 - SDRAM de 1 GB
- Latência
 - Latência de 100 Mb: < 5 μs
 - Latência de 1000 Mb: < 5 μs
 - Latência de 10 Gbps: < 1,5 μs
- Capacidade de produção



- até 130,9 Mpps
- Capacidade de routing/switching
 - 176 Gbps
- Capacidades de empilhamento
 - Virtual
 - 4 switches
- Características de Gerenciamento
 - IMC - Intelligent Management Center
 - Interface de linha de comando limitada
 - Navegador da Web
 - Gerenciador SNMP
 - HTTPS
 - RMON1
 - FTP
 - Compatível com HP IMC e plataformas genéricas de gerenciamento de SNMP.
- Dimensões mínimas (L x P x A)
 - 44 x 27 x 4,4 cm
- Peso máximo
 - 6 kg

Esta demanda adequa-se ao descrito no item 6.2 “*Aplicações Possíveis dos Recursos da Reserva Técnica para Infraestrutura Institucional de Pesquisa*”, subitem b: “*Apoio à manutenção e melhoramentos em infraestruturas coletivas de apoio a pesquisa*”, mais especificamente, “*centros de processamento de dados*”.

6 - Processo de compra de Storage Server para cluster helios.cea.inpe.br do sistema HPC-CEA

Análise de orçamentos e escolha:

Apresenta-se a seguir uma planilha com as informações essenciais das propostas e referente à empresa fornecedora: a empresa fornecedora, a identificação do documento de proposta de orçamento, o custo final, o prazo de entrega do produto e a habilitação em termos fiscais da empresa.



Storage Server - Propostas de orçamento recebidas (ordem crescente de valor)				
Empresa fornecedora	Proposta No.	Custo final (R\$)	Prazo entrega (dias)	Situação fiscal
VHPC Ltda	683.274	69.887,87	35	Habilitada
SDC Engenharia de Sistemas Ltda	37715 ver.3	69.988,45	45	Habilitada
Arquimedes Automação & Informática	Cta 06/2017	102.299,00	60	Habilitada

Escolha:

Com base nas propostas para o Storage Server a ser utilizado no cluster helios.cea.inpe.br, optou-se pela proposta referência 37.715 ver.2 emitida pela empresa SDC Engenharia de Sistemas Ltda, sediada em São Paulo SP.

Consideração técnica:

Em suporte à escolha, levaram-se em consideração os aspectos preço e aspectos de benefício técnico da solução, a seguir apresentados:

- 1) da análise da relação custo/benefício, a pequena diferença (R\$ 100,58) entre a proposta de menor custo (VHPC Ltda – R\$ 69.887,87) e o custo final da SDC Engenharia (R\$ 69.988,45) dá base a uma escolha mais centrada em características técnicas.
- 2) da análise do conjunto de hardwares descritos, a proposta SDC que compõe o sistema de armazenamento apresenta um melhor desempenho relativo comparado ao recurso da proposta VHPC Ltda. Não há comprometimento da qualidade técnica ou de prestação de serviços das empresas. No entanto, para a conveniência técnica do sistema HPC-CEA neste momento, destacam-se para exemplo os processadores Xeon E5-2609v4 e os hardwares de aceleração de I/O.
- 3) da análise do espaço para volume de armazenamento, a proposta SDC traz 19.8 Terabytes de armazenamento total (11 discos SAS3 de 1.8 TB) contra 16 TB da segunda proposta (VHPC Ltda) formado por 8 discos SAS3 de 2.0 TB. Ou seja, a proposta SDC tem um volume 23,75% maior em relação à proposta VHPC;
- 4) da análise de recursos de compatibilidade com soluções pré-existentes no sistema HPC-CEA, a proposta SDC inclui também licenças do software Bright Cluster Manager para todos os 12 nodes do cluster hélios, que permite o período de 12 meses. De forma oportuna, a SDC Engenharia é representante e distribuidora da empresa Bright Computing Co. no Brasil e fabricante/desenvolvedora do software



em questão. O Bright Cluster Manager está sendo utilizado como software-gerenciador dos clusters HPC-Plasmas com licenças de uso.

Descrição da evolução e status da capacidade de armazenamento:

Capacidade de armazenamento original:

Por meio da compra do sistema HPC, formado de dois clusters, efetuado com o financiamento FINEP 01.12.0527.00 em aquisição junto à empresa Scherm, adquiriram-se 28 unidades HDs SAS de 600 GB cada. Dividiram-se 14 HDs para um cluster, designado como orion-d11, e 14 HDs para o outro cluster, designado helios. Inicialmente, projetou-se o uso de 2HDs para o head-node e 1 HD em cada node. Tal procedimento resultaria, em teoria, 8.4 TB (= 14 x 600 GB) de espaço de armazenamento para cada cluster, entre sistema operacional e área de armazenamento efetivo. No entanto, avaliando otimizações na instalação do sistema clusters, a estratégia praticada foi concentrar maior volume de HDs no head-node e deixar os nodes de trabalho sem HD. Instalaram-se 6 HDs em cada head-node, totalizando 3,6 TB entre sistema operacional e armazenamento, este último feito no /home de cada usuário.

Primeiro aprimoramento:

Na compra de capacidade de armazenamento por meio do Projeto FAPESP processo 2015/25624-2, coordenado pela pesquisadora Margarete Domingues (LABAC/CTE), para o storage do orion-d11, adquiriu-se o case/console de storage-server da empresa Versatus (VHPC). Fez-se uso dos 16 HDs SAS de 600 GB (9.6 TB) que estavam guardados (adquiridos originalmente no projeto FINEP). Separaram-se então 2 HDs de reserva, para reposição em caso de defeito, e os outros 14 HDs de 600 Gb foram instalados no storage server conectado ao cluster orion-d11. Foi feito um espelhamento de discos, ficando ao final disponível para armazenamento o volume de 4.7 TB.

O cluster orion-d11 está, assim, com 3.6 TB para sistema operacional e 4.7 TB para volume de armazenamento (no volume /data).



Aprimoramento atual:

Na compra de capacidade de armazenamento por meio deste Projeto FAPESP-RTI processo 2016/23884-0, coordenado pelo pesquisador Odim Mendes, o storage server adquirido e instalado, fornecido pela empresa SDC, conta com um volume total de armazenamento de 19.8 TB (compostos por 11 discos de 1.8 TB cada).

O cluster helios está, desta forma, com 3.6 TB para o Sistema Operacional e 19.8 TB para armazenamento (no volume /data).

7 - Processo de compra de Switches para os clusters orion-d11.cea.inpe.br e helios.cea.inpe.br do sistema HPC-CEA

Este procedimento permite a aquisição do switch ethernet HPE, modelo 1950-48G-2SFP+2XGT, part-number JG0961A, em quantidade de duas unidades, para uso nos clusters (Orion-d11 e Helios) do sistema HPC-CEA em substituição ao atual switch em uso no cluster. A razão técnica da substituição é apresentada ao final.

Análise de orçamentos e escolha:

Apresenta-se a seguir uma planilha com as informações essenciais das propostas e referente à empresa fornecedora: a empresa fornecedora, a identificação do documento de proposta de orçamento, o custo final, o prazo de entrega do produto e a habilitação em termos fiscais da empresa.

Switches - Propostas de orçamento recebidas (ordem crescente de valor)				
Empresa fornecedora	Proposta No.	Custo final (R\$)	Prazo entrega (dias)	Situação fiscal
Arrow ECS Brasil Distribuidora	922 rev. 4	9.978,14	45	Habilitada
Rationale Sistemas	7696	9.920,00	7	Não resolvido
Ambar Technology Comércio & Serviços Ltda	J03-107B	R\$ 10.000,00	5	Habilitada
Fundamentos Informática Ltda	06.17.080.0	R\$ 11.767,66	20	Habilitada



Escolha:

Com base nas propostas para o dispositivo Switch a ser usado nos clusters do sistema HPC-CEA, optou-se pela proposta referência J03-107B emitida pela empresa Ambar Technology Comércio & Serviços Ltda, sediada em São José dos Campos SP.

Considerações:

Em suporte à escolha, levaram-se em consideração os aspectos preço e aspectos de benefício técnico pela rapidez da solução. A empresa Rationale Sistemas, na oportunidade, não estava habilitada para a aquisição e a empresa de custo relativamente menor, Arrow ECS Brasil Distribuidora, necessitava de um maior prazo para a entrega. Da análise da relação custo/benefício, a pequena diferença (R\$21,86) entre a proposta de menor custo (Arrow ECS Brasil Distribuidora – R\$9.788,14) e longa espera de solução e o custo final da Ambar Technology Comércio & Serviços Ltda (R\$ 10.000,00) com praticamente pronta entrega implicou a escolha da última, pois os testes do sistema podiam começar imediatamente. Esse fato trazia benefícios ao funcionamento do sistema HPC e às modelagens computacionais dos usuários do sistema HPC.

A razão técnica da substituição dos switches:

A) Necessidade de expansão.

O switch ethernet que estava em uso nos clusters do sistema HPC-CEA era o equipamento original adquirido na compra do projeto CT-INFRA. No entanto, com o sucesso do funcionamento e uso do HPC, mostrava-se um ponto de estrangulamento inoportuno mas facilmente superável.

Tratava-se de switches HPN, modelo V1910-24G-PoE 365W, part-number JE006A, com 24 portas gigabit ethernet; 4 portas SFP 1000 mbps e 1 porta ethernet exclusiva, para gerenciamento CLI. Este foi o modelo definido na proposta aprovada pela FINEP, datada de 28/02/2014, da empresa UNIKOVSKI & SCHAMES COMÉRCIO DE EQUIPAMENTOS DE INFORAMÁTICA LTDA-ME (nome fantasia: SCHERM BRASIL), CNPJ 08.185.390/0001-23, inscrição estadual 587169985110, com sede a Avenida 16, número 674, sala 4, bairro de Santanna, cidade Rio Claro, estado São Paulo, fornecedora do cluster.

Até este projeto de aprimoramento, todas as 24 portas giga-ethernet daquele switch estavam sendo utilizadas conectando 1 head-node aos 11 nodes de processamento de cada cluster. Doze (12) destas portas eram exclusivas para tráfego/fluxo de instruções e controle de processamento da aplicação em execução e do



sistema operacional (rede 10.141.255.0) e as outras 12 portas, exclusivas para rede de gerenciamento IPMI (rede 10.148.255.0).

Desta forma, aquele modelo limitava a interconexão do gerenciamento de novos hardwares ou a expansão de novos recursos no conjunto dos clusters. Um exemplo típico era a incorporação de um storage de armazenamento no cluster Orion-d11. Como não havia mais portas giga-ethernet padrões disponíveis no switch, precisava-se interpor 2 adaptadores mini-gbic SFP para ethernet do switch para poder conectar o sistema de storage ao conjunto do cluster.

Havia ainda a UPS/No-Break APC, modelo Smart-UPS RT 15000 RM XL, de 15 kva's que alimenta cada um dos clusters. Este equipamento estava fora do gerenciamento integrado do cluster, por não ter portas disponíveis no então switch ethernet para conectá-lo. Este é um recurso essencial ao sistema, pois os softwares de gerenciamento dos clusters podem reagir às mensagens de alerta disparados pelo No-Break. Alertas tais como interrupção de energia; falha ou sobrecarga de rede; pico de consumo energético; etc

A falta de novas portas ethernet disponíveis naquele switch comprometia o gerenciamento integrado do conjunto de hardwares que compõem os clusters do HPC ou, mesmo, limitava a expansão de novos recursos computacionais no HPC.

Com este projeto de aprimoramento de capacidade computacional, o modelo proposto para substituição (JG0961-A), possui, nativas, 48 portas giga-ethernet. Na configuração atual dos clusters (Maio/2017) seriam utilizadas 30 (trinta) portas giga-ethernet (15 para gerenciamento, 15 para IPMI), restando ainda 18 (dezoito) portas livres para futuras expansões e ainda, 2 portas ethernet de 10 GB, além de 2 portas SFP.

B) Ganho de desempenho do fluxo de pacotes

O modelo até então do switch (JE006A), segundo as características técnicas descritas em seu manual, possuía uma taxa de roteamento/switching de 56.0 gbps e taxa de throughput de até 41.7 mpps (pacotes de 64 bits). Já o modelo proposto em substituição possui capacidade de roteamento/switching de 176.0 gbps (aumento de 214,28%) e taxa de throughput de 130.9 mpps (pacotes 64 bits) (aumento de 213,9%). Os valores comparados caracterizam significativo ganho de desempenho no fluxos dos pacotes, abrindo novas possibilidades no funcionamento e utilidade do sistema HPC-CEA.

8 - Fotos do equipamento completo, instalado e em funcionamento



Fig. 01 - Clusters instalados do sistema HPC



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, orion-d11 e helios.

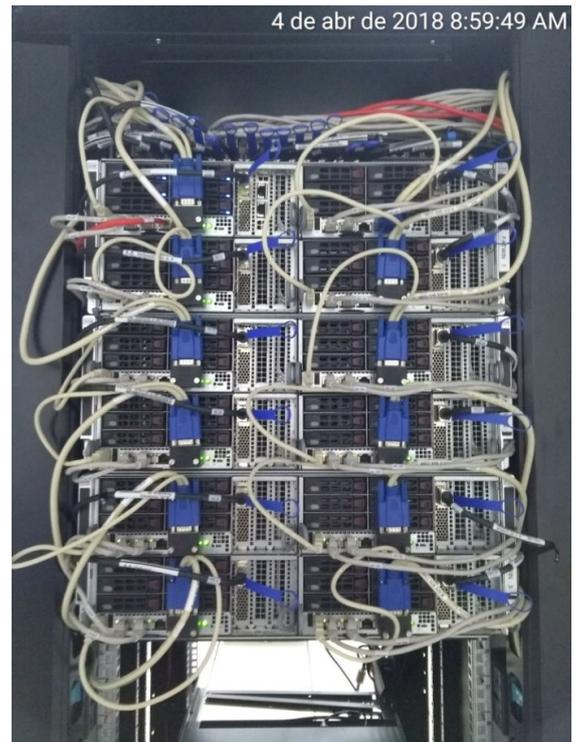


Fig. 04 – No orion-d11, placa de patrimônio, nós computacionais, switch (FAPESP), unidade de armazenamento e a porta da unidade.

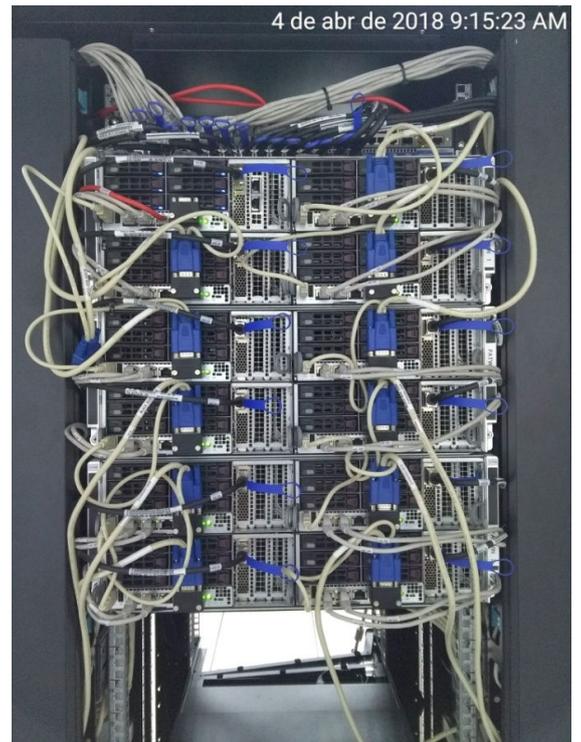


Fig. 05 – No helios, placa de patrimônio, nós computacionais, switch e unidade de armazenamento (FAPESP) e a porta da unidade.



9 - Descrição do estado de utilização

Os clusters já dispõem 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 (ver **Anexo1, 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 geoefetivas 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.

10 – Síntese dos resultados científicos obtidos

Informação mais detalhada do HPC-CEA pode obtida do relatório intitulado "RESULTADOS DO SUBPROJETO DO FINANCIAMENTO FINEPE 01.12.0527.00: AQUISIÇÃO, IMPLANTAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO HPC-CEA PARA MODELAGEM DE PLASMAS ESPACIAIS, ASTROFÍSICOS E DE CLIMAS ESPACIAL", disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QTKT3B>. A parte dos dados a seguir foi extraída desse relatório.

Como resultados obtidos, consideram-se aqui (a) exemplos de resultados científicos (**Anexo 1**, 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 10.1**) de esforços em Ciências Espaciais e em Computação Científica, seguida de compilação (**Anexos de 2 a 9**) que, embora não esgote os resultados em curso, documente boa parte de realizações alcançadas ou relacionadas com o HPC.



10.1 - Tabela de resultados obtidos até 04 de abril de 2018:

Item	Descrição de resultados obtidos:	Unidades:
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	05(06)
06	Projetos científicos implementados	15(18)
07	Curso ministrado voltado para soluções em HPC	0(01)
08	Participações em congressos, conferências ou workshops (nacionais e internacionais)	17(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)	21(26)

As medidas referem-se ao que se intersecciona com o período de financiamento da FAPESP. Entre parênteses está o total desde a implantação do sistema HPC.

11 – 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 as aplicações de clima espacial. O aprimoramento da capacidade computacional hoje disponível mostra-se fundamental para buscar participação competitiva internacional e situar o Brasil em áreas estratégicas emergentes: a da



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

modelagem numérico-computacional de plasmas espaciais e astrofísicos e a das aplicações de ciências espaciais para o clima espacial.

12 - ANEXOS

Anexo 1 – Exemplos de resultados científicos (representado por gráficos e figuras)

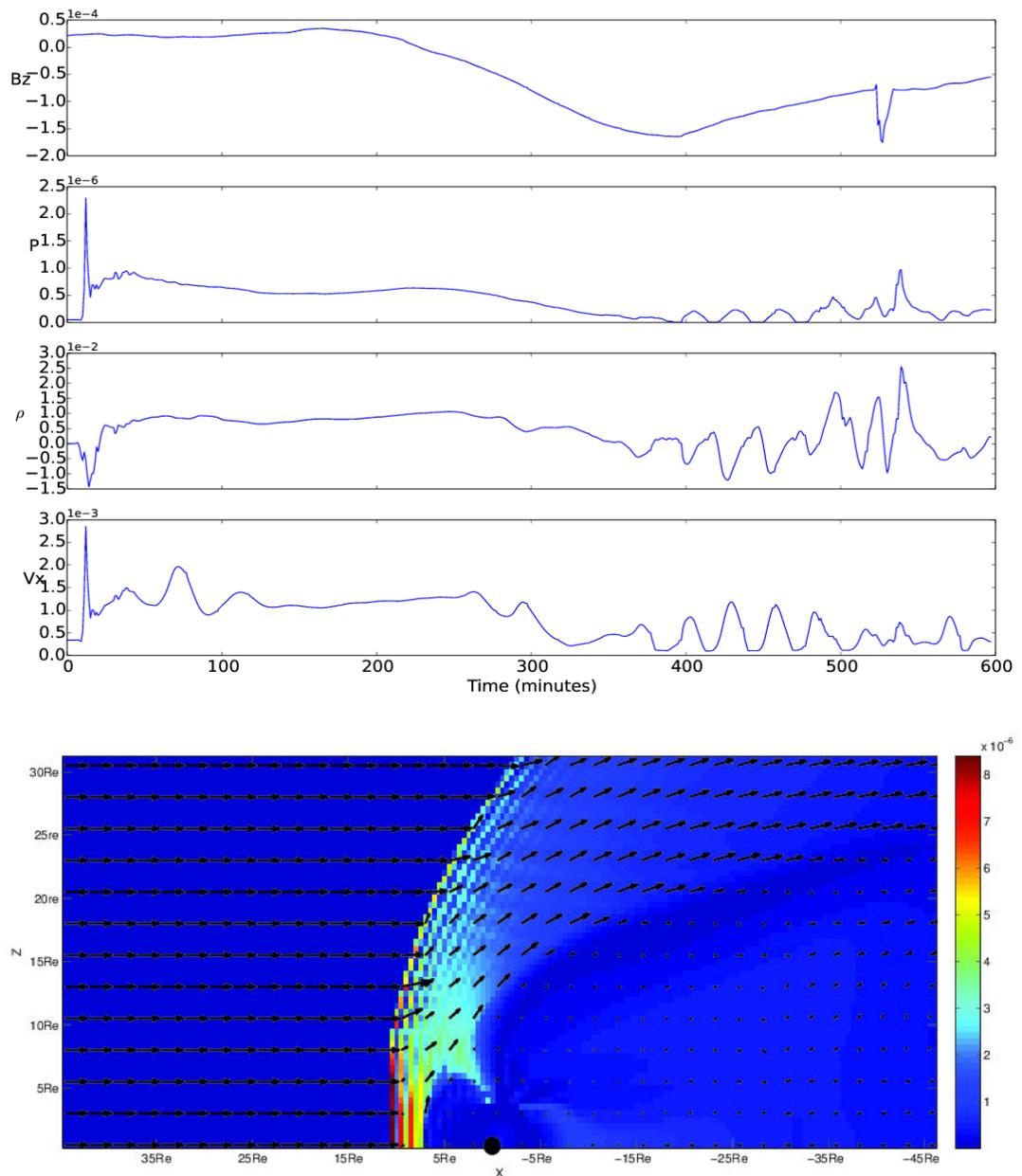


Fig. 1 – No topo, parâmetros do meio interplanetário relacionados a evento geofetivo HILDCAA e, abaixo, resposta da magnetosfera obtida por modelagem MHD 3D.

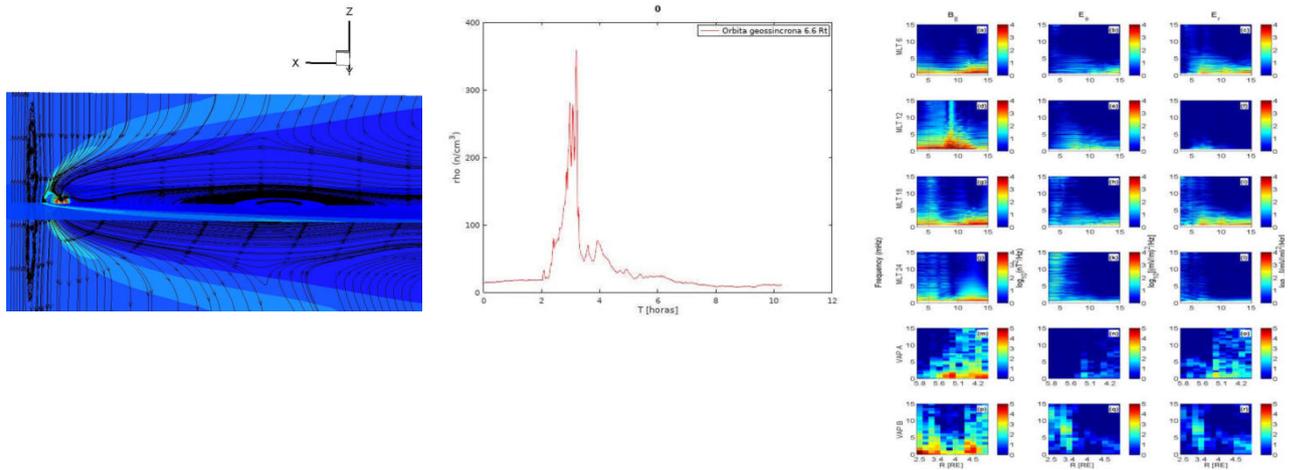


Fig. 2 – Com o uso do código MHD3D SWMF/BATS-R-US, (a) interação de um feixe Alfvénico com o campo geomagnético formado a magnetosfera terrestre, (b) a variação da densidade durante a interação vento solar perturbado com a magnetosfera, e (c) um espectro de potência das ondas ULF em diferentes MLT.

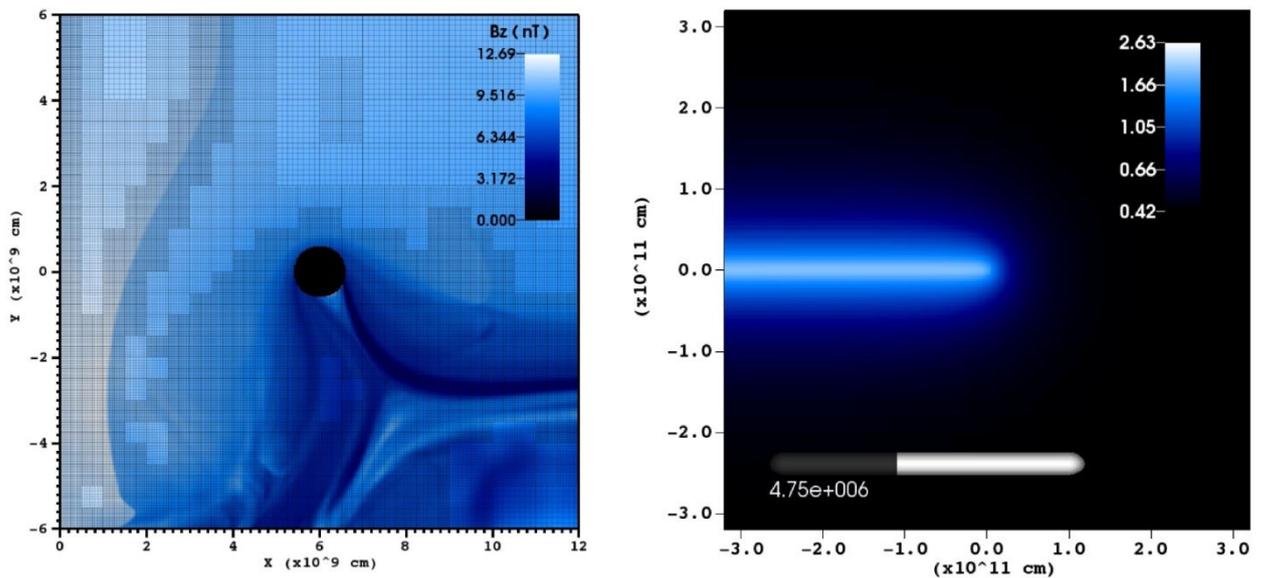
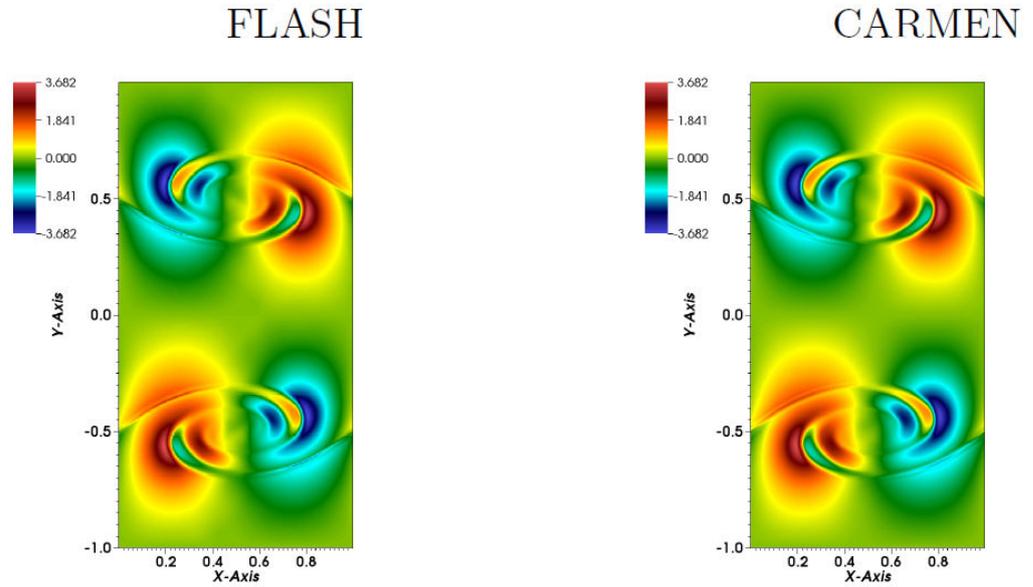


Fig. 3 – Utilização e estruturação de funcionalidade no código Flash para modelagem de ambientes fluidodinâmicos e magneto-hidrodinâmicos de cometas e entorno estelar.

Results

y-component of velocity



Results

x-component of magnetic field and Adaptive mesh

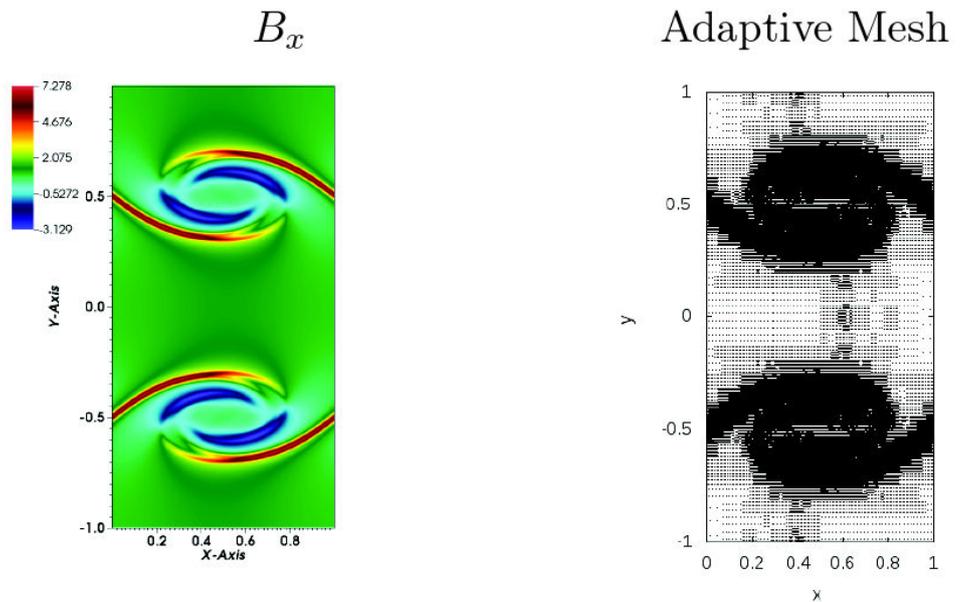


Fig. 4 - Implementação e aprimoramento do modelo MHD no código Carmen comparado com o código astrofísico Flash. Funcionalidade da malha adaptativa apresentada.

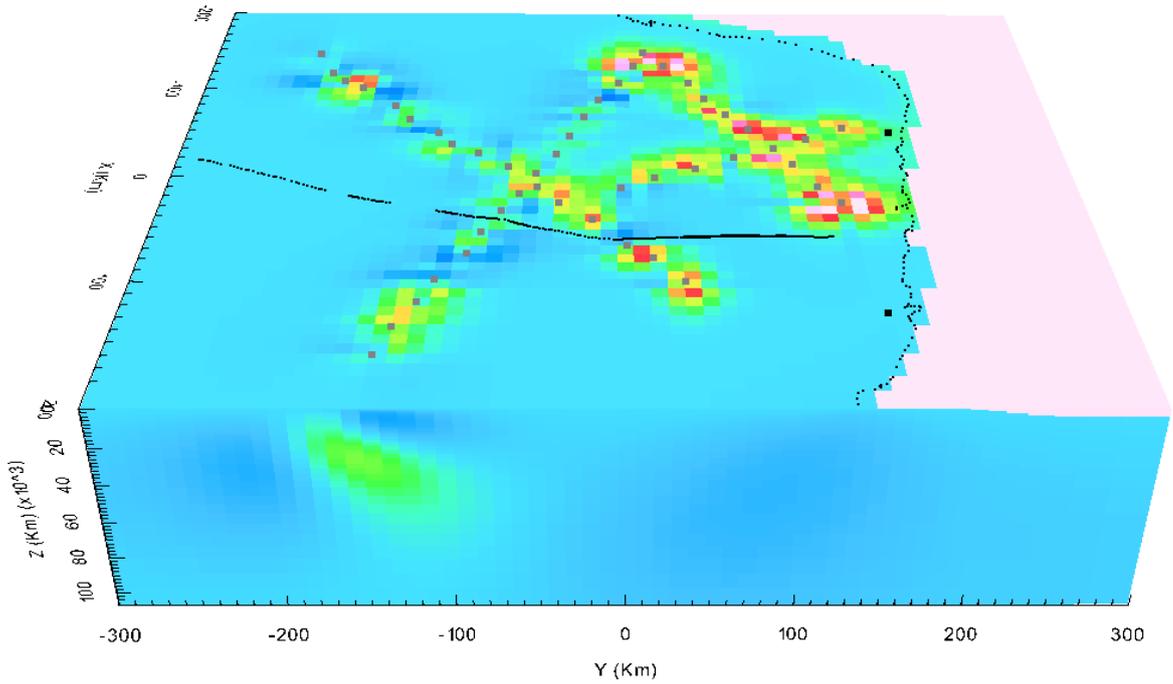


Fig. 5 - Modelagem 3D de resultados para modelagem telúrica

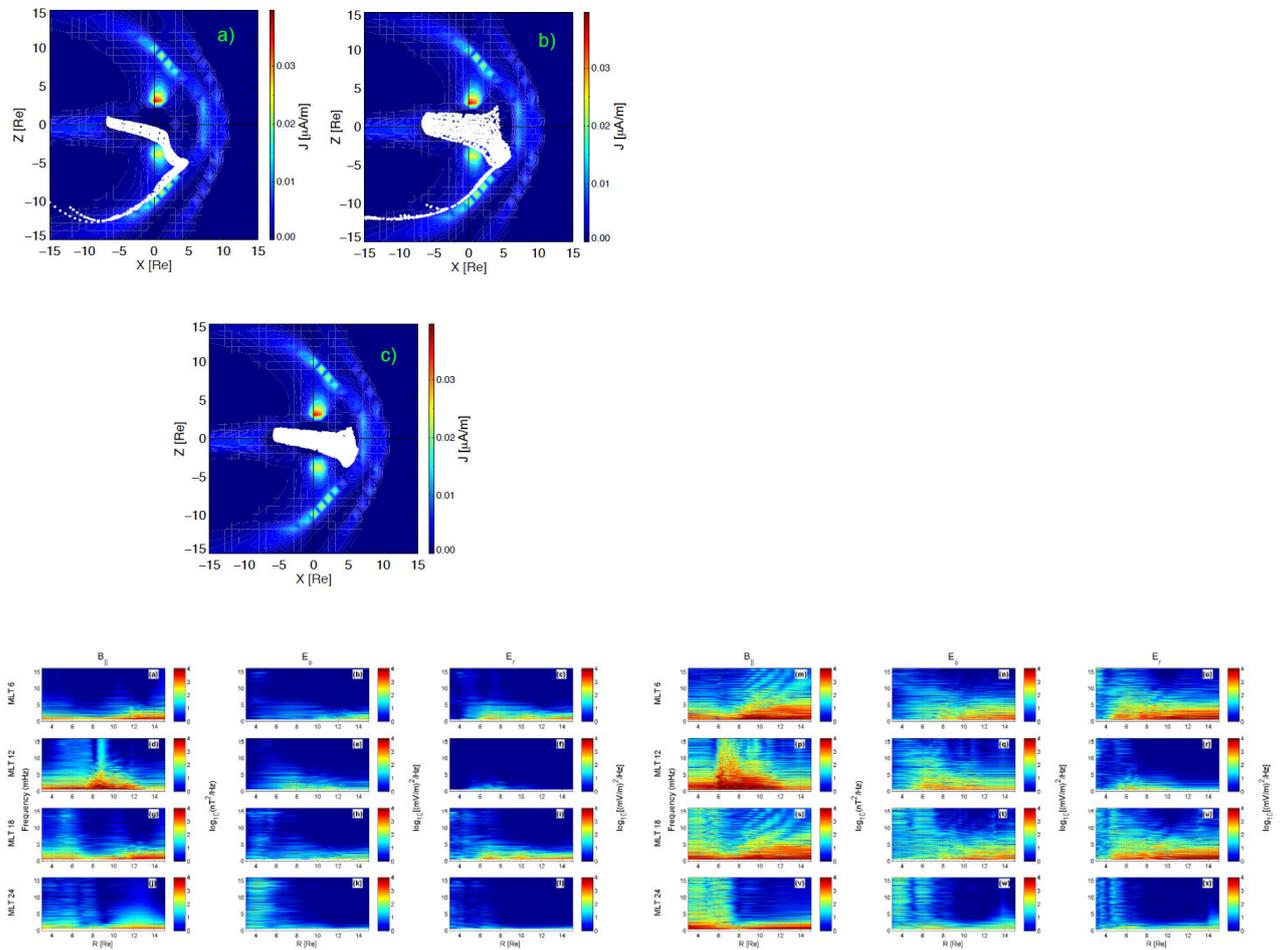


Fig. 6 - Com o uso do código MHD3D SWMF/BATS-R-US, representação de estruturas de corrente elétrica e de frequências de fenômenos na magnetosfera em diferentes MLT.

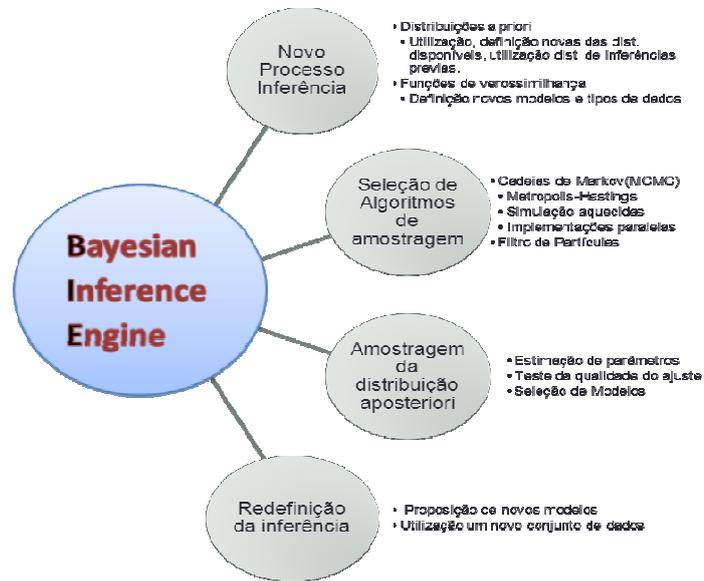


Fig. 7 – Representação de dispositivo de inferência bayesiana para modelagens experimentais

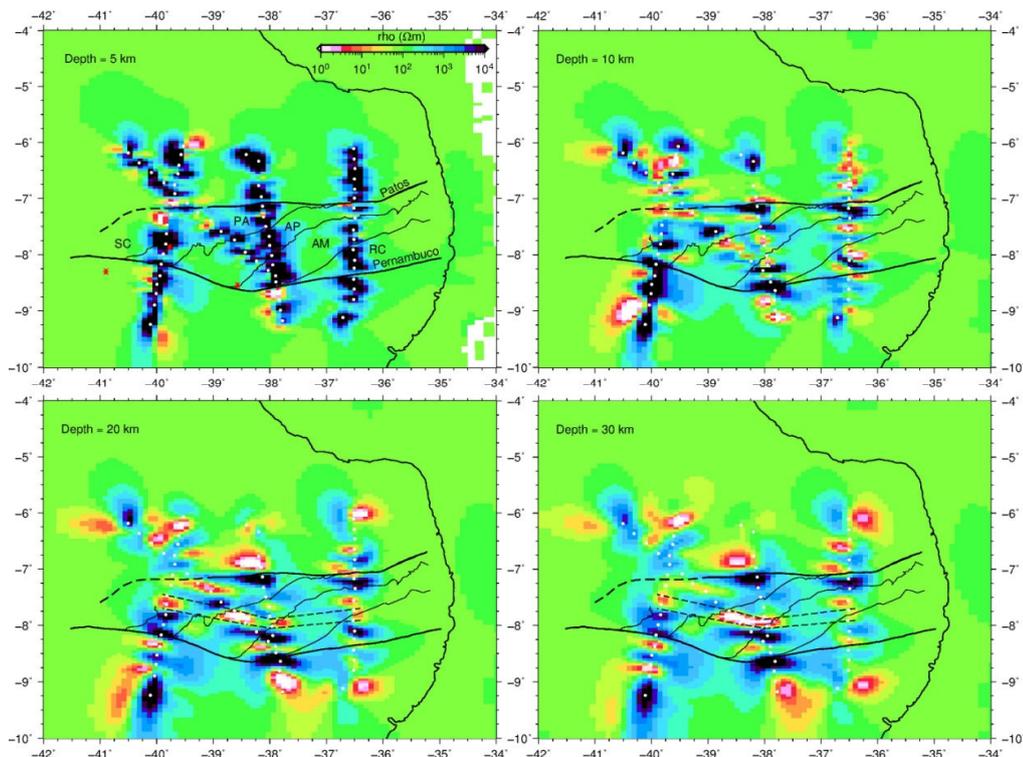
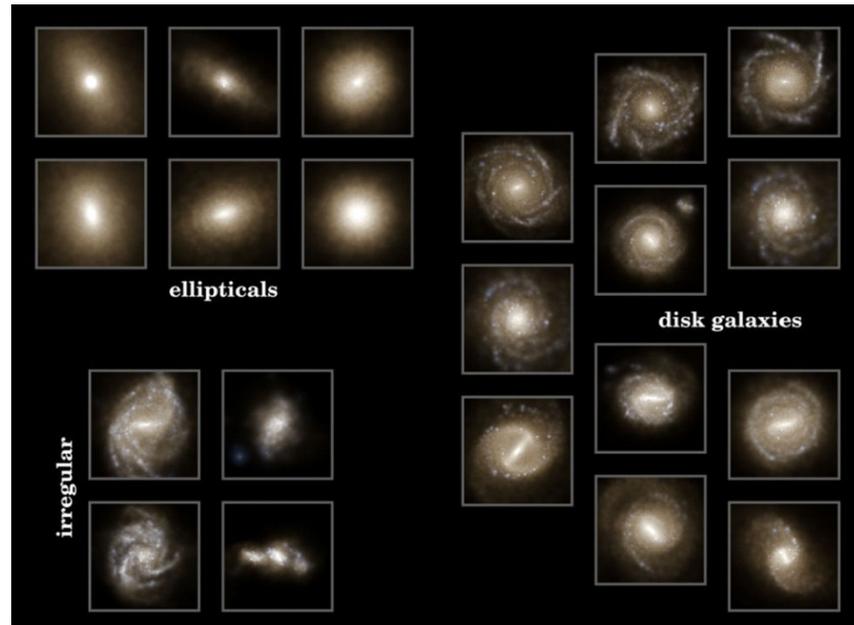


Fig. 8 - Modelo de distribuição de resistividades elétricas em diferentes profundidades na região nordeste do Brasil (Padilha et al., 2016).



- 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 Sersic 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.

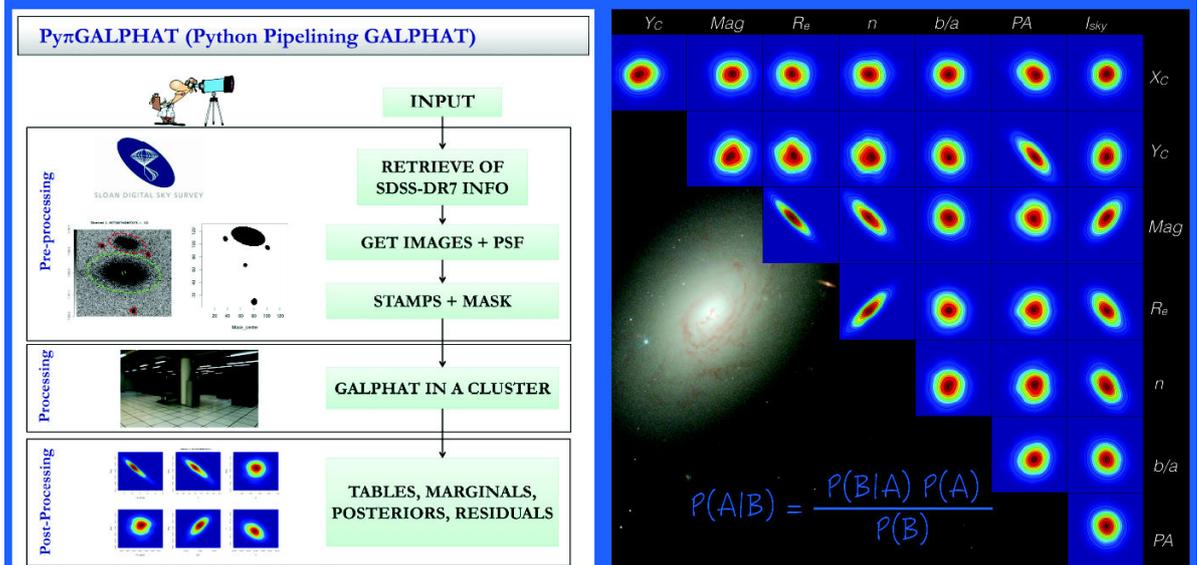


Fig. 9 - Análise de imagens de galáxias utilizando o modelo de Sersic para definir um perfil de brilho superficial de objetos.

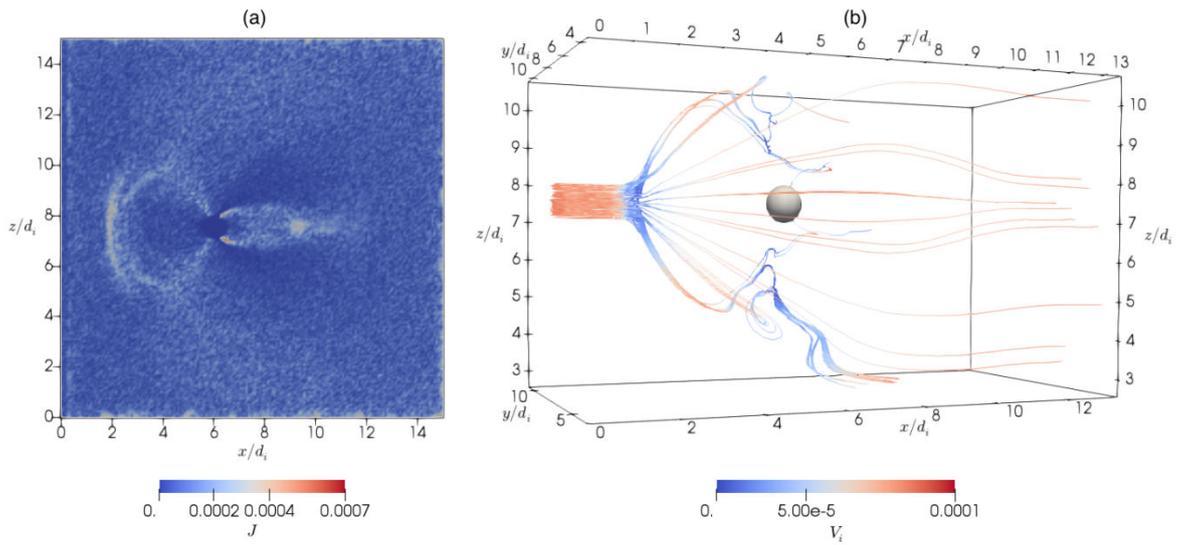


Fig. 10 - Com código PIC, simulação 3D da (a) magnetosfera de um planeta e (b) das partículas.

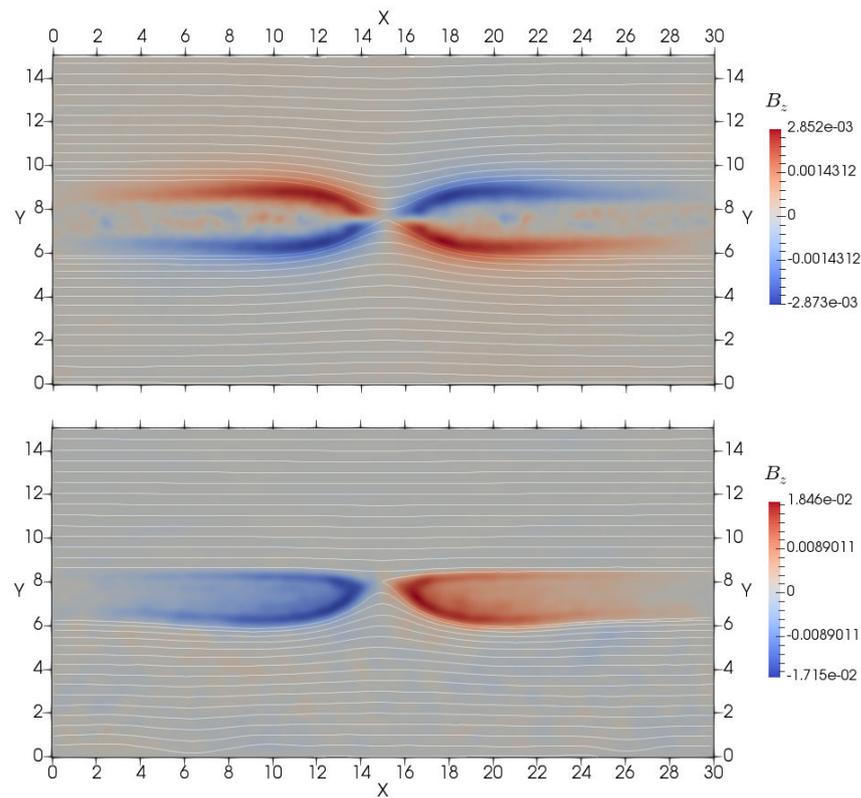


Fig. 11 – Usando código PIC, estruturas quadripolar e dipolar na reconexão magnética.



Anexo 2 - 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

Anexo 3 - Lista dos usuários que operam ou operaram diretamente os recursos do HPC:

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

Anexo 4 - 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.



Anexo 5 - 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.

Anexo 6 - 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-Helmholtz 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/sbgf/trabalhos/trabalhos/sbgf_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 Frequência 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.

Anexo 7 - 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**.

Anexo 8 – 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 magnéticas 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 Odin 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 Odin 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: Díscola 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.



Anexo 9 - 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



numéricamente 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.