CPTEC
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

A Assimilação de Dados do CPTEC no Cenário Global

GDAD – Grupo de Desenvolvimento em Assimilação de Dados

WWW.CPTEC.INPE.BR

ASSIMILA.CPTEC.INPE.BR

GDAD: Grupo de Desenvolvimento em AD

Amanda Vieira da Silva

Andreza Fogaça Coelho (Bel.)

Bruna Barbosa Silveira (Bel.)

Carlos Frederico Bastarz (Me.)

Dérek Schubert Valério de Souza (Bel.)

Dirceu Luis Herdies (Dr.)

Helena Barbieri de Azevedo (Bel.)

João Gerd Zell de Mattos (Me.)

José Antonio Aravéquia (Dr.)

Julio Pablo Reyes Fernandez (Dr.)

Leonardo Ribeiro Paraiso Araujo (Bel.)

Lia Martins Costa do Amaral (Bel.)

Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves (PhD.)

Luiz Fernando Sapucci (Dr.)

Maria das Dores da Silva Medeiros (Me.)

Saulo Magnum de Jesus (Bel.)

Sérgio Henrique Soares Ferreira (Me.)

Stephen James English (PhD.)

Solange Silva de Souza (Dra.)

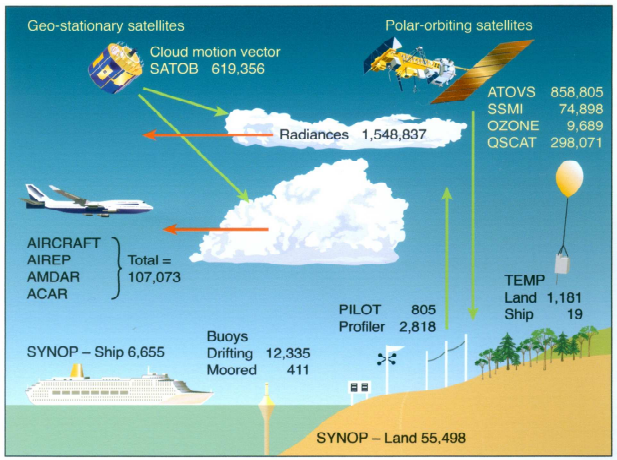
Simone Shizue Tomita Lima (Me.) – PAD

Simone Sievert da Costa (PhD.) – DSA

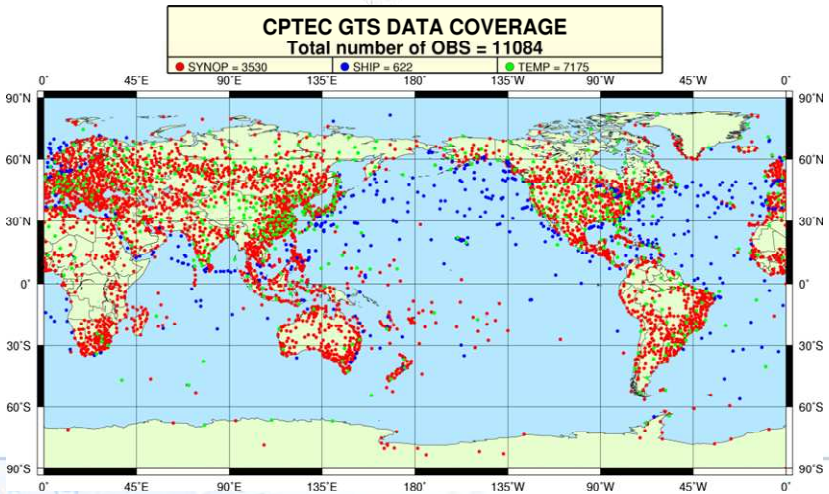
Sistemas de Observação em Assimilação de Dados

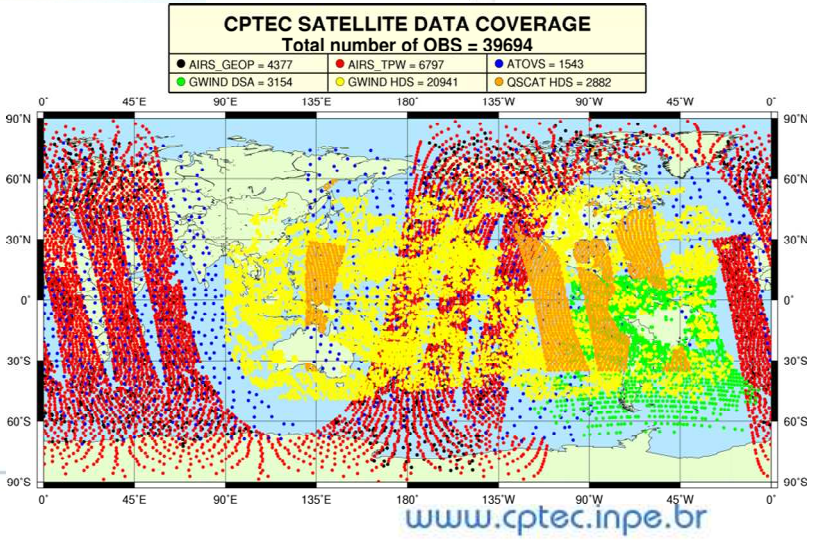
Além das observações convencionais medidas por estações de superfície, boias, navios, aviões e radiossondas existe um imenso conjunto de informações úteis para previsão e monitoramento provenientes de satélites

Observações Convencionais



Observações Satélites





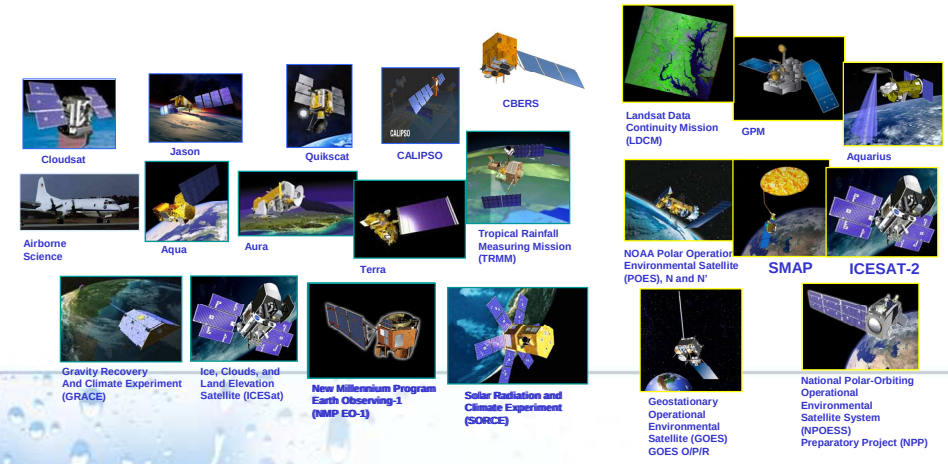
www.cptec.inpe.br

Sistemas de Observação em Assimilação de Dados

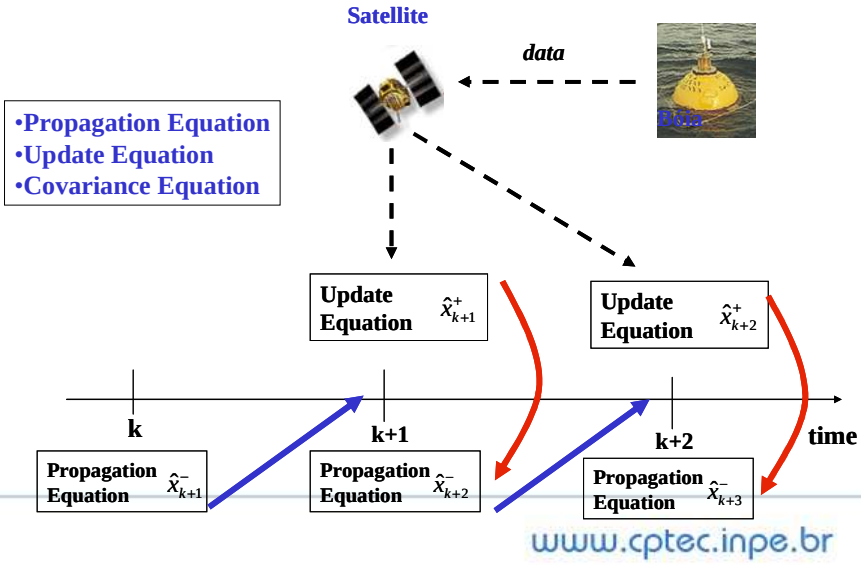
As informações de satélite representam milhões de observações ao redor do globo que são incorporadas (ASSIMILADAS) rotineiramente pelos grandes centros operacionais mundiais em seus modelos numéricos de previsão

Observation data count for one 12h 4D-Var cycle
0900-2100UTC 3 March 2008 - ECMWF

Screened			Assimilated		
Synop:	450,000	0.3%	Synop:	64,000	0.7%
Aircraft:	434,000	0.3%	Aircraft:	215,000	2.4%
Dribu:	24,000	0.02%	Dribu:	7,000	0.1%
Temp:	153,000	0.1%	Temp:	76,000	0.8%
Pilot:	86,000	0.1%	Pilot:	39,000	0.4%
AMV's:	2,535,000	1.6%	AMV's:	125,000	1.4%
Radiance data:	150,663,000	96.9%	Radiance data:	8,207,000	91.0%
Scat:	835,000	0.5%	Scat:	149,000	1.7%
GPS radio occult.	271,000	0.2%	GPS radio occult.	137,000	1.5%
TOTAL:	155,448,000	100.00%	TOTAL:	9,018,000	100.00%
99% of screened data is from satellites			96% of assimilated data is from satellites		



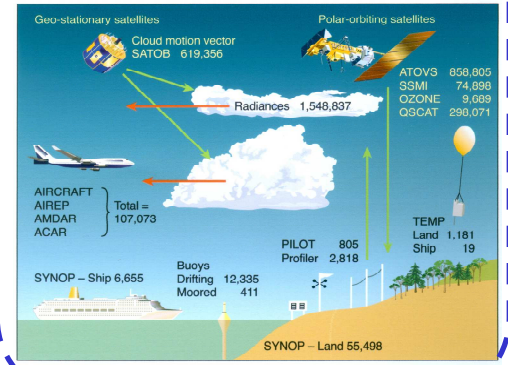
Para uma correta incorporação destas informações são necessários esquemas matemáticos complexos (sistemas de assimilação) que melhoram a qualidade das condições iniciais através da combinação entre resultados de modelos numéricos e dados observados



Sistemas de Observação em Assimilação de Dados

Com o novo supercomputador TUPÃ da Cray Inc. o Brasil terá condições de introduzir melhorias substanciais nas previsões numéricas através da assimilação de milhões de informações, rotineiramente e com qualidade

Observações

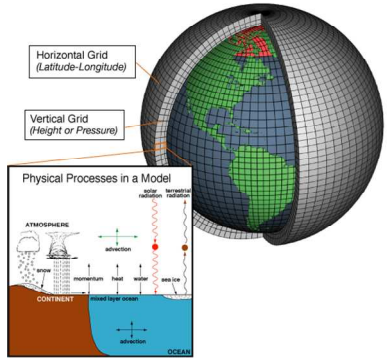


Assimilação de Dados

- *Dados GTS*
- *Precipitação*
- *Radiâncias*
- *Aerossóis*
- *Umidade do solo*
- *Temperatura do solo*
- *Radar*
- *Radiossondas*
- *CO2*
- *Etc.*

SOCIEDADE

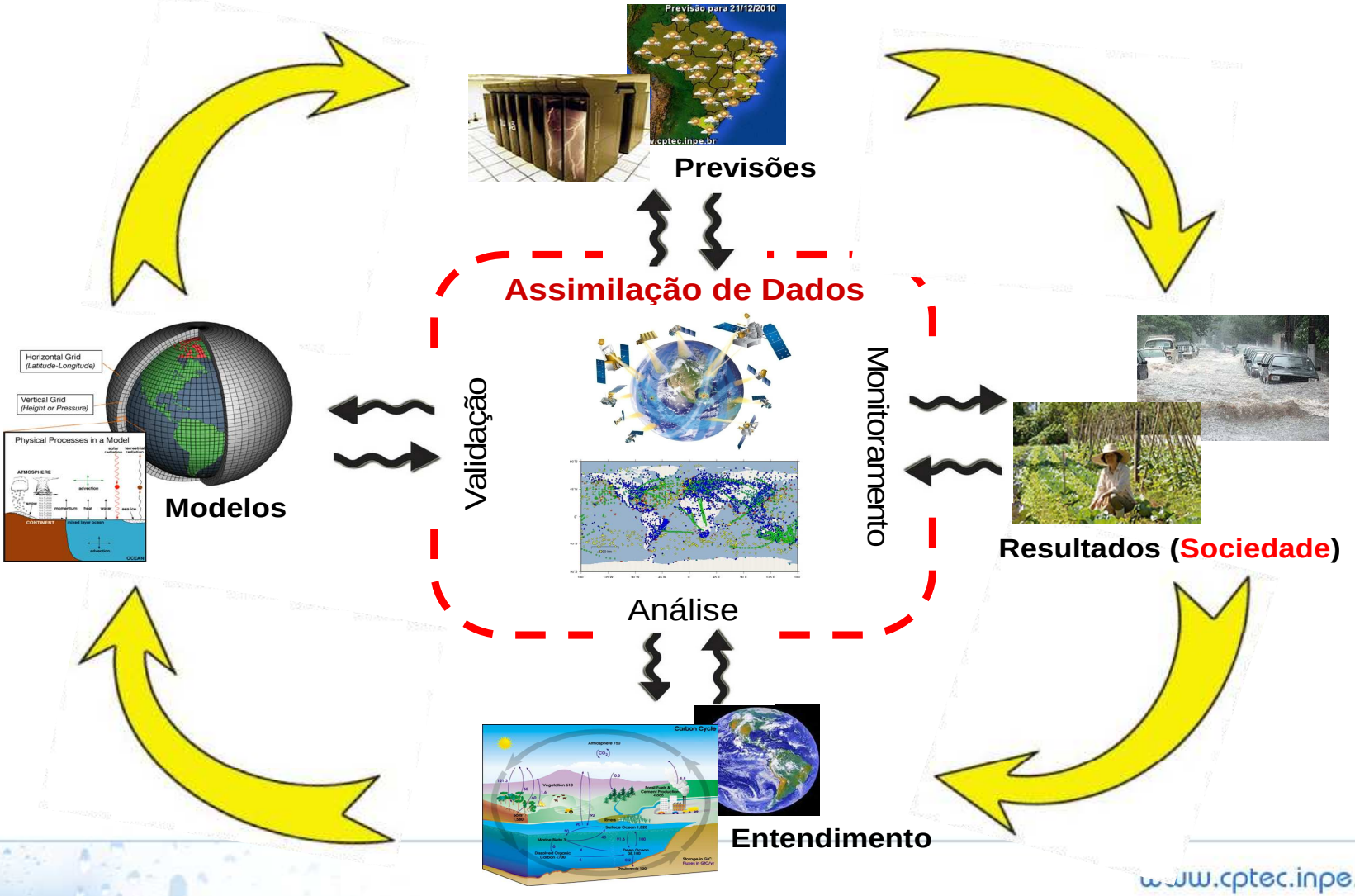
Modelos Numéricos



Previsões curto, médio e longo prazo

Sistemas de Observação em Assimilação de Dados

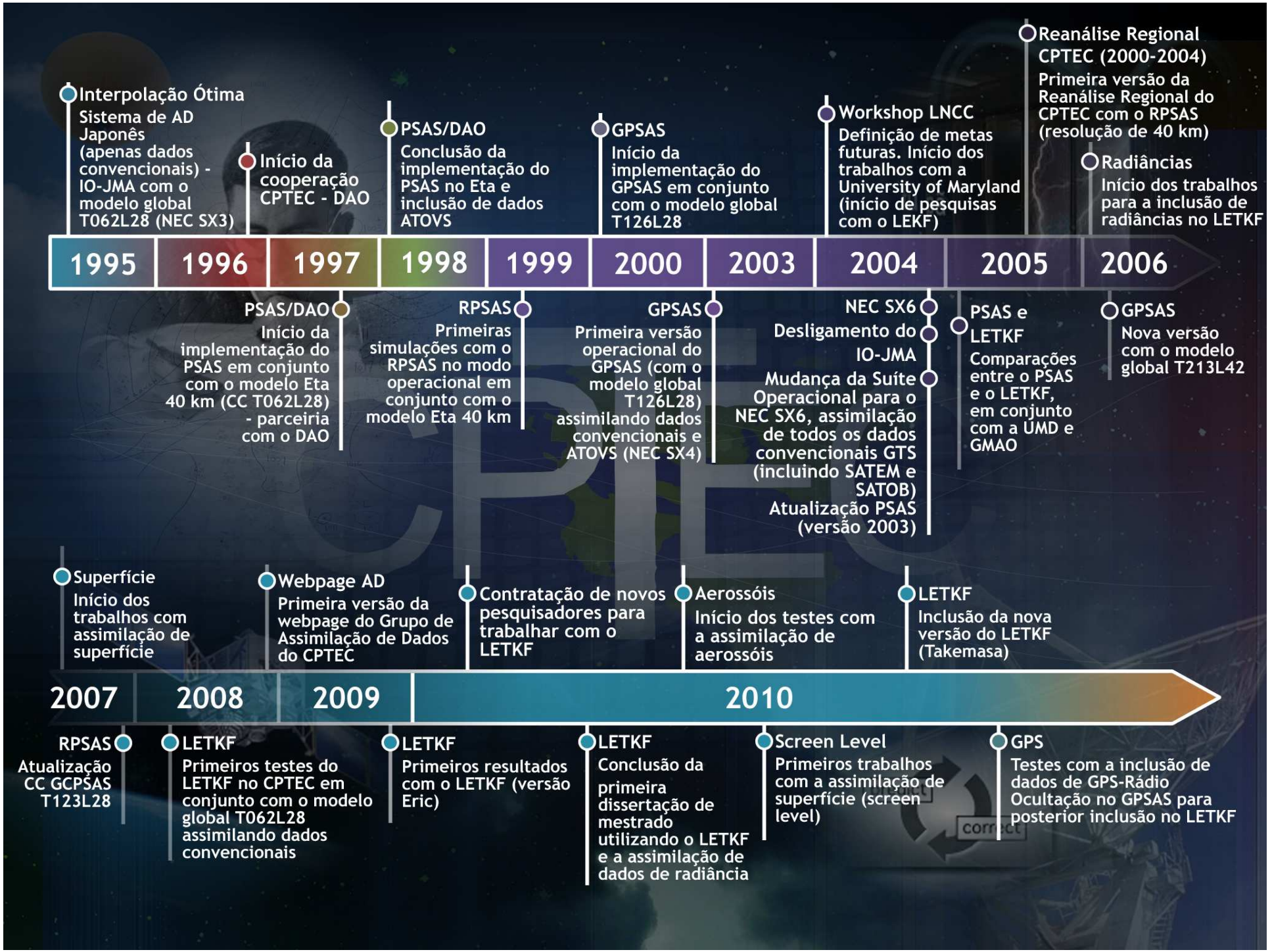
Com o supercomputador TUPÃ a assimilação de dados do CPTEC/INPE terá um papel fundamental nos sistemas Brasileiros de monitoramento e previsão de Tempo e Clima



Breve Histórico do Desenvolvimento

da Assimilação de Dados:

CPTEC


1995
Interpolação Ótima
Sistema de AD Japonês (apenas dados convencionais) - IO-JMA com o modelo global T062L28 (NEC SX3)
1996
Início da cooperação CPTEC - DAO
1997
PSAS/DAO
Início da implementação do PSAS em conjunto com o modelo Eta 40 km (CC T062L28) - parceiria com o DAO
1998
PSAS/DAO
Conclusão da implementação do PSAS no Eta e inclusão de dados ATOVS
1999
RPSAS
Primeiras simulações com o RPSAS no modo operacional em conjunto com o modelo Eta 40 km
2000
GPSAS
Início da implementação do GPSAS em conjunto com o modelo global T126L28
GPSAS
Primeira versão operacional do GPSAS (com o modelo global T126L28) assimilando dados convencionais e ATOVS (NEC SX4)
2003
Workshop LNCC
Definição de metas futuras. Início dos trabalhos com a University of Maryland (início de pesquisas com o LEKF)
2004
NEC SX6
Desligamento do IO-JMA
Mudança da Suíte Operacional para o NEC SX6, assimilação de todos os dados convencionais GTS (incluindo SATEM e SATOB)
Atualização PSAS (versão 2003)
2005
Reanálise Regional CPTEC (2000-2004)
Primeira versão da Reanálise Regional do CPTEC com o RPSAS (resolução de 40 km)
PSAS e LETKF
Comparações entre o PSAS e o LETKF, em conjunto com a UMD e GMAO
2006
Radiâncias
Início dos trabalhos para a inclusão de radiâncias no LETKF
GPSAS
Nova versão com o modelo global T213L42
2007
Superfície
Início dos trabalhos com assimilação de superfície
RPSAS
Atualização CC GCPSAS T123L28
2008
Webpage AD
Primeira versão da webpage do Grupo de Assimilação de Dados do CPTEC
LETKF
Primeiros testes do LETKF no CPTEC em conjunto com o modelo global T062L28 assimilando dados convencionais
2009
Contratação de novos pesquisadores para trabalhar com o LETKF
LETKF
Primeiros resultados com o LETKF (versão Eric)
2010
Aerossóis
Início dos testes com a assimilação de aerossóis
LETKF
Conclusão da primeira dissertação de mestrado utilizando o LETKF e a assimilação de dados de radiância
LETKF
Inclusão da nova versão do LETKF (Takemasa)
Screen Level
Primeiros trabalhos com a assimilação de superfície (screen level)
GPS
Testes com a inclusão de dados de GPS-Rádio Ocultação no GPSAS para posterior inclusão no LETKF

GDAD: Funções e Objetivos (DMD e INPE)

- Estudar e desenvolver métodos de assimilação necessários para a missão operacional do CPTEC
- Apoio e suporte a atividades de assimilação de dados dentro dos diferentes grupos de modelagem do CPTEC e do INPE
- Desenvolvimento de metodologias de controle de qualidade de dados para melhoria da inicialização dos modelos numéricos
- Introdução de novos dados e dados não convencionais na PNT
- Divulgar e documentar resultados na forma de artigos científicos, teses, web, dissertações e teses

GDAD: Atividades Recentes

- Assimilação por Radio Ocultação e de dados provenientes de GNSS
- Controle de qualidade de dados usando métodos variacionais (PSAS)
- Assimilação de Precipitação
- AD utilizando o Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF)
- AD utilizando o Physical-statistical Space Assimilation System (PSAS)
- AD na superfície terrestre
- AD de radiâncias
- Ferramenta cooperativa de avaliação para dados assimilados
- AD de aerossóis
- Monitoramento e divulgação dos dados utilizados via web

Diagrama de Fluxo de Dados Simplificado
Estágio Atual

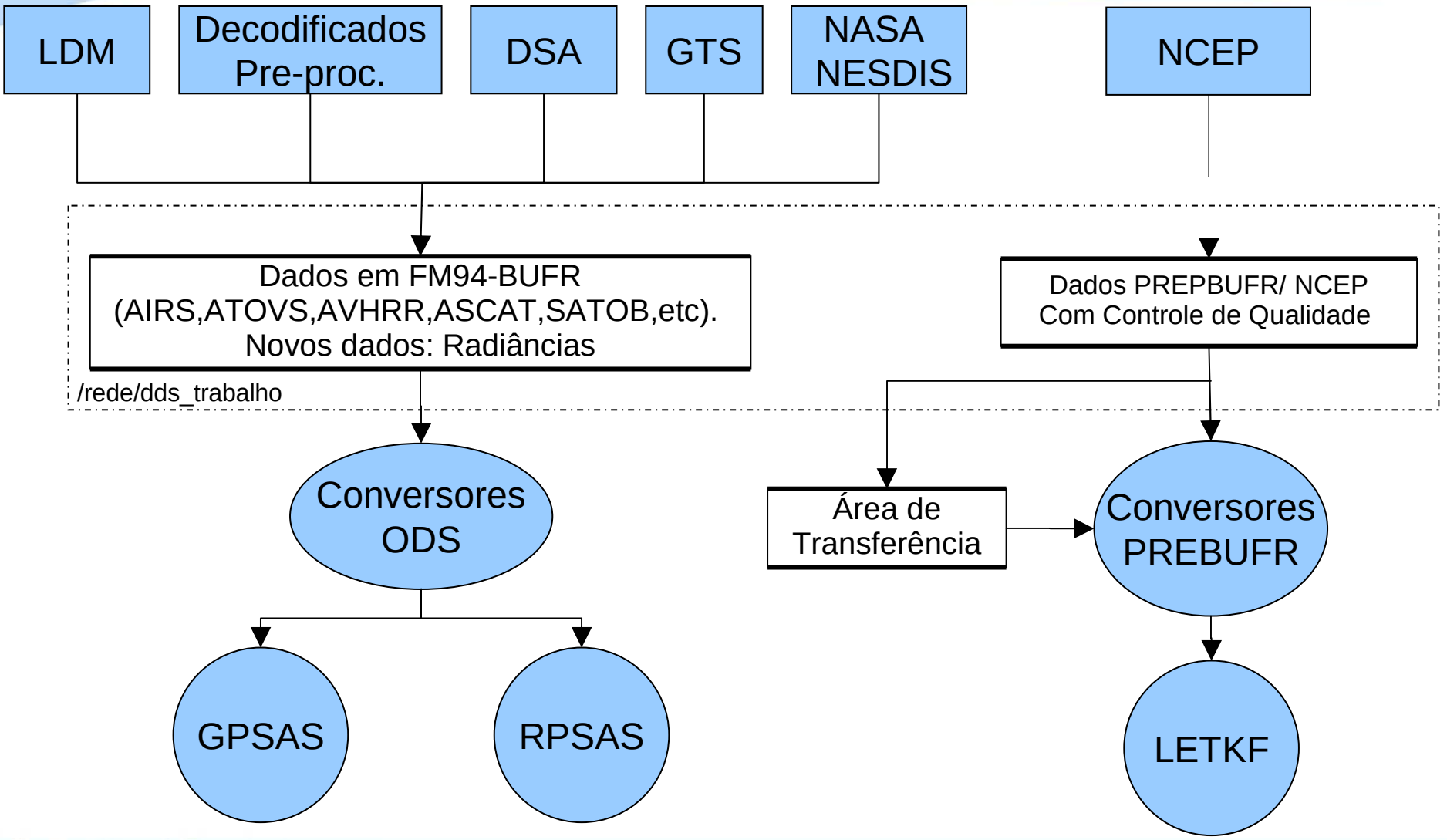
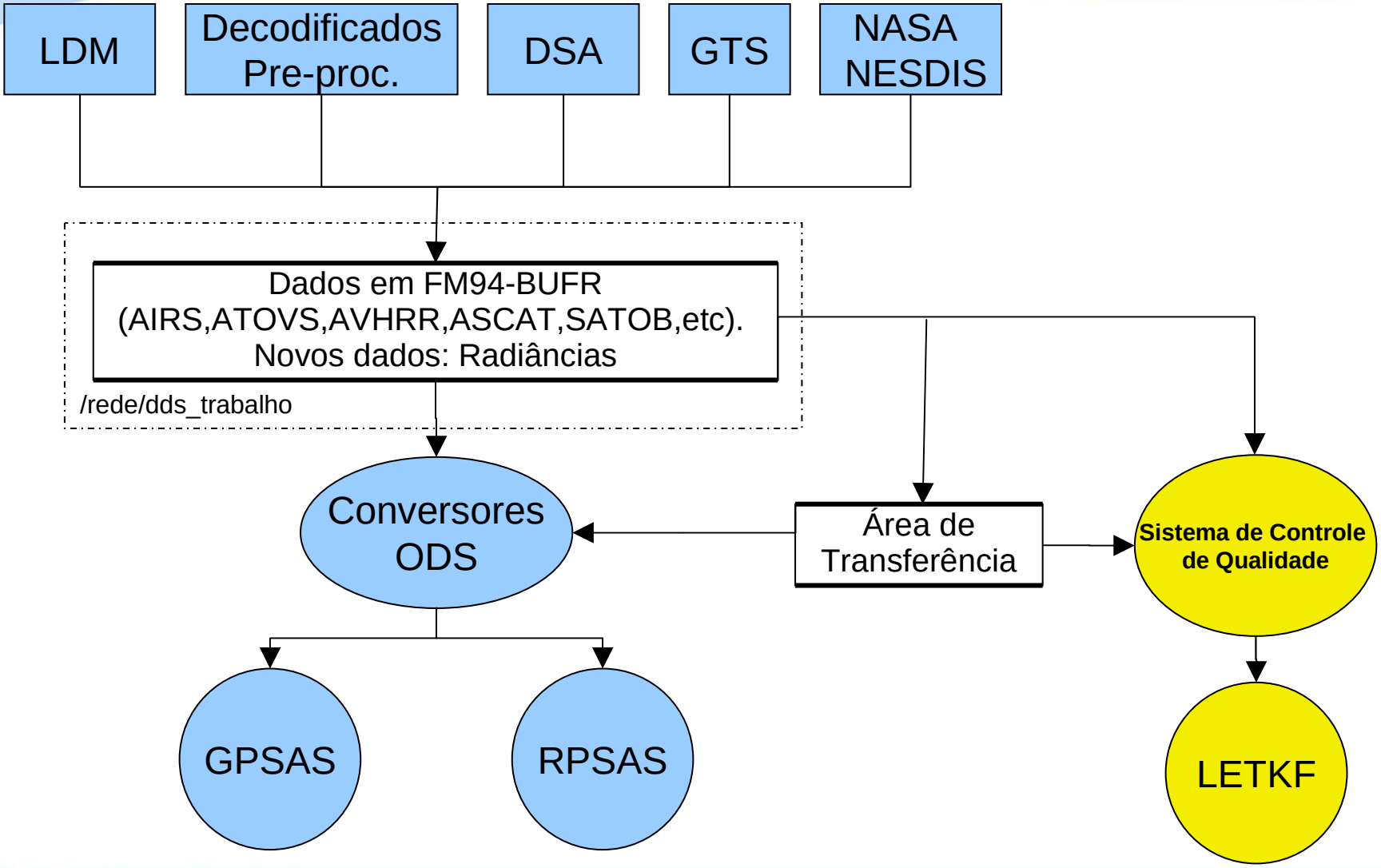


Diagrama de Fluxo de Dados Simplificado
Estágio Atual



Luciano Ponzi Pezzi

Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR/OBT

Divisão de Modelagem e Desenvolvimento – DMD/CPTEC

GMO: Colaboradores

Paulo Santiago
- Modelagem Global – MOM4

João Marcelo Absy
- Modelagem Regional – ROMS

Christopher Cunninghan
- Gelo Marinho – MOM4 – Gelo Atmosférico – CPTEC/AGCM

Gannabathula Sri Sesha Durga Prasad – Pós Doutorado
- Assimilação de Dados Oceânicos, LETKF – MOM4 – ROMS

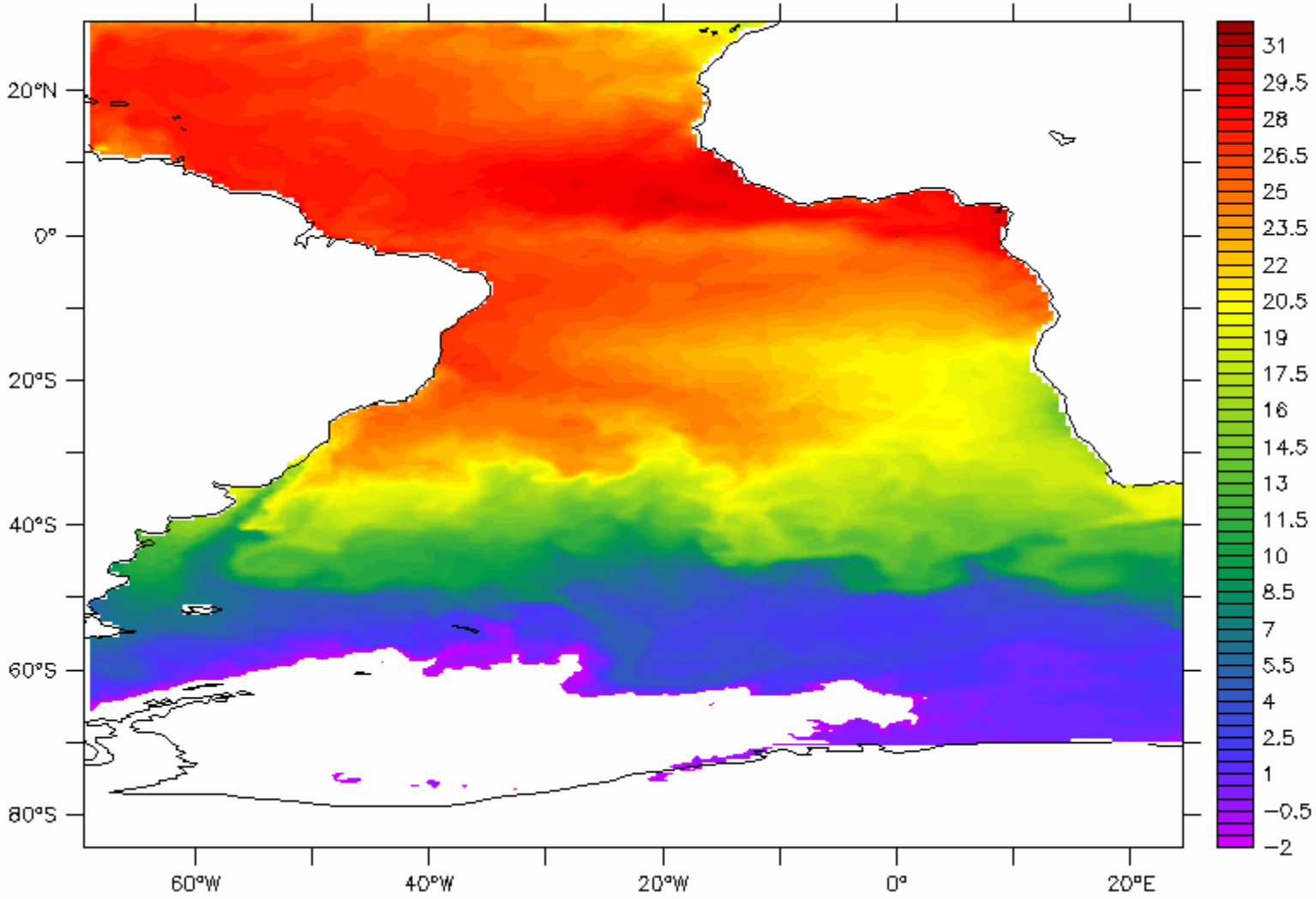
Ricardo de Camargo – Pesq. Visitante (IAG-USP)
- Assimilação de Dados Oceânicos, LETKF – ROMS

Modelagem de Ondas de Gravidade Superficiais

Rosio Camayo
- Modelagem Global – MOM4

Coordenação: Luciano Pezzi

GMO: Principal domínio do ROMS - TSA



Cortesia: Dr. Luciano Pezzi

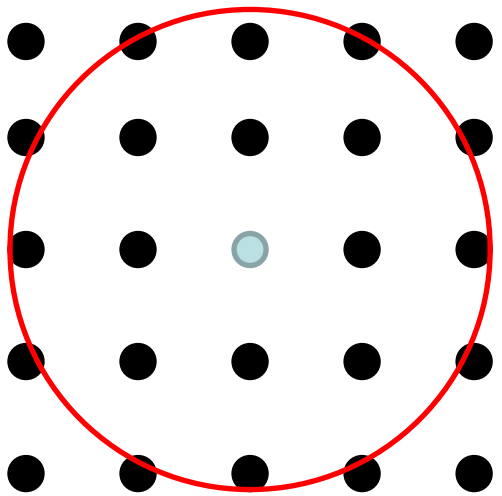
LETKF: Transformação e Localização

- O LETKF realiza um série de operações matriciais para transformar o conjunto de backgrounds no conjunto de análises (por isto o "**T**" no LE**T**KF)

- Cálculos matriciais das análises são feito em pequenos espaços dimensionais: mais precisos e eficientes

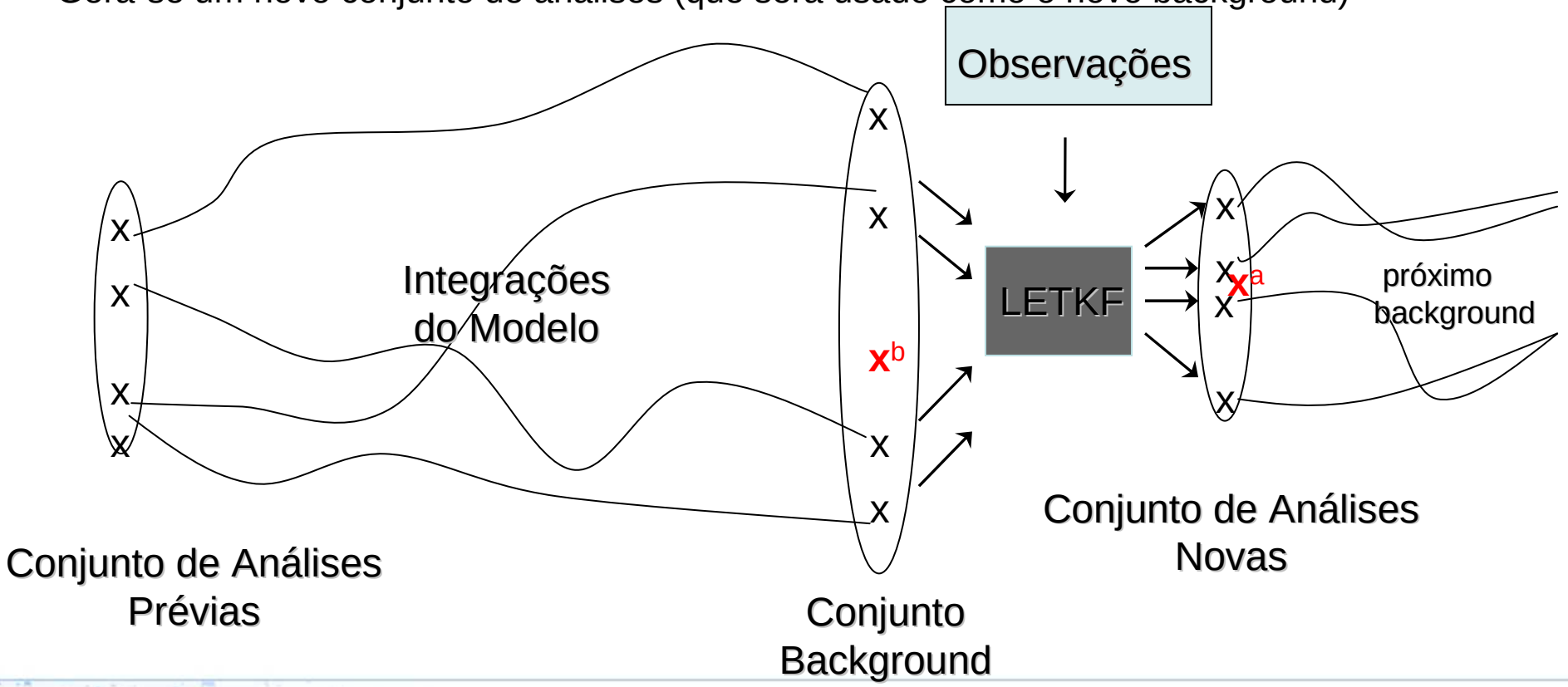
- Então, cálcular análises localmente pode permitir uma correção global maior

- Adicionalmente, a localização facilita a massiva paralelização do código, tornando-o mais eficiente computacionalmente



LETKF: Como se cria um “Conjunto de Análises”?

- Conjunto de Análises Prévias que é a primeira estimativa da verdade (Truth)
- Usa-se o espalhamento para se calcular a co-variância e a média será o Background
- Roda-se o Filtro de Kalman (LETKF)
- Gera-se um novo conjunto de análises (que sera usado como o novo background)



Sistema de Assimilação de Dados LETKF/MCGA

Objetivo: Gerar análises a partir do Sistema LETKF - MCGA/CPTEC

Etapas da Implementação

LETKF ERICK (versão não paralelizada)

- ✓ Interface entre as saídas do modelo MCGA/CPTEC e o LETKF;
- ✓ Interface entre as análises geradas pelo LETKF e o MCGA;
- ✓ As interfaces acima envolvem a alimentação do LETKF 4D com Radiâncias de Satélite;
- ✓ Configurar o Sistema para diferentes resoluções espaciais;
- ✓ Correção e operacionalização do processamento dos Dados PREPBUFR do NCEP;
- ✓ Impacto do esquema de Convecção Profunda (MCGA) (**Fig 1**);

LETKF TAKEMASA

TAKE_v1 (versão 1 paralelizada, T062L28)

- ✓ Implementação. Rodadas de testes e ajustes. Erros grandes, necessidade de nova versão (**Fig 2**).

TAKE_v2 (versão 2 paralelizada, T062L28)

- ✓ Implementação na una1 a partir de versão com baixa resolução, acoplada ao modelo speedy e com dados observados sintéticos. Preparação para ambiente Cray.

Resultados Alcançados

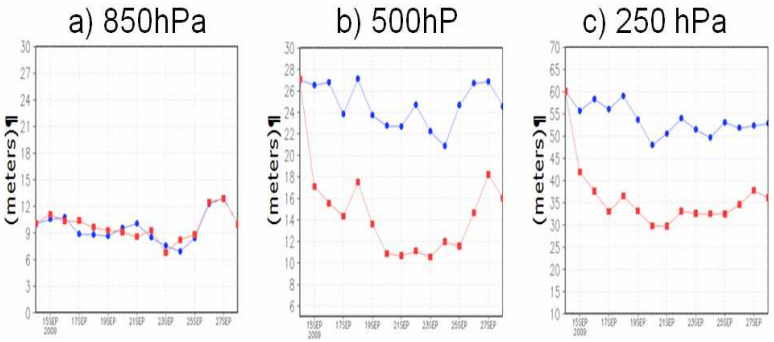


FIG.1 RMS error for analysis of the geopotential height average on the domain of South America. Experiment KUO (blue line) and experiment GRELL (red line).

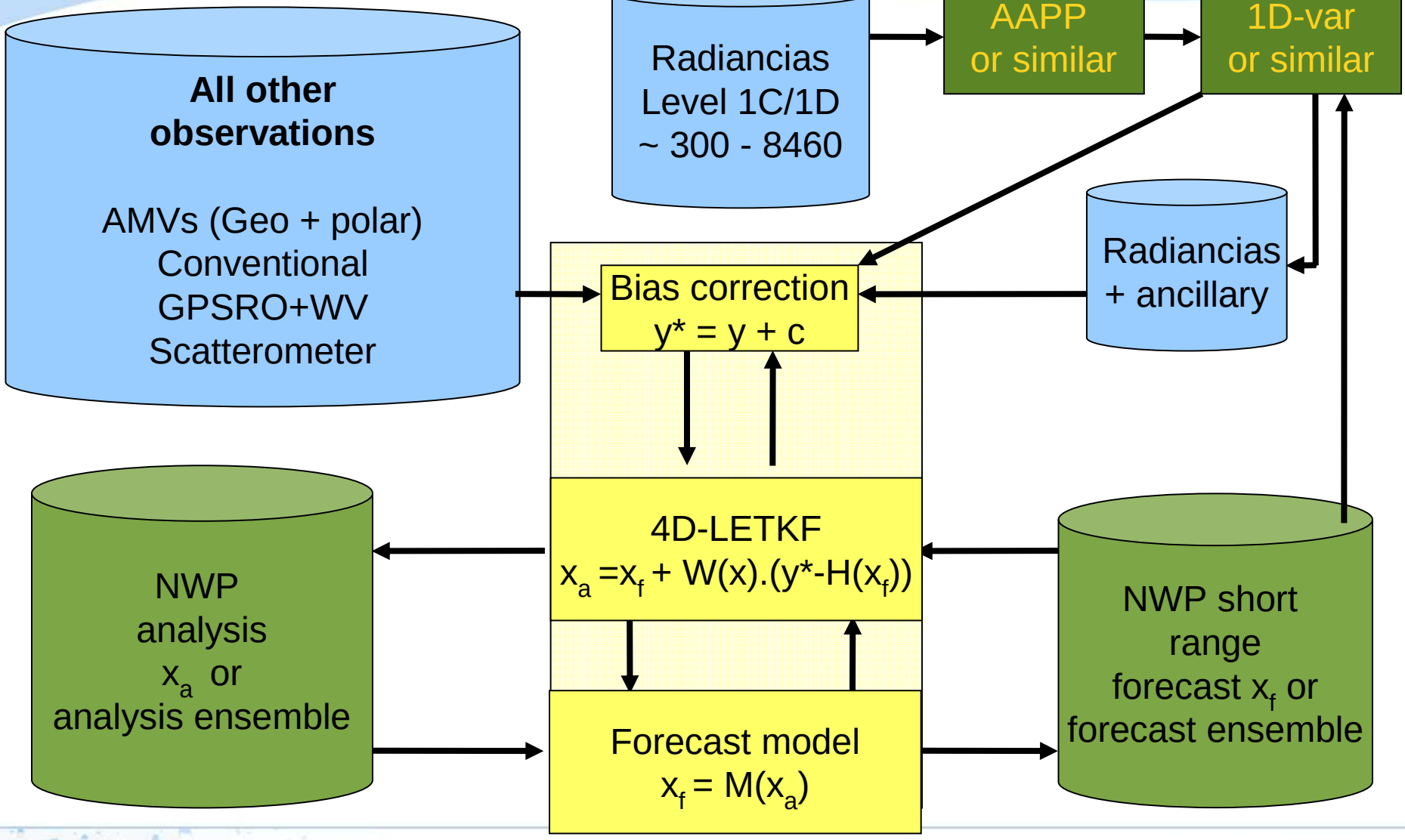
FIG.2 Erro RMS para a análise da altura geopotencial em 250mb média sobre a América do Sul. LETKF versao Erick (quadrado vermelho) e versão 1 Takemasa (bola azul).

Envolvidos: Solange Souza; José Aravéquia; Paulo Kubota.

Radiâncias: Metas para o 4D-LETKF

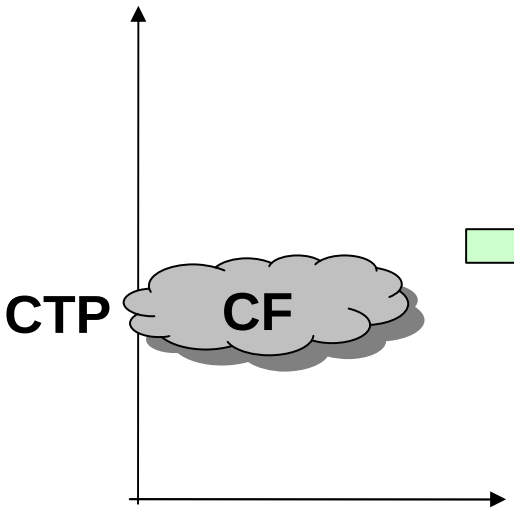
- Recepção dos dados brutos do ATOVS e SSMIS. Outras opções: IASI, AIRS. Preparação para ATMS e CrIS (final do ano)
- Escolha das radiâncias que podem ser utilizadas no 4D-LETKF
- Para a assimilação de radiâncias, precisa-se de todos os valores que o modelo de transferência radiativa necessita – não apenas as variáveis do 4D-LETKF
- Necessita-se de uma análise dessas variáveis (e.g. nuvens, emissividade)
- Remoção de BIAS entre o modelo e observações
- Colaboração entre DSA e GDAD/DMD

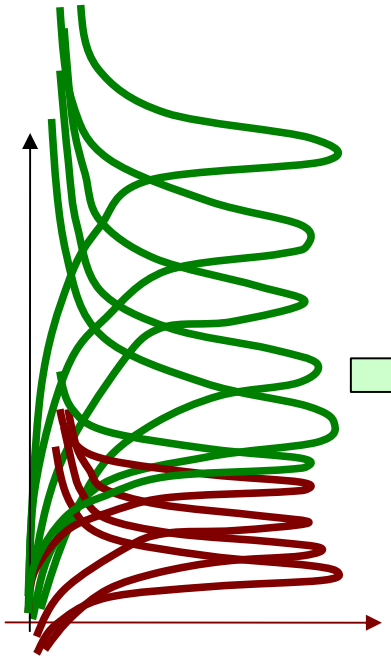
Radiâncias: Assimilação



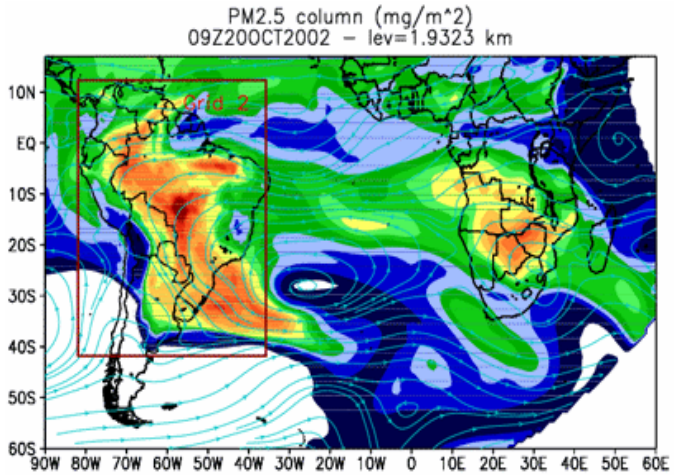
Envolvidos: Stephen English, Simone Sievert Costa, José Aravéquia, Maria das Dores Medeiros, Bruna Silveira, Lia Martins

Radiâncias: 1D-var para Nuvens, Emissividade





CATT-BRAMS: 72h



- Análise das variáveis em 1D-var (fazendo comparação entre1D-var de NWPSAF e MIRS de JCSDA).
- Escolha das radiâncias que são possíveis usar no 4D-LETKF (porque não tem impacto das nuvens)
- Assimilação das radiâncias escolhidas

Referência: Ed Pavelin, Met Office

Radiâncias: Atividades Propostas

DSA

- Testes do 1D-var, e processamento dos dados até nivel 1C ou 1D
- Monitorimento das radiâncias
- Análise das nuvens etc
- Arquivo BUFR com radiâncias e outras informações para testes no LETKF
- “Static BIAS Correction” (offline)

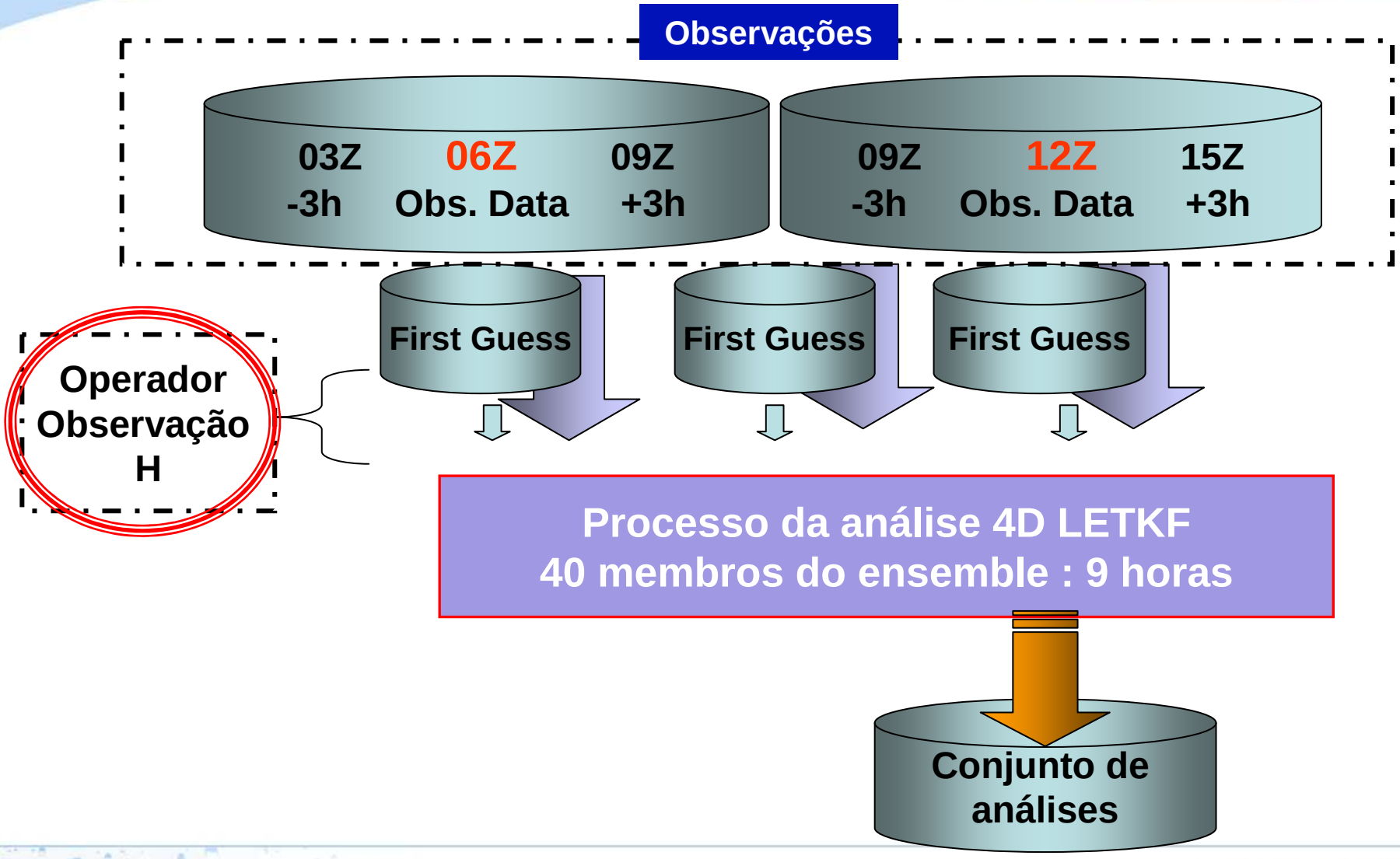
GDAD/DMD

- Requisição dos dados
- Comparação entre CRTM e RTTOV: modelos que podem calcular as radiâncias
- Alterações dentro de LETKF:
  - “Adaptive BIAS Correction” (online)
  - Chamada do RTTOV/CRTM

Proposta

- Em Junho deverá ser completado o primeiro teste simples com as radiâncias no 4D-LETKF
- Próximo ano serão feitas novas alterações para fazer experimentos longos (necessárias para operação)

Radiâncias: Implementação do 4D-LEKF no MCGA

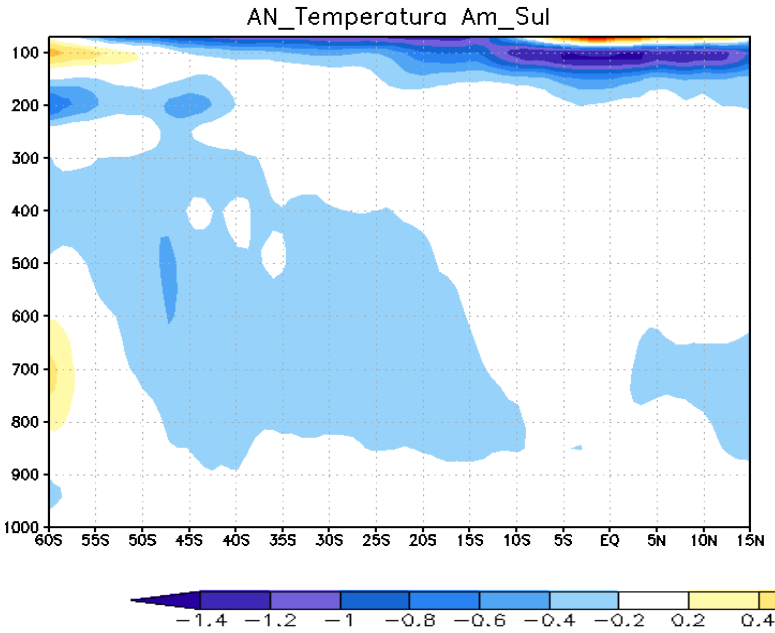


Radiâncias: Assimilação no LETKF – MCGA/CPTEC

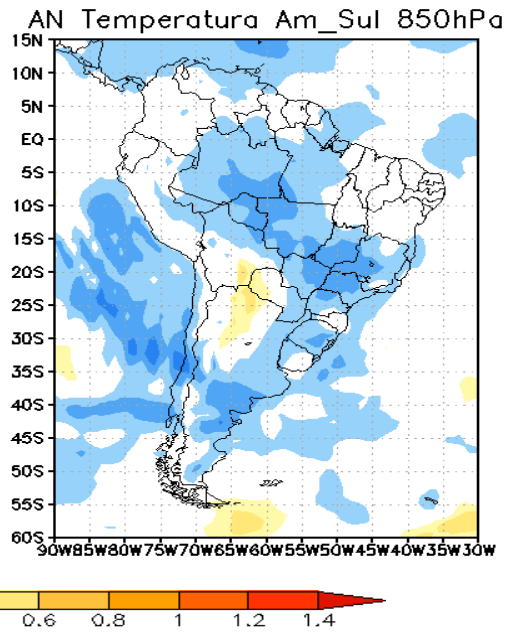
Diferença entre o RMSE das Análises da variável Temperatura (K) do ar entre o experimento com assimilação de radiância (LETKF_rad) e o experimento com assimilação de dados convencionais (LETKF_conv).

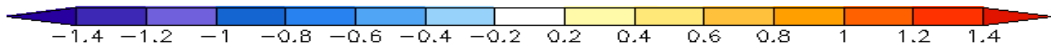
- Os valores representam a média para o período de 06 a 30 de junho de 2008, horários 00, 06, 12 e 18Z.
- Diferença negativa mostra vantagem da inclusão dos dados de radiância.
- Verdade: Análises do NCEP.

Secção transversal vertical média longitudinal na América do Sul: pode-se observar um ganho em praticamente todos os níveis de pressão.



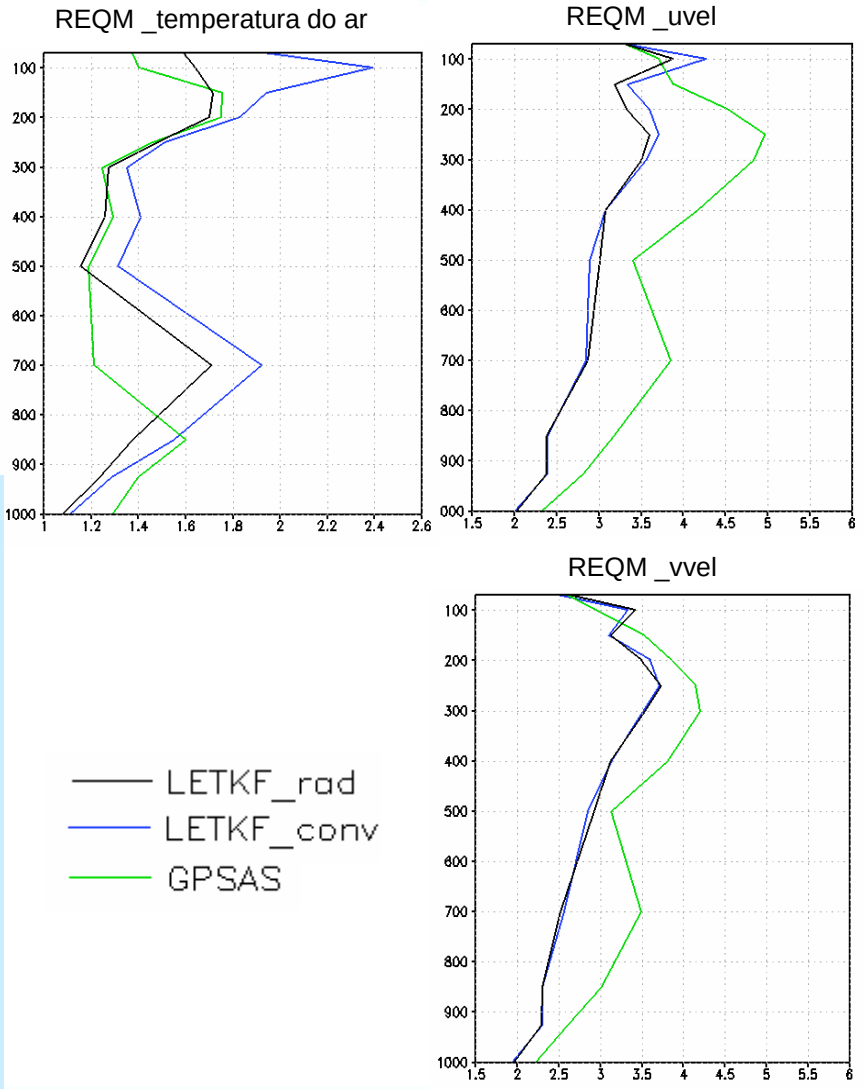
Distribuição espacial dos erros em 850hPa: redução dos erros sobre boa parte do continente e oceanos indicando uma melhoria nas análise em grande parte da América do Sul.





Radiâncias: Assimilação no LETKF – MCGA/CPTEC

- RMSE das análises de temperatura do ar, componente zonal e meridional do vento, para LETKF_conv na cor azul, LETKF_rad na cor preto, e GPSAS na cor verde.
- Os valores representam a média para o período de 06 a 30 de junho de 2008, horários 00 e 12Z.
- Verdade: Análises do NCEP.



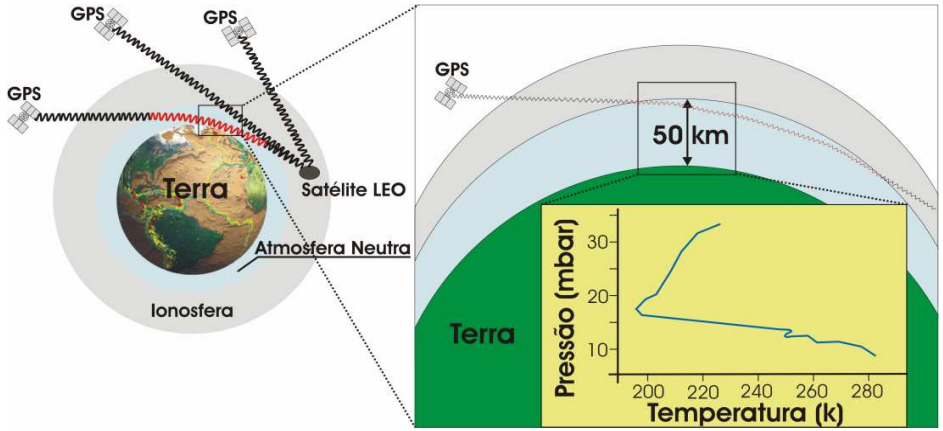
✓ Os **resultados** da assimilação direta de radiâncias do AMSU-A pelo sistema 4D-LETKF/MCGA, na região da América do Sul, **mostraram** que a variável que apresentou um **maior ganho** com a redução dos erros, em praticamente todos os níveis foi a **temperatura do ar**.

✓ Para as **componente zonal e meridional do vento** os **erros** das **análises** do LETKF foram **menores** que os erros do GPSAS em praticamente todos os níveis.

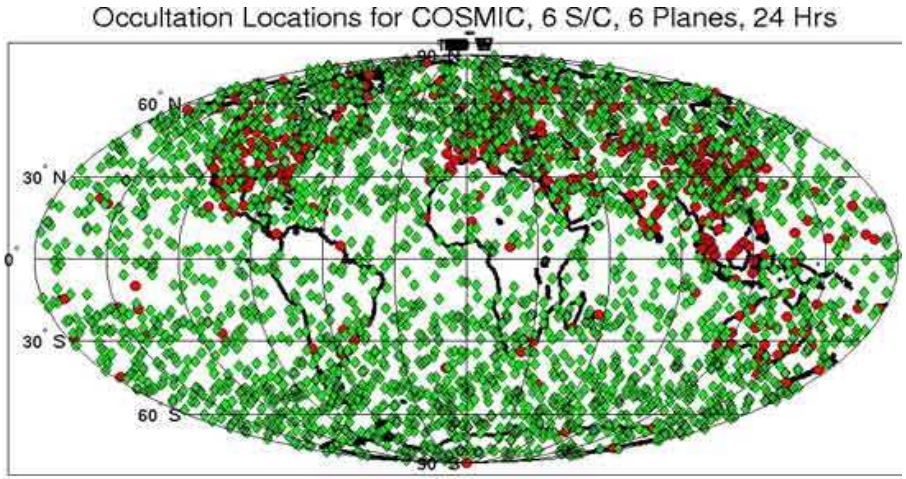
Envolvidos: Maria das Dores Medeiros, José Aravéquia, Solange Souza.

Radio Ocultação GNSS: Assimilação (Global Navigation Satellite System)

Constelação projeto COSMIC: 6 satélites



Um receptor GPS a bordo de satélite de órbita baixa (500km) gerando perfis de temperatura e umidade através da técnica de radiocultação GNSS.



(2500 perfis diários)

Assimilação de perfis do COSMIC no PSAS:

- Primeiros testes em execução

Futuros testes de assimilação de perfis no LETKF:

- Desenvolvimento de um operador para os testes iniciais para a assimilação de perfis de refratividade

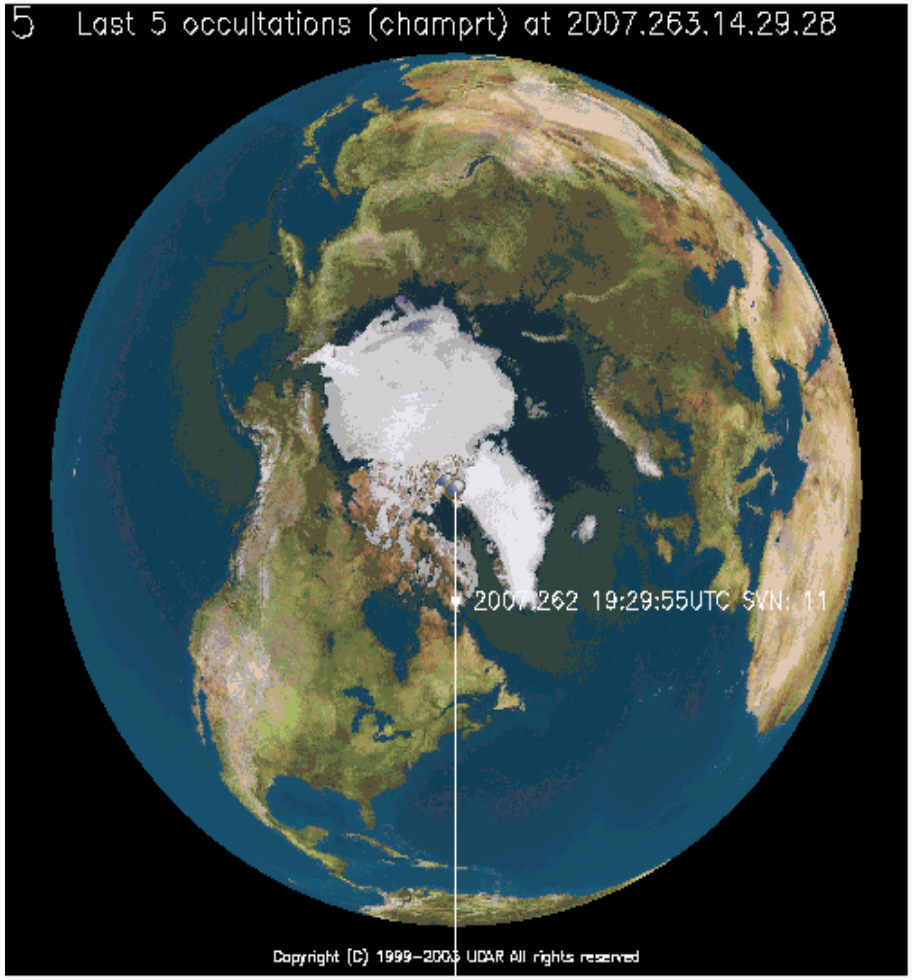
Em ambas as ações estão sendo verificada a aplicação do ROPP (*Radio Occultation Process Package*) no processo visando a operacionalização futura.

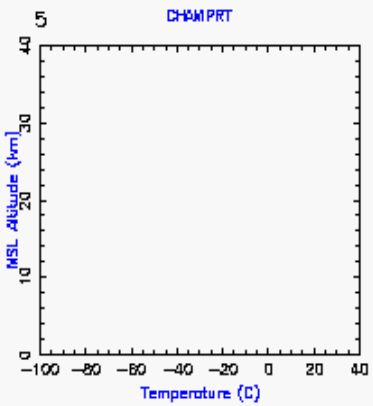
Projetos futuros relacionados:

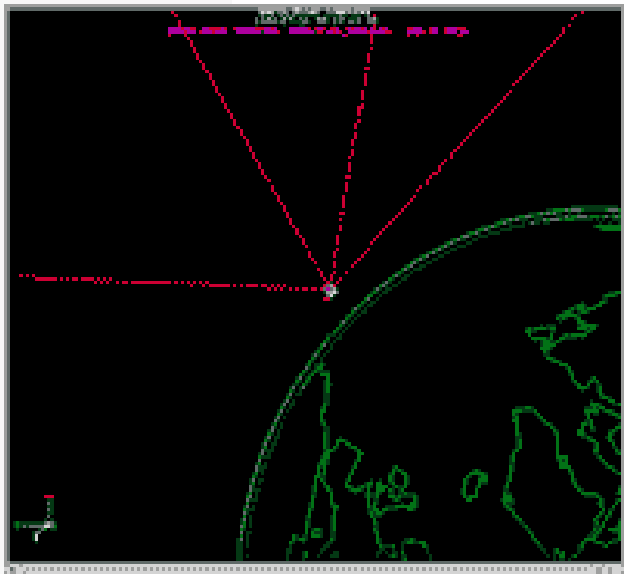
- Projetos CICERO (20 satélites)
- Satélites brasileiros: LATTES/AQUARS AMAZONAS e MAPSAR.

Envolvidos: Luiz Sapucci, Dérek Schubert.

Radio Ocultação GNSS: Assimilação (Global Navigation Satellite System)

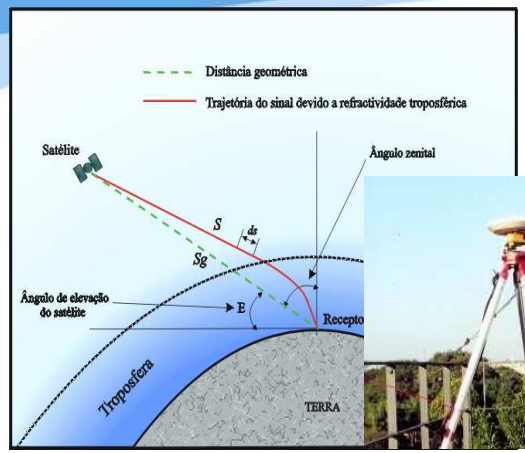






Envolvidos: Luiz Sapucci, Dérek Schubert.

Radio Ocultação GNSS: Assimilação de valores provenientes de Redes de receptores GNSS no Brasil



Um receptor GPS para aplicações científicas sobre a superfície gerando valores do atraso zenital troposféricos, os quais são convertidos em IWV.

Assimilação de dados de GNSS de Estações em superfície

- No PSAS já em modo pré-operacional:
  - Valores do IWV
- No LETKF em modo de futura pesquisa:
  - Valores do Atraso Zenital Troposférico (medida mais pura)

Projetos e agências relacionados (cores no mapa)

•Rede Brasileira de Monitoramente Continuo (IBGE-INCRA): 67 estações;
•Rede do estado de São Paulo (temático FAPESP): 11 estações;
•Projeto SIPEC Geofísica INPE (Petrobras-INPE): 85 estações; Total 163 estações disponíveis.

Envolvidos: Luiz Sapucci, Dérek Schubert.

Assimilação de Precipitação (Eta+RPSAS 20km)

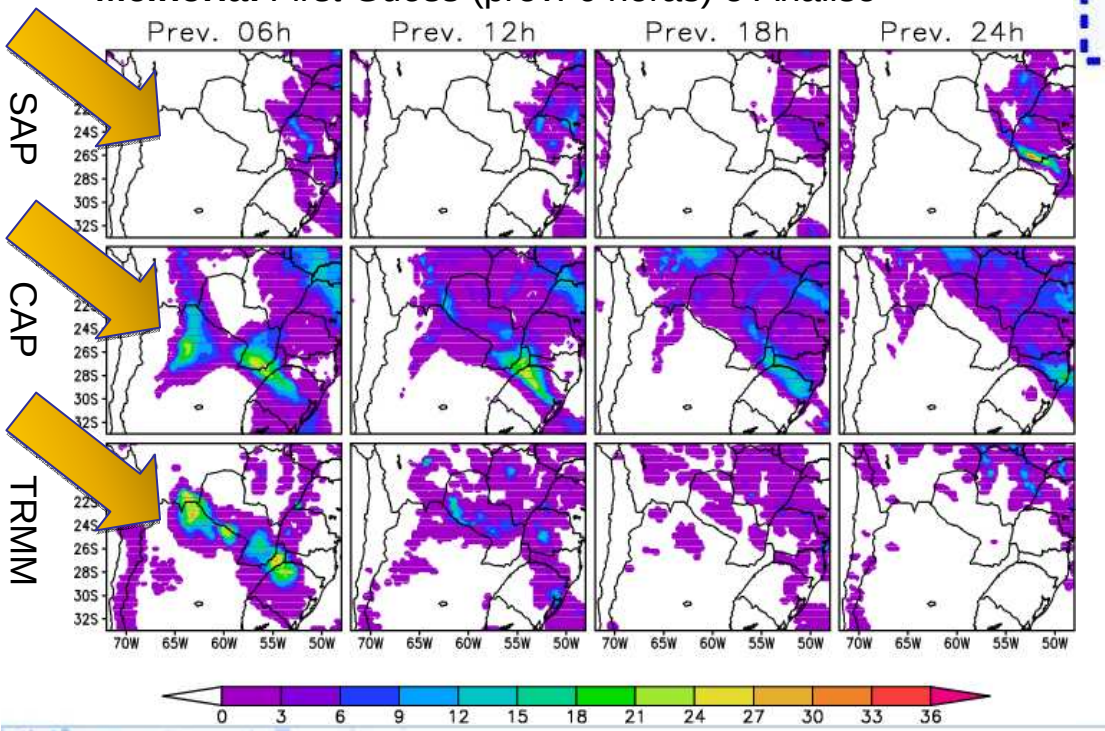
Assimilação de Precipitação – TRMM 3B41

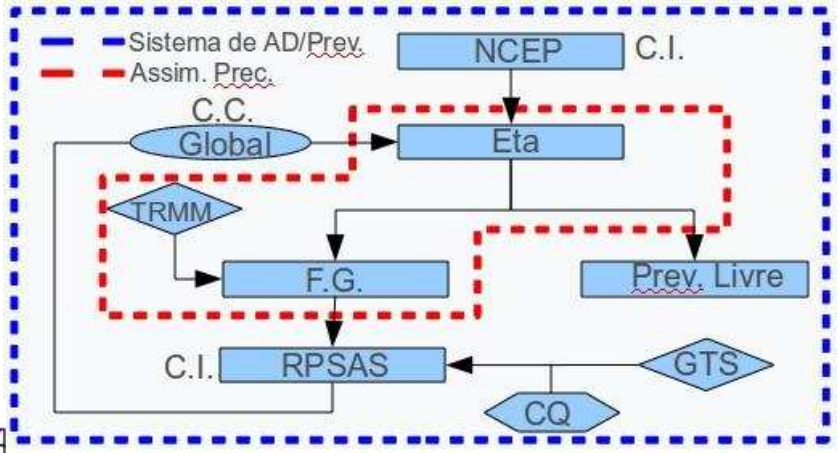
Esquema: *Nudging* da precipitação no *First Guess* (Ajustamento Convectivo ou em Ponto de Grade) no modelo Eta;

Metodologia: baseada em Carr e Baldwin 1991, similar ao do EDAS no NCEP (última versão – 2005);

Assimilação: taxas instantâneas (mm/h) por um período de 3 horas;

Melhoria: *First Guess* (prev. 6 horas) e Análise





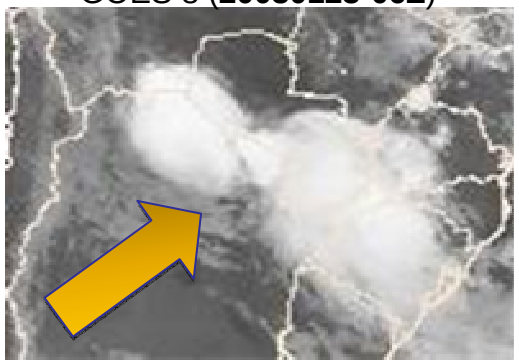
CCM – 23 de Janeiro de 2003

CAP: Com Assimilação de Precipitação;

SAP: Sem Assimilação de Precipitação;

Prev. 6h (CAP) consegue representar a prec. do CCM – *First Guess*;

GOES 8 (**20030123-06Z**)



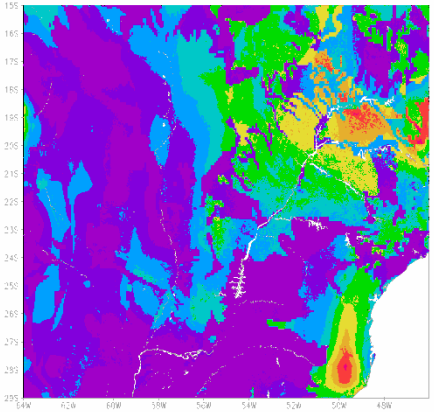
Envolvidos: Carlos Bastarz; Julio Pablo; Dirceu Herdies.

Assimilação de Dados de Superfície

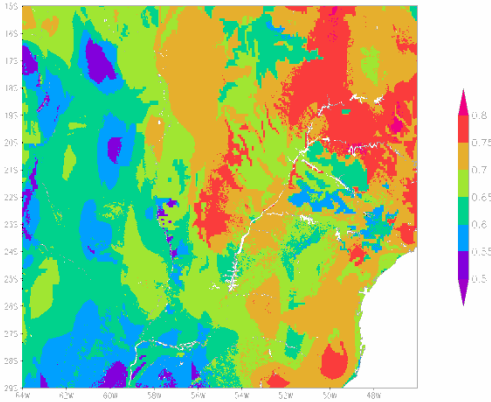
Realizações 2009/2010

1. Simulação de Superfície: 28 anos (1979-2006) / MERRA – LIS
2. Reanálise de Superfície 5 anos (2000-2004) / SALDAS – LIS
3. Multi Model Ensemble da Superfície (2000-2004) / SALDAS – LIS
4. Simulações Sobre a Bacia do Prata em Alta resolução (1 km) SALDA – LIS

Higth Resolution Simulation over LPB

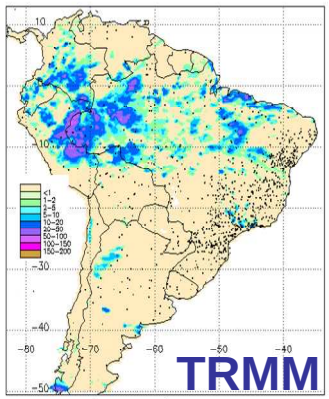


La Plata basin integrated total runoff (Kg/m²) at 1Km resolution (January 2000)

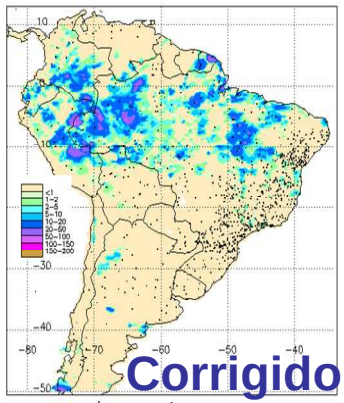


La Plata basin volumetric soil moisture at 1Km resolution (January 2000)

(De Goncalves et al., 2009 – JHM)



(a)



(b)

Correção e Downscaling de Campos de Precipitação do TRMM

- **Domínio: América do Sul**
- **Resolução: 10 Km**
- **Período: 2000 – Presente**

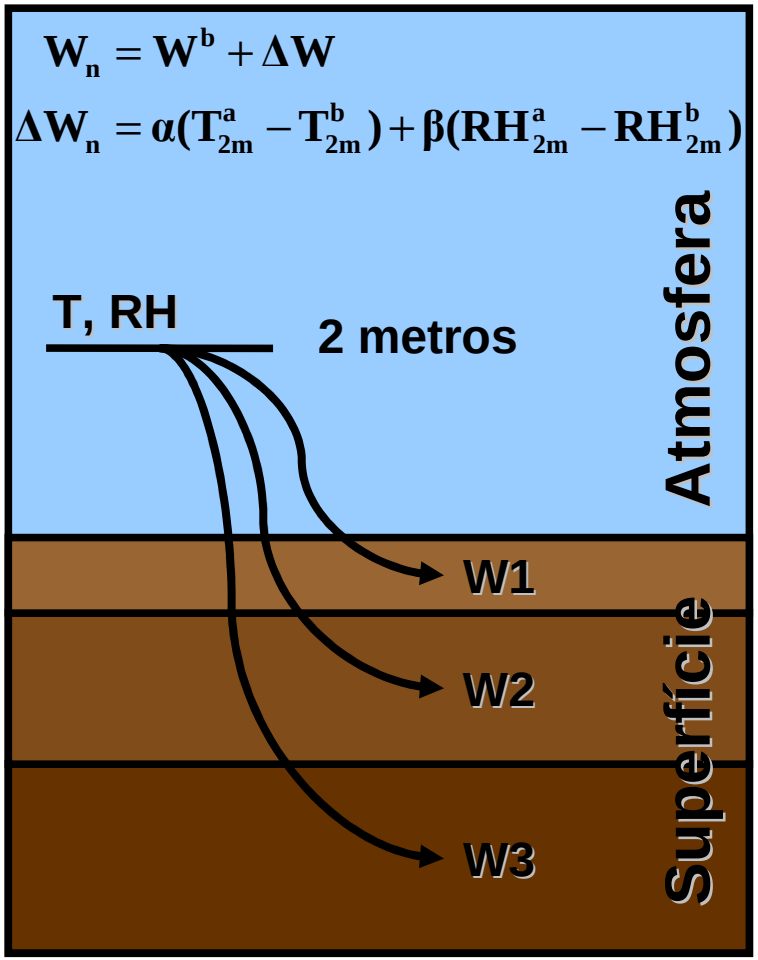
(Vila et al., 2009 – JHM)

Assimilação de Dados de Superfície

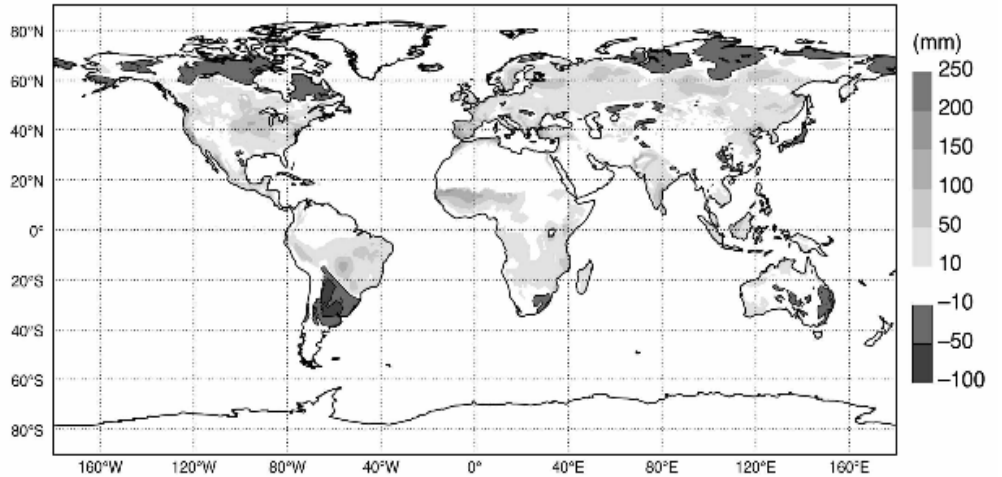
Screen-Level

$$W_n = W^b + \Delta W$$

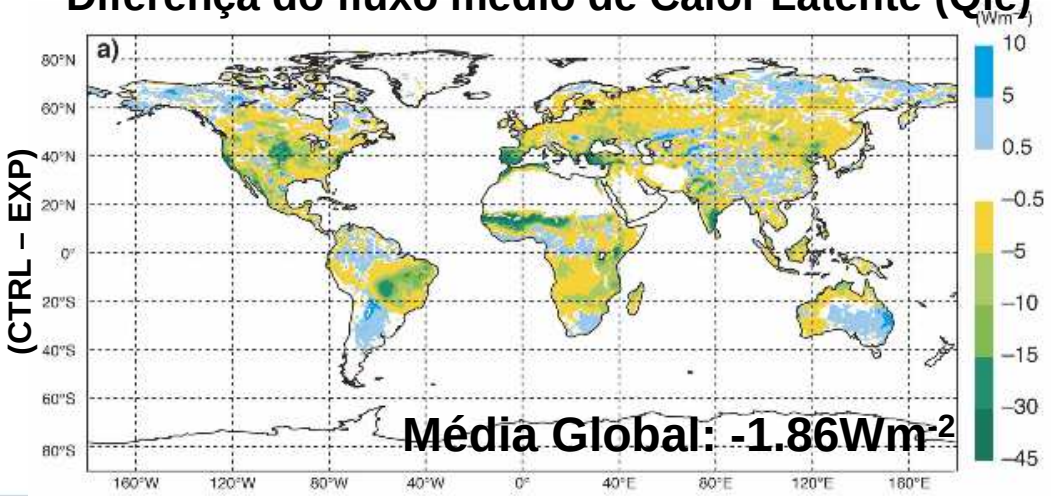
$$\Delta W_n = \alpha(T^a_{2m} - T^b_{2m}) + \beta(RH^a_{2m} - RH^b_{2m})$$



Incremento de W



Diferença do fluxo médio de Calor Latente (Qle)

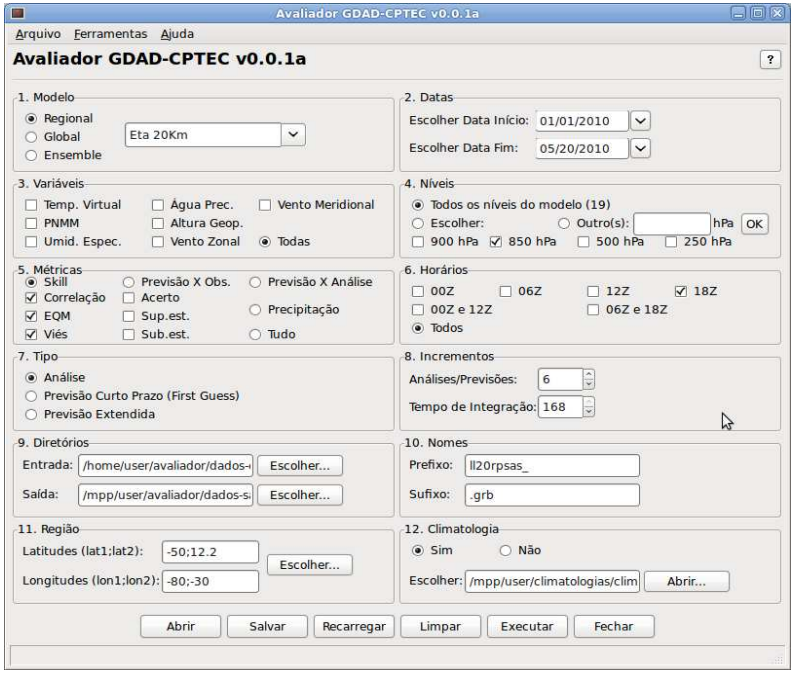


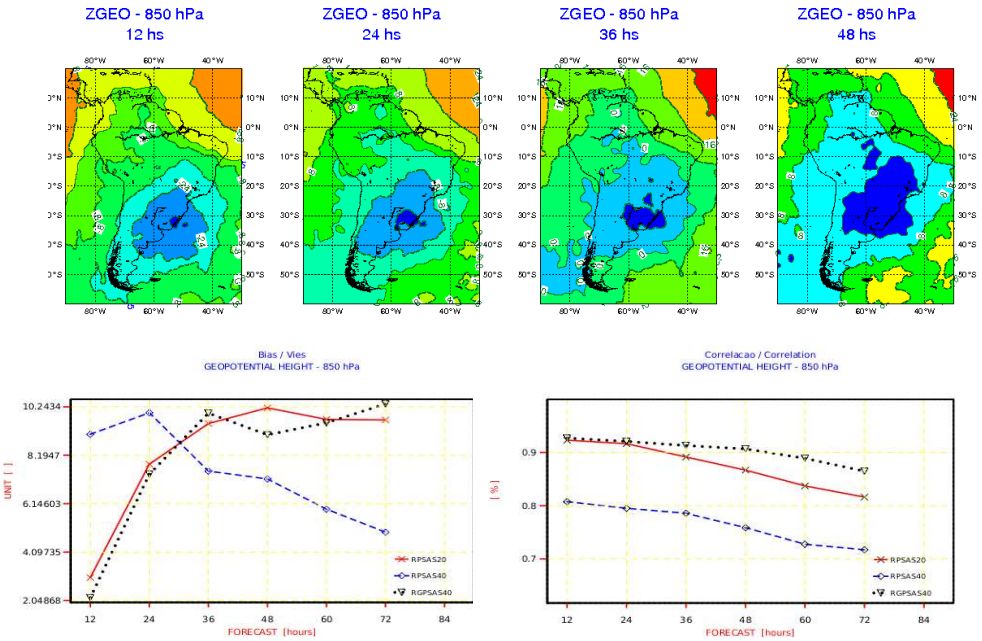
Envolvidos: João Gerd; Luis Gustavo Gonçalves.

Ferramenta de Avaliação de Análises e Modelos

Objetivo: Investigação de métricas robustas para a avaliação de modelos
de previsão numérica de Tempo e Clima

SCAMTeC – Sistema Comunitário de Avaliação de Modelos de Tempo e Clima





Envolvidos: João Gerd, Luiz Sapucci, Carlos Bastarz, Derek Schubert, Luis Gustavo Gonçalves., Ariane Frassoni

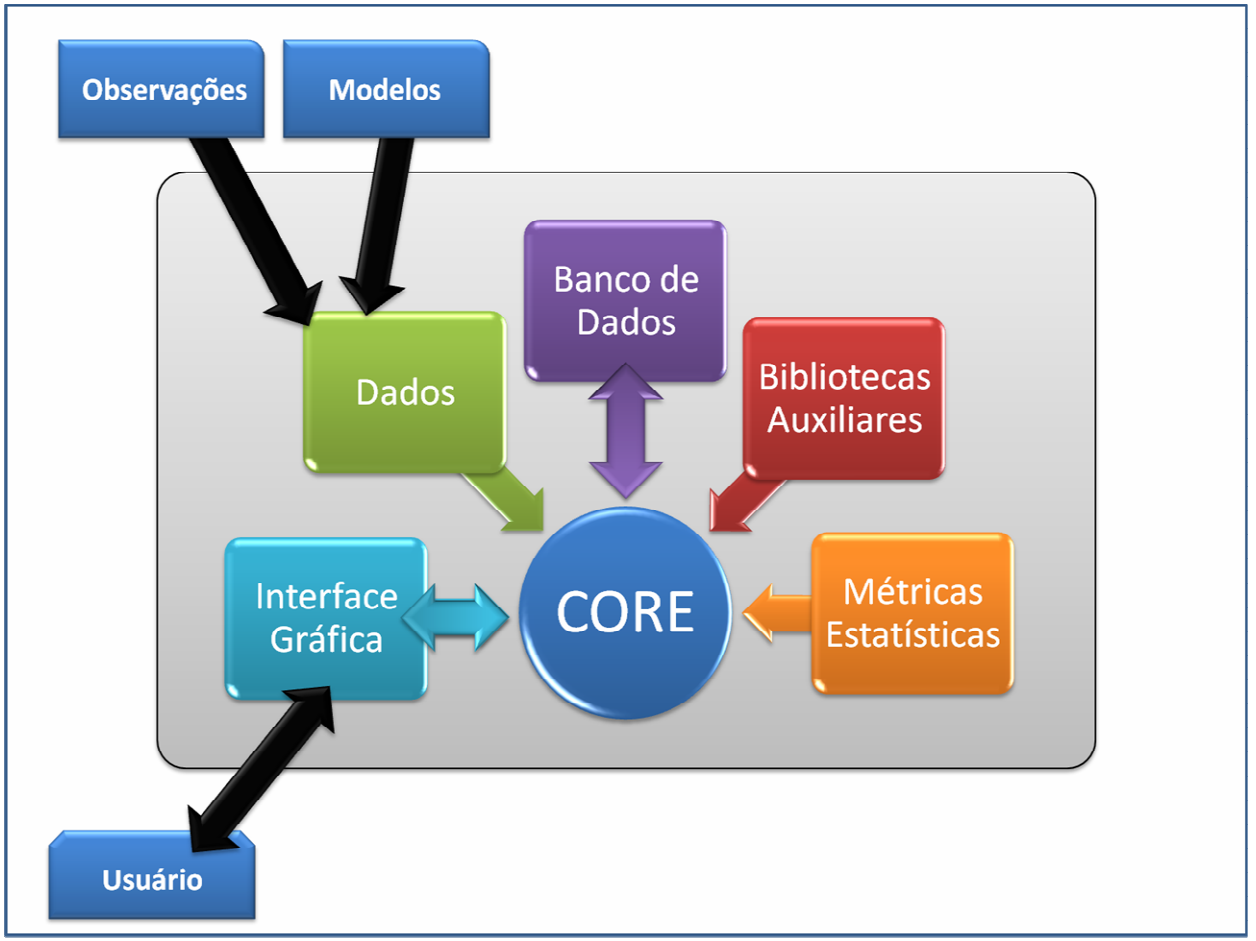
Ferramenta de Avaliação de Análises e Modelos

Software Modular:

•Aceita módulos com diferentes tipos de métricas estatísticas

•Fácil desenvolvimento e manutenção

•Aplicação no ensino e pesquisa

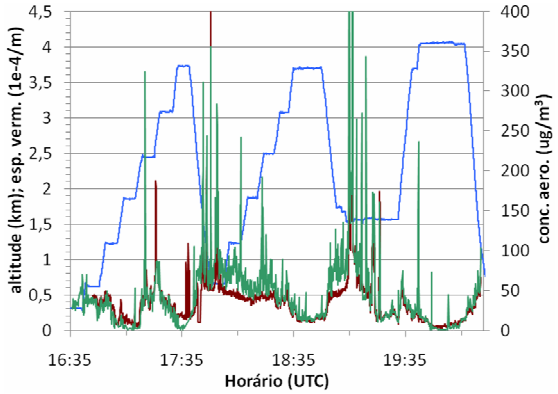


Envolvidos: João Gerd, Luiz Sapucci, Carlos Bastarz, Derek Schubert, Ronaldo Ribeiro, Luis Gustavo Gonçalves, Ariane Frassoni

Aerossóis: Assimilação de concentração de massa de material particulado < 2.5 µm (PM25)

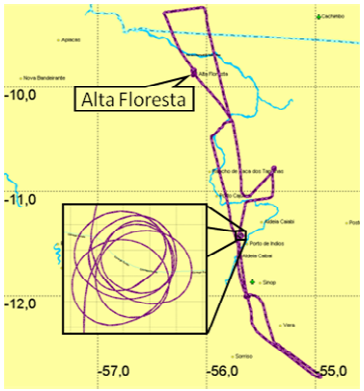
Medições de PM2.5

Observação

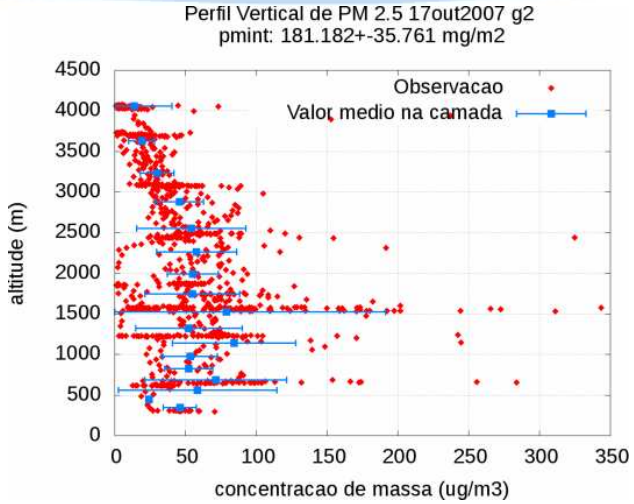


UTC

Trajetória do voo

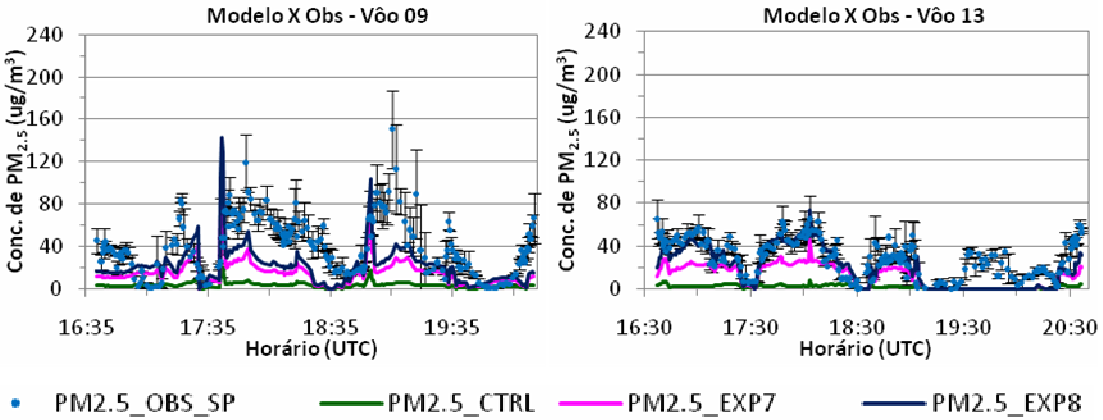


Calcula-se o PM2.5 integrado na coluna (PMINT)



Background

2D-Var + CCATT-BRAMS



Concentração de massa de $PM_{2.5}$ ($\mu m/m^3$) observado (pontos azuis) e da análise dos experimentos CTRL, EXP7 e EXP8 para os vôos 11 ao 16 da campanha CLAIM

Envolvidos: Gabriel Münchow; Judith Hoelzemann; Karla Longo; Dirceu Herdies; Saulo Freitas.

Estimativa do Impacto das Observações

Objetivo: Estudo do impacto dos dados observados de entrada do sistema de assimilação de dados do CPTEC nas análises e previsões do tempo

Avaliação Preliminar do Desempenho da Versão Global do Sistema de Assimilação PSAS do CPTEC/INPE Segundo as Métricas da OMM

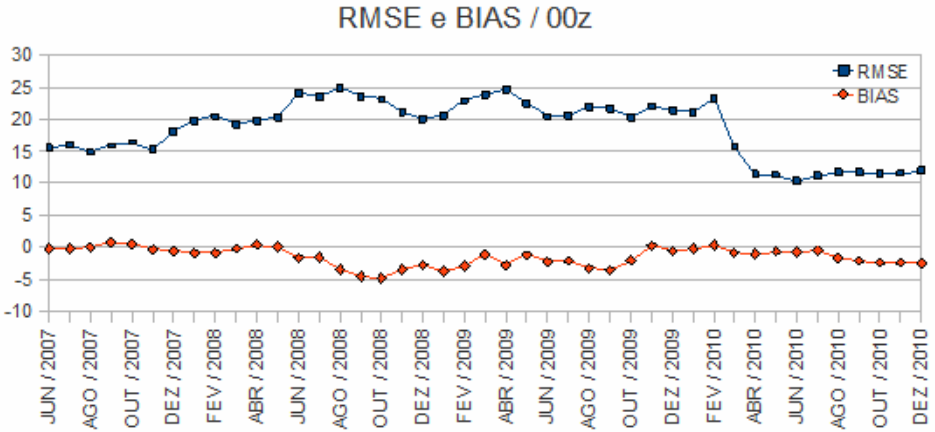


Figura 1. Variação temporal do RMSE e BIAS, da altura geopotencial em 500hPa, para o horário da 00Z. O eixo x representa o tempo em meses enquanto o eixo y representa a magnitude do RMSE e BIAS. (O-A)

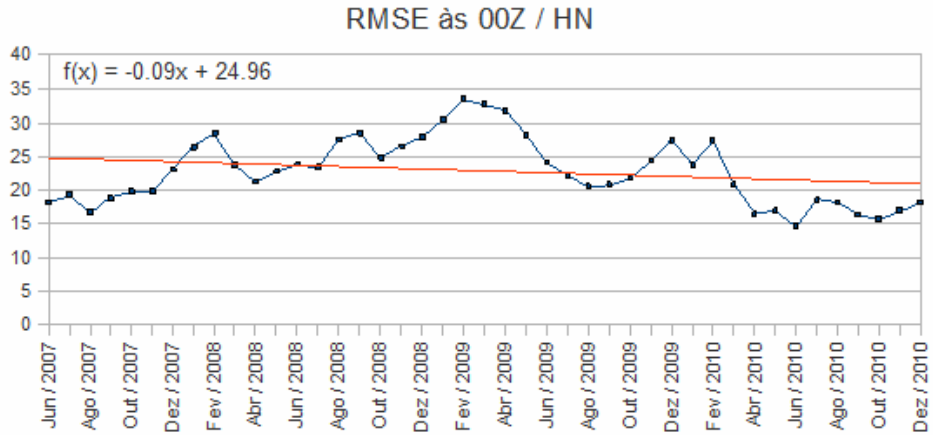


Figura 2. Variação temporal do RMSE às 00Z, da altura geopotencial em 500hPa, no Hemisfério Norte e a Linha de Tendência junto de sua equação. O eixo x representa o tempo em meses enquanto o eixo y representa a magnitude do RMSE em mgp. (O-F)

Envolvidos: Helena Azevedo; Luis Gustavo Gonçalves; Luiz Sapucci.

Estimativa do Impacto das Observações

Trabalho Atual:

- Utilizar o Software Avaliador SCAMTEC para efetuar o cálculo de erros como RMSE e BIAS nas previsões de até 120 horas.

Trabalhos Futuros:

- Repetir o mesmo processo anterior para a Versão Regional do PSAS
- Fazer uma comparação do PSAS com o LETKF

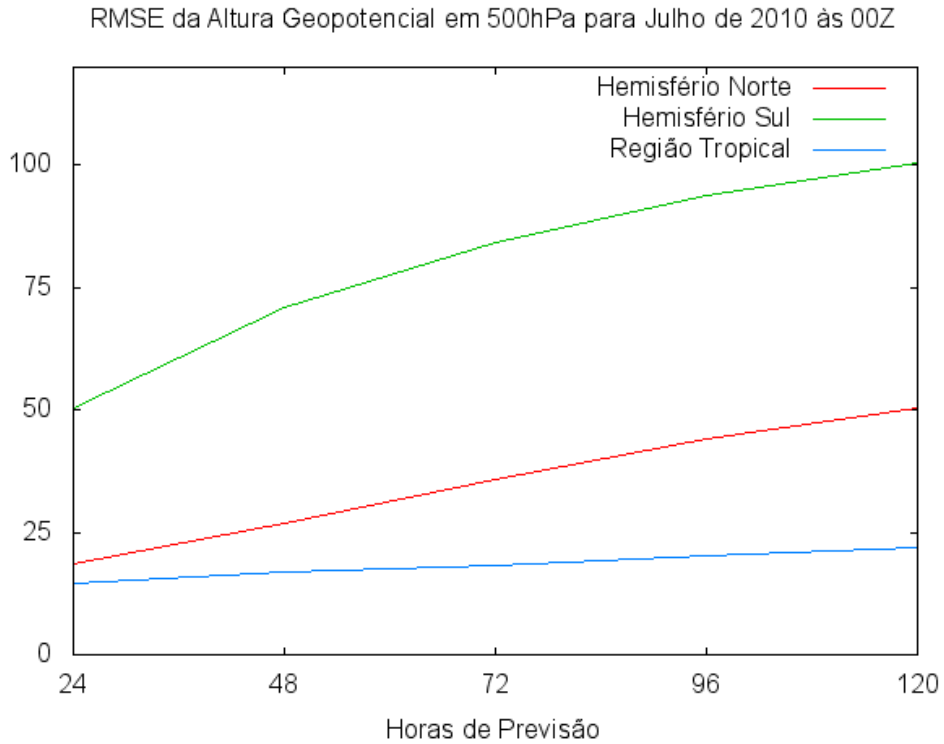


Figura 3. RMSE da altura geopotencial em 500hPa, para o horário das 00Z. O eixo x representa as horas de previsão enquanto que o eixo y representa a magnitude do RMSE. (A-F)

Estimativa do Impacto das Observações

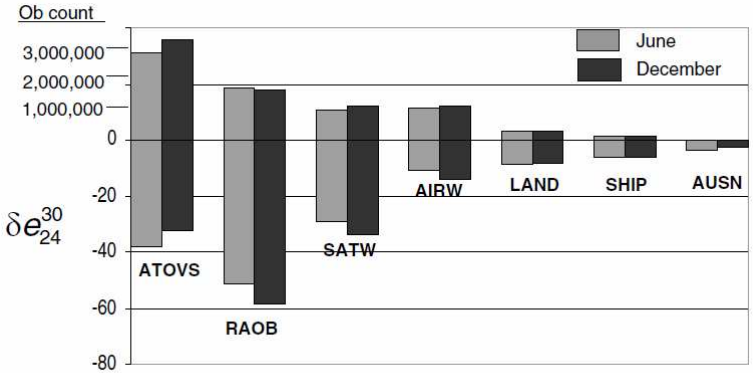
O impacto da observação tem sido estimado realizando experimentos com dados negados (e.g., ANDREOLI, 2008)

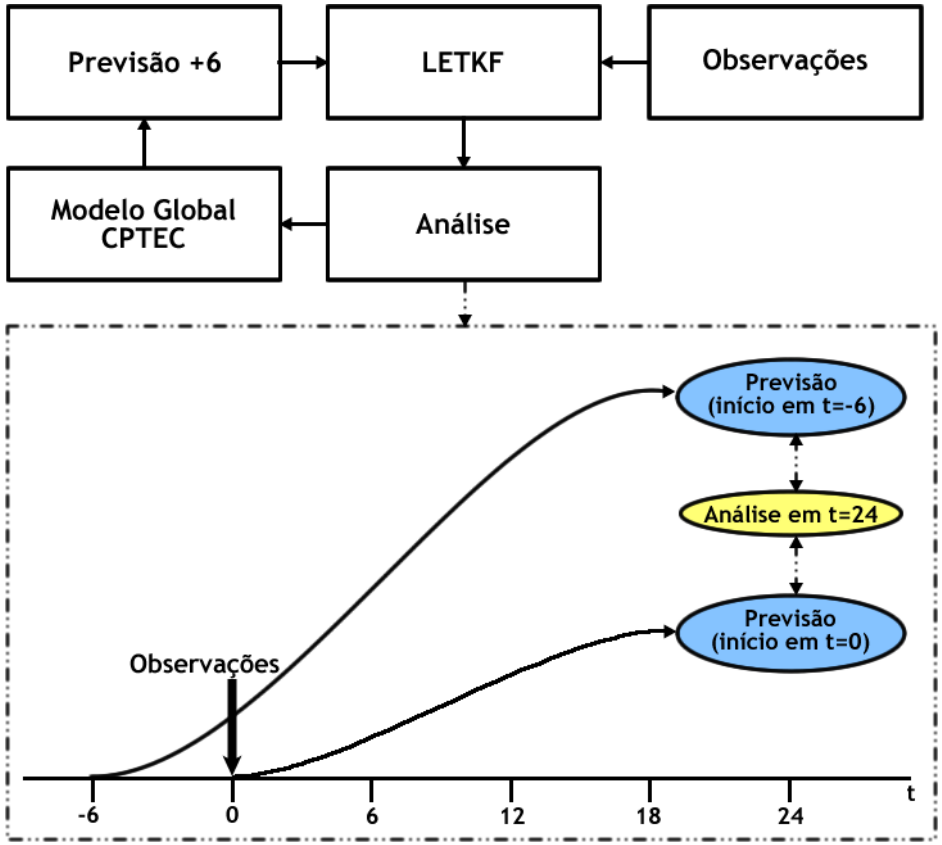
Métodos para estimar o impacto da observação sem realizar experimentos com dados negados:

- Método baseado em adjunto (LANGLAND E BAKER, 2004)
- Método baseado em conjunto (LIU E KALNAY, 2008)

Neste estudo:

- Estimar o impacto de dados reais observados com o sistema MCGA-LETKF utilizando o método baseado em conjunto.

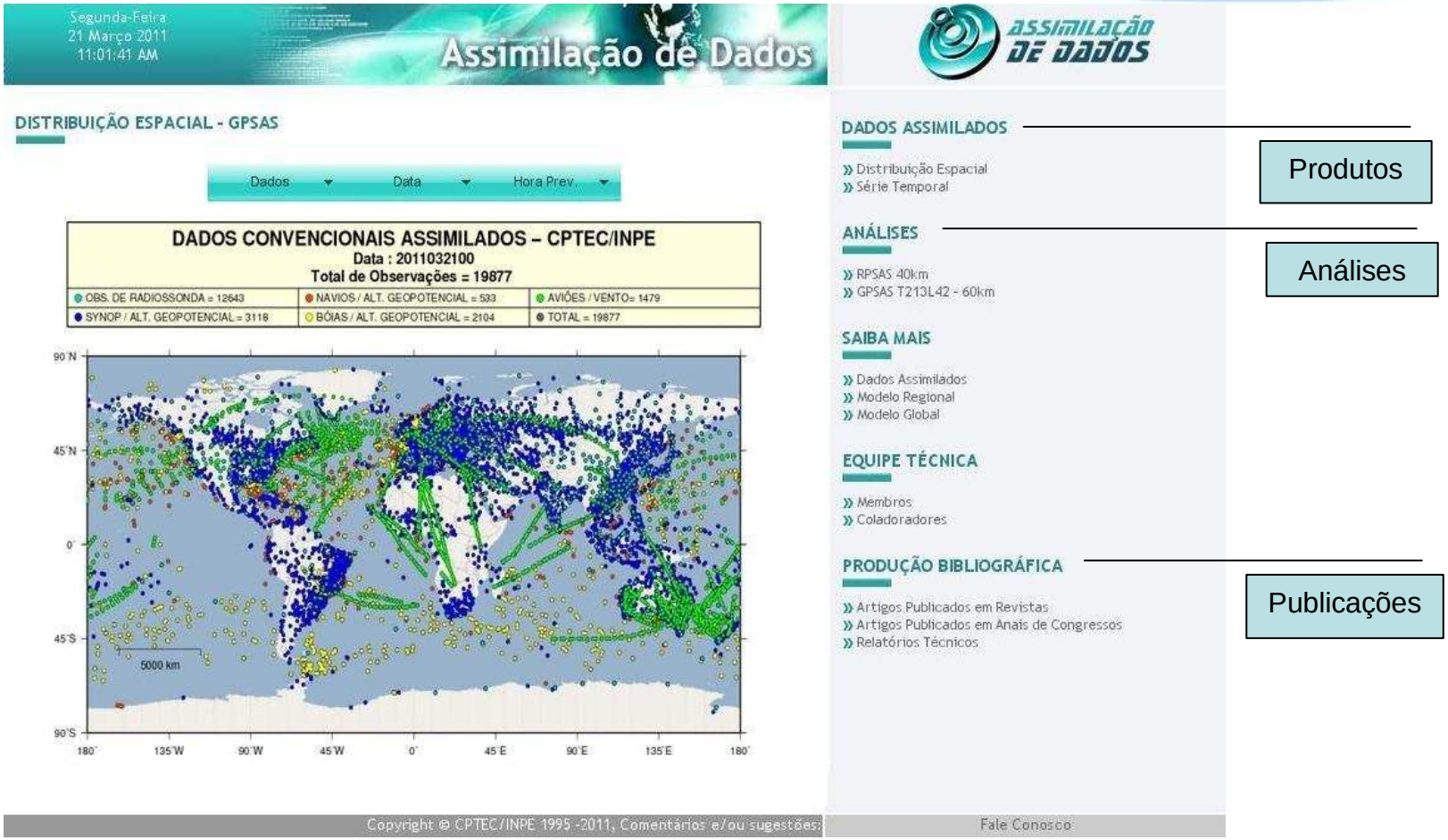




Fonte: LANGLAND, R. H.; BAKER, N. L. Estimation of observation impact using the NRL atmospheric variational data assimilation adjoint system. Tellus A, Munksgaard International Publishers, v. 56, n. 3, p. 189-201, 2004. ISSN 1600-0870. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0870.2004.00056.x>.

Envolvidos: Fábio Diniz; Luis Gustavo Gonçalves; Dirceu Herdies.

Homepage: Portal e Projetos



- **Página Externa:**
  Portal **http://assimila.cptec.inpe.br**

- **Página Interna:**
  Gerenciador de Projetos **Redmine**

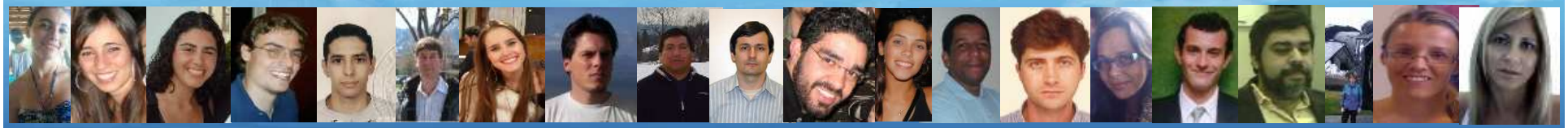
Envolvidos: Andreza Fogaça; Saulo Magnum; Luiz Sapucci; Luis Gustavo Gonçalves.

CPTEC
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

GDAD Grupo de Desenvolvimento em Assimilação de Dados

OBRIGADO



WWW.CPTEC.INPE.BR

ASSIMILA.CPTEC.INPE.BR