





# Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

1994 ... 2019

José Paulo Bonatti

**Desenvolvimentos  
Históricos e Atuais e  
Planejamento para o  
Futuro do  
MGCA/CPTEC - BAM**

# **CPTEC / INPE**

## **MISSÃO**

**Prover o país com o estado da arte em previsão de tempo, clima e qualidade do ar e dispor da capacidade científica e tecnológica de melhorar continuamente estas previsões, visando o benefício da sociedade.**



# Conceito Moderno de Modelagem

- **Equacionamento Analítico:**

Conhecimento do Problema e das Leis da Física Adequadas para o Problema (Equações)

- **Equacionamento Numérico:**

Aplicação de Métodos Numéricos para Resolver as Equações (Não-Lineares + Parametrizações Físicas)

- **Equacionamento Computacional:**

Programação **Eficiente** em Computador (Programação de Alto Desempenho)

# Conceito Moderno de Modelagem - Cont.

## ● Documentação Adequada e “Dinâmica”:

O Máximo Possível “On-line” no Código, Usando Recursos que Extraiam um Documento do Próprio Código. Porém Sempre é Necessário Também Documentação “Off-line”: Parte Análítica, Numérica e Computacional com os Respectivos Manuais.

Uso de Sistemas de Controle de Versões:  
Muito Importante para Manter Controle dos Desenvolvimentos Anteriores e Torná-los Acessíveis.

# Conceito Moderno de Modelagem - Cont.

## ● Infra-estrutura Computacional:

Computadores Adequados ao Problema.

Armazenagem Adequada.

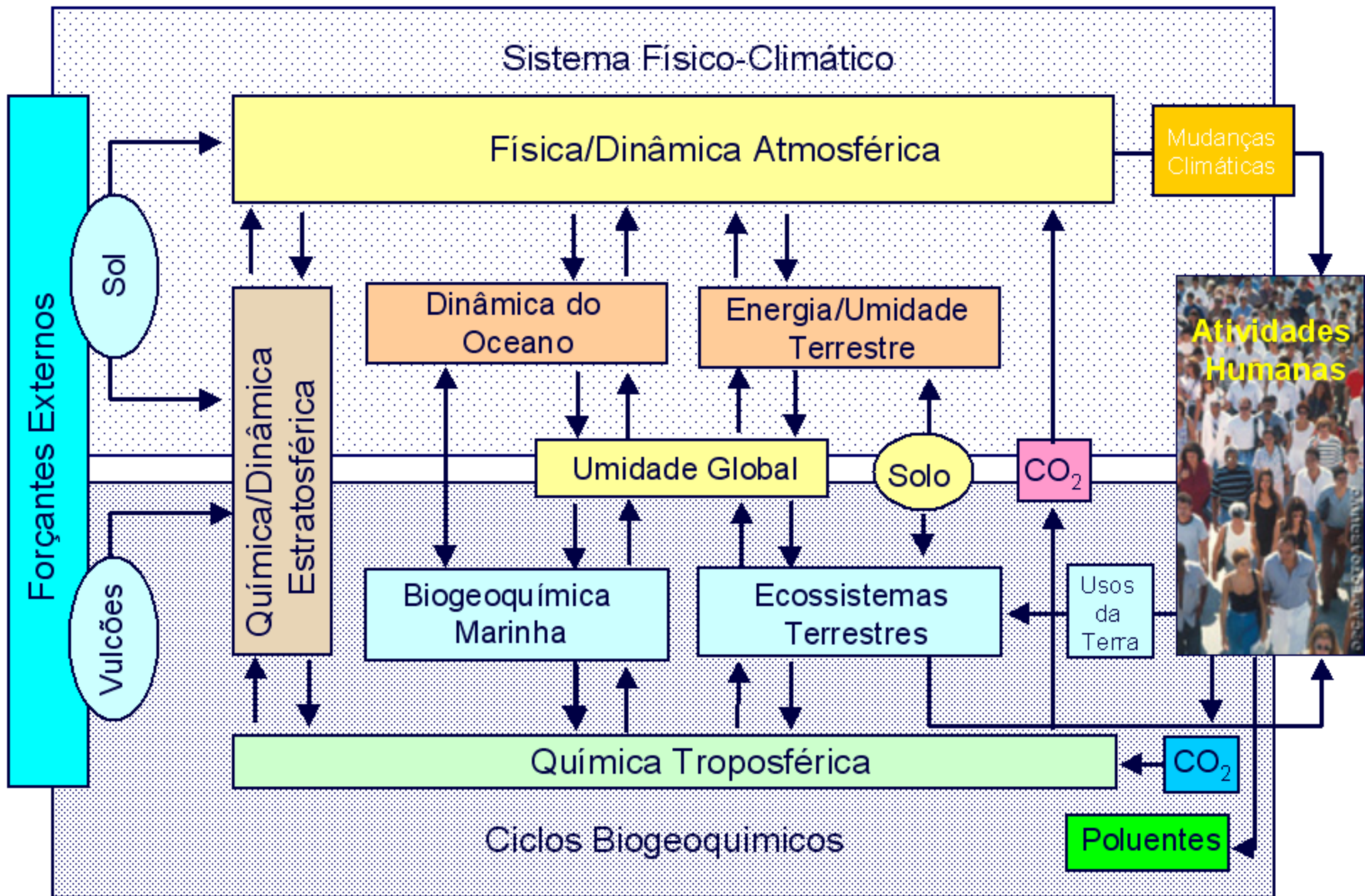
Visualização.

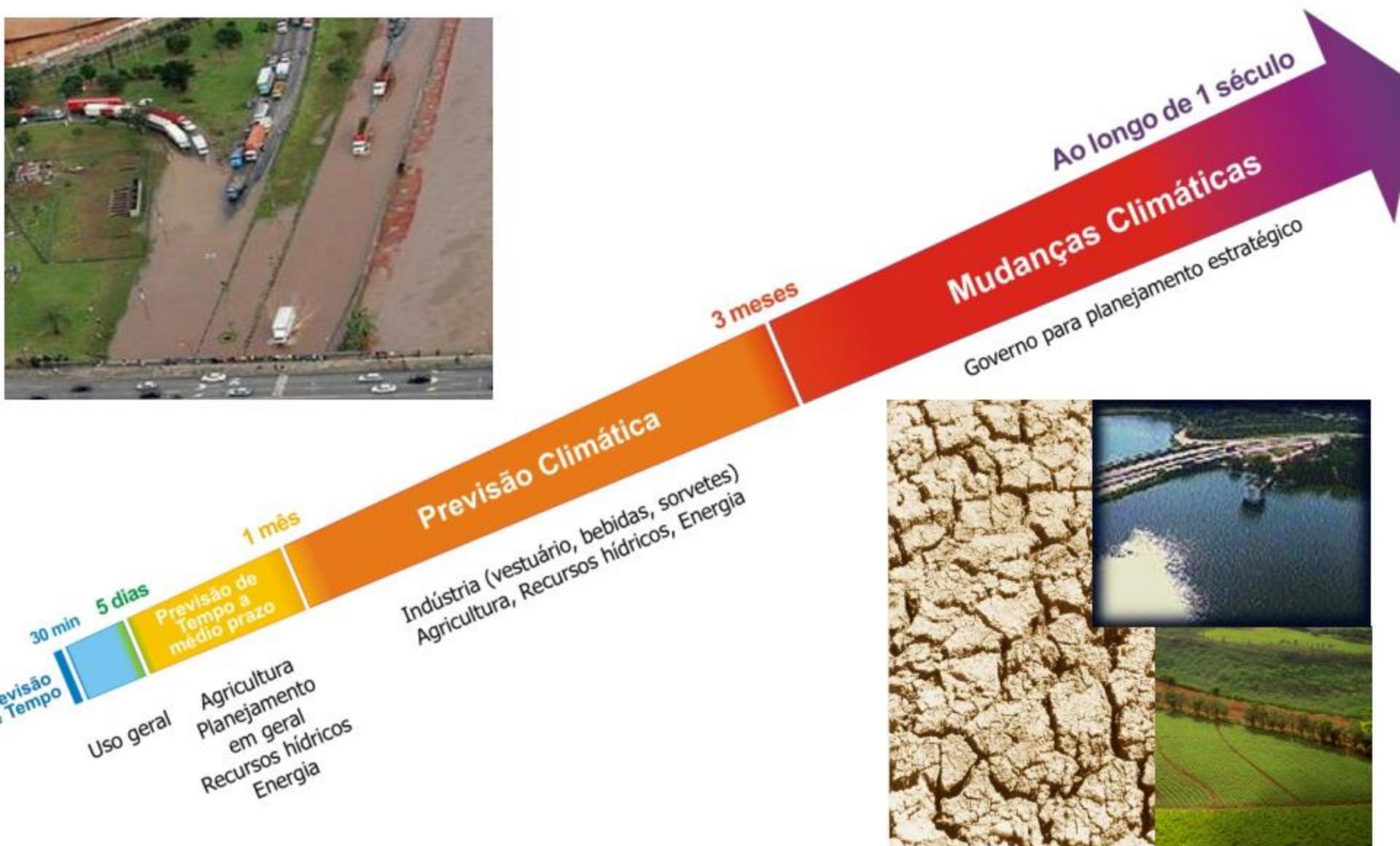
Desafios com o Aumento de Resolução:

Uso de Dinâmica e Física Adequadas

Geração e Análise de Grande Massa de Dados em Tempo Útil.

# Diagrama de Bretherton: Modelo Conceitual do Sistema Terra







O CPTEC/INPE é um Centro Operacional de Previsão de Tempo, Clima e Ambiental e Possui Modelos Globais e Regionais com finalidades diversas

Assimilação de Dados em Escala Global (G3DVAR)

Modelo de Circulação Global Atmosférico (MCGA), Modelo de Circulação Global Acoplado Atmosfera e Oceano (MCG) e Modelo Global e Regional De Agitação Marítima (WWatch3)

Modelo Atmosférico de Circulação Regional (WRF)

Modelo Atmosférico de Qualidade do Ar (CCAT-BRAMS)

Modelo de Ondas Costeiras (SWAN)

Modelo de Circulação Marítima Costeira (DELT3D)

Previsão de Tempo Global: MCGA (10 dias) e MCG (Estendida 30 dias)

Previsão de Clima Global: MCGA e MCG (ambos 6 meses, 3 previsão)

Previsão de Tempo Regional (América do Sul): WRF (3 dias)

Previsão de Tempo por Conjuntos (Ensemble): MCGA (15 dias)

Previsão De Qualidade do Ar Regional: CCATT-BRAMS

Modelos de Previsão Marítima:

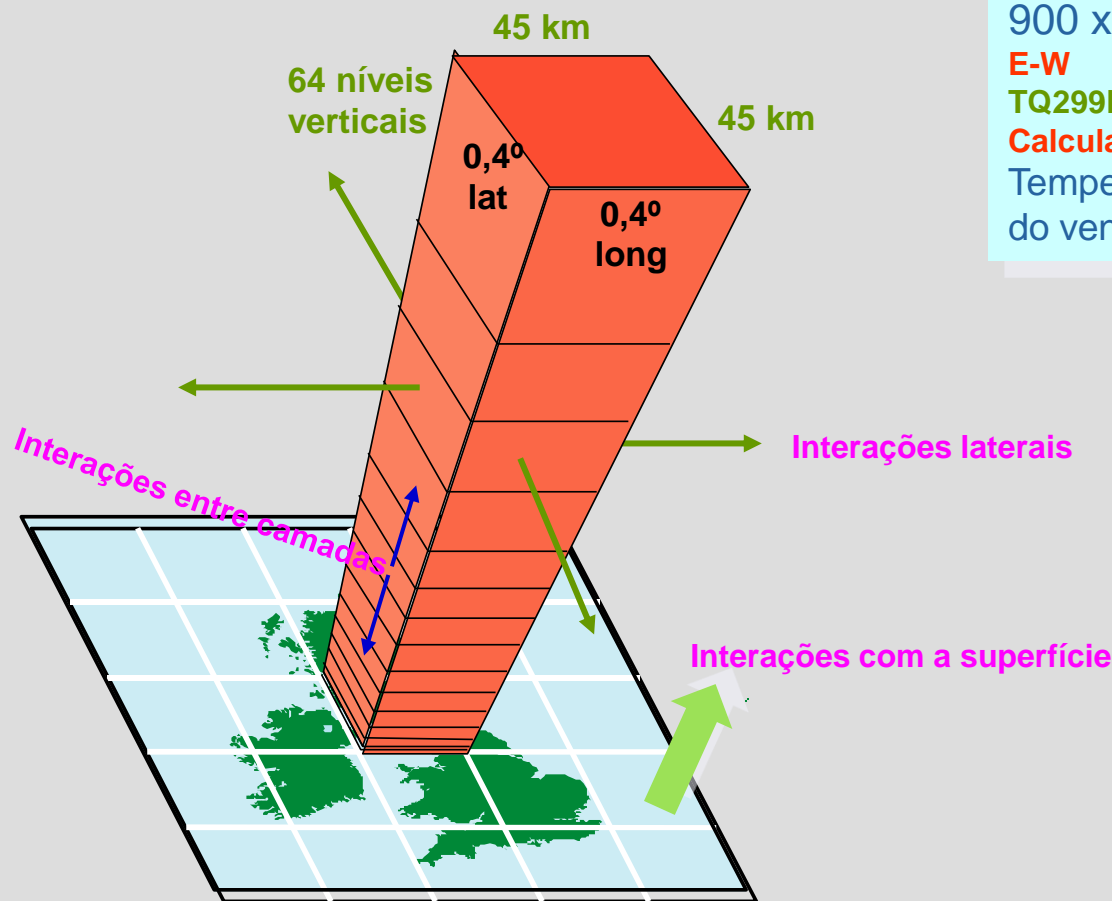
Agitação Marítimas: WWatch3 (Global e Regional)

Ondas Costeiras: SWAN (Regional)

Circulação Marítima Costeira: DELFT3D (Regional)

# Modelo Atmosférico Global para Previsão de Tempo:

Código computacional (centenas de milhares de linhas de código) que representa aproximações numéricas de equações matemáticas, equações estas representativas das Leis Físicas que regem os movimentos da atmosfera e as interações com a superfície; o cálculo é feito para até 10 dias de previsão.



## Número de elementos:

$900 \times 450 \times 64 = 25,92$  milhões

E-W    N-S    Vertical

TQ299L64

## Calcula-se para cada um destes volumes:

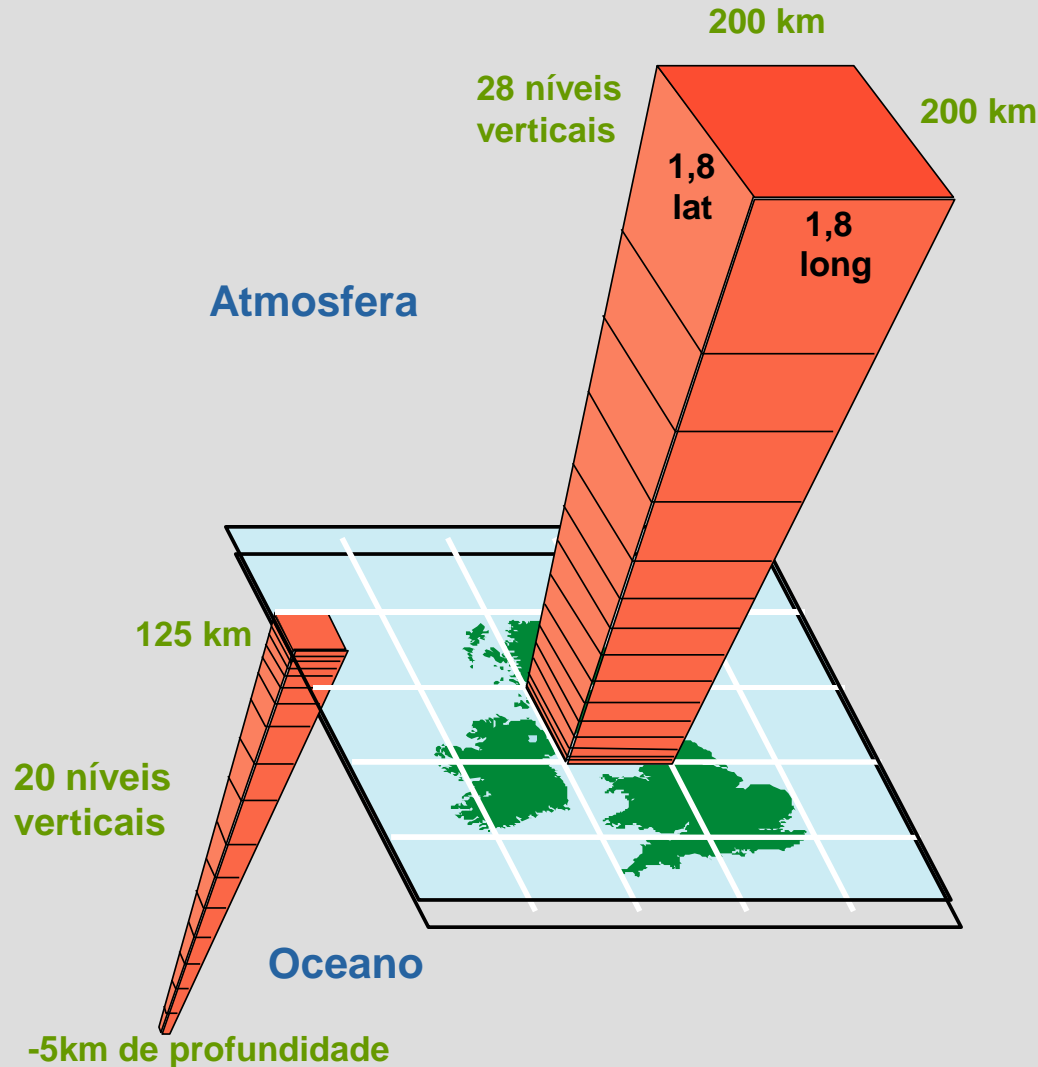
Temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, altura geopotencial.

## Domínio Geográfico



# Modelo Acoplado Atmosfera-Oceano Global para Previsão Climática:

Código computacional (centenas de milhares de linhas de código) que representam aproximações numéricas de equações matemáticas, equações estas representativas das Leis Físicas que regem os movimentos da atmosfera, dos oceanos e as interações entre estes dois fluidos e entre a superfície dos continentes e a atmosfera; o cálculo é feito para um período de poucos meses a anos.



## Número de elementos atmosféricos:

$196 \times 92 \times 28 = 0,52$  milhões

**E-W N-S Vertical**

**TQ62L28**

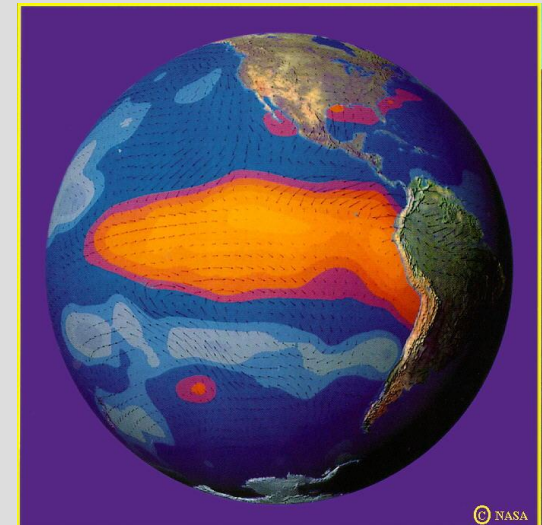
**Calcula-se para cada um dos volumes atmosféricos:**

Temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, altura geopotencial.

**Calcula-se para cada um dos volumes oceânicos:**

Temperatura, salinidade, direção e velocidade da corrente, pressão.

## El Niño



# Modelo Atmosférico Espectral Global de Previsão Numérica (MCGA) do CPTEC

## Origem

- COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies).
- Versão 1.7 Romboidal R40L18 (315km,200km)  
Baseado no MRF 1987 do NCEP, então NMC

## Versão CPTEC

- Triangular: COLA Versão 1.12 + Modificações no CPTEC/INPE, G3DVAR TQ299L64 (45km - ED) , TQ666L64 (20km, NCEP) : MCGA/CPTEC/INPE
- Versátil para resoluções Horizontais e Verticais.



## Condições de Contorno

- Velocidade Vertical Sigma nula no topo e na superfície.
- Topografia Espectral Truncada com ou sem suavização.
- Ozônio Climatológico Sazonal Médio Zonal interpolado linearmente no espaço a cada passo de tempo ou lido.
- Temperatura da Superfície do Mar lida (média semanal para tempo, média mensal para clima ou campos mensais climatológicos para tempo ou clima).
- Gelo do Mar: valor pré-fixado no campo de TSM.
- Campos Iniciais Climatológicos: Neve, Temperatura Profunda do Solo e Umidade do Solo (também pode ser lida do sistema de análise do CPTEC/INPE).

# MCGA do CPTEC - Continuação

## Inicialização

- Diabática e Não-Linear por Modos Normais.

## Dinâmica

- Equações Primitivas.
- Coordenadas: horizontais esféricas e vertical sigma (hibrida, em testes).
- Harmônicos Esféricos na horizontal (espectral) e Diferenças Finitas na vertical e no tempo.
- Integração no tempo: euleriana semi-implícita ou semi-lagrangeana 3D com filtro de Asselin.
- Grades: gaussiana quadrática ou linear, completa ou reduzida.

## Processos Físicos

- Superfície:
- Terra: Modelo Biológico
- Mar: Esquema Aerodinâmico
- Camada Limite Planetária:
- Difusão (Vertical) Turbulenta
- Arrasto Topográfico pelas Ondas de Gravidade

# MCGA do CPTEC - Continuação

## Radiação

- Onda Curta (a cada hora):
- Onda Longa (a cada 3 horas)
- Efeitos de sua Interação com Nuvens

## Convecção

- Profunda
- Rasa



# MCGA do CPTEC - Continuação

## Ajustes

- Condensação de Grande Escala (Microfísica)
- Difusão Horizontal 2n-Harmônica
- Difusão para controle de CFL

# MCGA do CPTEC - Continuação

## Módulo de Pré-Processamento

- Geração de Condição Inicial (G3DVAR ED, NCEP).
- Geração de Modos Normais.
- Geração de Topografia Espectral.
- Interpoladores Para a Resolução do Modelo:  
Campos de Máscara Terra-Água e de Vegetação, Variância da Topografia, Neve através de Albedo Climatológico, TSM, Rugosidade, Umidade do Solo, Temperatura Profunda do Solo.

## Módulo de Pós-Processamento

- Conversão dos Campos Espectrais e em Coordenadas Sigma (hibrida) do Modelo para Espaço Físico e Coordenadas de Pressão.
- Permite Opção para Grade Horizontal Gaussiana ou Regular e Lista de Níveis de Pressão.
- Saídas em Formato Binário Grads ou em GRIB1(2).
- Cada Saída do Modelo e do Pós são Arquivos Distintos.
- Diagnósticos são Valores Médios para o Intervalo de Tempo entre as Saídas do Modelo.

# MCGA do CPTEC - Continuação

## Códigos

- Modelo, Pré e Pós:
- FORTRAN 90/95 com Módulos
- Resoluções Definidas Dinamicamente
- Modelo:
- MPI sobre OpenMP
- Pré (CI) e Pós:
- MPI
- Portabilidade: Rodava no SX6, Tupay e Una e roda no Cray (benchmark na compra do Cray)

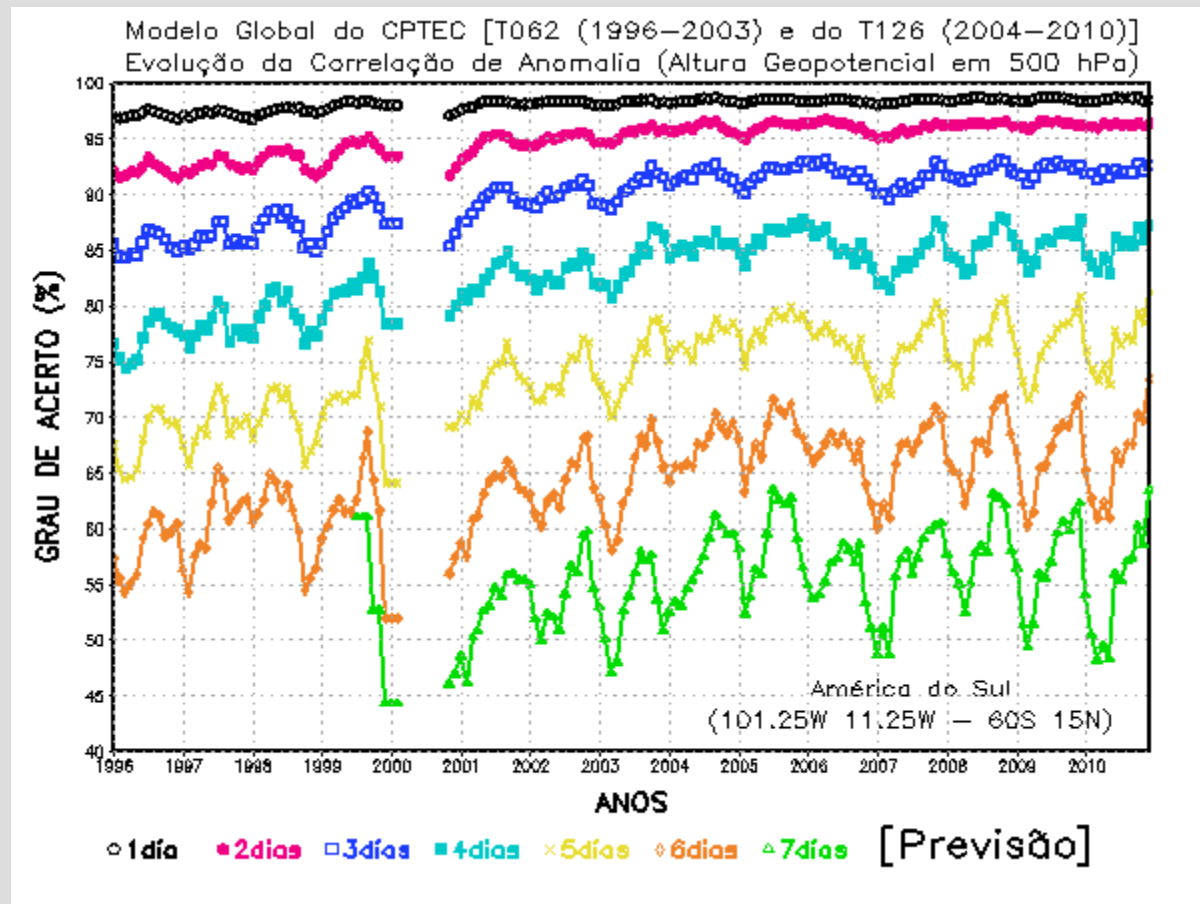


# Evolução Operacional do MCGA

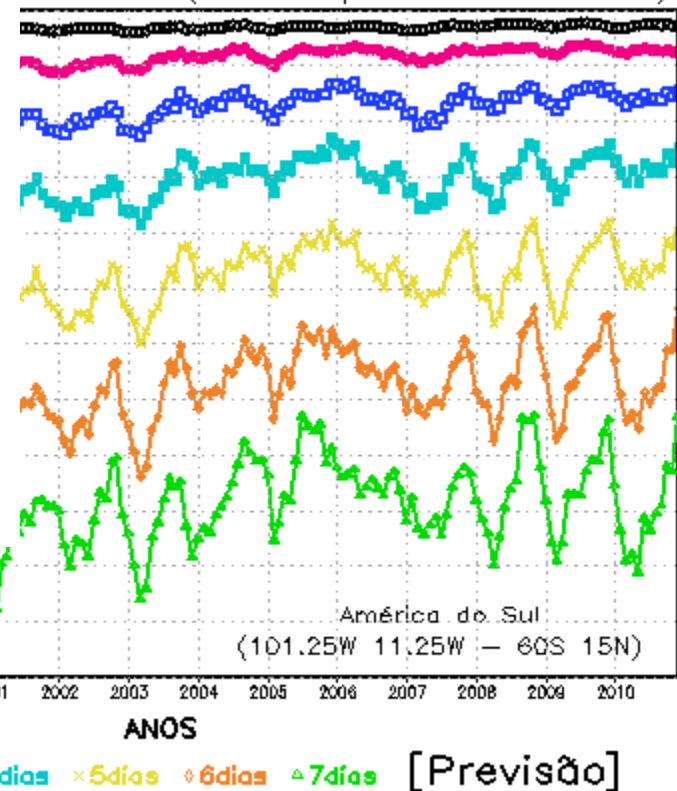
- 1994, NEC/SX-3:  $T_Q0062L028$  (210 km), CPTEC-COLA,  $\Delta t = 1200$  seg, sequencial
- 1998, NEC/SX-4:  $T_Q0062L028$  (210 km), CPTEC-COLA,  $\Delta t = 1200$  seg, paralelo até 8 processadores, primitivas NEC
- 2000, NEC/SX4:  $T_Q0126L028$  (105 km), CPTEC-COLA,  $\Delta t = 600$  seg, paralelo até 8 processadores, primitivas NEC
- 2005, NEC/SX6:  $T_Q0213L042$  (63 km), CPTEC/INPE-OMP,  $\Delta t = 400$  seg, paralelo até 8 processadores, portátil
- 2007, NEC/SX6:  $T_Q0299L064$  (45 km), CPTEC/INPE-MPI,  $\Delta t = 240$  seg, paralelo até 32 processadores, portátil

- **Meta para o NEC/SX6:** rodar  $T_{L0511L064}$  ( $T_{Q0341L064}$ ), 40 km, CPTEC-MPI-OMP, por 10 dias de previsão, portátil, usando 32 processadores em 2h30min.
- Meta alcançada em setembro de 2007 com grande vantagem: leva cerca de 1h22min com  $\Delta t$  de 720 segundos.
- Foi então desenvolvido um  $T_{L0575L064}$  ( $T_{Q03820L64}$ ), 35 km, CPTEC-MPI-OMP que roda 10 dias de previsão usando 32 processadores,  $\Delta t = 720$  seg, em 1h53min. Estava pronto para testes operacionais, mas a suite está saturada.
- Foi também devolvido um  $T_{Q0666L096}$  (20 km). Roda no NEC/SX6 e no cluster NEC/SUN com 1100 processadores (275 nodos com 2 chips - AMD dual core). Deverá ser operacional na nova maquina. Leva 56min para um dia de previsão no NEC/SX6, 32 processadores, 4 MPI, 8 OpenMP, integration semi-lagrangeana e grade quadrática reduzida.

# Índice de Destreza do AGCM CPTEC Operacional



2003); T126 (2004–2005) e T213 (2006–2010)  
e Anomalia (Altura Geopotencial em 500 hPa)



# MCGA CPTEC Continuação

## Desenvolvimentos Importantes nos Últimos anos

- Integração Lagrangeana para a Umidade Específica
- Ajustes na Convecção Profunda (Grell)
- Novos Fluxos do Oceano (NCEP)
- Microfísica
- Superfície Vegetação Dinâmica IBIS
- Camada Limite (Hostag & Boville)



# MCGA do CPTEC - Continuação

## Desenvolvimentos Atuais

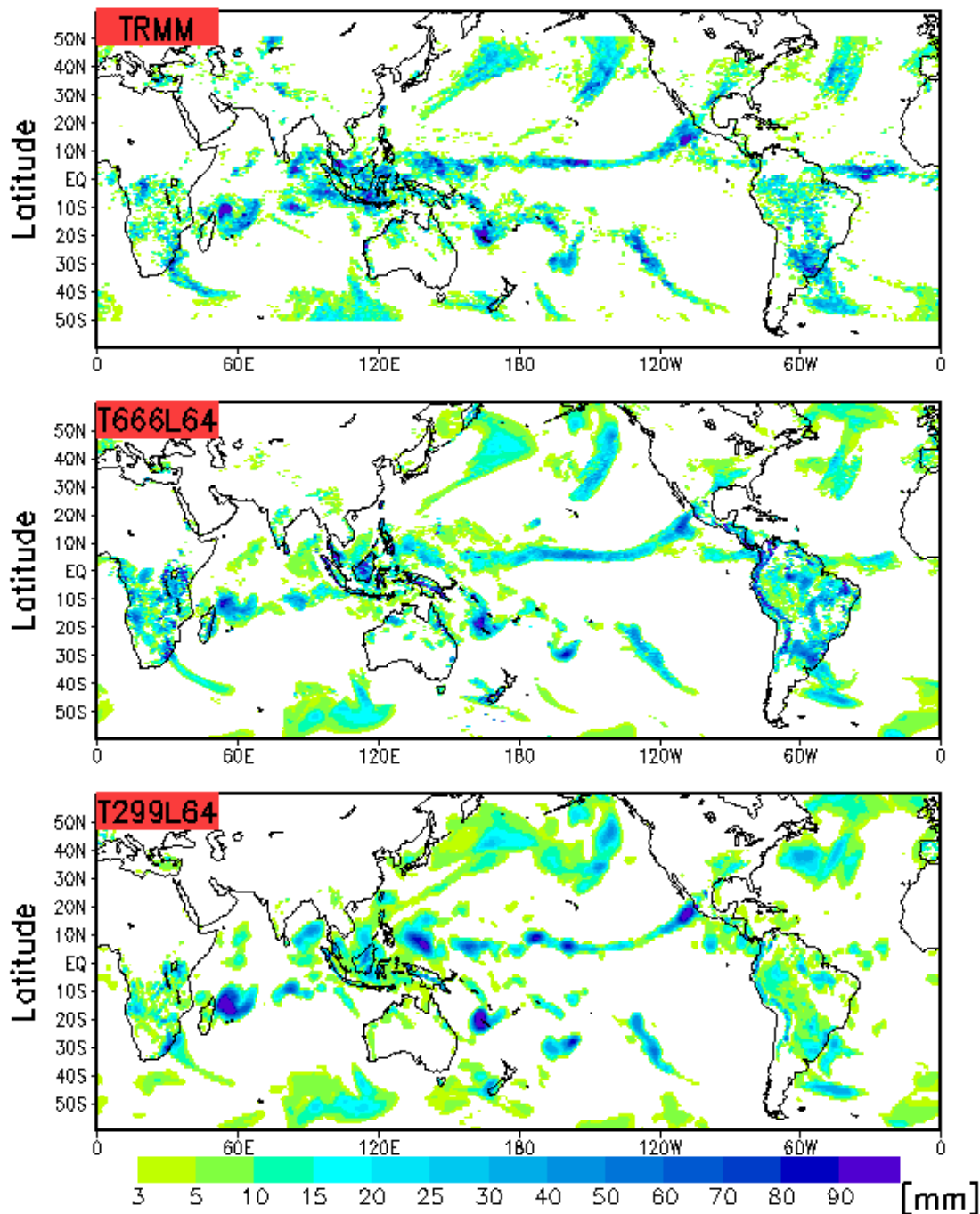
- Nova Coordenada Vertical: Híbrida
- Ajustes na Convecção Profunda
- Nova Camada Limite Úmida
- Nova Microfísica
- Introdução de Química Atmosférica
- Uso de Modelo Coluna e CRM para Ajustes nas Parametrizações
- Assimilação de Dados G3DVAR

# MCGA do CPTEC - Continuação

## Entrou em Operação

- MCGA T<sub>Q</sub>666L64 (20 km) com análise do NCEP
- Nova Previsão por Conjuntos incluindo novas regiões e variáveis perturbadas (umidade específica e pressão à superfície, além do vento e temperatura)
- Um Sistema de Previsão para as Olimpíadas

CPTEC 2012-12-31 12Z, Daily Precipitation, Valid +24h

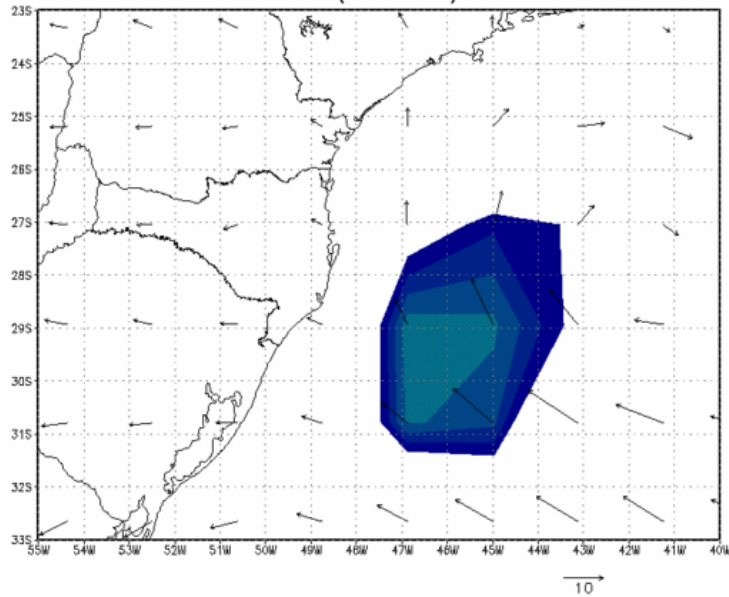


**MCGA-  
CPTEC/INPE –  
TEMPO**  
**Determinístico**  
**Versão**  
**Experimental**  
**com novas**  
**implementações**

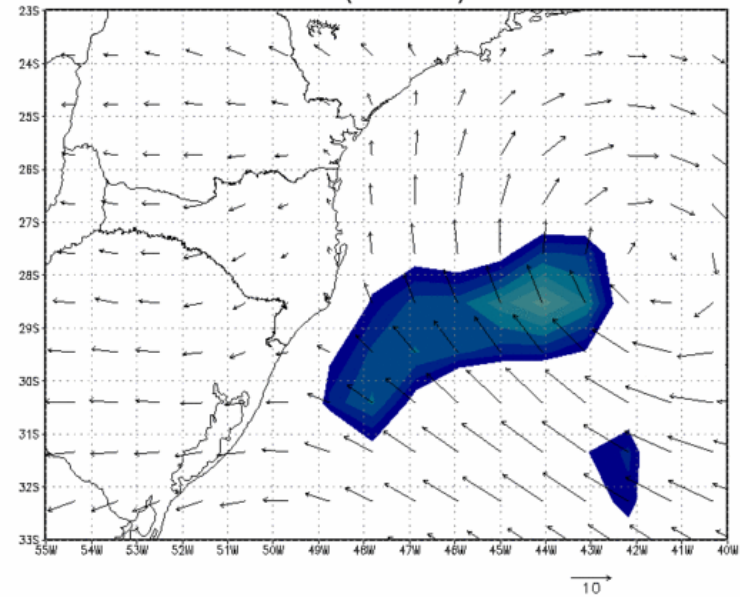
# Simulação da Chuva no Catarina:

## Benefícios do Aumento de Resolução

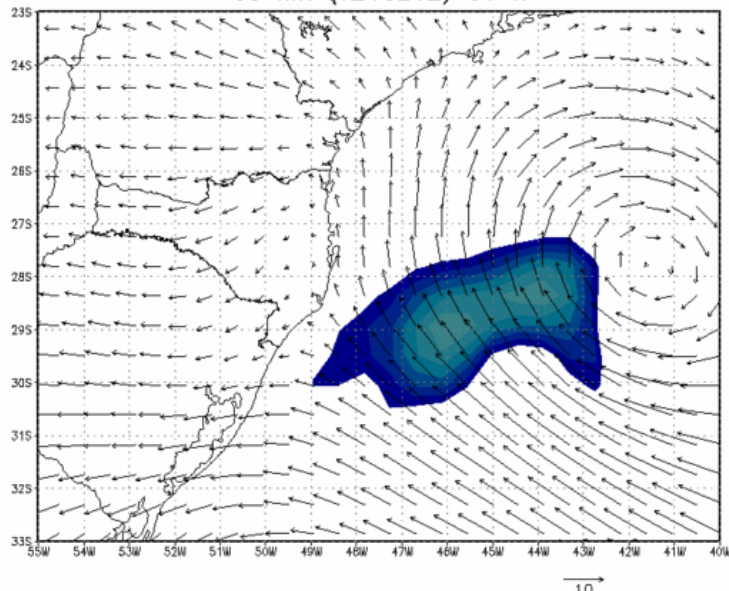
210 km (T062L28) 01 h



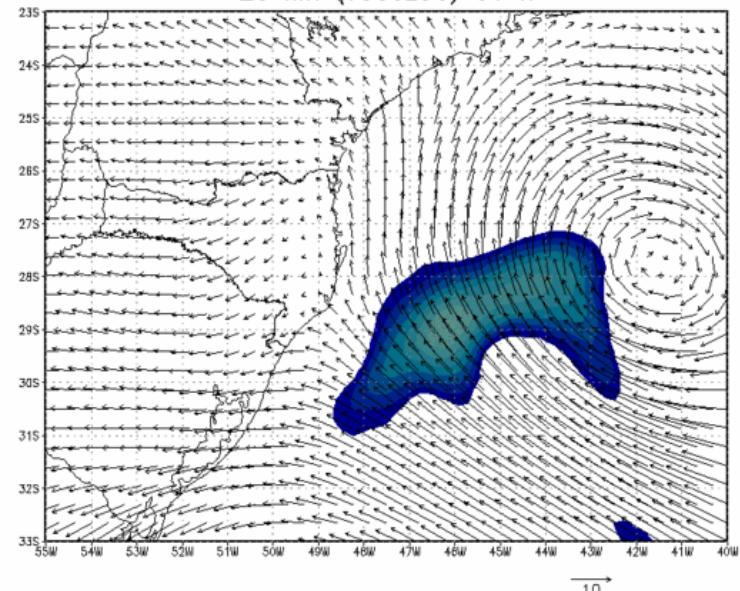
105 km (T126L28) 01 h



63 km (T213L42) 01 h



20 km (T666L96) 01 h

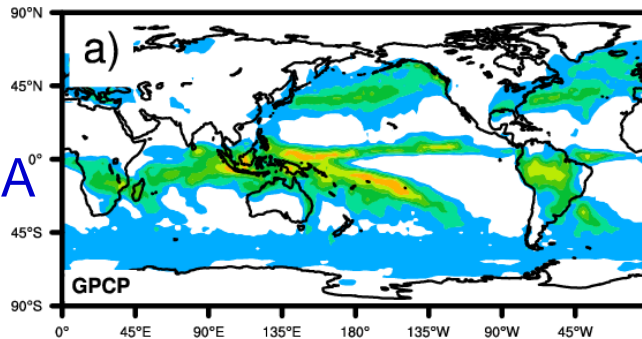




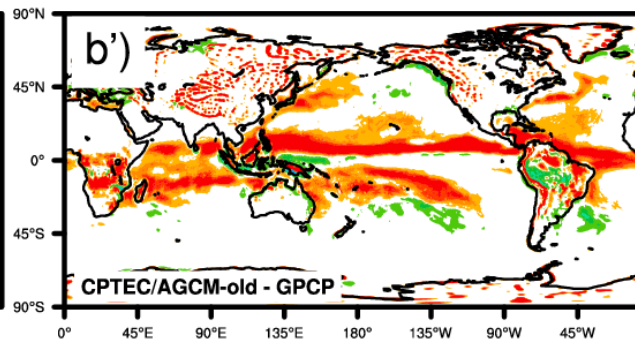
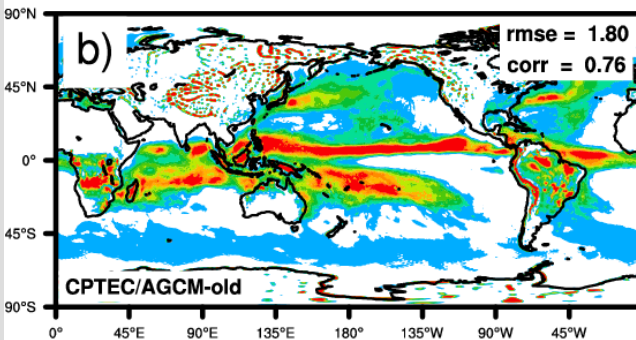
# PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO BAM

CHUVA  
OBSERVADA  
(GPCP)

Precipitation (mm/day) DJF - 2012/2013



2011-2014-Desenvolvimento  
2015-Validação/Pré-operação  
2016-Operacionalização - PNT  
2017-Operacionalização - Clima

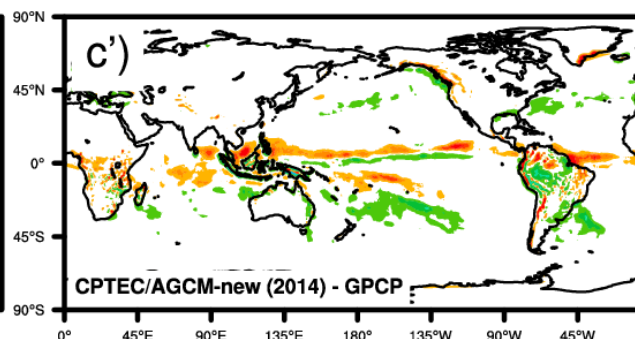
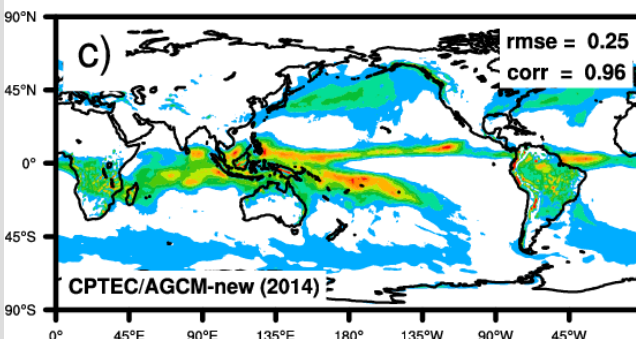


MODELO ANTIGO

45 km

Teve sua origem em  
COLA-USA,  
operacional:1994-2015

Para Clima-ainda continua

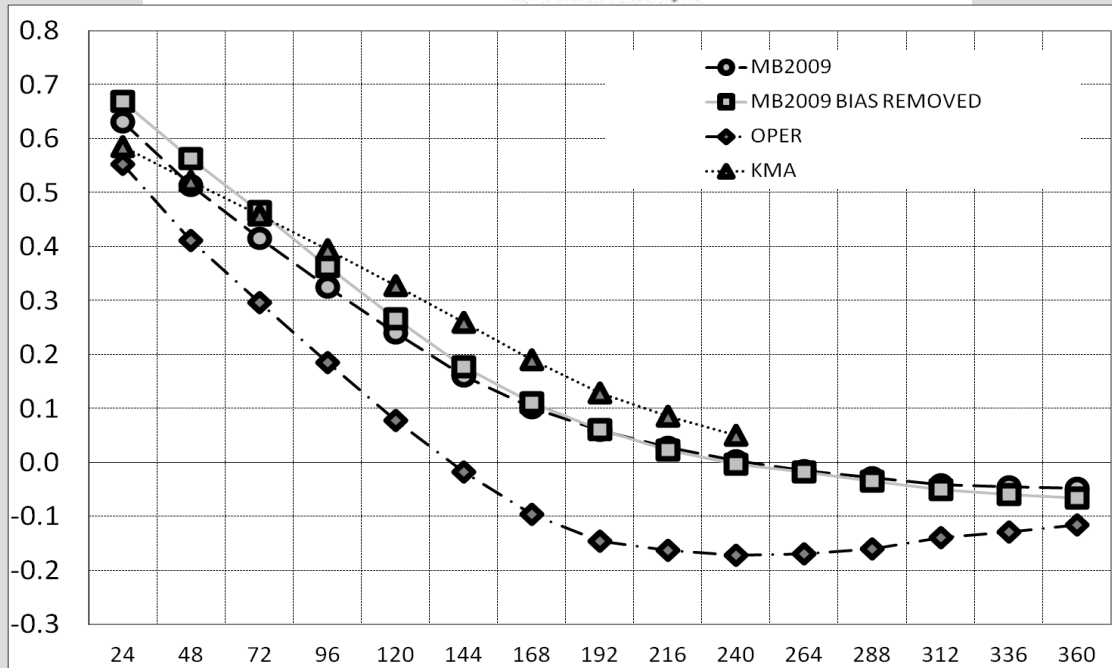
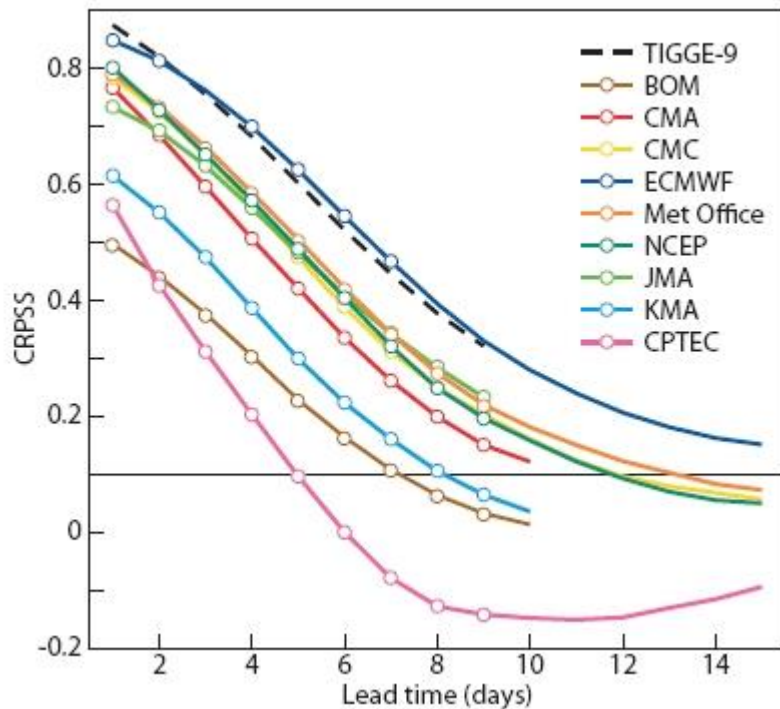


NOVO MODELO (BAM)

45km

Nova Dinâmica e  
Novos processos Físicos  
Atual modelo operacional  
20km para PNT1-7 dias

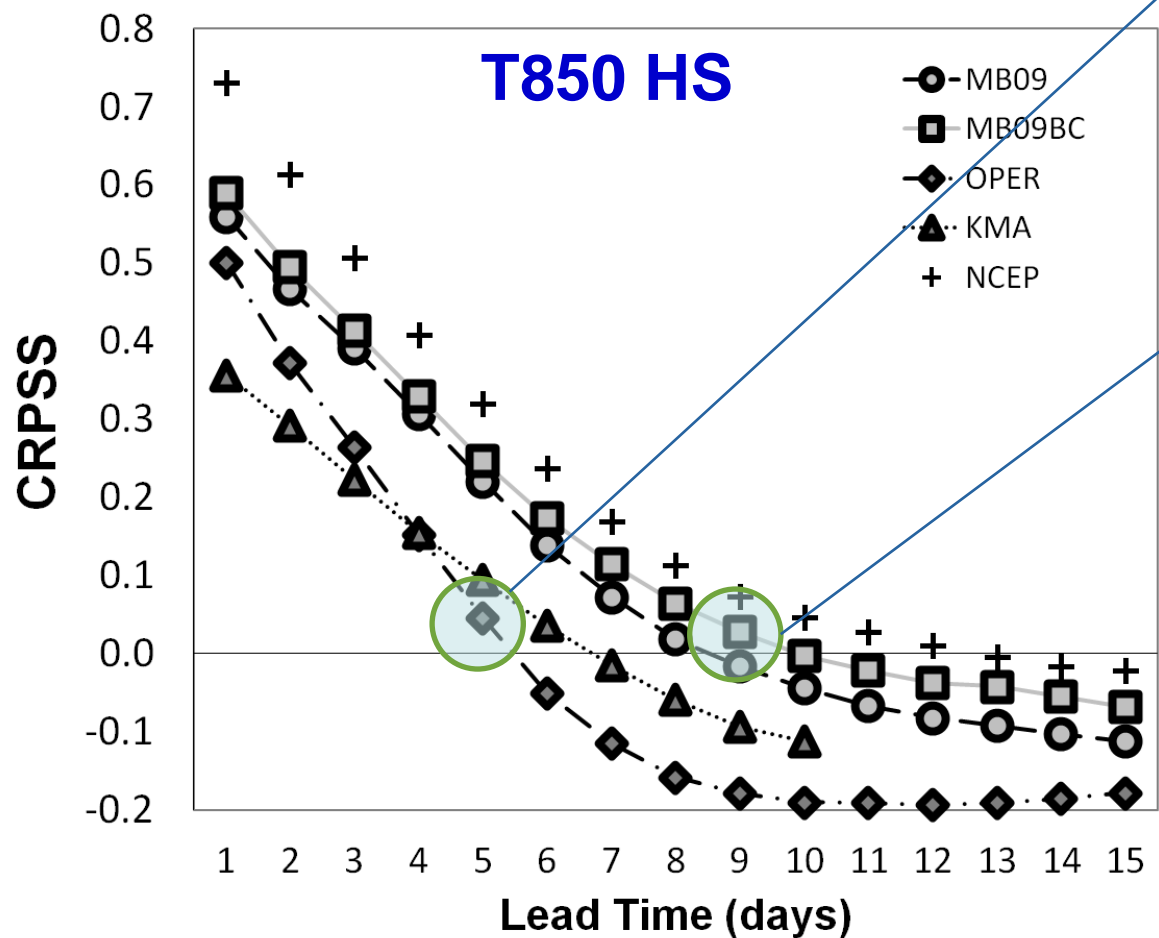
# MCGA- CPTEC/INPE – TEMPO Probabilístico (Previsão Por Conjuntos) Versão Experimental com novas implementações



# Nova Versão do Sistema de Previsão por Conjuntos do CPTEC ( MB09BC )

## CPRPSS : Continuous Ranked Probability Skill Score (útil acima de zero)

- Perturbação Otimizada das Condições Iniciais (Mendonça e Bonatti, 2009) – MB09
- Saídas Calibradas (Remoção de Viés) + MB09 = MB09BC
- Entrando em Operação.



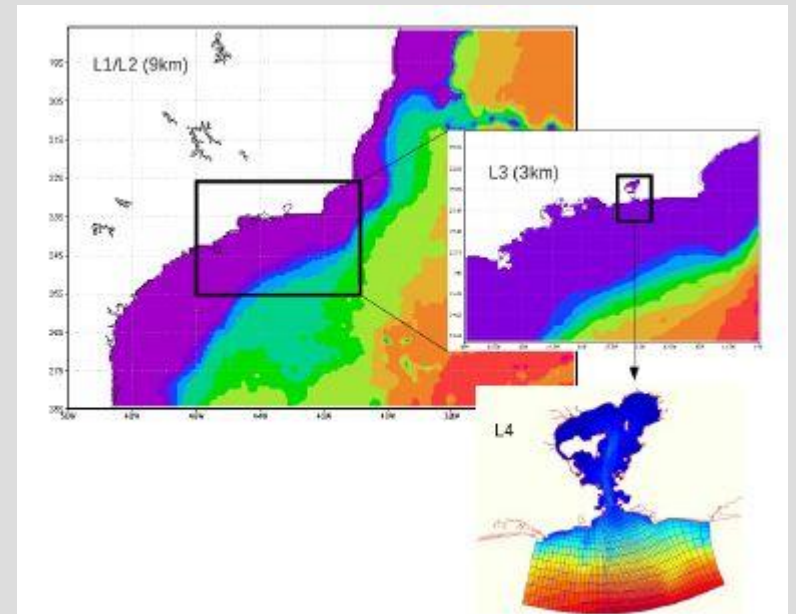
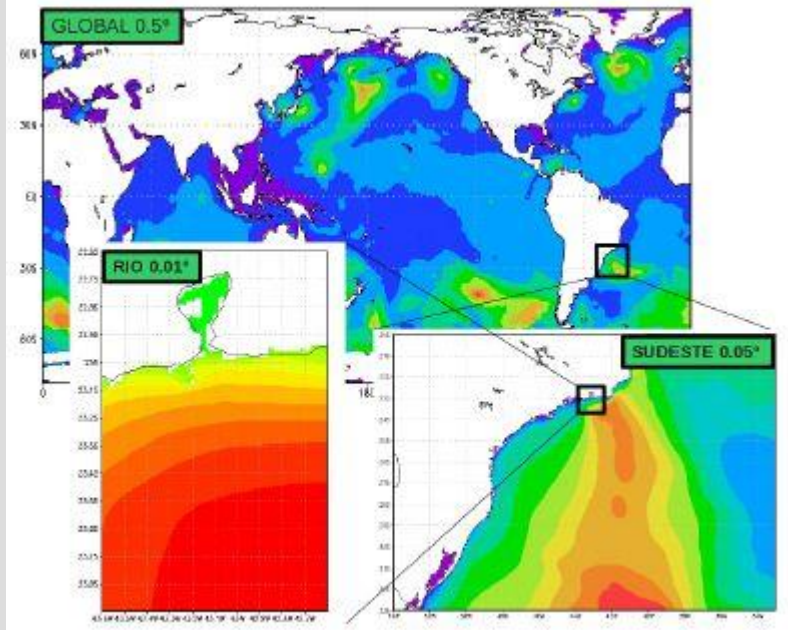
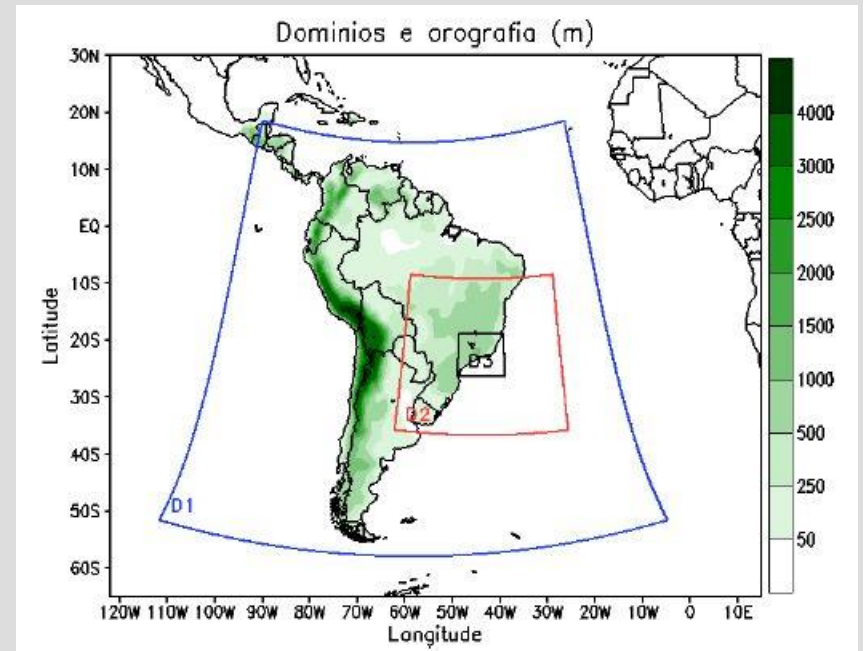
Ganho do SPCON OPER (EPS CPTEC operacional anterior) sobre a Climatologia até o 5º dia de previsão

O novo SPCON MB09BC é superior à previsão das probabilidades climatológicas até o 9º dia de previsão

O CPTEC melhorou sua posição em comparação com outros SPCON do mundo (NCEP - EUA e Coreia do Sul - KMA são exemplos)



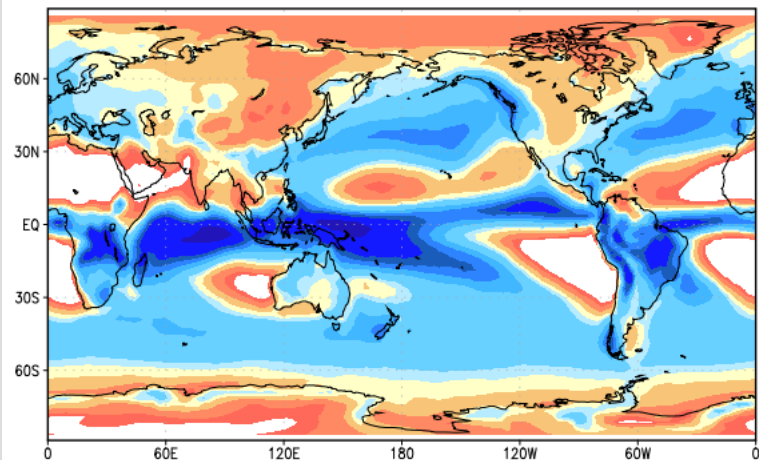
# Modelos Olímpíadas



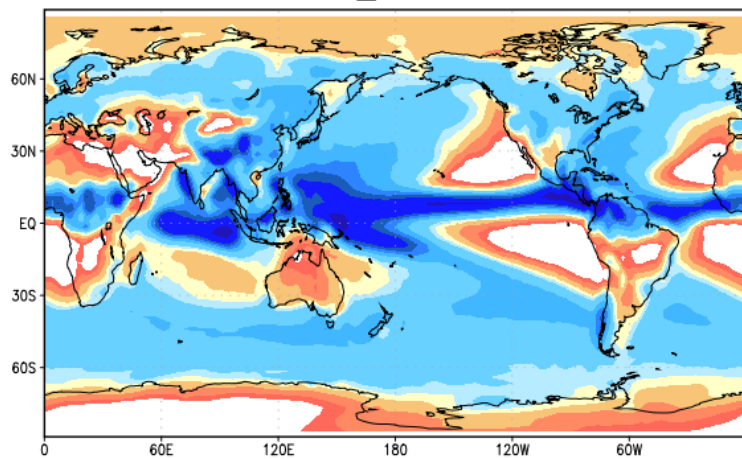
# MCGA-CPTEC/INPE - CLIMA

## O modelo representa bem a sazonalidade da precipitação

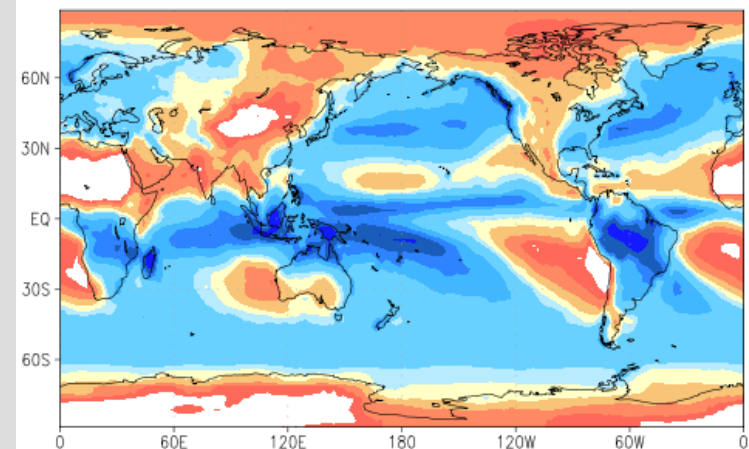
GRE\_MIC DJF



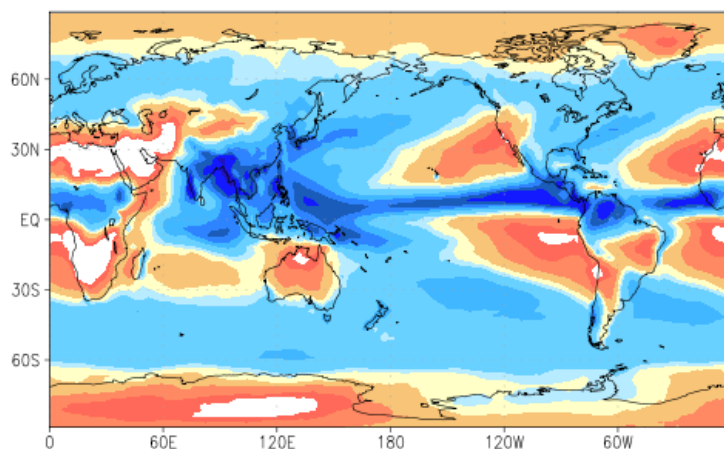
GRE\_MIC JJA



DJF  
GPCP2.2



JJA  
GPCP2.2



MCGA

mm/dia

GPCP  
observado

# Modo Anular do Hemisfério Sul

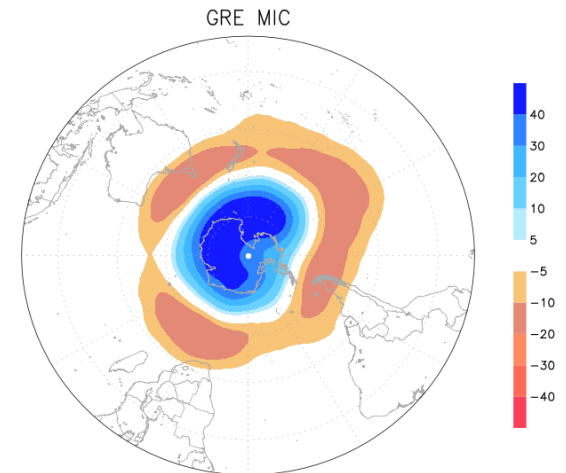
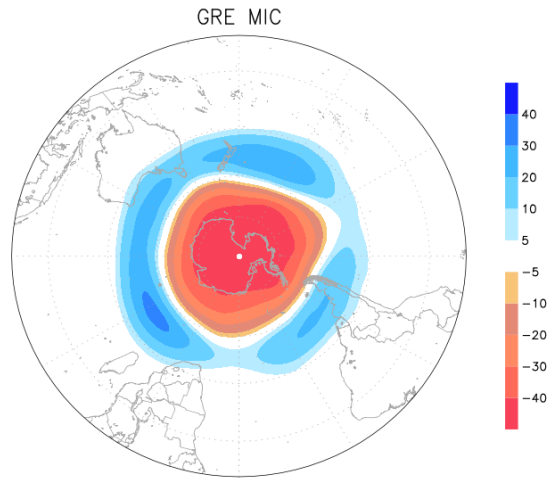
## Teleconecções entre Altas e Médias Latitudes

MCGA

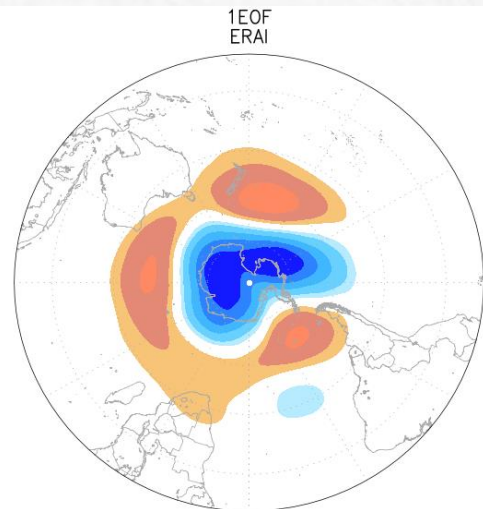
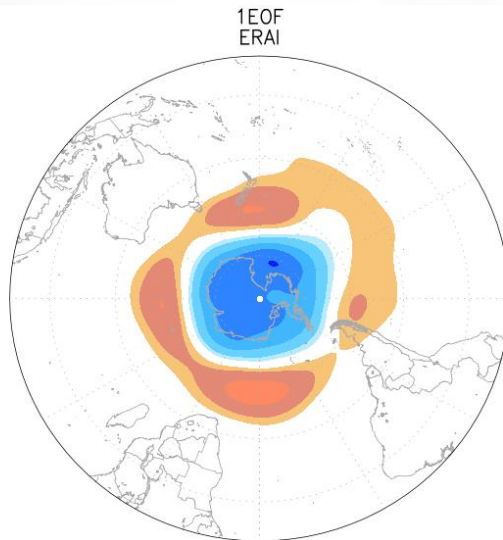
DJF

JJA

MCGA

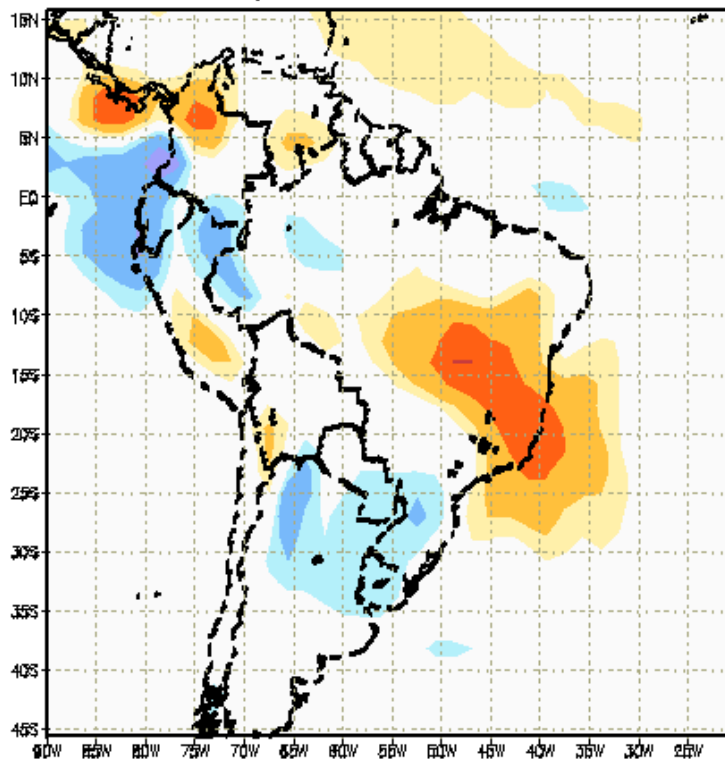


ERA I





EOF1 apréc DJF CPTEC/COLA



MCGA

# CPTEC/COLA MCGA

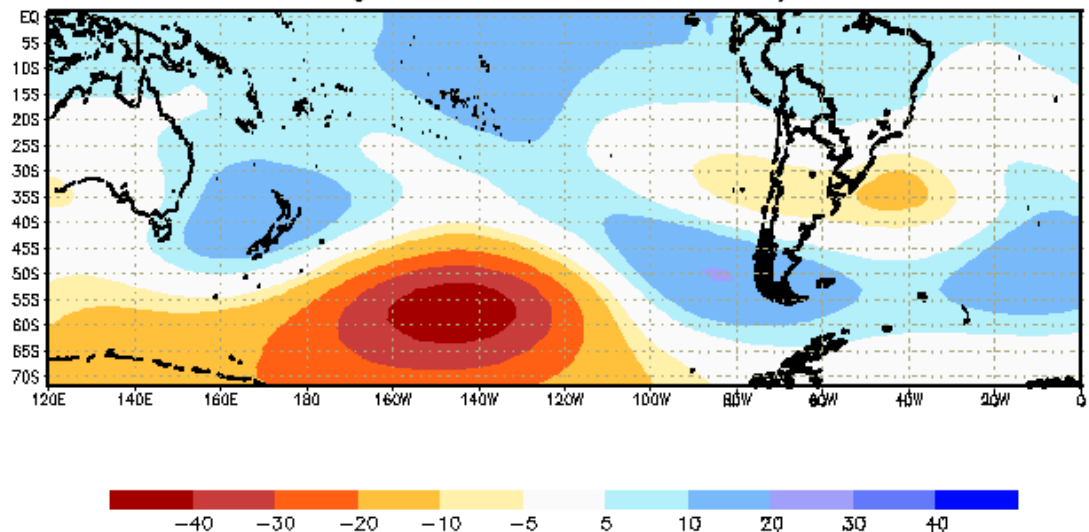
## Anomalia de Precipitação

### Dipolo SE/Sul

### ZCAS

Padrão PSA

EOF2 ageo 200 hPa DJF CPTEC/COLA



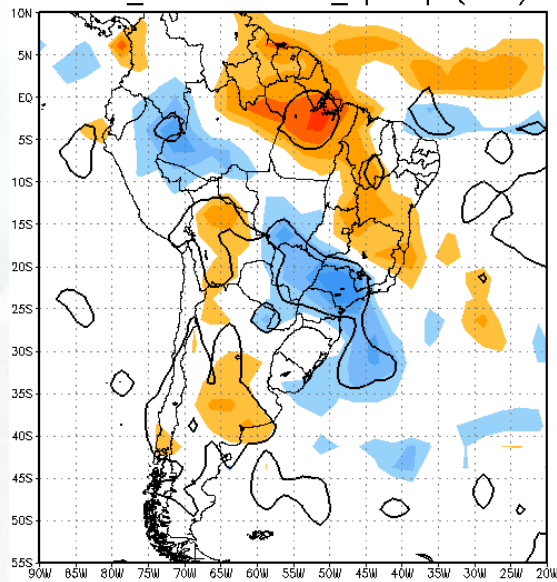
# Representação de Extremos de Precipitação

MCGA

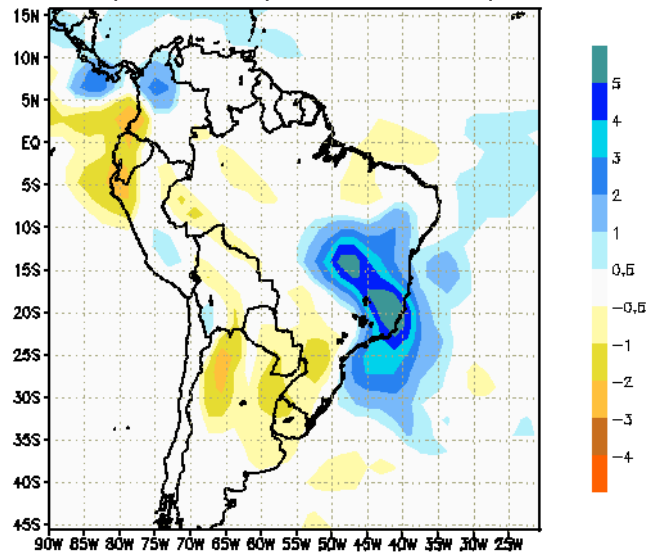
GPCP

MCGA

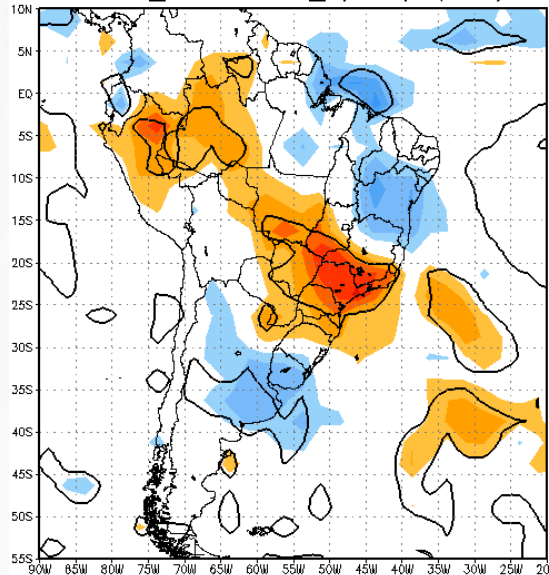
Verao\_muito chuvoso\_aprecip (90%)



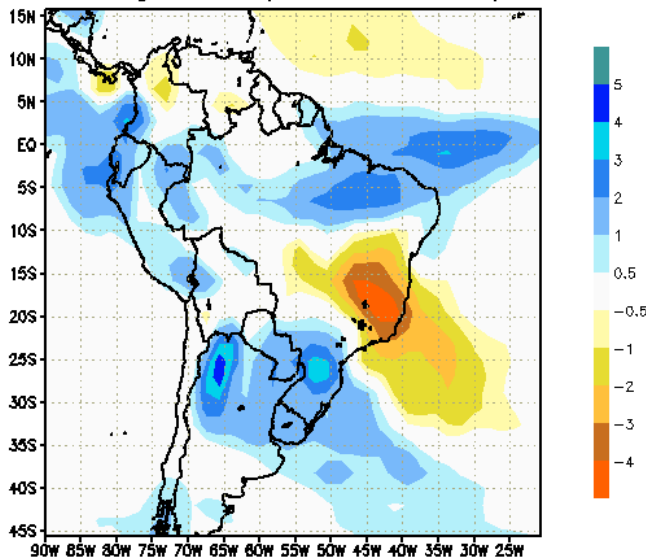
APREC positive composite DJF CPTEC/COLA



Verao\_muito seco\_aprecip (90%)



APREC negative composite DJF CPTEC/COLA



Úmido

Seco

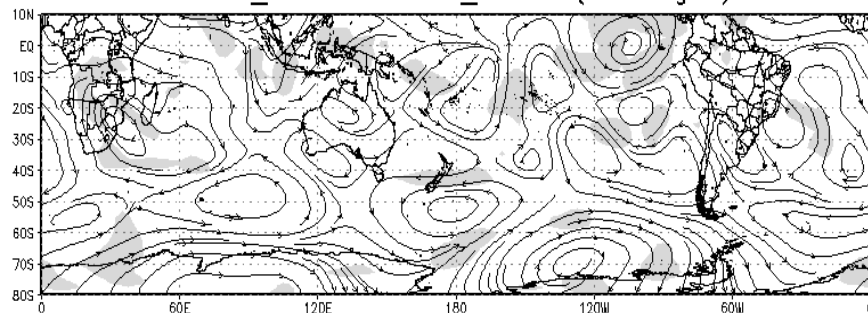
# Representação do Sinal Oposto da PSA

MCGA

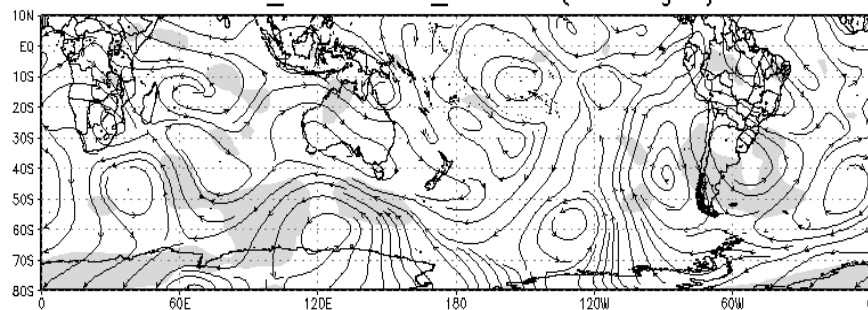
Re-análise

MCGA

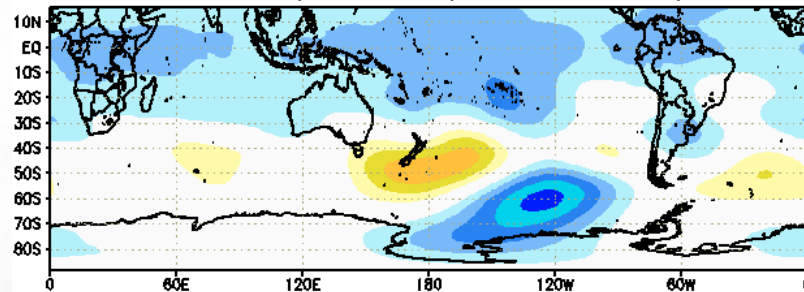
Verao\_muito chuvoso\_LC200 (u+v signif)



Verao\_muito seco\_LC 200 (u+v signif)

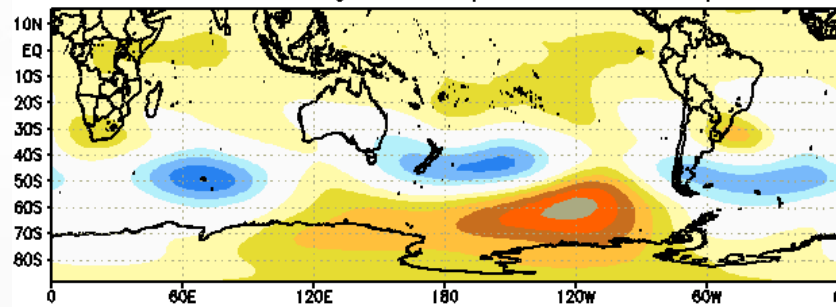


AGEO 200 hPa positive composite DJF CPTEC/COLA



Úmido

AGEO 200 hPa negative composite DJF CPTEC/COLA



Seco

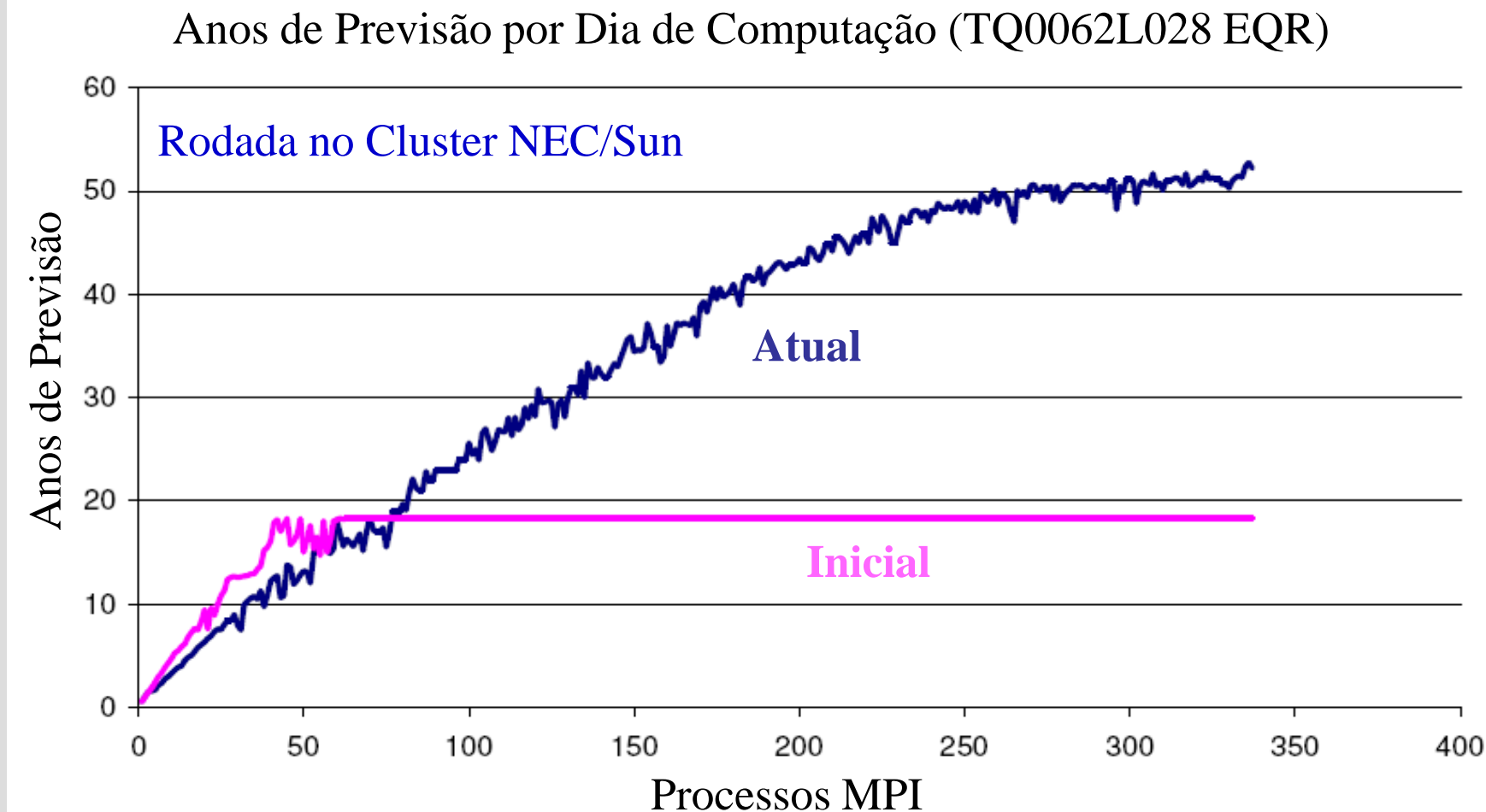




# Devolvimento de Software (PAD)

- Modernização (Fortran 90/95)
- Otimização
- Paralelismo
- Portabilidade
- Código: paralelismo massivo (MPI sobre OpenMP)
- Integração no tempo: euleriana ou semi-lagrangeana
- Grade: quadrática ou linear; completa ou reduzida
- Resolução: definida pelo usuário via namelist
- Força de Trabalho: 3 homens ano por 10 anos.

## Performance Computacional Paralela da Última Versão na Una



Integração Euleriana Grade Quadrática Reduzida

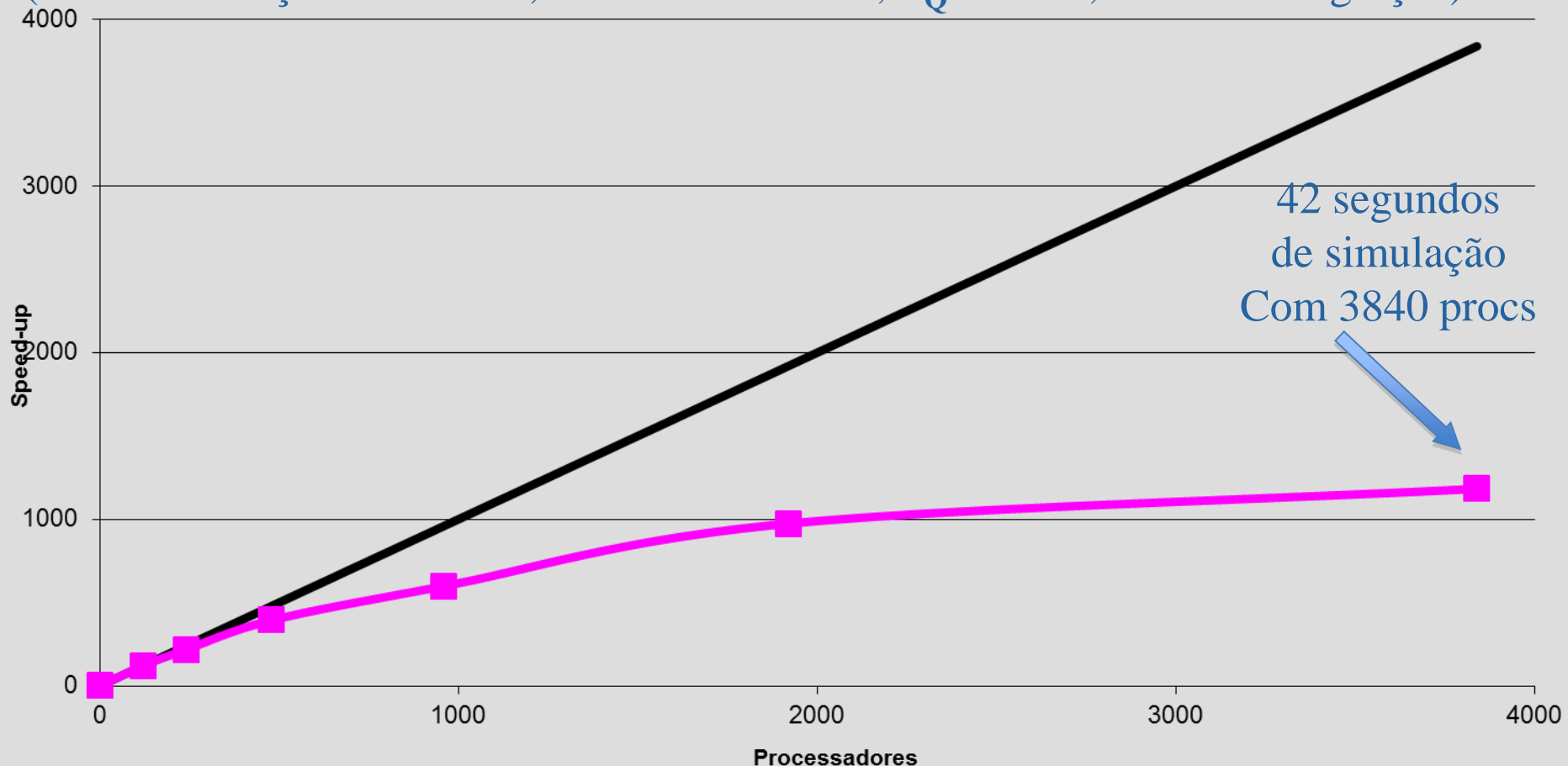
## GLOBAL no tupã (Cray)

(Paulo Kubota, Saulo Barros, Jairo Panetta)

(62 km resolução horizontal, 42 níveis verticais, T<sub>Q</sub>213L42, 1 dia de integração)

*1 Ano de Simulação =*

*~ 4,3 Horas de Processamento*



# Implementações futuras no MCGA:

## Curto Prazo

- Coordenada vertical híbrida (em andamento)
- Revisão da difusão horizontal
- Integração semi-lagrangeana 3D conservativa
- Transformada rápida de Legendre

## Longo Prazo (não vale a pena: novo core dinâmico)

- Revisão da equação da Termodinâmica
- Considerar atmosfera profunda
- Coriolis 3-D
- Dinâmica não-hidrostática e Física adequada para alta resolução

# Plano Diretor 2016-2019

- **Desenvolver um sistema integrado de modelagem global da atmosfera, oceano, superfície continental, aerossóis e química com assimilação de dados para a previsão de eventos extremos**
- **Desenvolvimento de um sistema integrado de modelagem da atmosfera-oceano regional e local com assimilação de dados em alta resolução espacial para a previsão de eventos extremos à curto prazo**

# **MANTER A MODELAGEM ATUALIZADA: PONTOS IMPORTANTES**

- ACOMPANHAR A TENDÊNCIA MUNDIAL NA ÁREA: NOVA ARQUITETURA MASSIVA DOS SUPERCOMPUTADORES
- DESENVOLVIMENTO CONTÍNUO DOS MODELOS (DINÂMICA - novos cores, FÍSICA E COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO)
- INTEGRAÇÃO PARA CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
- INTRODUÇÃO DE NOVOS PROCESSOS PARA MODELAGEM EM MEIO AMBIENTE
- AUMENTO DA RESOLUÇÃO DOS MODELOS
- AUMENTO DO NÚMERO DE MEMBROS DOS ENSEMBLES

# EXEMPLOS DE NOVOS MÓDULOS NOS MODELOS EM GERAL

- QUÍMICA E AEROSÓIS: POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, SUBSTÂNCIAS RESULTANTES DE REAÇÕES QUÍMICAS EM FLORESTAS (NOVA CLM EM ANDAMENTO - HOLTSLAG & BOVILLE, 1992).
- INTERAÇÕES ATMOSFERA/TERRA/OCEANO MAIS DETALHADAS (EXEMPLO: VEGETAÇÃO DINÂMICA).
- NOVOS ESQUEMAS DE CONVECÇÃO BASEADOS EM FÍSICA DE NUVENS.

## EXEMPLOS PARA MEIO AMBIENTE

- INCLUSÃO DE CICLO DE CARBONO E APERFEIÇOAMENTO DO CICLO HIDROLÓGICO, ATIVIDADE VULCÂNICA, QUEIMADAS.
- MÓDULOS PARA ECOSISTEMAS.



# **APERFEIÇOAMENTO DA PREVISÃO PROBABILÍSTICA**

- AUMENTO DO NÚMERO DE MEMBROS PARA OS MODELOS GLOBAL ACOPLADO E REGIONAL.
- ENSEMBLE DE ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO.
- ENSEMBLE DE ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE RADIAÇÃO.

## **ALGUMAS MEDIDAS PARA MELHORAR A PREVISIBILIDADE**

- AUMENTAR O NÚMERO DE MEMBROS DOS ENSEMBLES (TEMPO, CLIMA, MUDANÇAS CLIMÁTICAS).
- ENSEMBLE E AUMENTO DE RESOLUÇÃO PARA O MODELO ACOPLADO OCEANO-ATMOSFERA.

**SÓ É POSSÍVEL COM UMA CAPACIDADE COMPUTACIONAL GRANDE**

# IMPORTÂNCIA DO AUMENTO DA RESOLUÇÃO

- TOPOGRAFIA: IMPORTÂNCIA NOS ANDES (RESOLVER O PROBLEMA DA MONTANHA ÍNGREME).
- RESOLUÇÃO MELHOR DA INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS SINÓTICOS E DE MESOESCALA E DAS CARACTERÍSTICAS DA SUPEFÍCIE.
- AUMENTO DA RESOLUÇÃO VERTICAL PARA MELHORAR A RESPOSTA DOS PROCESSOS FÍSICOS.

## EXPERIMENTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS:

MÍNIMO:

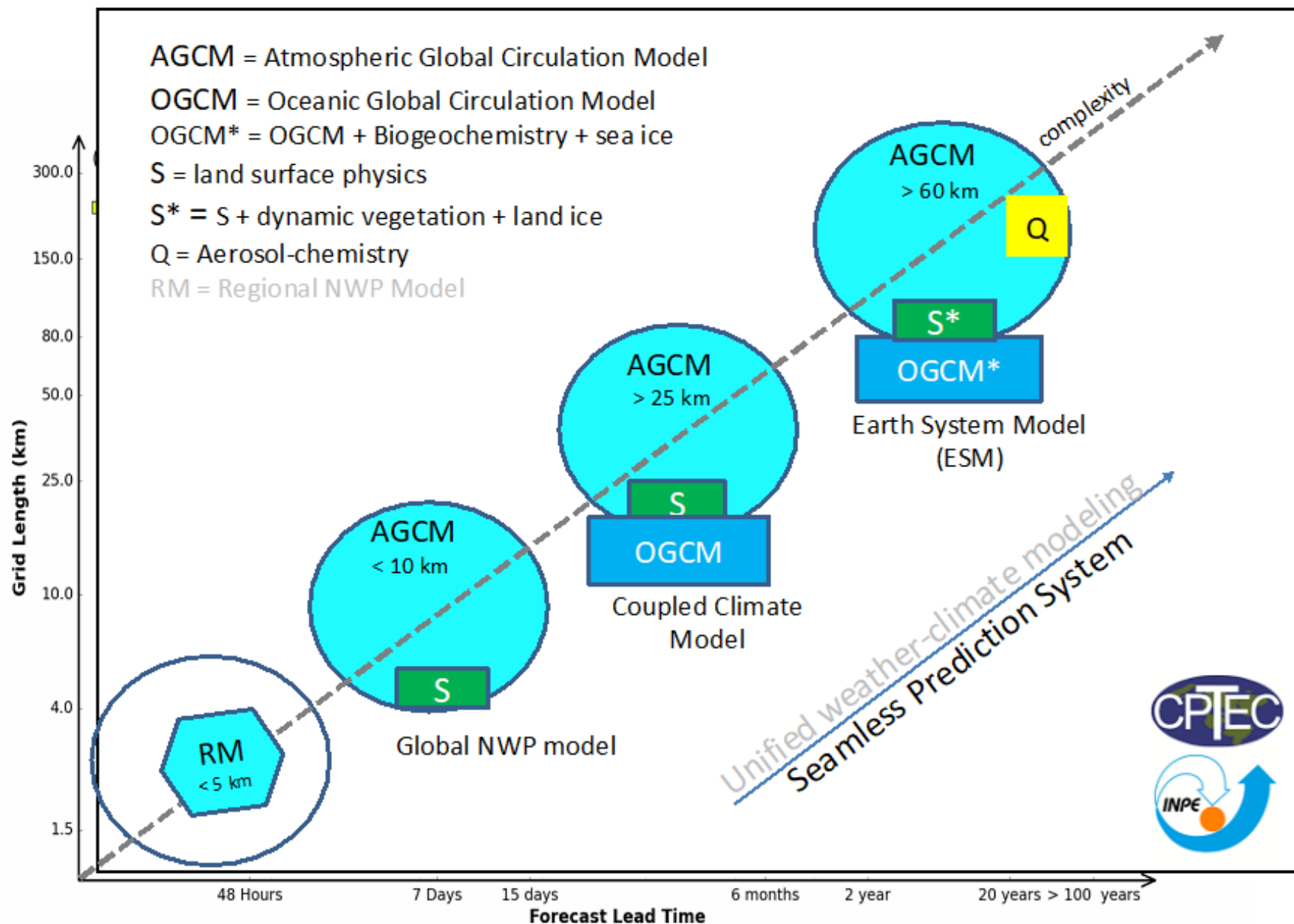
MODELO GLOBAL ACOPLADO OCEANO-ATMOSFERA COM MÓDULO QUÍMICO, CRIOSFERA, VEGETAÇÃO DINÂMICA E UM MODELO REGIONAL COMPATÍVEL

INTEGRAÇÕES DE CENTENAS DE ANOS COM VÁRIAS CONDIÇÕES:  
CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, DESMATAMENTO, VARIAÇÃO DO GELO DO MAR, ETC.

# APLICAÇÕES IMPORTANTES

- MELHOR DETALHAMENTO E QUALIDADE DA PREVISÃO DE TEMPO, CLIMA E QUALIDADE DO AR.
- MAIOR CONHECIMENTO DA CONFIABILIDADE DA PREVISÃO.
- OBTENÇÃO DOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS.
- DISPERSÃO DE POLUENTES: SITUAÇÕES DE QUEIMADAS, ATIVIDADE VULCÂNICA.
- ANÁLISES MAIS DETALHADAS DO POTENCIAL EÓLICO.
- PREVISÃO DE ONDAS COSTEIRAS.
- MAIOR CONFIABILIDADE NA PREVISÃO DE FENÔMENOS ACOPLADOS (OCEANO-ATMOSFERA).
- PREVISÃO DE SISTEMAS DE MESOESCALA QUE CAUSAM EVENTOS EXTREMOS.
- MODELAGEM HIDROLÓGICA DE LONGO PRAZO.
- USO DE MODELO GLOBAL NÃO-HIDROSTÁTICO COM GRADE NÃO-ESTRUTURADA E EVENTUALMENTE SUPER-PARAMETRIZAÇÕES.

# FUTURE CPTEC SEAMLESS PREDICTION SYSTEM



**Organização das diferentes versões do BAM no SVN (Carlos Bastarz, Kubota, Eduardo Khamis). Oportunamente farão uma apresentação destas versões.**

BAM-v.0.0    BAM-v1.0 com Físicas Simplificas (Cavalcanti et al. 2019, Veiga et al. 2019, Capistrano et al. 2019)

BAM-v.1.0    Artigo Figueroa et. al (2016)

BAM-v1.2    BAM com Físicas mais complexas, em operação, e validado recentemente para previsão operacional subsazonal (Guimarães et al. 2019).

Bam-v1.3    BAM com a correção de T2M (necessários ajustes ex. prp)

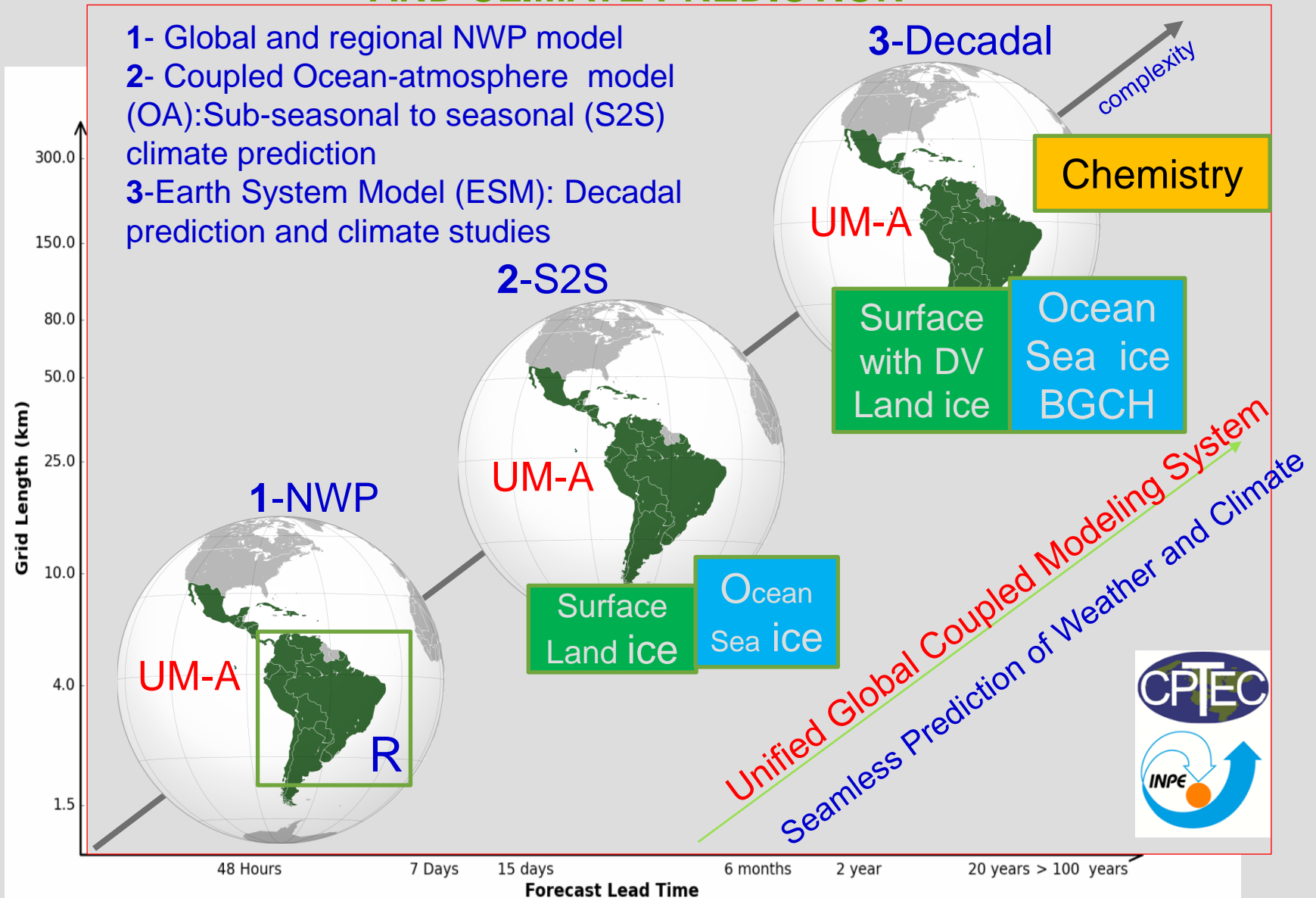
BAM-v.1.4    BAM com novo PRE (em andamento)

BAM-v2.0    BAM com coordenada vertical Híbrida (BAM-Hybrid), em desenvolvimento para PNT com Assimilação de Dados e para Clima. (2019-2020)

## **Futuro**

BAM-FV3    BAM com Dinâmica FV3. PRE\_POS e Físicas do BAM e FV3 do GFDL (2020-2023). O projeto está sendo escrito, só está faltando a assinatura de MOU da NOAA com INPE na área de Modelagem para concretizar o projeto. Esta seria a base do futuro modelo unificado.

# THE UNIFIED GLOBAL COUPLED SYSTEMS FOR WEATHER AND CLIMATE PREDICTION



Unified Model Global Atmosphere (UM-A)



## **BAM – Tempo:**

The Brazilian Global Atmospheric Model (BAM): Performance for Tropical Rainfall Forecasting and Sensitivity to Convective Scheme and Horizontal Resolution.

Figuerola, S.N. Et Al., 2016.

Weather and Forecasting, 31:1547 - 1572

DOI: 10.1175/WAF-D-16-0062.1

## **BAM – Ensemble:**

Approximations of Ensemble Members in Ocean Wave Prediction.

Farina, L., MENDONCA, A.M.; BONATTI, J.P., 2005.

Tellus, 57A:204-216.

Experiments with EOF-Based Perturbation Methods and Their Impact on the **CPTEC/INPE** Ensemble Prediction System.

MENDONCA, A.M.; BONATTI, J.P., 2009.

Monthly Weather Review, 137:1438-1459

DOI: 10.1175/2008MWR2581.1

Assessing improved CPTEC probabilistic forecasts on medium-range timescale.

Cunningham, C.; Bonatti, J.P.; Ferreira, M., 2014.

Meteorological Applications, 22: 378–384.

5 August 2014 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com)

DOI: 10.1002/met.1464



## **BAM – Clima:**

Global Climatological Features in a Simulation Using the CPTEC–COLA AGCM.  
CAVALCANTI, I.F.A. Et. Al., 2002.  
Journal of Climate, 15( 21):2965-2988.

Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM.  
Marengo, A. Et. Al., 2003.  
Climate Dynamics: 21: 459–475.  
DOI 10.1007/s00382-003-0346-0

Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion.  
Sampaio, G. Et. Al., 2007.  
Geophysical Research Letters, 34(L17709):1-7.  
DOI:10.1029/2007GL030612

Local and remote responses to opposite Ross Sea ice anomalies:  
a numerical experiment with the CPTEC/INPE AGCM.  
Christopher A. C.; Bonatti, J.P., 2011.  
Theoretical and Applied Climatology, 106:23–44  
DOI 10.1007/s00704-011-0407-y

## **Artigos mais recentes de 2019 com BAM ou BAM acoplado ao MOM.**

**Guimarães et al. 2019.** Configuration and hindcast quality assesment of a Brazilian Global sub-seasonal prediction system. Aceito. QJRM

**Cavalcanti et al 2019.** Climate variability over South America- regional and large scale features simulated by the Brazilian Atmospheric Model (BAM-v0). Aceito International Climatology.

**Veiga et al. 2019.** The Brazilian Earth System Model version 2.5: Evaluation of its CMIP5 historical simulation. Geoscientific Model Development (GMD)

**Capistrano et a. 2019.** Overview of climate change in the BESM-0A2.5 climate model. In discussion. Geoscientific Model Development (GMD)

Outros em andamento ainda não submetidos.

- 1) AMIP do BAM-v.1.3 (lider Caio Coelho)
- 2) AMOC com BESM2.5 (lider Paulo Nobre)
- 3) Hidrologia, intercomparação BAM com HadGem\_AMIP (líder Backer Univ. Leeds)





# Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

## Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

1994 ... 2019

OBRIGADO