



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

aa/bb/cc/dd-RPQ

## RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE MODELOS GLOBAIS PARA O PROJETO MONAN

Ariane Frassoni  
Julio Pablo Fernandez  
João Gerd Zell de Mattos  
Marcelo Barbio Rosa  
José Roberto Rozante  
Bárbara A. G. P. Yamada

Relatório referente ao Trabalho de  
Definição do Núcleo Dinâmico do  
MONAN-Atmosférico

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
2023

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

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

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

aa/bb/cc/dd-RPQ

## RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE MODELOS GLOBAIS PARA O PROJETO MONAN

Ariane Frassoni  
Julio Pablo Fernandez  
João Gerd Zell de Mattos  
Marcelo Barbio Rosa  
José Roberto Rozante  
Bárbara A. G. P. Yamada

Relatório referente ao Trabalho de  
Definição do Núcleo Dinâmico do  
MONAN-Atmosférico

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
2023



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](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

Informar aqui sobre fontes financiadoras (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

## RESUMO

O presente relatório tem por objetivo descrever o trabalho realizado para avaliar os modelos de escala global visando a escolha da componente atmosférica do Model for Ocean-land-Atmosphere predictioN (MONAN).

Palavras-chave: Avaliação de modelos. Modelos globais. MONAN. Previsão Numérica de Tempo.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
4.1 Raiz do erro quadrático médio da precipitação acumulada em 24h (mm) para as previsões a partir de 12h de integração dos modelos SHiELD (topo) e MPAS (base). Previsão de a) 24h (36h), b) 48h (60h), c) 72h (84h), d) 96h (108h), e) 120h (132h), f) 144h (156h), g) 168h (180h), h) 192h (204h), i) 216h (228h). . . . .	7
4.2 Figuras c) e d) . . . . .	8
4.3 . . . . .	9
4.4 Figuras e) e f) . . . . .	11
4.5 Figuras g) e h) . . . . .	12
4.6 Raiz do erro quadrático médio da precipitação acumulada em 24h (mm) para as previsões a partir de 12h de integração dos modelos SHiELD (topo) e MPAS (base). Previsão de a) 24h (36h), b) 48h (60h), c) 72h (84h), d) 96h (108h), e) 120h (132h), f) 144h (156h), g) 168h (180h), h) 192h (204h), i) 216h (228h). . . . .	13
4.7 . . . . .	14
4.8 . . . . .	15
4.9 . . . . .	16
4.10 . . . . .	17
4.11 . . . . .	18
4.12 . . . . .	19

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Subcaracterísticas de Funcionalidade (pergunta chave: Satisfaz a necessidade do projeto MONAN?). . . . .	2
2.1 Características dos modelos e das integrações numéricas realizadas . . . .	3
2.2 Parametrizações físicas dos modelos SHiELD e MPAS . . . . .	4
3.1 Variáveis contínuas e dicotômicas a serem avaliadas. . . . .	5

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIMNT	–	Divisão de Modelagem Numérica do Sistema Terrestre
SVN	–	Subversion
OMM	–	Organização Meteorológica Mundial
GDPFS	–	Global Data-processing and Forecasting System
QPF	–	Quantitative Precipitation Forecasts
PQPF	–	Probabilistic Quantitative Precipitation Forecasting
NWP	–	Numerical Weather Prediction
CPTEC	–	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
GAM	–	Grupo de Avaliação de Modelos
ACOR	–	Correlação de Anomalias
RMSE	–	Raiz do Erro Quadrático Médio
SS	–	Skill Score
ETS	–	Equitable Threat Score
POD	–	Probability of Detection
CSI	–	Critical Success Index
FAR	–	False Alarm Ratio
POD	–	Probability of Detection
FAR	–	False Alarm Ratio
ETS	–	Equitable Threat Score
CSI	–	Critical Success Index

## LISTA DE SÍMBOLOS

m	–	metro
s	–	segundo
h	–	hora
hPa	–	Hectopascal
mm	–	milímetro

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>1</b>

<b>2</b>	<b>Desenho dos experimentos . . . . .</b>	<b>2</b>
2.1	Informações Gerais das Integrações Numéricas e dos Modelos . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Avaliação estatística . . . . .</b>	<b>3</b>
3.1	Avaliação em ponto de grade . . . . .	4
3.1.1	Métricas estatísticas . . . . .	5
3.2	Dados de referência . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Resultados . . . . .</b>	<b>6</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>6</b>

## 1 Introdução

O presente relatório tem por objetivo apresentar as métricas utilizadas para avaliar os modelos de escala global visando a escolha da componente atmosférica do Model for Ocean-land-Atmosphere prediction (MONAN). Consideram-se critérios estabelecidos pela norma 9126 (Wikipedia, 2022), que medem a qualidade do produto de software. É proposta uma série de Atributos de Qualidade, dividida em seis características principais, sendo estas ainda subdivididas em subcaracterísticas (Wikipedia, 2022).

Entre os atributos, o Grupo de Avaliação de Modelos da Divisão de Modelagem Numérica do Sistema Terrestre (GAM-DIMNT) está preocupado com os aspectos de Funcionalidade. Entende-se por Funcionalidade a capacidade de um software de satisfazer as necessidades de seu usuário, sejam elas declaradas ou implícitas, por meio do provimento de funcionalidades, dentro de um determinado contexto de uso (ISO/IEC 9126, Wikipedia, 2022).

O Aspecto de Funcionalidade possui as seguintes subcaracterísticas (Wikipedia, 2022):

- Adequação: Capacidade do produto de software de prover um conjunto apropriado de funções para tarefas e objetivos do usuário especificados.
- Acurácia: Capacidade do produto de software de prover, com o grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados.
- Interoperabilidade: Capacidade do produto de software de interagir com

um ou mais sistemas especificados.

- Conformidade: Capacidade do produto de software de estar de acordo com normas, convenções ou regulamentações previstas em leis e prescrições similares relacionadas à funcionalidade.
- Segurança: Capacidade do produto de software de proteger informações e dados, de forma que pessoas ou sistemas não autorizados não possam lê-los nem modificá-los e que não seja negado o acesso às pessoas ou sistemas autorizados.

As subcaracterísticas mencionadas são resumidas na Tabela 1.1, na qual são associadas a uma pergunta chave para melhor entendimento do leitor.

Tabela 1.1 - Subcaracterísticas de Funcionalidade (pergunta chave: Satisfaz a necessidade do projeto MONAN?).

Subcaracterística	Pergunta Chave
Adequação	Propõe-se a fazer o que é apropriado?
Acurácia	Faz o que foi proposto de forma correta?
Interoperabilidade	É capaz de interagir com os sistemas especificados?
Conformidade	Está de acordo com as normas, leis, entre outros?
Segurança	Evita acesso não autorizado a programas e dados?

Fonte: Adaptado de Bianchi (2022).

Dentre as subcaracterísticas listadas, o GAM-DIMNT se propõe a avaliar as três primeiras, a saber: Adequação, Acurácia e Interoperabilidade. As subcaracterísticas Adequação e Interoperabilidade foram avaliadas por meio da análise de publicações em artigos científicos e manuais do software. A subcaracterística Acurácia foi avaliada por meio de um conjunto de métricas estatísticas com base em um experimento de referência.

Os núcleos dinâmicos avaliados foram o Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core (FV3), versão 202210, o Model for Prediction Across Scales (MPAS), versão 6.3 e o modelo Global Eta Framework (GEF).

## 2 Desenho dos experimentos

- a) Espaçamento de grade horizontal de 15 km para o modelo MPAS e 13 km para o SHiELD (núcleo dinâmico – FV3); 55 e 64 níveis verticais,



respectivamente, sendo 0,2 hPa assumido como o topo dos modelos;

- b) Condições iniciais da reanálise ERA5;
- c) Período: 01/06/2021 a 01/06/2022;
- d) Análise de 74 casos – o modelo foi integrado a cada 5 dias;
- e) Prazo de previsão de até 10 dias (240 h), com início às 00:00UTC;
- f) Resolução temporal das saídas: 6 h.

## 2.1 Informações Gerais das Integrações Numéricas e dos Modelos

Resumo das características e especificações das integrações numéricas realizadas.

Tabela 2.1 - Características dos modelos e das integrações numéricas realizadas

Características	SHIELD	MPAS
Computador/cluster (XE, XC, etc)	EGEON	EGEON
Versão no SVN/GitHub		
Resolução Horizontal (Km)	15	13
Coordenada Vertical	$\sigma$ -P	Z
Domínio	GLB	GLB
Passo de Tempo (s)	150	90
No. de Pontos de Grade	3.538.944	2.611.442
Fonte das Condições Iniciais	ERA5	ERA5
Topo do Modelo	20 Pa	30 km
Prazo da Previsão (h)	240	240
Compilador	intel	intel
Formato dos Outputs	nc	nc
Frequência dos Outputs (h)	6/3	6
Espaço total para Rodada (Gb)	50	70
Espaço total Pós-Processado (Gb)	12	6
Nº de núcleos de processadores	1156	1024
Tempo de processamento para 24h de previsão ( <i>wall-clock time</i> )	15min	20min

Parametrizações físicas

Tabela 2.2 - Parametrizações físicas dos modelos SHiELD e MPAS

Parametrizações físicas	SHiELD	MPAS
Radiação Atmosférica	RRTMG	RRTMG
Superfície Continental	NOAH	NOAH
Fluxos superficiais ar-mar	SLAB	-
Microfísica de Nuvens	GFDL	WSM6
Convecção Rasa/Profunda	SAS	New Tiedtke
Camada limite Planetária	EDMF	YSU
Gravity Wave Drag	GWD	YSU
Química	Desligada	Desligada
Aerossóis	Desligada	Desligada

### 3 Avaliação estatística

A acurácia dos modelos globais foi analisada por meio de uma série de avaliações estatísticas.

Os mesmos foram intercomparados, e aquele que apresentou desempenho superior na análise do conjunto das métricas estatísticas obteve pontuação 3, enquanto que o modelo que apresentou desempenho inferior foi pontuado com 1.

A Acurácia dos modelos foi avaliada na escala de tempo considerando os diferentes aspectos da meteorologia global e especialmente da América do Sul. Foram consideradas diferentes áreas geográficas do globo recomendadas pela OMM (OMM, 2019) e subdomínios do continente sul-americano. A avaliação de subdomínios da América do Sul foi realizada conforme Figueroa et al. (2016).

#### 3.1 Avaliação em ponto de grade

O processo de avaliação em ponto de grade tem como base as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para o Global Data-processing and Forecasting System (GDPFS) (OMM, 2019) e para o Verification and Intercomparison of QPFs and PQPFs from Operational NWP Models (OMM, 2008). As métricas, variáveis dos modelos avaliadas e as áreas para avaliação foram extraídas das referidas documentações, e devem fornecer as principais informações para o presente estudo, fazendo-se uso da suíte de avaliação de modelos disponível no CPTEC.

Foram avaliadas previsões de variáveis contínuas e dicotômicas em diferentes níveis verticais da atmosfera e domínios espaciais, que abrangem áreas extratropicais, tropicais e o domínio global. As variáveis avaliadas foram determinadas de acordo com

a região de interesse e com os tipos de variáveis previstas, as quais são apresentadas na Tabela XX.

Tabela 3.1 - Variáveis contínuas e dicotômicas a serem avaliadas.

Avaliação de previsões de variáveis contínuas	
Níveis do modelo	Variáveis para Extratrópicos
925 hPa	Temperatura Magnitude do vento Componente zonal do vento Componente meridional do vento
850 hPa	Altura geopotencial Temperatura Magnitude do vento Componente zonal do vento Componente meridional do vento
500 hPa	Altura geopotencial Temperatura Magnitude do vento Componente zonal do vento Componente meridional do vento
250 hPa	Altura geopotencial Temperatura Magnitude do vento Componente zonal do vento Componente meridional do vento
Próximo à superfície Pressão ao nível médio do mar	Temperatura a 2 metros Umidade relativa a 2 metros Velocidade do vento a 10 metros
Avaliação de previsões dicotômicas	
Superfície	Velocidade do vento a 10 metros para 5, 10 e 15 m/s Precipitação

### 3.1.1 Métricas estatísticas

Previsões de variáveis contínuas

- Correlação de anomalias - ACOR;
- Viés;
- Raiz do Erro Quadrático Médio - RMSE;

- Gráfico de dispersão.

Previsões dicotômicas

- Frequency Bias;
- Equitable Threat Score (ETS);
- Probability of Detection (POD);
- Critical Success Index (CSI);
- False Alarm Ratio (FAR).

### **3.2 Dados de referência**

A reanálise do ERA5 foi utilizada como dado de referência no processo de avaliação. A exceção é a precipitação, que foi avaliada considerando os dados de precipitação do Global Precipitation Measurement Mission (GPM) da National Aeronautics and Space Administration dos Estados Unidos (NASA). Para as áreas avaliadas sobre a América do Sul, foi utilizado o dado MERGE (Rozante et al., 2020) para precipitação e SaMet (Rozante, Ramirez e Fernandes, 2021) para temperaturas próximo à superfície. Os domínios de avaliação e os dados de referência para avaliar os modelos são apresentados na Tabela XX.

Como o modelo foi inicializado às 00:00 UTC, a precipitação do modelo foi acumulada a partir das primeiras 12h de integração considerando os prazos de previsão de 36h, 60h, ..., até 240 dias.

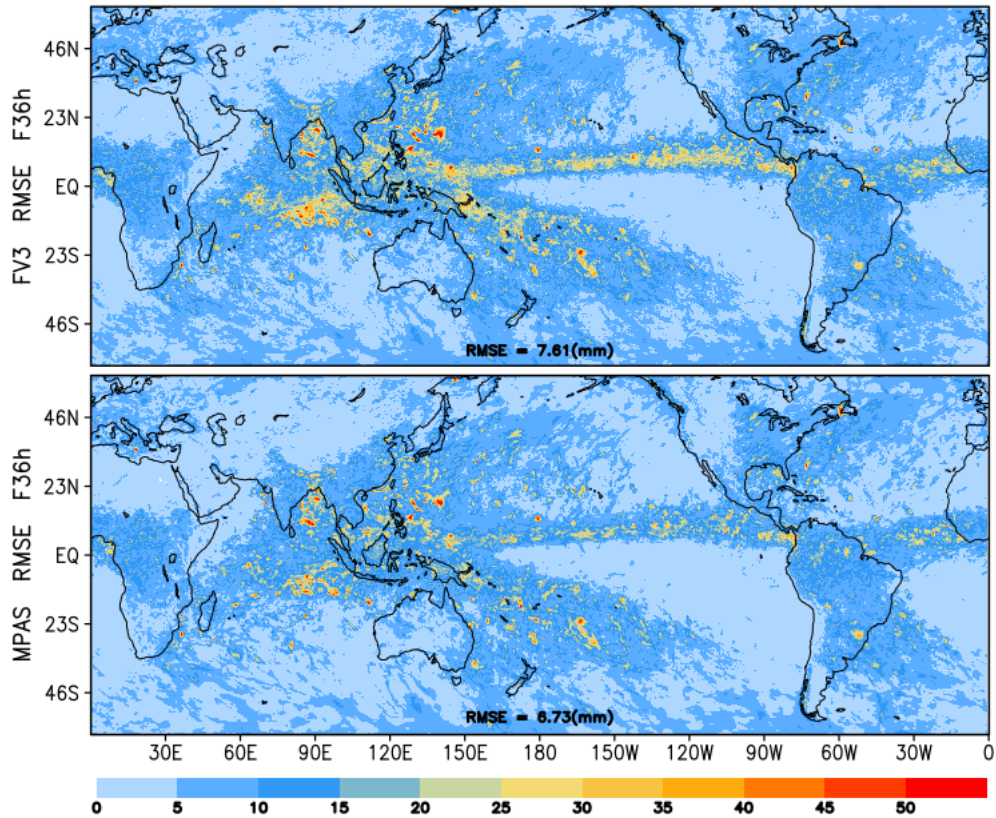
## **4 Resultados**

Variáveis avaliadas para as previsões de 1 a 10 dias:

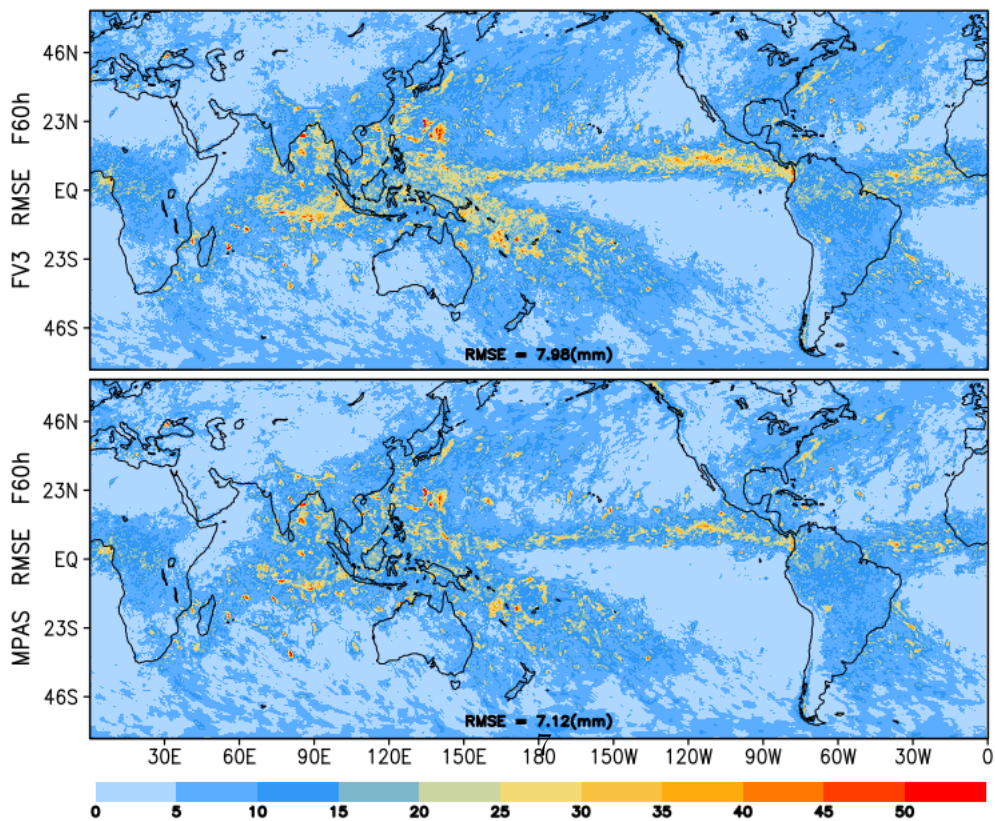
- Precipitação diária, acumulada em 24h;

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Figura 4.1 - Raiz do erro quadrático médio da precipitação acumulada em 24h (mm) para as previsões a partir de 12h de integração dos modelos SHIELD (topo) e MPAS (base). Previsão de a) 24h (36h), b) 48h (60h), c) 72h (84h), d) 96h (108h), e) 120h (132h), f) 144h (156h), g) 168h (180h), h) 192h (204h), i) 216h (228h).



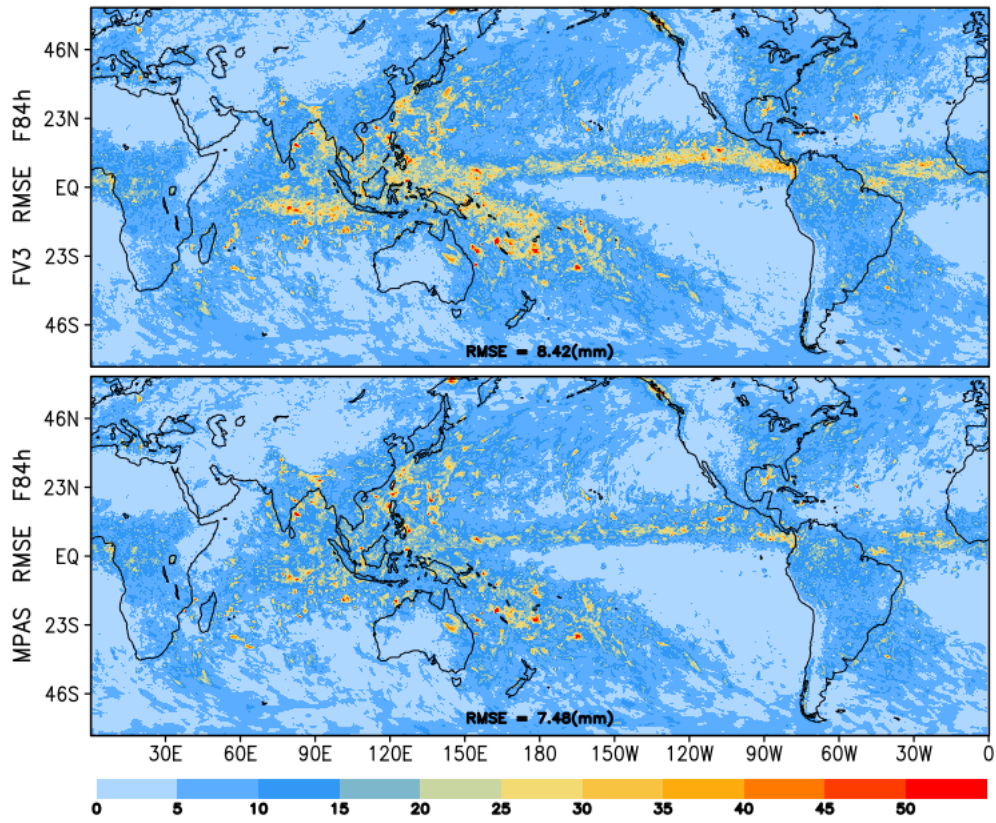
(a)



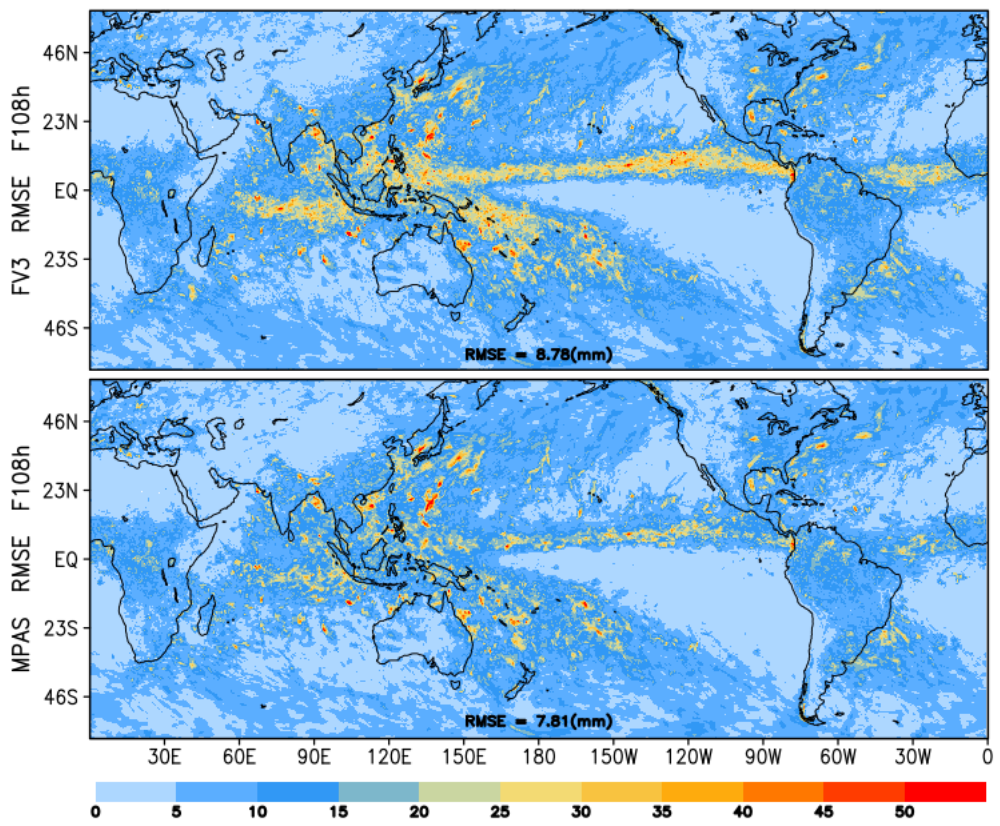
(b)



Figura 4.2 - Figuras c) e d)

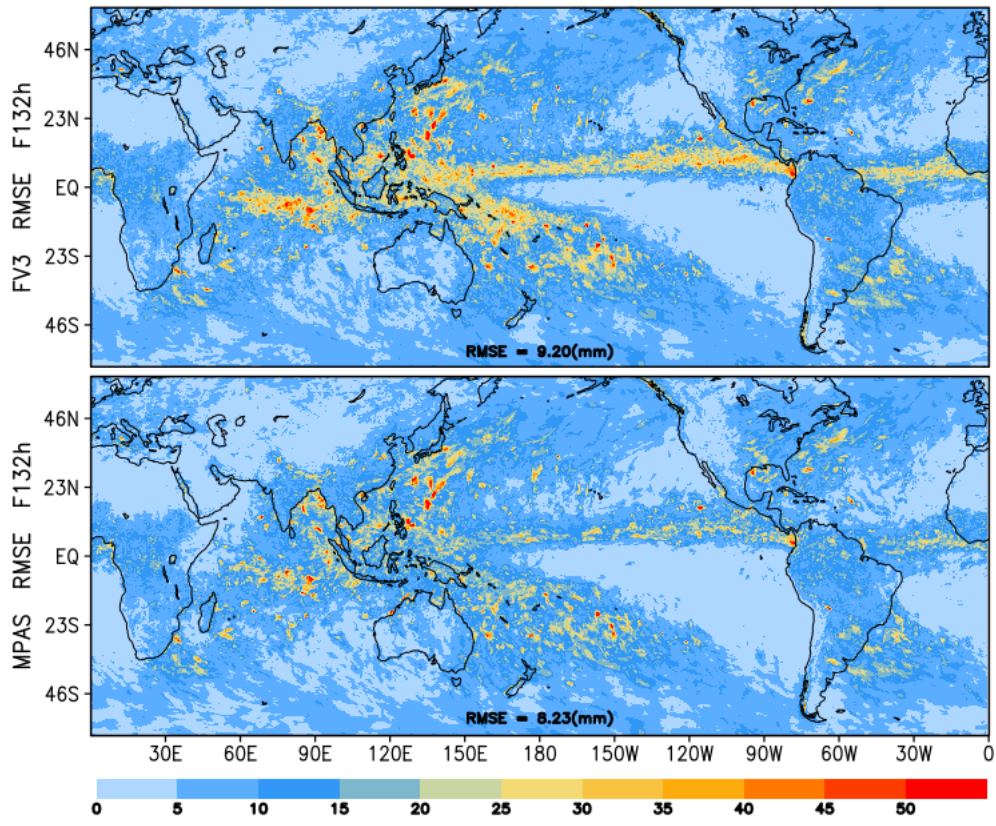


(a)

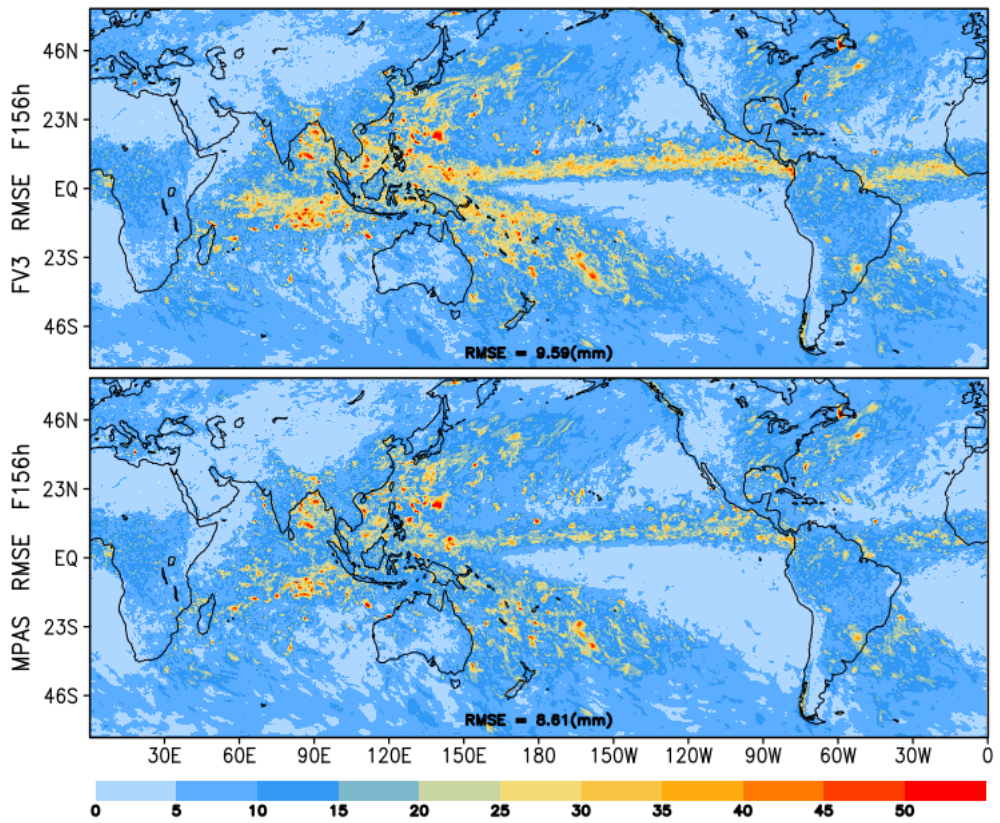


(b)

Figura 4.3 -



(a)



(b)

## PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

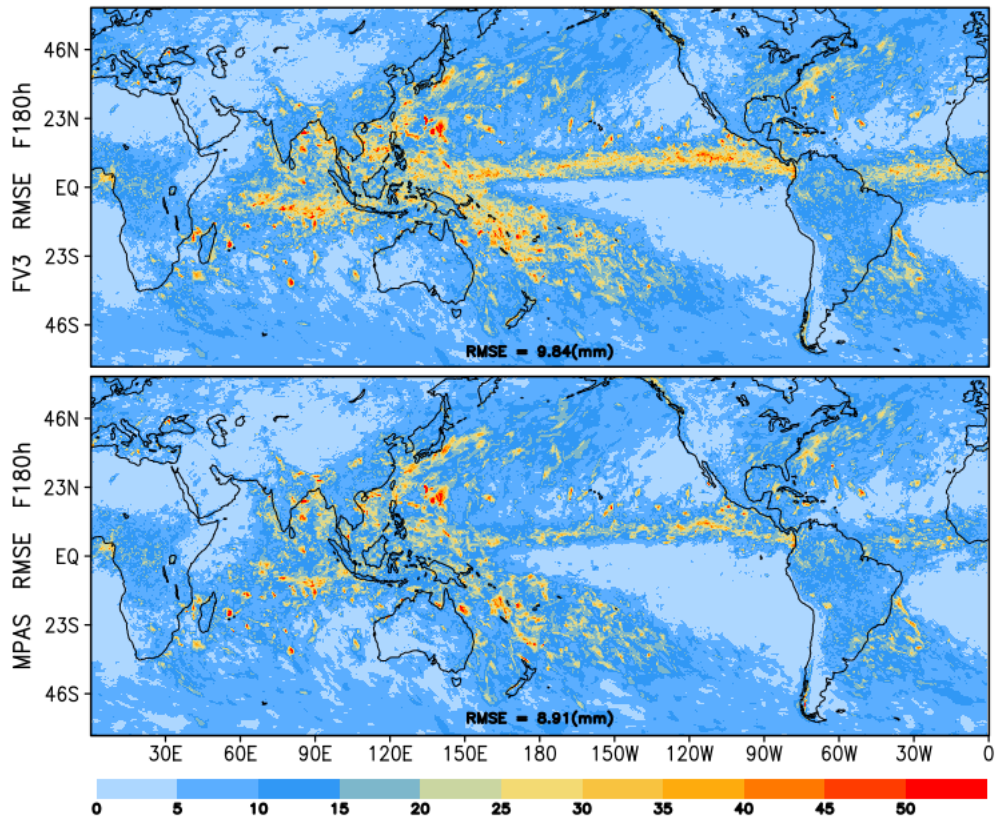
São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

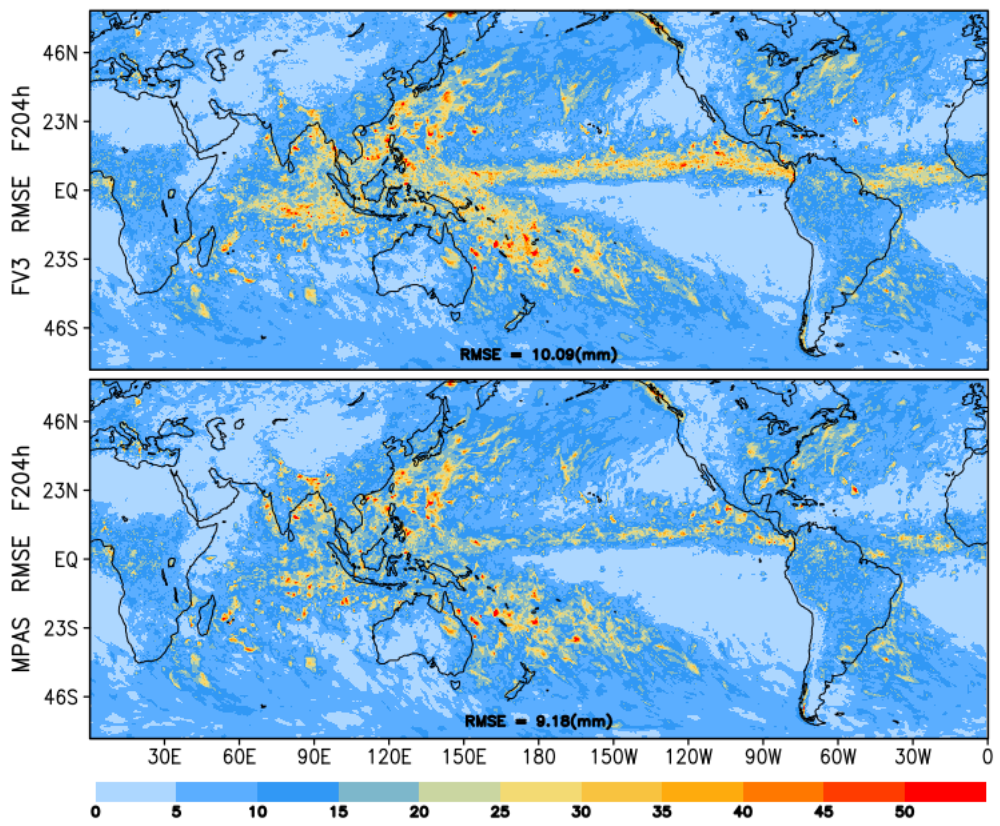
Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.



Figura 4.4 - Figuras e) e f)

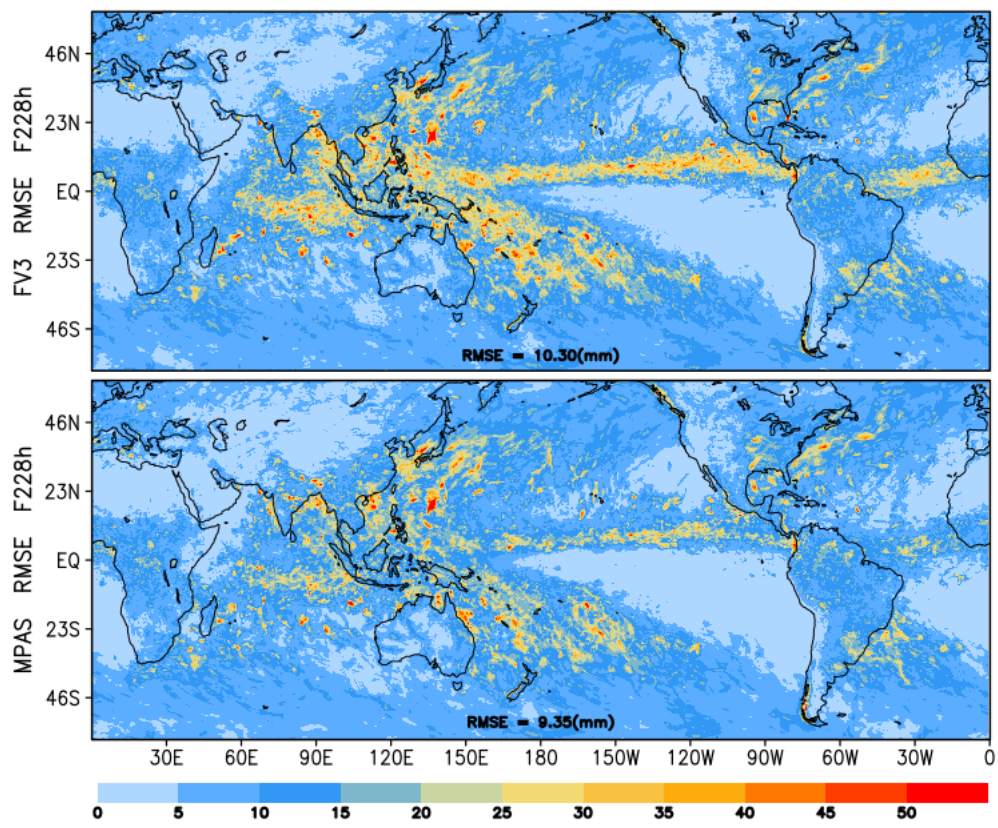


(a)



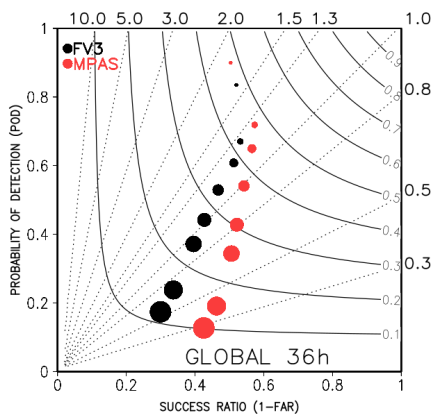
(b)

Figura 4.5 - Figuras g) e h)

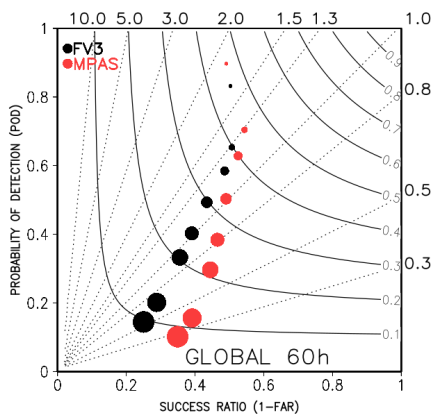


(a)

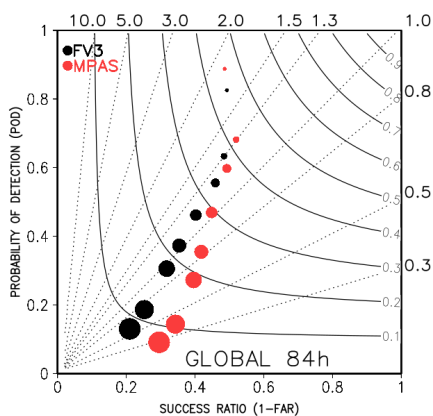
Figura 4.6 - Raiz do erro quadrático médio da precipitação acumulada em 24h (mm) para as previsões a partir de 12h de integração dos modelos SHiELD (topo) e MPAS (base). Previsão de a) 24h (36h), b) 48h (60h), c) 72h (84h), d) 96h (108h), e) 120h (132h), f) 144h (156h), g) 168h (180h), h) 192h (204h), i) 216h (228h).



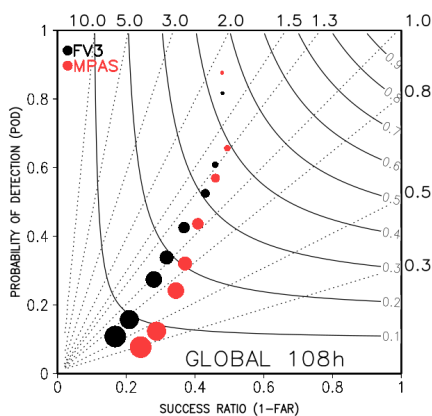
(a)



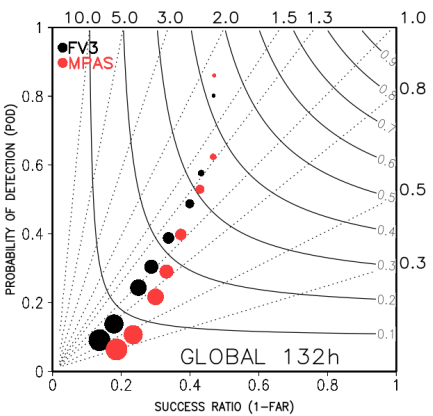
(b)



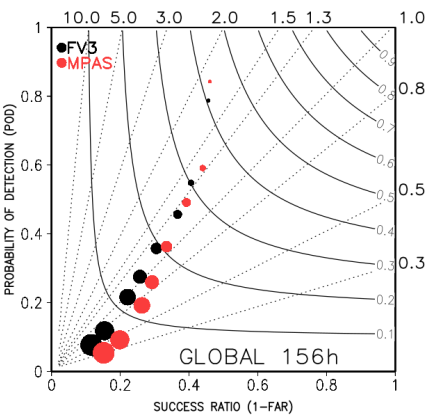
(c)



(d)

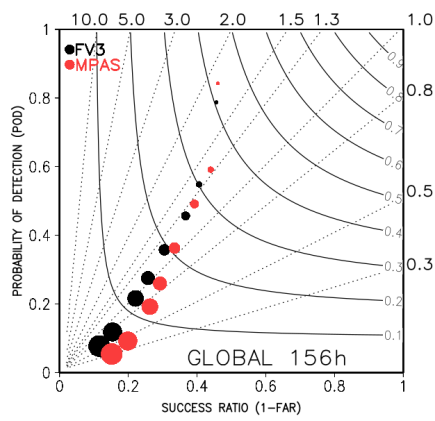


(e)

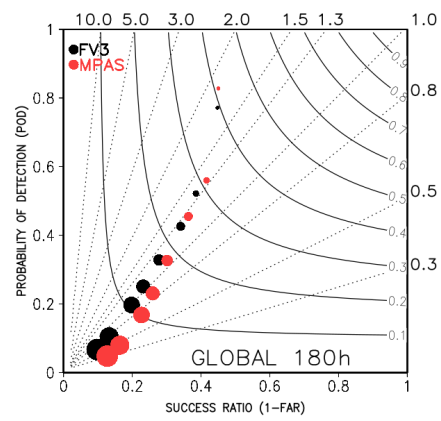


(f)

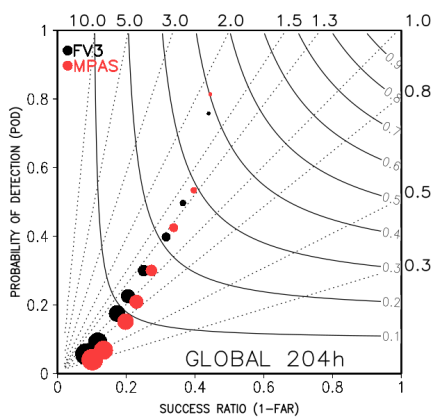
Figura 4.7 -



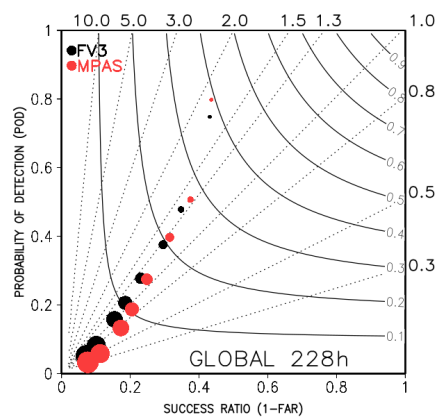
(a)



(b)

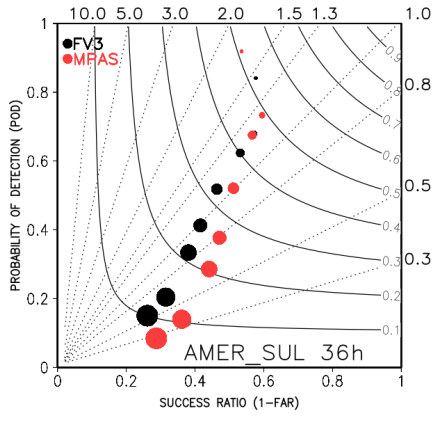


(c)

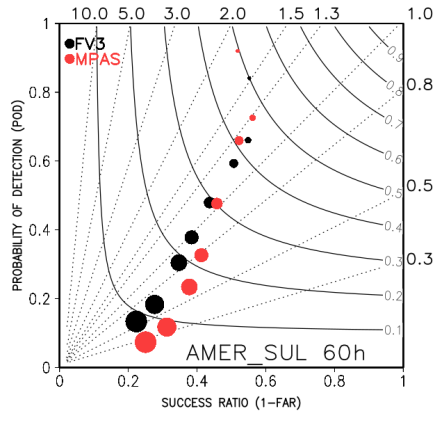


(d)

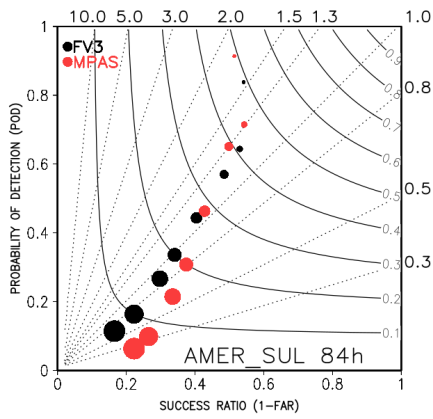
Figura 4.8 -



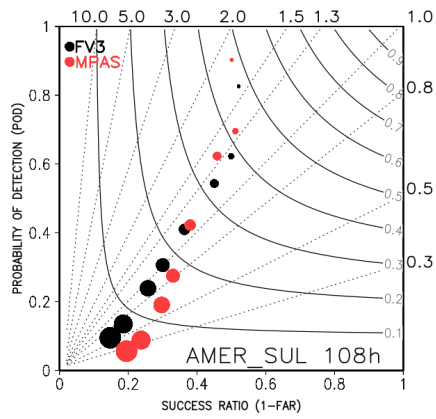
(a)



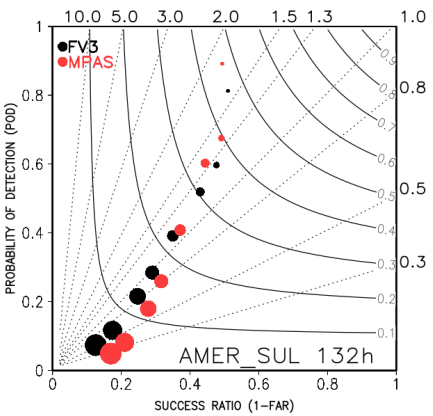
(b)



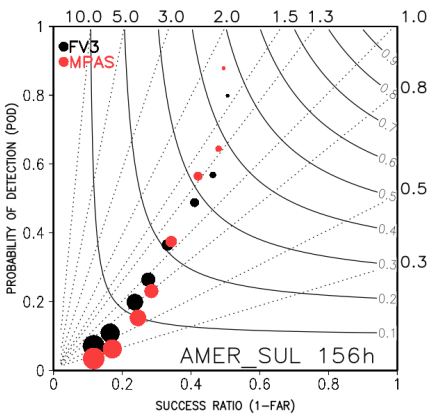
(c)



(d)

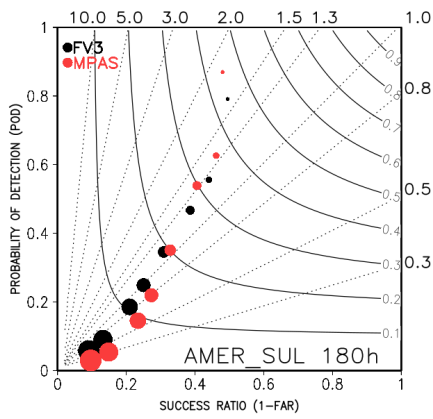


(e)

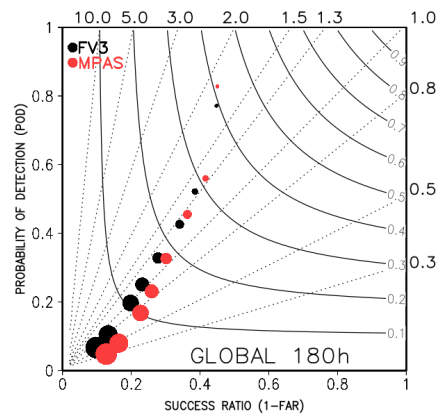


(f)

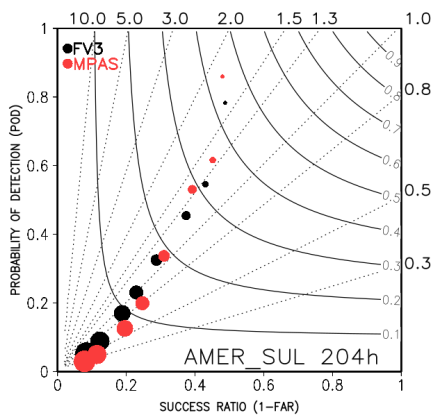
Figura 4.9 -



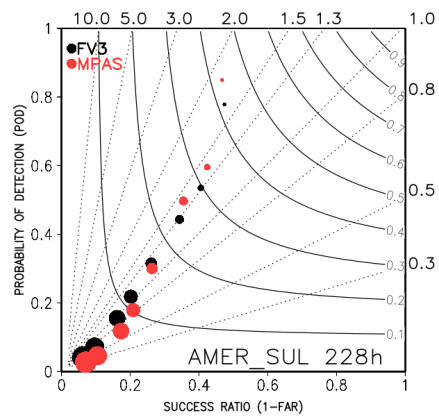
(a)



(b)



(c)



(d)



Figura 4.10 -

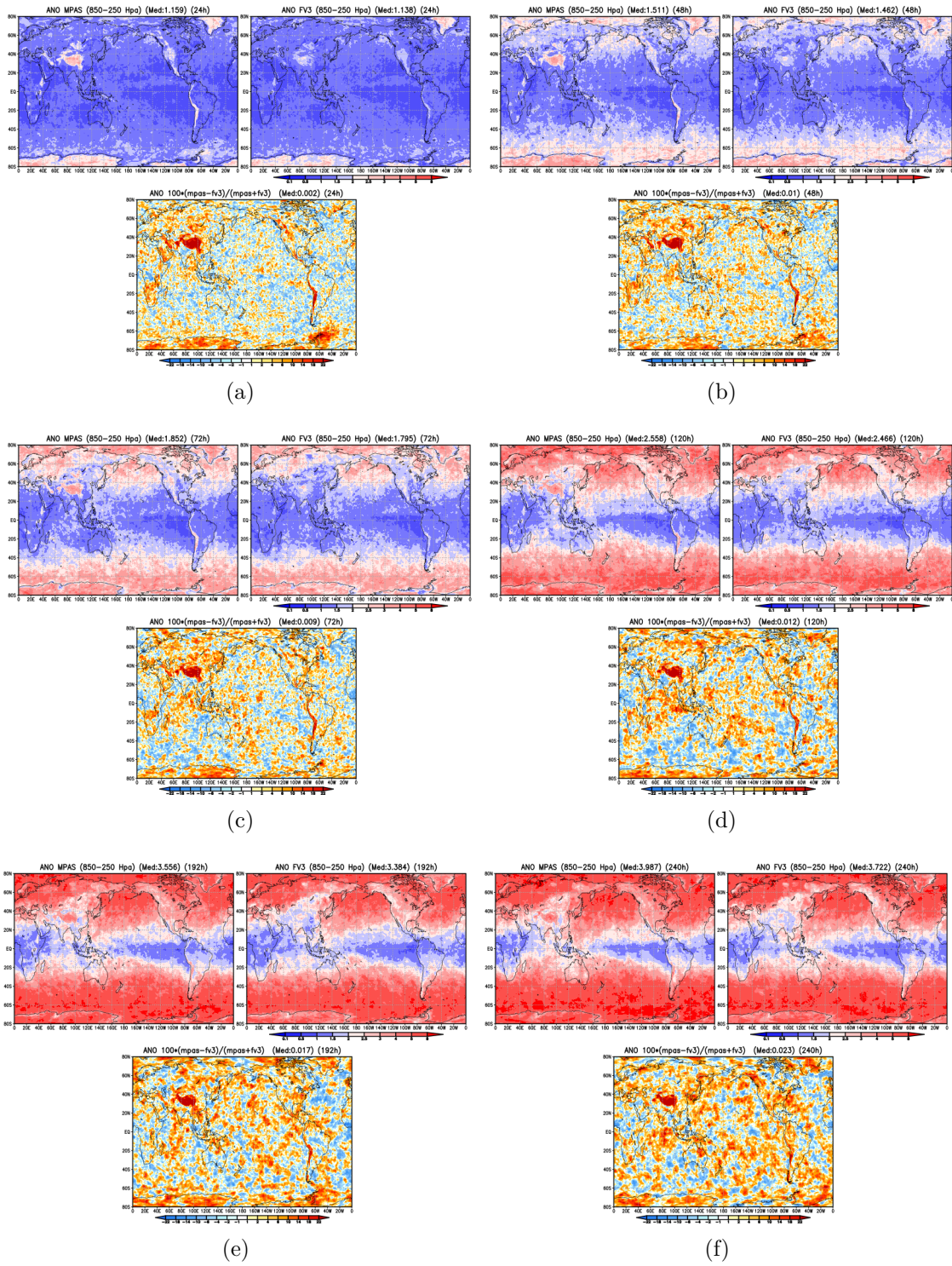
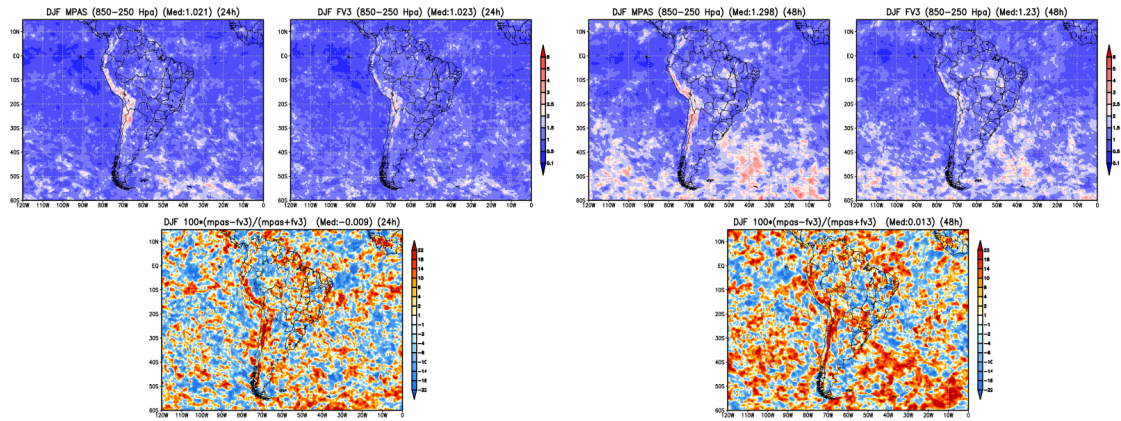
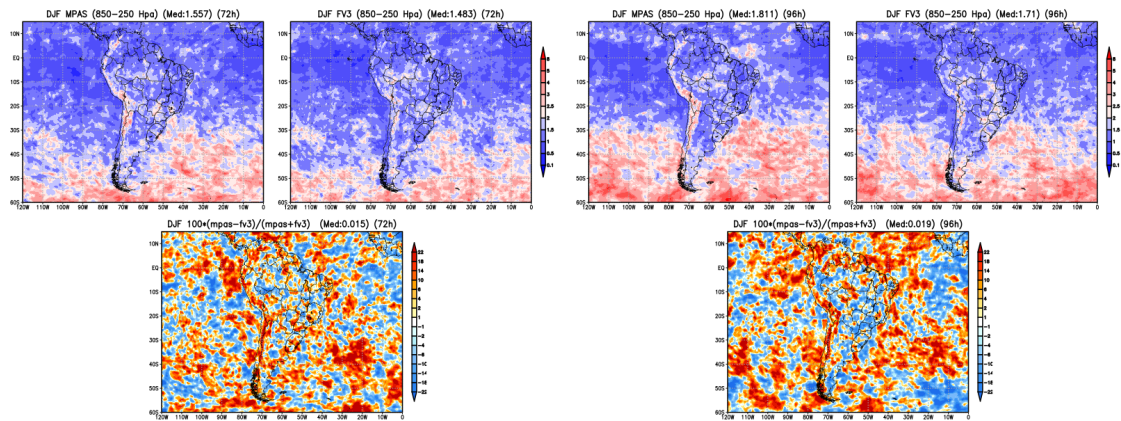


Figura 4.11 -



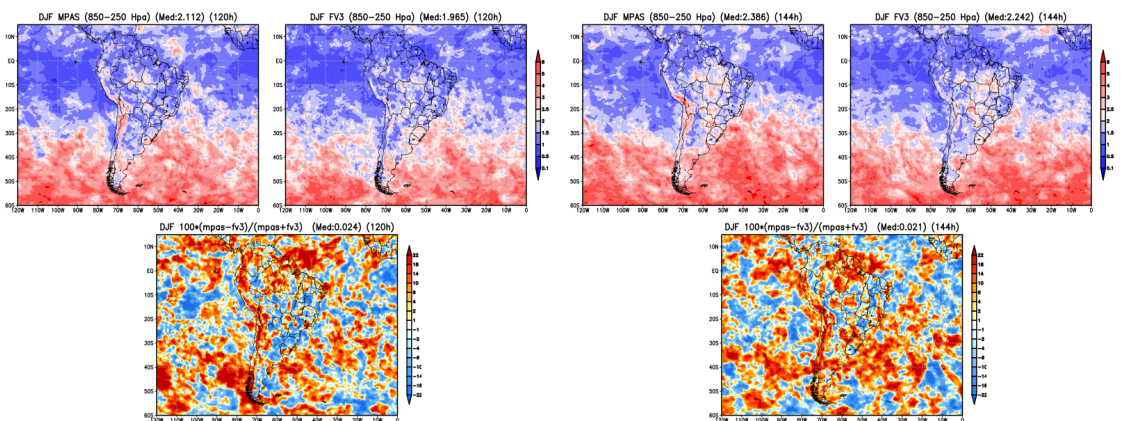
(a)

(b)



(c)

(d)

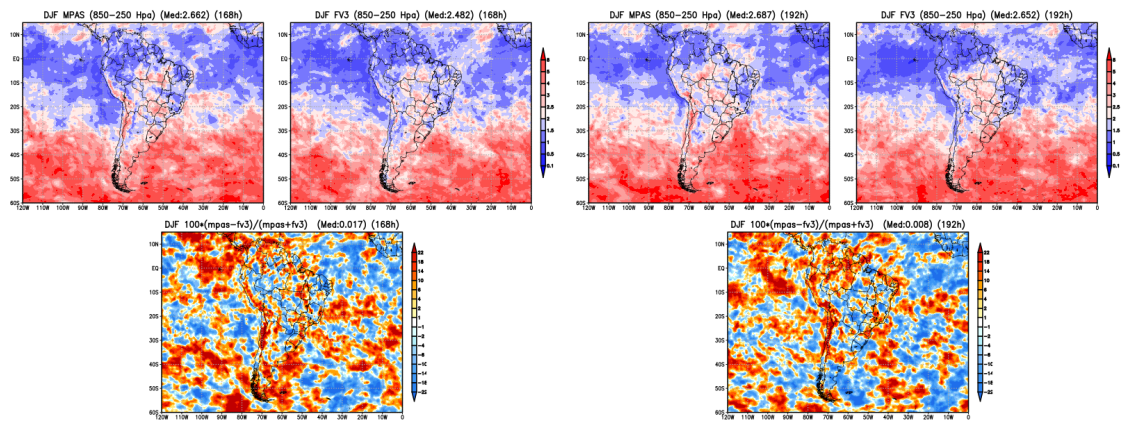


(e)

(f)

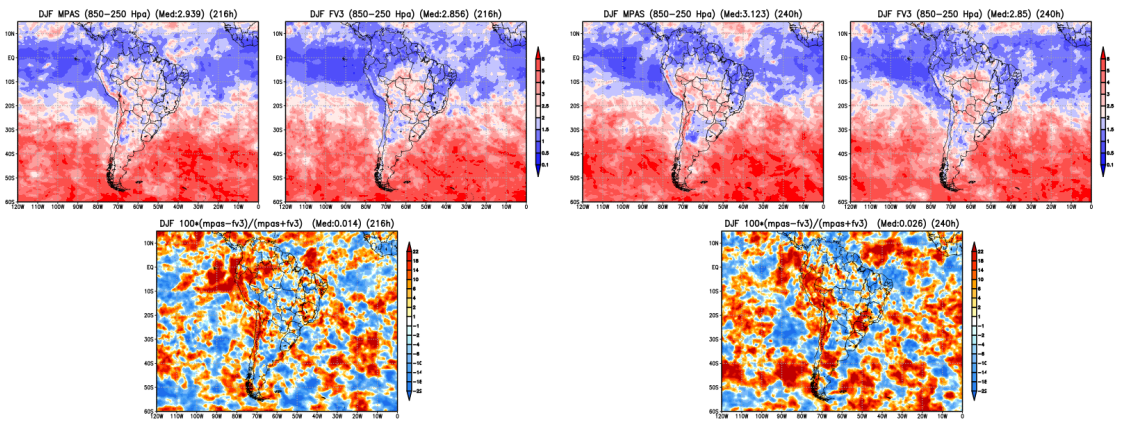


Figura 4.12 -



(a)

(b)



(c)

(d)