



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

aa/bb/cc/dd-RPQ

AVALIAÇÃO DE MODELOS GLOBAIS PARA O PROJETO MONAN: RESULTADOS PRELIMINARES

Ariane Frassoni
Julio Pablo Fernandez
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

AVALIAÇÃO DE MODELOS GLOBAIS PARA O PROJETO MONAN: RESULTADOS PRELIMINARES

Ariane Frassoni
Julio Pablo Fernandez
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).

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Pontuações atribuídas às métricas relacionadas a opções de funcionalidades.	7
2.2 Pontuações atribuídas às métricas relacionadas ao uso e aplicação dos modelos.	8
2.3 Pontuações atribuídas às métricas relacionadas a opções de parametrizações físicas e acoplamentos.	9
3.1 Distância de MH para o MPAS e FV3 e diferença normalizada (DifMH) para os prazos de previsão de 24h (a), 48h (b), 72h (c), 120h (d) e 240h (e)	12
3.2 Idem que a Figura 3.1 mas para os meses de verão austral sobre a América do Sul.	13
3.3 Idem que a Figura 3.2 mas para os meses de inverno austral sobre a América do Sul.	14
4.1 Áreas para avaliação da precipitação sobre a América do Sul. Fonte: Figueroa et al. (2016)	16
4.2 Diagrama de desempenho para as previsões de precipitação de a) 24h b) 36h, c) 48h, d) 60h, e) 120h (132h) e f) 240h. As esferas representam os diferentes limiares de precipitação: 0,5mm, 2mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 35mm, sendo a cor vermelha representativa do modelo MPAS e preto, do modelo SHiELD.	26
4.3 Idem à Figura 4.2, exceto para a área B5 de Figueroa et al. (2016).	27
4.4 Idem à Figura 4.2, exceto para a área B1 de Figueroa et al. (2016).	28

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Subcaracterísticas de Funcionalidade (pergunta chave: Satisfaz a necessidade do projeto MONAN?).	3
4.1 Características dos modelos e das integrações numéricas realizadas	17
4.2 Parametrizações físicas dos modelos SHiELD e MPAS	17

- 4.3 Comportamento dos índices para as previsões dicotômicas dos modelos MPAS e SHIELD. As setas no sentido para baixo representam desempenho inferior em comparação com o outro modelo comparado, enquanto a seta azul representa o comportamento oposto. As cores vermelho claro e azul claro representam, respectivamente, desempenho inferior e superior. Os símbolos = e \leq e $>$ representam o seu real significado. 20
- 4.4 Idem à Figura 4.3, exceto para o limiar menor ou igual a 35mm. 21

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 Introdução	1
2 Análise de Funcionalidade: Adequação, Interoperabilidade e Usabilidade	3
2.1 Métricas de avaliação e resultados obtidos	5
3 Distância de Mahalanobis	7
3.1 Resultados obtidos com a análise Multivariada de MH	10
4 Análise da acurácia	15
4.1 Desenho dos experimentos	15
4.2 Métricas estatísticas	16
4.2.1 Dados de referência	18
4.3 Análise dos diagramas de desempenho global	19
4.4 Análise dos diagramas de desempenho para regiões da América do Sul	21
5 Considerações Finais	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 Introdução

O presente documento tem por objetivo apresentar os resultados preliminares do processo de avaliação dos modelos de escala global visando a escolha da componente atmosférica do Model for Ocean-land-Atmosphere prediction (MONAN).

Neste trabalho, foram considerados os critérios estabelecidos pela norma 9126 ([WIKIPEDIA, 2022](#)), que medem a qualidade do produto de software.

Uma série de Atributos de Qualidade foi analisada, 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 Análise de Funcionalidade: Adequação, Interoperabilidade e Usabilidade

A subcaracterística Adequação é a capacidade do produto de software de prover um conjunto apropriado de funções para tarefas e objetivos do usuário especificados. O MONAN é um modelo comunitário, desenvolvido com apoio de diversas instituições, sob a liderança do INPE. O MONAN envolve a participação de diferentes atores, como os setores acadêmico e público, formadores de políticas públicas e agências de meteorologia regionais. Os produtos numéricos a serem gerados com o modelo MONAN serão utilizados como base para a oferta de uma série de serviços ambientais, em uma abordagem do Sistema Terrestre, em diferentes escalas espacial e temporal. Portanto, a subcaracterística Adequação deverá indicar qual núcleo dinâmico tem a capacidade de compor o modelo MONAN, visando cumprir a necessidade de atender às escalas global, regional e futuramente, a escala local.

Uma das funções requeridas para o núcleo dinâmico do MONAN é que este seja não-hidrostático. Centros de Previsão Numérica de Tempo (PNT) operacionais têm

utilizado modelos numéricos abaixo do limite de espaçamento horizontal de 10 km (WGNE., 2022), o que não mais permite que a aproximação hidrostática seja utilizada (PIELKE, 1984; STEPPELER et al., 2003). Com o crescimento contínuo do poder computacional, centros de meteorologia e grupos de modelagem numérica têm empenhado esforços para permitir a simulação da circulação geral da atmosfera em domínios não hidrostáticos (STEVENS et al., 2019). Para a região tropical, onde grande parte do território brasileiro está localizado, representar numericamente a convecção tropical e todos os processos físicos associados é fundamental, e para tal, a aproximação não-hidrostática é uma exigência.

Considerando a importância da aproximação não-hidrostática para o projeto MONAN, os núcleos dinâmicos que não possuíam esta funcionalidade foram considerados inaptos para as aplicações do modelo MONAN e não foram avaliados no quesito Acurácia, especialmente considerando que esta subcaracterística demanda recurso computacional.

Em vista do exposto, entre os modelos avaliados, o modelo GEF se mostrou inapto para as aplicações a que se destina o MONAN. Isto porque é um modelo hidrostático, e portanto, não atende o requisito de adequação. Desta forma, sua avaliação não foi considerada para as etapas seguintes.

A subcaracterística Interoperabilidade indica a capacidade do produto de software de interagir com um ou mais sistemas especificados. No caso do MONAN, espera-se que o núcleo dinâmico escolhido esteja preparado para interagir com outras componentes e/ou aplicações do Sistema Terrestre bem como com o sistema de AD.

Uma das componentes essenciais para a modelagem do Sistema Terrestre é o modelo oceano-criosfera para uso em diferentes escalas de tempo e espaço. Os feedbacks entre os campos acoplados, tais como a temperatura da superfície do mar e correntes e a atmosfera, assim como fluxos de calor e momento da atmosfera para o oceano – em geral são realizados pelo uso de um código de acoplamento separado, flexibilizando vincular componentes de modelos e controlar a troca e interpolação dos campos acoplados (HARRIS, 2018).

Assim como as demais componentes do Sistema Terrestre, o sistema de AD é essencial para fornecer as condições iniciais para um modelo numérico, a partir do uso de observações meteorológicas obtidas de diferentes fontes. AD é também fundamental para a produção de previsões de tempo e clima por conjunto. Para explicar a natureza caótica da atmosfera e a incerteza associada à previsão, centros de meteo-

rologia avançados utilizam um conjunto de previsões simultaneamente. A previsão por conjunto é gerada a partir do uso do melhor estado inicial possível da atmosfera adicionalmente a um conjunto de outras previsões com pequenas variações em relação ao estado inicial, limitado ao recurso computacional disponibilizado no centro de previsão. Da mesma forma, outras componentes do Sistema Terrestre passam a se tornar importantes à medida que a escala horizontal de interesse é alterada. É o caso de previsões meteorológicas em escala urbana, que requerem que o modelo seja capaz de parametrizar características urbanas, como ruas, prédios, vegetação, geração de calor antrópico entre outros.

A Usabilidade é definida como a capacidade do produto de software de ser compreendido, aprendido, operado e atraente ao usuário, quando usado sob condições especificadas. Note que este conceito é bastante abrangente e se aplica mesmo a programas que não possuem uma interface para o usuário final. Por exemplo, um programa batch executado por uma ferramenta de programação de processos também pode ser avaliado quanto a sua usabilidade, no que diz respeito a ser facilmente compreendido, aprendido etc.

Inteligibilidade: Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário compreender se o software é apropriado e como ele pode ser usado para tarefas e condições de uso específicas.

Apreensibilidade: Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário aprender sua aplicação.

Operacionalidade: Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo. Proteção frente a erros de usuários: como produto consegue prevenir erros dos usuários;

Capacidade de colaboração (CC): Capacidade de comunicação, interação e colaboração com os centros desenvolvedores do núcleo dinâmico.

2.1 Métricas de avaliação e resultados obtidos

Uma série de funcionalidades foram consideradas na avaliação de Adequação e Interoperabilidade. A Tabela 2 sintetiza as métricas utilizadas na avaliação destas subcaracterísticas.

Métricas utilizadas na avaliação das subcaracterísticas

- a) Formato de saída dos dados dos modelos
- b) Topo do modelo
- c) Capacidade de regionalização
- d) Coordenada vertical
- e) Parametrizações físicas adequadas para a América do Sul
- f) Capacidade de aplicações
- g) Possuir acoplamento com outras componentes
- h) Possuir acoplador

Métricas utilizadas na avaliação das características de Usabilidade.

- a) Interação: Facilidade de interação com grupo oficial do modelo.
- b) Configuração de namelist: Capacidade de parametrização por namelist, que é o conjunto de variáveis de entrada que definem a configuração do modelo.
- c) Disseminação: Uso do modelo por outros grupos de modelagem do sistema terrestre. Se o modelo é utilizado por outros grupos de modelagem, significa que é uma ferramenta com mais contribuições, aplicações e documentação.

Os critérios de pontuação, definidos pelas normas ISO, são:

- Três pontos para o modelo que melhor atende as métricas listadas
- Um ponto para o modelo que atende de forma insatisfatória as métricas listadas

Para cada métrica, os modelos que apresentaram a melhor pontuação receberam três pontos para cada subcategoria de qualidade relacionada à métrica e as pontuações mais baixas receberam um ponto. Em caso de empate, os melhores avaliados receberam três pontos. Analogamente, os empatados com pontuação inferior receberam um ponto. Ao final, foram somados os pontos.

A pontuação recebida por cada métrica é indicada nas Figuras 2.1 – 2.3.

Figura 2.1 - Pontuações atribuídas às métricas relacionadas a opções de funcionalidades.

Métricas de avaliação

Métrica	Descrição	Impactos Positivos	Impactos Negativos	Ferramentas	Unidade de medida	SHIELD	MPAS
Formato de saída dos dados dos modelos	O formato de saída do modelo é importante para determinação de consumo de armazenamento e de leitura do dado por outros softwares utilizados no CPTEC	Interoperabilidade Adequação	-	Manual técnico e/ou artigos científicos	Quantidade de formatos Preferencialmente grib, bin, nc, grib2	1	1
Topo do modelo	Capacidade do modelo de ser configurado para um nível mais alto da atmosfera	Acurácia Adequação	-	Manual técnico e/ou artigos científicos	De 1 a 3 Quanto mais alto for o topo, maior a nota	3	1
Capacidade de regionalização	Devido ao aspecto comunitário do MONAN, a regionalização sobre áreas de domínio de centros regionais é necessária. Dados de saída dos modelos são facilmente utilizados por outros sistemas	Acurácia Interoperabilidade Adequação	-	Manual técnico e/ou artigos científicos	Regionalização sobre RMSP, RMRJ, Amazônia, Sul do Brasil, NEB	3	3
Coordenada vertical híbrida	O tipo de coordenada vertical é importante para o acoplamento entre o núcleo dinâmico e o sistema de AD	Acurácia Interoperabilidade Adequação	-	Manual técnico e/ou artigos científicos	V (1) ou F (0)	3	3
Total						10	8

3 Distância de Mahalanobis

A distância Mahalanobis (MH) é uma medida que se assemelha a distância euclidiana, porém leva em conta a covariância dos do conjunto de dados. Em outros termos, a distância MH é uma correlação multivariável que permite comparar dois tipos de população representada por um conjunto de variáveis. MH é útil para se obter uma medida objetiva de quanto um conjunto de variáveis, i.e. população, se distancia de outro conjunto, dando uma visão holística dos resultados. MH não tem por objetivo indicar a causa do problema, mas sim o de quantificar o quanto este problema está afetando os resultados, a partir de valores numéricos. Quanto menor for MH, a população em teste (i.e. a previsão) estará se aproximando da população de controle (i.e. a análise).

A distância MH de uma população é definida matematicamente, por um conjunto de variáveis (x) e que possam ser categorizadas em p categorias. Dada uma coordenada de ponto de grade (i,j) com múltiplas variáveis (temperatura, geopotencial, vento zonal etc.), pode-se definir um vetor $X_1(l, p)$, onde l representa a variável prevista e p sua categoria, que pode ser o perfil vertical, a variação no tempo ou qualquer

Figura 2.2 - Pontuações atribuídas às métricas relacionadas ao uso e aplicação dos modelos.

Métricas de avaliação

Métrica	Descrição	Impactos Positivos	Ferramentas	Unidade de medida	SHIELD	MPAS
Manual técnico disponível e de fácil acesso	Manual técnico de fácil acesso, disponível publicamente	Adequação Interoperabilidade	Internet	V (3) e F (1)	1	3
Entendimento uso do modelo	Tempo necessário para aprendizado do uso do modelo	Interoperabilidade	Manual técnico	Menos tempo - 3 pontos	1	3
Estabilidade numérica	Capacidade do modelo de ser executado sem a ocorrência de instabilidade numérica	Acurácia	Acompanhamento das simulações	0 => 3 se != 0 3 => se = 0	3	3
Capacidade de aplicações 1. Ondas oceânicas 2. Clima urbano 3. Qualidade do ar 4. Agricultura 5. Previsão de tempo 6. Previsão subsazonal 7. Previsão sazonal 8. Projeções climáticas 9. Eventos extremos/raros	Aplicações 1- https://www.mdpi.com/2073-4433/13/4/591 2- https://gmd.copernicus.org/preprints/gmd-2019-298/gmd-2019-298.pdf 4. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/29398/noaa_29398_DS1.pdf 7 https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-021-05797-7 https://aquarubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020MS002223	Acurácia Adequação	Manual técnico e/ou artigos científicos	Pontos por aplicação	1. 3 2. 3 3. 3 4. 3 5. 3 6. 3 7. 3 8. 3 9. 3	1. 3 2. 3 3. 3 4. 1 5. 3 6. 3 7. 3 8. 3 9. 3
Total					32	34

outro tipo de categoria. No presente estudo, levar-se-á apenas a distribuição vertical das variáveis. Define-se, com os mesmo critérios, uma população que servirá de comparação, ou seja, a análise do modelo, definido por $X_2(l, p)$. Os vetores X_1 e X_2 tem que ter as mesmas categorias, porém, não necessariamente todas as categorias de um mesmo vetor precisam estar definidas.

Faz-se a média de cada categoria, ou seja, $\mu_1(l)$ e $\mu_2(l)$. Em seguida-, calcula-se a anomalia de cada par de vetores, tal como segue:

$$A_1(l, p) = X_1(l, p) - \mu_1(l) \quad (3.1)$$

e

$$A_2(l, p) = X_2(l, p) - \mu_2(l). \quad (3.2)$$

A seguir, calcula-se a covariância das anomalias de cada um dos vetores. As matrizes de covariância geradas ($Cov_1(l, l)$ e ($Cov_2(l, l)$ e as respectivas somatórias ($Som_1(l, l)$ e ($Som_2(l, l)$ terão o tamanho do número de variáveis usadas. Se duas variáveis, ter-

Figura 2.3 - Pontuações atribuídas às métricas relacionadas a opções de parametrizações físicas e acoplamentos.

Métricas de avaliação

Métrica	Descrição	Impactos Positivos	Ferramentas	Unidade de medida	SHIELD	MPAS
Parametrizações físicas adequadas para a América do Sul	Parametrizações físicas desenvolvidas pelo CPTEC para melhor representar processos sug-grade nos trópicos	Acurácia Adequação	Artigos	3 pontos para cada parametrização	3	3
Possuir acoplamento com: 1. Superfície 2. Oceano/criosfera 3. Ondas 4. Química atmosférica 5. Hidrologia 6. Assimilação de dados	Possuir acoplamento as componentes de interesse 5- https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2022MS003089	Interoperabilidade	Manual técnico e/ou artigos científicos	V (3) e F (1) para cada acoplamento	1. 3 2. 3 3. 3 4. 3 5. 3 6. 3	1. 3 2. 3 3. 3 4. 3 5. 3 6. 3
Acoplador	O acoplador aumenta a interoperabilidade e promove a reutilização de código. O acoplador conecta domínios físicos em um ESM, ligando as saídas de uma componente e transformando-as nas entradas necessárias para executar outra componente	Acurácia Interoperabilidade	Manual técnico e/ou artigos científicos	V (3) e F (1)	3	3
Total					24	24

se-á uma matriz 2x2 e se forem três, 3x3 e assim sucessivamente. Em seguida faz-se a média ponderada dos dois vetores, onde o fator ponderador é a somatória definida acima. Gerando uma covariância conjunta definida como segue:

$$Cov(l, l) = \frac{[Cov_1(l, l) \times Som_1(l, l)] + [Cov_2(l, l) \times Som_2(l, l)]}{Som_1(l, l) + Som_2(l, l)}. \quad (3.3)$$

Calcula-se a matriz inversa da covariância conjunta, ou seja, $Cov(l, l)^{-1}$. MH será definido pela raiz quadrada do somatório do produto matricial entre a matriz da diferença das médias $\mu_1(l)$ e $\mu_2(l)$ e transposta $[\mu_1(l)]^T$ e $[\mu_2(l)]^T$, e da matriz inversa das covariâncias. Ou seja:

$$MH = \sqrt{\sum [\mu_1(l) - \mu_2(l)] * [\mu_1(l) - \mu_2(l)]^T * Cov(l, l)^{-1}}. \quad (3.4)$$

A distância MH é calculada para cada ponto de grade do modelo e é sempre positivo.

A fim de condensar a análise de várias variáveis, a distância MH foi calculada para as previsões feitas a cada cinco dias, totalizando 74 casos para os prazos de previsão de 24h até 240h, com passo de tempo de 24h. As variáveis utilizadas foram temperatura, vento meridional e vento zonal em três níveis verticais (850, 500 e 250). A média de cada horário tanto para o ano como para as estações de DJF e JJA foi calculada. A análise global foi feita apenas globalmente e a análise regional sobre a América do Sul, com foco nas estações de verão (DJF) e inverno (JJA).

Definiu-se uma diferença ponderada para comparação entre os modelos MPAS e FV3, definida como:

$$DifMH = \frac{MH(MPAS) - MH(FV3)}{MH(MPAS) + MH(FV3)} * 100, \quad (3.5)$$

em que $DifMH < 0$ implica que o MPAS apresentou menor distância se comparado ao FV3.

3.1 Resultados obtidos com a análise Multivariada de MH

Na Figura 3.1, são apresentadas as médias dos resultados obtidos da análise multivariada de MH para o período completo de simulação.

Em 24h (Figura 3.1a) observa-se valores baixos ($< 1,5$) de MH em quase todo o globo tanto para o MPAS como para o FV3. Este padrão só é rompido sobre regiões de mais altas latitudes e sobre regiões continentais elevadas. Nesta última, é evidente a diferença entre o MPAS e o FV3, com o último mostrando menor distância de MH. A diferença entre ambos mostra que o MH do MPAS é maior sobre os Andes, as montanhas Rochosas, sobre o platô tibetano, no sul da África, Antártida e no Mar de Weddell. Esta diferença pode ser relacionada a processos físicos não satisfatoriamente resolvidos em regiões de topografia elevada.

Em 48h (Figura 3.1b), a distância MH tende a aumentar nas regiões polares, principalmente sobre o continente Antártico e no oceano Ártico. O valor MH também aumenta rapidamente nos extratropicais sobre os oceanos. Este aumento ocorre em ambos os modelos, sendo que a diferença entre eles se mantém constante, apesar do valor médio do MH (0,01) ter subido.

O valor de MH tende a aumentar nas horas seguintes de integração (Figuras 3.1c e 3.1e), a partir das altas latitudes em ambos os modelos, mas em especial sobre

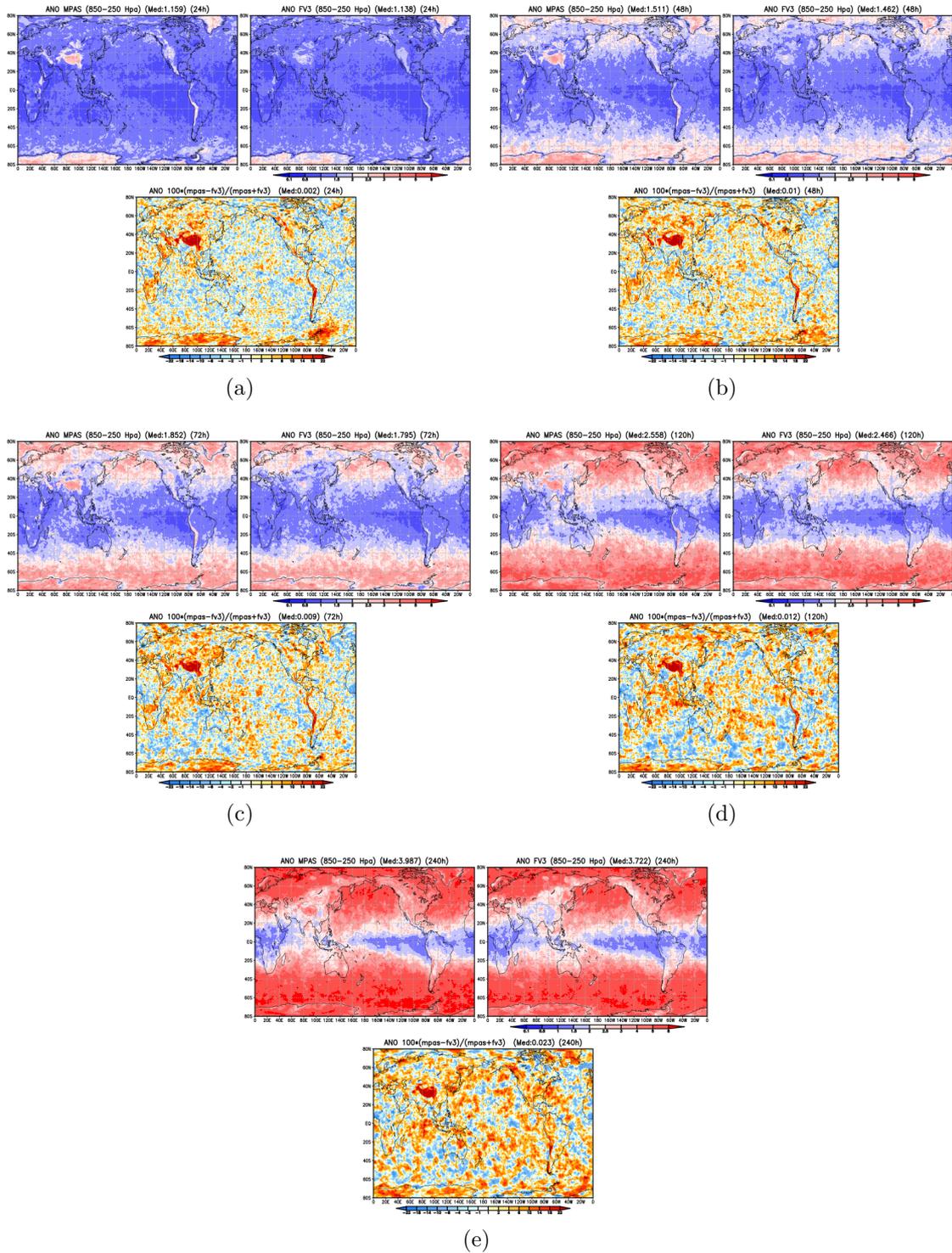
os oceanos. O MH global médio cresce rapidamente, com valor médio de 3,987 para o MPAS e 3,722 para o FV3 (Figura 3.1e). O campo DifMH também mostrou um aumento, com o MPAS se distanciando mais do campo de observação em relação ao FV3.

Na Figura 3.2 apresenta-se o comportamento dos modelos na estação de verão do hemisfério austral. Em 24h (Figura 3.2a), observa-se uma grande similaridade em ambos os modelos. Porém, com um valor médio de MH ligeiramente menor para o MPAS. No campo de diferença, observa um melhor desempenho do MPAS em relação ao FV3 sobre a Bacia Amazônica Ocidental e na região de formação de CCM no norte da Argentina e Paraguai. O DifMH apresentou um valor negativo (-0,009), ou seja, o MPAS apresentou distância de MH ligeiramente melhor que o FV3.

Em 48h (Figura 3.2b) há um aumento do valor de MH em ambos os modelos, mas em especial no MPAS sobre o Atlântico Sul. Nas regiões tropicais não se observa uma diferença expressiva entre os modelos. Porém, no campo DifMH se observa que o MPAS se distanciou menos no campo original sobre a Bacia Amazônica e parte do Sudeste e Centro-Oeste e sobre a Argentina. Em 72h e 120h (Figuras 3.2c e 3.2d) há um aumento do MH em ambos os modelos, em especial nos extratropicais. Porém, com o MPAS se distanciando mais lentamente do campo original sobre grande parte do território brasileiro, onde a DifMH tende a ser negativa. No oceano, o distanciamento tende a ser mais aleatório, com o MPAS se distanciando mais sobre o Atlântico Sul. Em 240h (Figuras 3.2e e Figura 3.2f), observa-se o aumento expressivo do MH nos extratropicais conforme já observado no campo global. A diferença está no aumento expressivo do MH sobre o Brasil central em ambos os modelos. Porém, com o MPAS mostrando um distanciamento menor em relação ao FV3 sobre grande parte do território brasileiro e maior sobre os oceanos subtropicais e extratropicais.

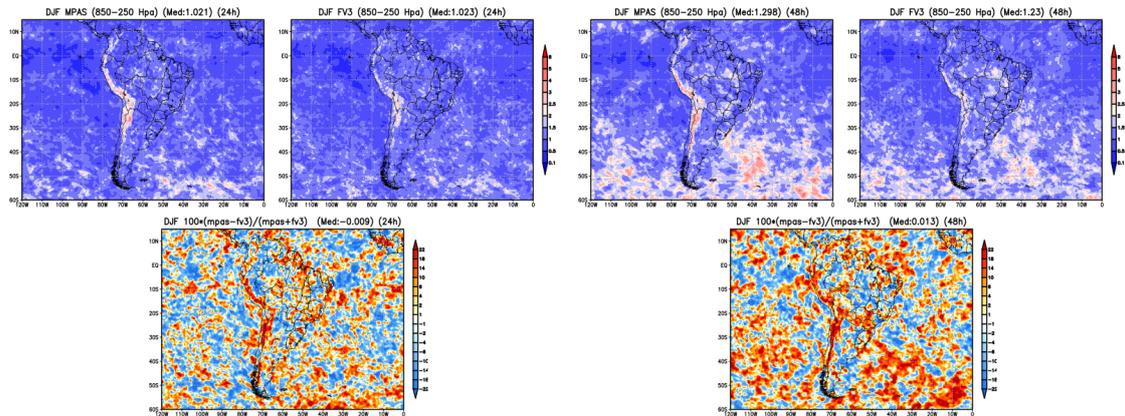
Nos meses de inverno austral para 24h (Figura 3.3a), observa-se um comportamento similar em ambos os modelos, com o MH de 1,058 apesar do maior distanciamento do MPAS sobre os Andes. Em termos de DifMH, o MPAS mostrou um menor distanciamento, o que é visível no predomínio de valores negativos sobre o todo o campo de diferença. Em 48h (Figura 3.3b), há um pequeno aumento do MH, forçado pelo aumento nos extratropicais. Porém o DifMH se manteve negativamente favorável ao MPAS, em especial sobre o território brasileiro, embora tenha apresentado maior distância no Sul do Brasil. Em 72h (Figura 3.3c), o MH aumenta nos extratropicais, com uma DifMH positiva favorável ao FV3 no Sul e Sudeste do Brasil, e negativa

Figura 3.1 - Distância de MH para o MPAS e FV3 e diferença normalizada (DifMH) para os prazos de previsão de 24h (a), 48h (b), 72h (c), 120h (d) e 240h (e)



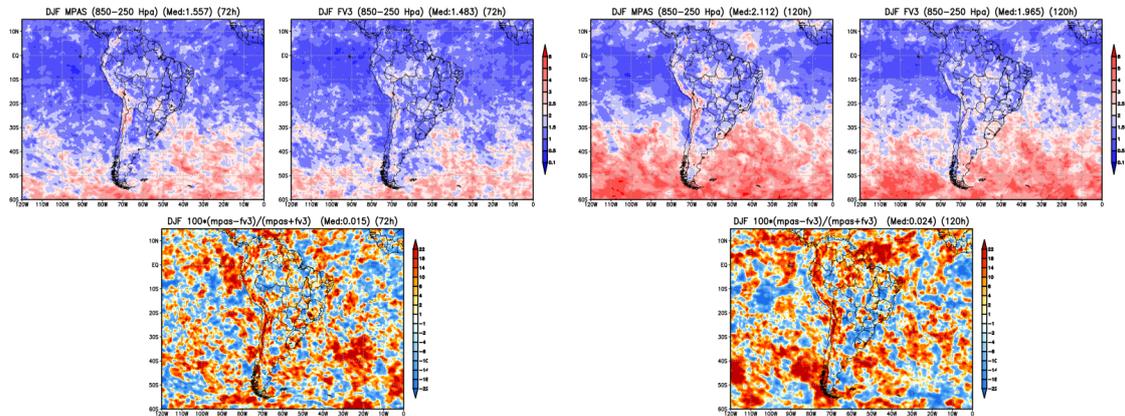
favorável ao MPAS no centro-norte do Brasil. Em 120h (Figura 3.3d), a distância de MH aumenta, porém a DifMH tende a ser negativa e favorável ao MPAS so-

Figura 3.2 - Idem que a Figura 3.1 mas para os meses de verão austral sobre a América do Sul.



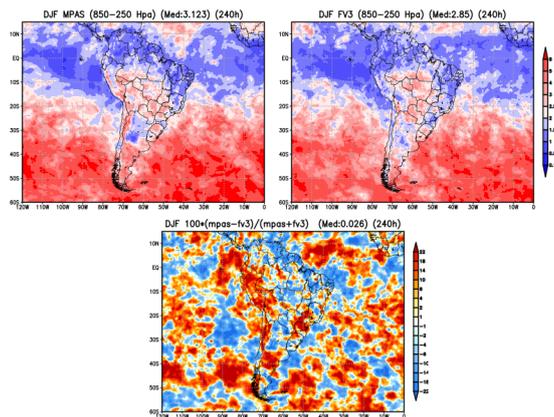
(a)

(b)



(c)

(d)

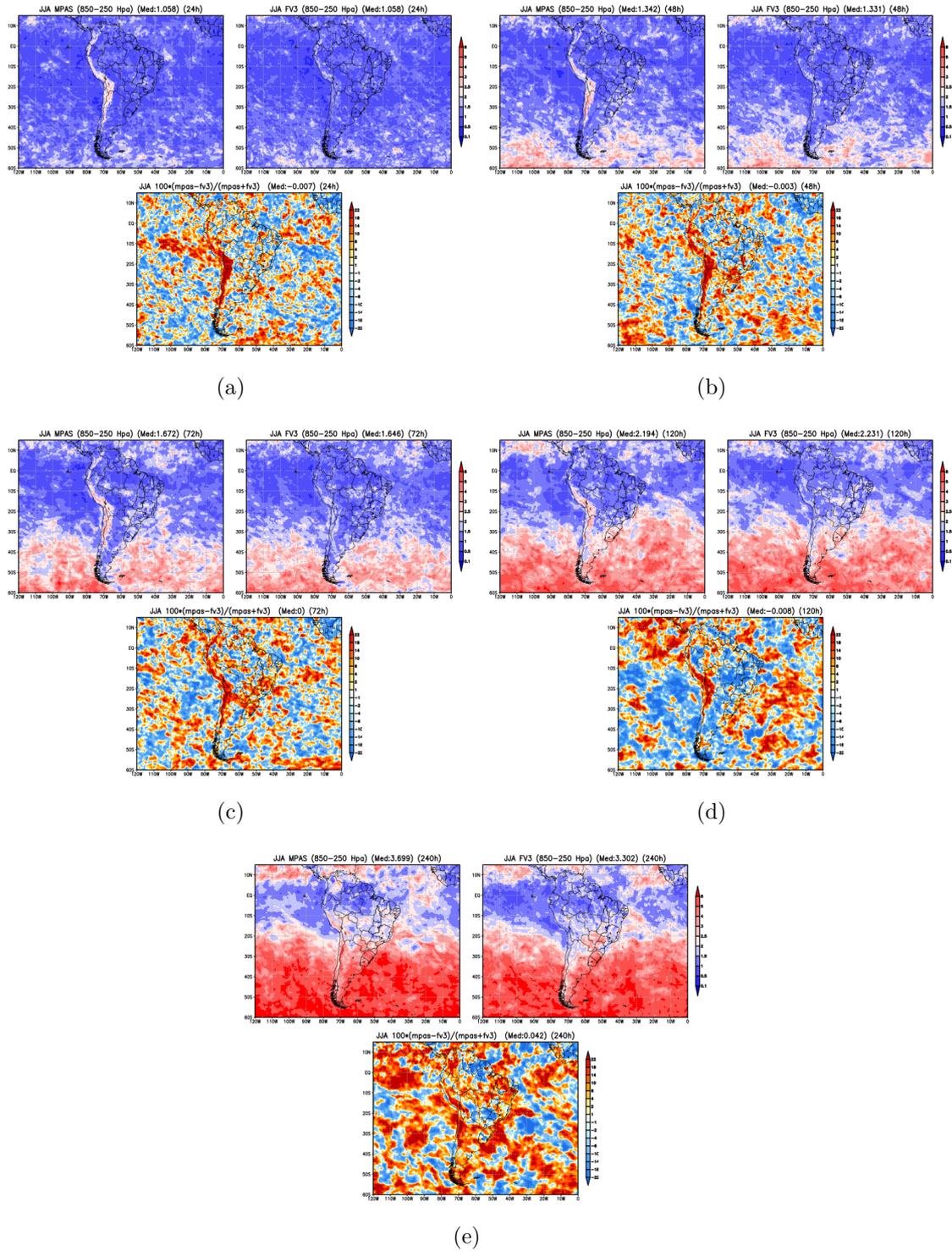


(e)

bre grande parte da América do Sul. Para 240h (Figura 3.3e), há um aumento do valor de MH, principalmente nos subtropicos e extratropicos, porém com o FV3

apresentando uma distância menor que o MPAS no geral (DifMH média de 0,042).

Figura 3.3 - Idem que a Figura 3.2 mas para os meses de inverno austral sobre a América do Sul.



Em resumo, o MPAS mostrou ter um MH ligeiramente maior que o FV3, tanto no campo global quando no regional sobre a América do Sul. O MPAS também mostrou um maior distanciamento sobre as regiões de topografia elevada (Andes e Platô do Tibete) e sobre a Antártida, Groelândia e Oceano Ártico. Porém, o MPAS mostrou ter um MH menor que o FV3 sobre a América do Sul, em especial sobre a Bacia Amazônica, tanto no verão astral quanto no inverno, com alguns momentos em que este menor distanciamento foi dominante sobre todo o continente sul americano.

4 Análise da acurácia

A acurácia dos modelos globais foi analisada por meio de uma série de avaliações estatísticas, 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 [Figuroa et al. \(2016\)](#).

A avaliação 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.

4.1 Desenho dos experimentos

A seguir são apresentadas as características dos experimentos realizados para avaliação.

- 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;

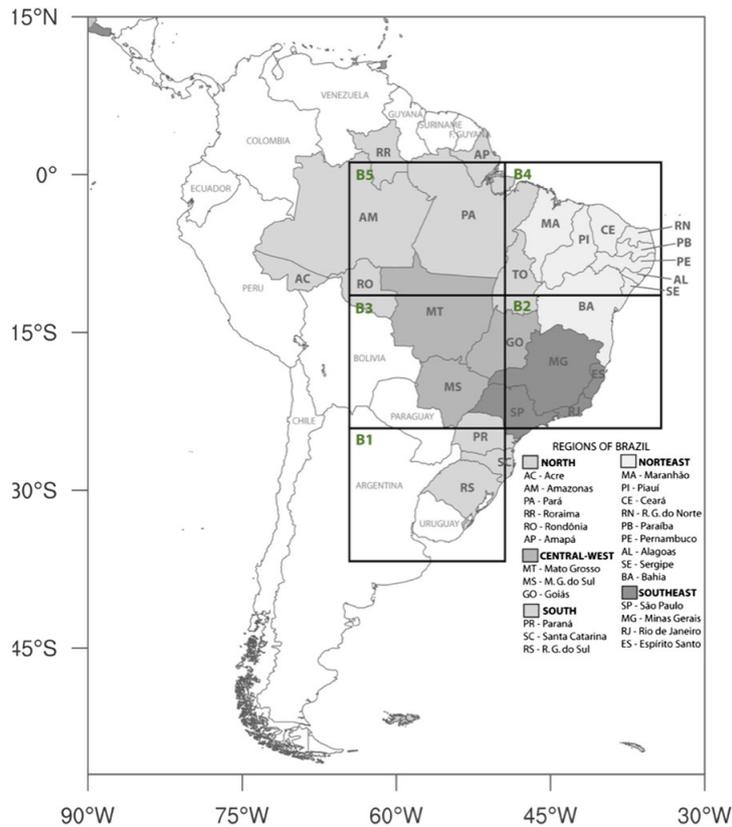


Figura 4.1 - Áreas para avaliação da precipitação sobre a América do Sul. Fonte: Figueroa et al. (2016)

- 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.

O resumo das características e especificações das integrações numéricas realizadas é apresentado na Tabela 4.1.

As parametrizações físicas dos modelos SHIELD e MPAS são listadas na Tabela 4.2.

4.2 Métricas estatísticas

Previsões de variáveis contínuas

Tabela 4.1 - Características dos modelos e das integrações numéricas realizadas

Características	SHIELD	MPAS
Computador/cluster (XE, XC, etc)	EGEON	EGEON
Resolução Horizontal (Km)	15	13
Coordenada Vertical	σ -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

Tabela 4.2 - 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

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

Previsões dicotômicas

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

Os índices ETS, bias, POD, FAR (ou o seu oposto, a razão de sucesso, SR, ou 1-FAR), e CSI são analisados por meio da plotagem do diagrama de performance (ROEBBER, 2009), que resume as medidas SR, POD, bias e CSI. Em uma abordagem que é conceitualmente semelhante ao diagrama de Taylor (2001), é possível explorar a relação geométrica entre POD, FAR, bias score e CSI. As previsões com melhores desempenhos apresentam POD, SR, bias e CSI próximo de 1, e a previsão perfeita seria aquela posicionada no canto superior direito do diagrama. Os desvios em uma dada direção indicam as diferenças relativas no POD e SR, e consequentemente no bias e CSI. É possível visualizar rapidamente as diferenças nos desempenhos dos modelos avaliados. Na posição de 45 graus no diagrama são encontrados os melhores resultados, mantendo as previsões sem viés e simultaneamente aumentando a detecção e a redução do alarme falso.

4.2.1 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.

4.3 Análise dos diagramas de desempenho global

O desempenho das previsões de precipitação produzidas pelos modelos MPAS e SHiELD é analisado a partir dos diagramas de desempenho apresentados na Figura 4.2 para o domínio global. Optou-se por apresentar o desempenho dos modelos por prazo de previsão, e portanto, cada gráfico apresenta a nuvem de desempenho, sendo cada ponto um limiar de precipitação.

À medida em que os limiares de precipitação aumentam, o desempenho do modelo diminui, já que se torna mais difícil que o modelo preveja valores elevados de precipitação que ocorrem em um número menor de pontos de grade (eventos). O modelo SHiELD tende a superestimar os eventos de precipitação abaixo de 15mm, indicado pelo bias acima de 1. Para casos acima de 35mm, o modelo gera subestimativa (bias inferior a 1). O modelo apresenta desempenho perfeito para eventos de precipitação de até 20mm (bias próximo de 1). O MPAS também superestima eventos de precipitação leve, porém, de até 5mm. Para os casos de precipitação acima de 10mm, ocorre subestimativa da precipitação global. Para as previsões de 36h, houve o aumento da superestimativa dos eventos de precipitação até 15mm e aumento da subestimativa dos eventos de precipitação acima de 20mm por parte do SHiELD, enquanto que o MPAS apresentou desempenho semelhante, porém, o aumento da superestimativa ocorre para eventos de até 5mm. Já a subestimativa que ocorre com o MPAS foi reduzida para eventos acima de 10mm, sendo que o bias para eventos de até 10mm é próximo de 1.

Para previsões a partir de 60h, não se observa mudanças importantes no bias do MPAS, enquanto o SHiELD tende a aumentar a superestimativa dos eventos de precipitação até 20mm. Para eventos acima de 35mm, a partir de 96h bias do SHiELD se aproxima de 1.

Até 132h de previsão, observa-se que o MPAS tende a reduzir a subestimativa, movendo-se no diagrama em direção às previsões sem bias, e mantendo, simultaneamente, maior detecção e reduções de falsos alarmes (mudanças em POD e FAR) se comparado ao SHiELD. Por outro lado, a probabilidade de detecção é maior para limiares mais baixos de precipitação. O SHiELD tende a prever mais eventos de precipitação que não ocorrem mas apresenta melhor desempenho em prever os eventos que realmente ocorrem para os limiares maiores de precipitação.

O CSI representa o quão os eventos de chuva previstos correspondem aos eventos de chuva observados. Este índice considera apenas aquelas previsões corretas, sendo

Tabela 4.3 - Comportamento dos índices para as previsões dicotômicas dos modelos MPAS e SHiELD. As setas no sentido para baixo representam desempenho inferior em comparação com o outro modelo comparado, enquanto a seta azul representa o comportamento oposto. As cores vermelho claro e azul claro representam, respectivamente, desempenho inferior e superior. Os símbolos = e \leq e $>$ representam o seu real significado.

$\leq 10mm$								
	MPAS				SHiELD			
h	BIAS	POD	SR	CSI	BIAS	POD	SR	CSI
24	< 1	↓	↑	↑	> 1	↑	↓	↓
48	≈ 1	↑	↑	↑	> 1	↓	↓	↓
72	≈ 1	↑	↑	↑	> 1	↓	↓	↓
98	≈ 1	↑	↑	↑	> 1	↓	↓	↓
120	≈ 1	↑	↑	↑	> 1	↓	↓	↓
144	≈ 1	↑	↑	↑	> 1	↓	↓	↓
240	≈ 1	↓	↑	=	> 1	↑	↓	=

sensível ao número de acertos. Ele também é fortemente dependente da frequência climatológica dos eventos, e gera pontuações mais baixas para eventos mais raros, pois alguns acertos podem ocorrer aleatoriamente.

A análise do CSI indica que, embora o modelo MPAS tenha um menor número de acertos se comparado ao SHiELD (POD maior), ele apresenta maior CSI para todos os limiares de precipitação para até 240h de integração (exceto para de eventos de até 0,5mm). Este resultado indica que os eventos de chuva previstos pelo MPAS têm maior correspondência aos eventos de chuva observados se comparado ao SHiELD. Este resultado pode estar associado ao SHiELD prever eventos de precipitação aleatoriamente, o que estaria associado à superestimativa observada pelo modelo.

As Tabelas 4.3 e 4.4 resumem qualitativamente a análise realizada dos diagramas de desempenho dos modelos MPAS e SHiELD para o domínio global, considerando os limiares de até 10mm e 35mm, respectivamente.

Tabela 4.4 - Idem à Figura 4.3, exceto para o limiar menor ou igual a 35mm.

$\leq 35mm$								
	MPAS				SHiELD			
h	BIAS	POD	SR	CSI	BIAS	POD	SR	CSI
24	< 1	↓	↑	↑	< 1	↑	↓	↓
48	< 1	↓	↑	=	< 1	↑	↓	=
72	< 1	↓	↑	↓	< 1	↑	↓	↑
96	< 1	↓	↑	↓	< 1	↑	↓	↑
120	< 1	↓	↑	=	< 1	↑	↓	=
144	< 1	↓	↑	=	< 1	↑	↓	=
240	< 1	↓	↑	=	≈ 1	↑	↓	=

4.4 Análise dos diagramas de desempenho para regiões da América do Sul

Nesta análise, destaca-se a área B5, que corresponde à grade parte da região amazônica, de importância para o clima global. Diferente da análise global, que considera como referência os dados do GPM, aqui se faz a análise com base nos dados do MERGE/CPTEC (ROZANTE et al., 2020)

Ambos os modelos apresentam superestimativa dos eventos de precipitação até 15mm ao longo do tempo de integração, sendo o MPAS o modelo que apresenta uma maior frequência de eventos de precipitação, que se traduz em maior número de falsos alarmes. Menor número de eventos superestimados foi observado nas simulações de até 15mm para até 136h de previsão. A partir de então, houve redução de superestimativa e as previsões passaram a tender para bias próximo a 1 para todos os prazos de integração mais longos. O modelo SHiELD apresentou comportamento inverso, subestimando todos os eventos de precipitação acima de 2 mm e até 35mm para até 132h, quando passou a tender ao bias de 1 a partir deste prazo. Devido à superestimativa dos eventos previstos de precipitação, o MPAS apresenta POD mais elevado comparado ao SHiELD para eventos até 10mm ao longo de todo o tempo de integração. Para os eventos de precipitação cujos limiares são acima de 20mm, SHiELD apresenta POD mais elevado, acompanhado de maior frequência de SR a partir de 60h de integração. Este modelo também apresentou maior probabilidade de ter eventos previstos de precipitação com limiares superiores a 20mm correspondentes

aos observados (CSI mais elevado), não indicando, portanto, resultado de inflação devido ao POD.

A região 1 também é de sensível importância, tendo em vista que abrange parte da região sul da América do Sul onde é fortemente influenciada por sistemas frontais e pela formação de sistemas convectivos de mesoescala.

Para previsões de 36h, o MPAS apresentou bias próximo de 1 para os eventos com limiares de até 20mm. Para estes casos, o SHiELD apresenta subestimativa. Para até 180h, o MPAS tende a superestimar estes casos, enquanto que ocorre redução da subestimativa pelo SHiELD. POD acompanha o desempenho observado no bias, enquanto SR apresenta maior frequência para o modelo SHiELD. Como o SR indica qual a fração das previsões de precipitação foi realmente observada, fornecendo informações da probabilidade de um evento observado ser realmente previsto, o que ocorre é que devido aos falsos alarmes, o SR acaba sendo reduzido, sendo, portanto, também uma consequência da superestimativa da precipitação de limiares mais baixos. Em termos de CSI, ambos os modelos se comportam de forma semelhante ao longo do tempo de integração, sendo que para alguns prazos, o MPAS apresenta maior CSI, enquanto para outros prazos, o SHiELD apresenta os valores mais elevados do índice.

5 Considerações Finais

O modelo GEF foi avaliado somente no quesido Adequação. Concluiu-se que este é um modelo hidrostático e portanto, inapto para as aplicações a que se destina o MONAN, sendo inviabilizada sua avaliação nos demais quesitos.

Os modelos avaliados nos demais aspectos compõem o estado-da-arte em modelagem dos processos físicos e dinâmicos da atmosfera. Por meio da análise de diversas métricas relacionadas às características de funcionalidade de software, foi possível identificar que ambos os modelos são amplamente utilizados pela comunidade americana de meteorologia para diversas aplicações. Os modelos são aptos a serem acoplados a outros componentes do sistema terrestre e possuem funcionalidades que permite que sejam executados fazendo uso de um sistema de assimilação de dados atmosféricos. O SHiELD leva vantagem por ser um modelo cujo núcleo dinâmico é utilizado em modo operacional nos Estados Unidos, e diversas funcionalidades já são preparadas para o ambiente operacional. Por outro lado, a interação com a equipe de desenvolvimento do MPAS é um ponto positivo e importante a se levar em consideração,

uma vez que facilita o intercâmbio do conhecimento e resolução de problemas.

Em relação à avaliação de acurácia dos modelos, destaca-se o que segue.

Em relação à distância de MH, o MPAS mostrou ter um MH ligeiramente maior que o FV3, tanto no campo Global quanto no regional sobre a América do Sul. Por outro lado, o MPAS mostrou um maior distanciamento sobre as regiões de topografia elevada (Andes e Platô do Tibete) e sobre a Antártida, Groelândia e Oceano Ártico. Porém, o MPAS mostrou ter um MH menor que o FV3 sobre a América do Sul, em especial sobre a Bacia Amazônica, tanto no verão quanto no inverno, sendo que este menor distanciamento foi dominante sobre todo o continente sul americano.

Em relação aos índices estatísticos das previsões de precipitação, identificou-se que o MPAS apresentou melhor desempenho, de modo geral, para limiares de precipitação de até 10mm, enquanto que o SHiELD é ligeiramente superior em termos de frequência de ocorrência do total de previsões de precipitação para limiares de precipitação de até 35mm (inclusive falsos alarmes). Entretanto, uma característica fundamental é a tendência do SHiELD de superestimar os eventos de chuva, e conseqüentemente inflar os valores de probabilidade de detecção, o que pode induzir a uma interpretação equivocada de seu desempenho. Uma vez que o SHiELD apresentou desempenho inferior ao MPAS no índice de razão de sucesso, que é interpretado como a razão entre as previsões corretas em relação ao número total de eventos previstos (inclusive os falsos alarmes), pode-se interpretar que, ainda que gere subestimativa da frequência de eventos totais, o MPAS é capaz de prever com maior confiabilidade os eventos de precipitação que realmente ocorrem, para todos os limiares de precipitação.

Ressalta-se que ainda é necessário realizar análises de outras variáveis meteorológicas e estudos de casos, os quais serão incluídos em um novo relatório a ser entregue no segundo semestre de 2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIGUEROA, S. N.; BONATTI, J. P.; KUBOTA, P. Y.; GRELL, G. A.; MORRISON, H.; BARROS, S. R. M.; FERNANDEZ, J. P. R.; RAMIREZ, E.; SIQUEIRA, L.; LUZIA, G.; SILVA, J.; SILVA, J. R.; PENDHARKAR, J.; CAPISTRANO, V. B.; ALVIM, D. S.; ENORÉ, D. P.; DINIZ, F. L. R.; SATYAMURTI, P.; CAVALCANTI, I. F. A.; NOBRE, P.; BARBOSA, H. M. J.; MENDES, C. L.; PANETTA, J. The brazilian global atmospheric model (bam): Performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

and horizontal resolution. **Weather and Forecasting**, American Meteorological Society, Boston MA, USA, v. 31, n. 5, 2016. iii, 15, 27, 28

HARRIS, C. New frontiers in operational oceanography. In: _____.
doi:10.17125/gov2018.ch16. [S.l.]: GODAE OceanView, 2018. cap. Coupled
atmosphere-ocean modelling. Disponível em:
https://www.godae.org/godae-data/School/Chapter16_Harris_et_al.pdf. 4

PIELKE, R. **Mesoscale meteorological modeling**. [S.l.]: Academic Press, 1984. 4

ROEBBER, P. Visualizing multiple measures of forecast quality. **Wea. Forecasting**, v. 24, p. 601–608, 2009. 18

ROZANTE, J. R.; GUTIERREZ, E. R.; FERNANDES, A. de A.; VILA, D. A. Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations. **International Journal of Remote Sensing**, Taylor & Francis, v. 41, n. 19, p. 7585–7604, 2020. 21

STEPPELER, J.; HESS, R.; SCHÄTTLER, U. e. a. Review of numerical methods for nonhydrostatic weather prediction models. **Meteorol Atmos Phys**, v. 82, p. 287–301, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00703-001-0593-8>. 4

STEVENS, B.; SATOH, M.; AUGER, L. e. a. Dyamond: the dynamics of the atmospheric general circulation modeled on non-hydrostatic domains. **Prog Earth Planet Sci**, v. 6,, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0304-z>. 4

TAYLOR, K. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. **J. Geophys. Res.**, v. 106 (D7), p. 7183–7192, 2001. 18

WGNE. 2022. Disponível em: http://wgne.meteoinfo.ru/wp-content/uploads/2021/11/wgne_table_2021_v4.xls. Acesso em : 08/06/2022. 4

WIKIPEDIA. 2022.
https://pt.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_9126. Acesso em 07/06/2022. 2

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). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

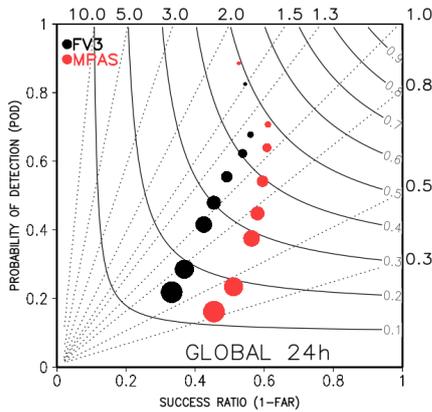
Programas de Computador (PDC)

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.

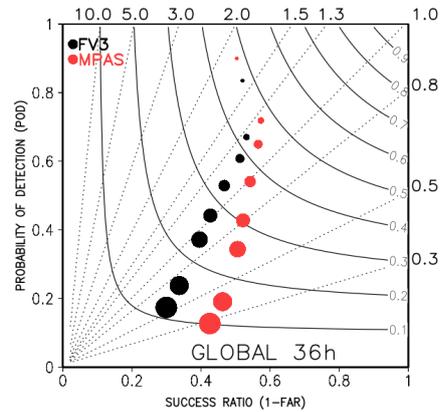
Pré-publicações (PRE)

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

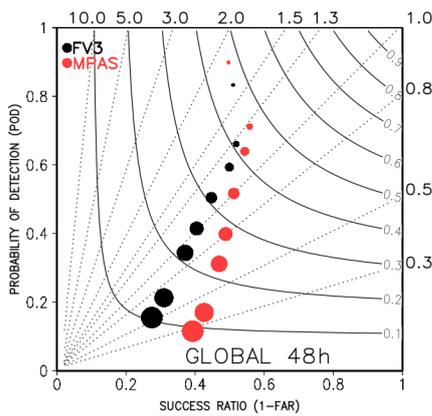
Figura 4.2 - Diagrama de desempenho para as previsões de precipitação de a) 24h b) 36h, c) 48h, d) 60h, e) 120h (132h) e f) 240h. As esferas representam os diferentes limiares de precipitação: 0,5mm, 2mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 35mm, sendo a cor vermelha representativa do modelo MPAS e preto, do modelo SHIELD.



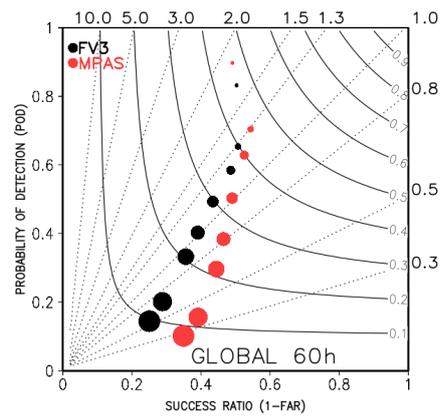
(a)



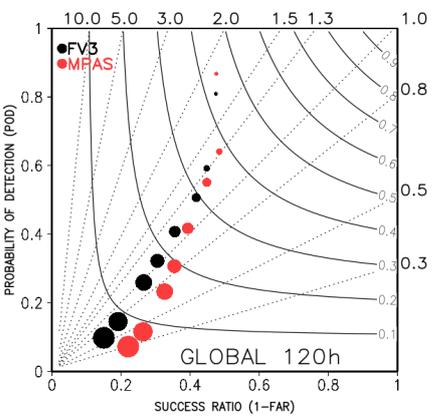
(b)



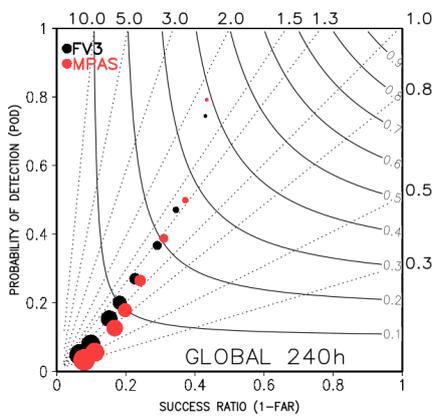
(c)



(d)

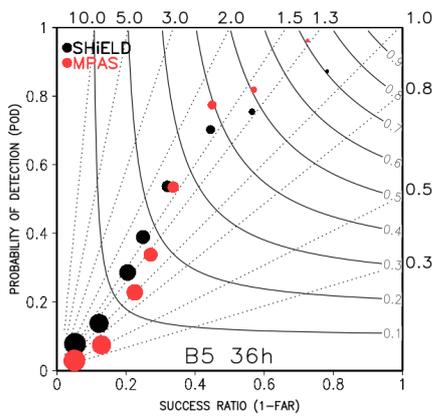


(e)

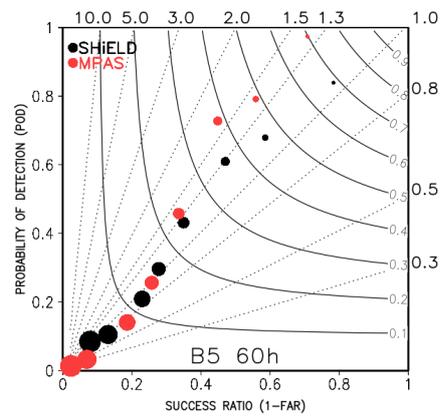


(f)

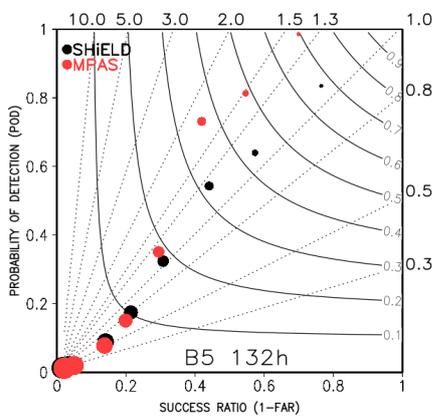
Figura 4.3 - Idem à Figura 4.2, exceto para a área B5 de Figueroa et al. (2016).



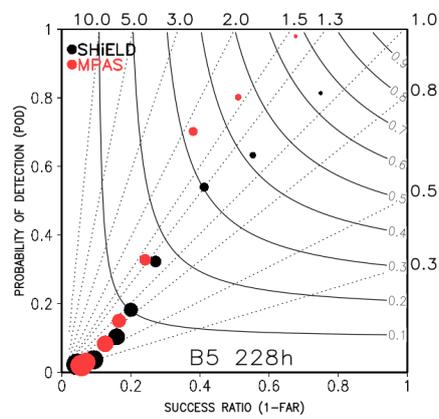
(a)



(b)

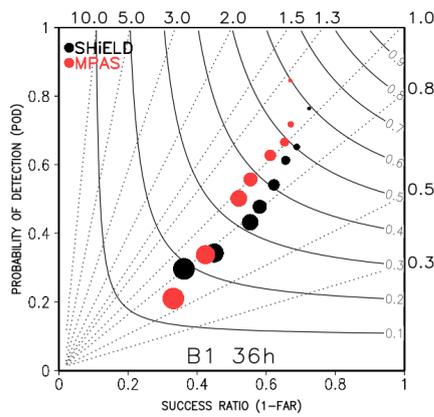


(c)

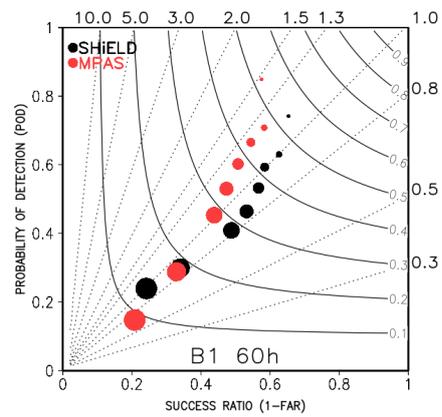


(d)

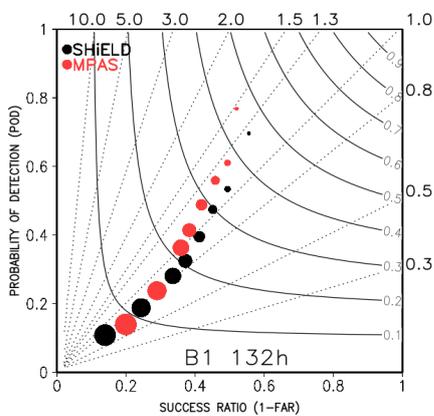
Figura 4.4 - Idem à Figura 4.2, exceto para a área B1 de Figuroa et al. (2016).



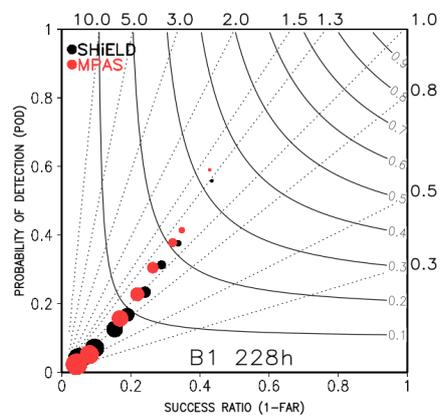
(a)



(b)



(c)



(d)