



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

sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/01.12.18.49-RPQ

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO MODELO BRAMS 8KM

Marcelo Barbio Rosa
Ariane Frassoni
José Roberto Rozante
Marley Moscati

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/48C5AHS>>

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
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/01.12.18.49-RPQ

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO MODELO BRAMS 8KM

Marcelo Barbio Rosa
Ariane Frassoni
José Roberto Rozante
Marley Moscati

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/48C5AHS>>

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.

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO MODELO BRAMS 8Km

Marcelo Barbio Rosa, Ariane Frassoni, José Roberto Rozante, Marley Moscati

Grupo de Avaliação de Modelos da DIMNT

1) Informações Gerais:

Modelo: *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* (BRAMS) – Versão 6.0 8 Km Meteorológico.

Líder do Grupo do BRAMS: Luiz F. Rodrigues

Data do Relatório: 26/08/2022

Período avaliado: 11 a 17 de janeiro de 2021

1.1) Características e Especificações:

A tabela abaixo detalha as características técnicas do modelo BRAMS 6.0 8 Km e atualmente em uso no CPTEC.

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÕES	OBSERVAÇÕES
1 Computador/ <i>cluster</i> (XE, XC, etc.)	Cray-XC50	
2 Versão no SVN	5.6.1	
3 Resolução Horizontal	Nominal: 8 km	
4 Coordenada Vertical	Sigma-z (<i>terrain-following</i>)	
5 Domínio	50S – 20N; 90W-30W	
6 Passo de Tempo (s)	Modos lentos com 45 s, ondas acústicas com 11.25 s	
7 Número de Pontos de Grade	nlonX, nlatX, nvert (1017 x 993 x 45)	
8 Tipo de Grade	Horizontal: Arakawa-C; Vertical: Lorenz	
9 Fonte das Condições Iniciais	GFS para estado termodinâmico e dinâmico	
10 Fonte das Condições de Contorno	GFS	
11 Topo do Modelo	20 km	
12 Prazo da Previsão	168h	
13 Projeção do Mapa	Polar-estereográfica	

14 Compilador	Cray	
15 Versão Pré-Processamento	1.1	Parte integrante do mesmo código do modelo – no mesmo repositório
16 Versão Pós-Processamento	Nativo. Não existe <i>software</i> para pós processar	
17 Formato dos Outputs	grads	
18 Variáveis de Output	'precip', 'accon', 'sea_press', 'sfc_press', 'press', 'ue_avg', 've_avg', 'u10mj', 'v10mj', 'td2mj', 't2mj', 't2mj_min', 't2mj_max', 'tempc', 'geo', 'smoist', 'sst', 'rh', 'rv', 'u', 'v'	
19 Frequência dos Outputs	3 h	
20 Espaço total para Rodada	120 GB	Dados de entrada + dados fixos. Não há necessidade de armazenar
21 Espaço total Pós-Processado	94 GB	Somente as saídas geradas pela rodada
22 Dinâmica	Integração temporal baseado em Runge-Kutta de 3ª ordem. Operador de advecção de 5ª ordem na horizontal e 3ª ordem na vertical para U, V, W, PI, THETA.	Rodrigues et al. 2019.
	Advecção com preservação de monotonicidade para escalares	Freitas et al., 2012.
	Núcleo não-hidrostático, Quasi-Boussinesq compressível.	Freitas et al., 2017.

A tabela abaixo descreve as parametrizações físicas em uso no modelo BRAMS. As referências de cada uma das parametrizações podem ser obtidas na coluna direita. Ao todo, o BRAMS usa onze parametrizações.

ESQUEMAS DA FÍSICA		
1 Radiação Atmosférica	RRTMG_SW para radiação de onda curta 3.8; RRTMG_LW para radiação de onda longa 4.85;	Oreopoulos et al., 2012; Morcrette et al., 2018; Tie et al., 2003.
2 Superfície Continental	Modelo de solo/vegetação JULES (<i>Joint UK Land Environment Simulator</i>), fornecendo fluxos superficiais de momentum, calor latente e sensível e radiativo, bem como CO2 e outros gases traços.	Moreira et al., 2013; Moreira et al., 2017; Best et al., 2011; Clark et al., 2011.
3 Fluxos superficiais ar-mar		
4 Tipo de Topografia de Subgrade	<i>Average Orography</i>	
5 Microfísica de Nuvens	<i>Hybrid single- and double-moment for</i>	Thompson & Eidhammer,

	<i>water vapor, cloud droplets, rain, cloud ice (pristine), snow, and graupel.</i>	2014.
5 Parameterização de Convecção	Grell-Freitas: <i>mass flux, scale-aware, trimodal formulation (deep, congestus and shallow plumes).</i>	Freitas et al., 2018.
6 Camada limite Planetária	Prognostico de TKE com fechamento de ordem 2.5.	Mellor & Yamada, 1982.
7 Gravity Wave Drag	N/A	
8 Química	<i>Regional Lumped Atmospheric Chemical Scheme (RELACS)</i> , com 37 espécies e 128 reações químicas. Com integrador numérico de 3ª ordem de Rosenbrock. Passo de tempo 320 s com dinamicamente adaptado.	Crassier et al., 2000; Gácita, 2011; Longo et al., 2013.
9 Aerossóis	Monodisperso, com propriedades ópticas efetivas derivadas de climatologia dos dados da AERONET.	Longo et al., 2013; Rosário et al., 2013.
10 Emissões	Queimadas: 3BEM com levantamento de plumas. Urbanas: EDGAR-HTAP + Inventário para América do Sul Emissões processadas pelo PREP-CHEM-SRC	Crippa et al., 2018; Freitas et al., 2011; Alonso et al., 2010; Longo et al., 2010; Freitas et al., 2010; Freitas et al., 2007; Freitas et al., 2006.
11 Nudging	<i>Nudging</i> lateral (20 pontos) e no topo do modelo (acima de 15km) – Escalas temporais 1 e 2 horas, respectivamente.	

2) Descrição das Integrações Numéricas Realizadas

O período de avaliação compreende os dias 11 a 17 de janeiro de 2021, conforme Protocolo de avaliação dos modelos regionais do CPTEC - Versão 1.0 (abril/2021).

O modelo foi executado a partir do dia 04/01/2021 até o dia 16/01/2022 a partir das 00:00 UTC. O horizonte de previsão adotado foi de 7 dias de integração, com saídas a cada 3 horas.

3) Avaliações estatísticas

As avaliações estatísticas foram calculadas tomando como base o domínio espacial definido no Protocolo, que é o domínio da América do Sul.

A variável avaliada a precipitação acumulada em 24h a partir das 12:00 UTC do dia anterior até às 12:00 UTC do dia corrente. A avaliação da precipitação foi aquela gerada 36h, 60h, 84h, 108h, 132h e 156h pelo modelo para um mesmo dia.

3.1) Métricas estatísticas adotadas

As métricas estatísticas adotadas foram aquelas definidas no Protocolo e consistiram de um conjunto de métricas contínuas e categóricas, a saber.

Métricas categóricas: *“Equitable Threat Score”* (ETS) e *“frequency bias”* (chama-se a partir de agora por bias), além do *“Probability of Detection”* (POD, interpretada como a razão dos eventos que são corretamente previstos), *“False Alarm Ratio”* (FAR, que é a razão do número de alarmes falsos em relação ao número total de eventos previstos) ou o seu oposto, a razão de sucesso (SR, ou 1-FAR, que é a razão dos *“hits”* ou previsões *“yes”* corretas em relação ao número total de eventos previstos) e *“Critical Success Index”* (CSI; também conhecido como *“threat score”*, que é a razão de previsões corretamente previstas - os *“hits”*, em relação ao número total de previsões que foram realizadas - *“hits+false alarm”* e aquelas não previstas - *“misses”*) Schaefer (1990). Estes dois últimos foram obtidos a partir da plotagem do diagrama de performance (Roebbr, 2009), que resume as medidas SR, POD, bias e CSI.

Métricas contínuas: viés (diferença entre previsão e observação) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). Figuras da previsão e observação colocadas ao lado a lado também foram geradas.

4) Análise dos Resultados e Discussão

A seguir são apresentados e discutidos os resultados tomando como base o tipo de avaliação estatística.

4.1) Avaliação contínua - viés

O modelo é consistente ao longo do tempo de integração. Não se percebe a diminuição constante da precipitação. Na região central do Brasil, o modelo, que nas primeiras 60 horas de integração subestimava a chuva, passa a superestimar na região. Na média sobre a área, o viés negativo diminui de -0,80 mm em 24h de previsão para -0,34 mm em 168h de previsão.

Nas Figuras 1a-h é observada a distribuição espacial do viés da precipitação conforme previsões de 24 até 168h do modelo BRAMS em relação aos dados interpolados de precipitação do IMERG. No geral, o

viés tende a ser negativo sobre todo o domínio da América do Sul (AS). A subestimativa é maior na primeira hora de previsão e tende a diminuir à medida que o tempo de integração aumenta. Entretanto, verifica-se a partir de 48h, uma mudança de sinal no viés, passando o modelo a superestimar a precipitação em boa parte da região central da América do Sul e em especial na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

No período estudado (entre 11 e 17/01/2021) havia um sistema frontal sobre a Argentina (dia 11) que avançou até a Região Sul do país, perdendo força já no dia 12. Este sistema foi seguido (dia 16) por um processo de ciclogênese sobre a Argentina e Uruguai, mas que novamente não avançou sobre o Brasil. No que concerne à previsão de chuva do BRAMS, vê-se que o modelo apresenta a tendência de subestimativa do volume de chuva observado nos eventos acima descritos, gerando um forte viés negativo nas latitudes acima de 30°S. Como consequência, houve um ligeiro aumento do volume previsto de chuva na Região Sudeste, já que a frente fria e a posterior ciclogênese ocorridas geraram uma inibição da precipitação sobre esta Região.

Outro aspecto importante é a subestimativa da precipitação sobre a região Amazônica nas primeiras horas de previsão. No geral, sobre toda a região de floresta, o modelo subestimou a chuva, mas este padrão tendeu a migrar para superestimativa à medida que a previsão se distanciava das condições iniciais.

Conectado dinamicamente a estes padrões, a Zona de convergência Intertropical (ZCIT) do Oceano Atlântico ficou sistematicamente posicionada mais ao sul do que o observado, gerando um padrão constante de superestimativa de precipitação nas latitudes mais próximas ao Equador. O mesmo é observado na ZCIT sobre o Oceano Pacífico. O viés positivo e também o negativo mostrou uma clara tendência de aumento, em módulo, à medida que o tempo de integração aumentava. Interessante observar que à medida que se aumentava o viés mais ao sul, o modelo deixou de prever a formação de linhas de instabilidade no litoral do AM e MA, o que aparentemente não ocorria nas primeiras 60 horas de integração.

O modelo apresenta erro sistemático na superestimativa de chuva na região andina entre a Bolívia e o Panamá. Este padrão praticamente não sofre alteração ao longo do tempo de integração.

Em resumo, os erros do modelo associados aos eventos baroclínicos sobre a Argentina, Uruguai e sul do Brasil, e também no posicionamento da ZCIT parecem ter sido os principais motores que levaram a uma gradativa degradação da previsão de chuvas no Brasil como um todo nestes dias de previsão. Apesar de não ser possível afirmar as causas destes erros, sugere-se a verificação do posicionamento da ZCIT e sua relação com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Já para os erros na precipitação associada ao sistema frontal e ciclogênese, seria necessário verificar a dinâmica do modelo, já que os processos convectivos funcionam apenas como intensificadores do sistema, mas não como causadores, como prevê a teoria baroclínica. Assim posto, certamente estes erros geraram modificações importantes no padrão de circulação em médios e altos níveis sobre o Brasil e que levaram a um aumento do erro da previsão.

Vale salientar que na média do viés na área de estudo, o que se observa é a diminuição do viés negativo ao longo do tempo de integração. Entretanto, este resultado está relacionado à compensação do viés negativo e positivo sobre o domínio.

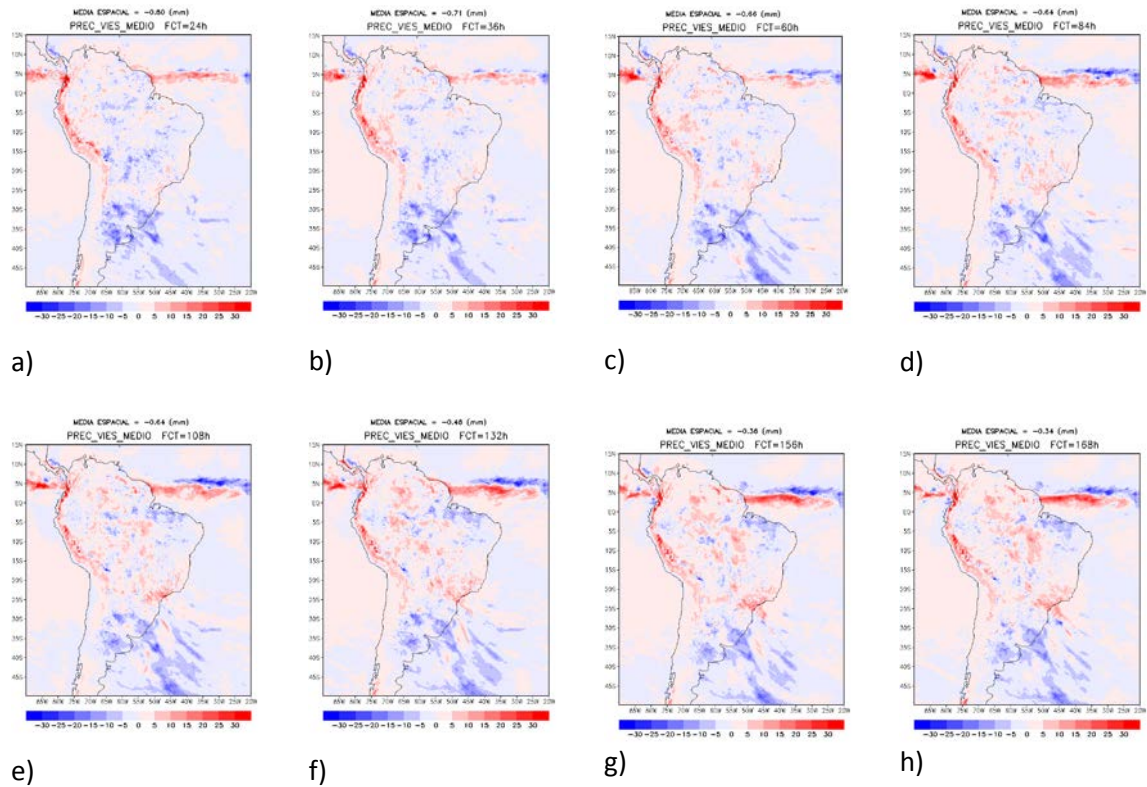
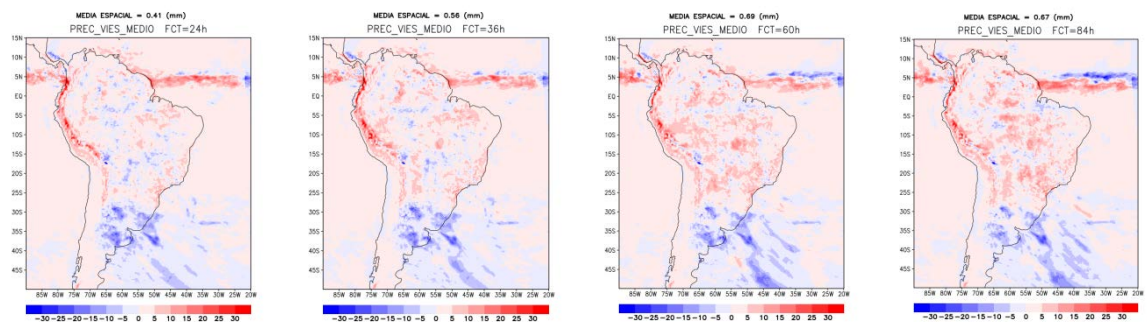


Figura 1: Viés médio do modelo BRAMS para os prazos de previsão: a) 24h, b) 36h, c) 60h, d) 84h, e) 108h, f) 132h, g) 156h e h) 168h.

O esquema de microfísica do GFDL reduziu a subestimativa de precipitação generalizada sobre o continente nas primeiras 36 horas de previsão, e especialmente observada ao sul de 30°S nas primeiras 24h de previsão. Entretanto, o modelo passou a superestimar a precipitação no Brasil central e em especial na região da ZCAS. Também se observou o aumento da superestimativa ao sul da ZCIT. Na região da ZCIT sobre o Oceano Pacífico, verificou-se a diminuição da superestimativa do modelo (Figura 2).



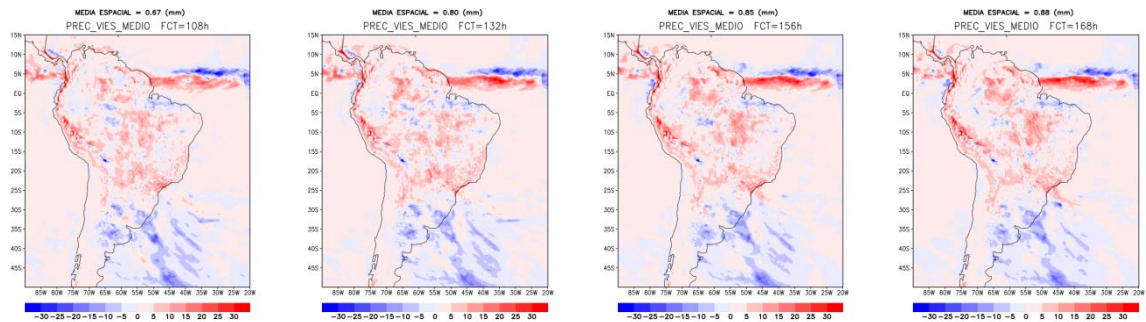


Figura 2: Idem que a Figura 1, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

4.2) Avaliação contínua - campos espaciais de precipitação

Nas Figuras 3 a 16 são mostrados os campos de previsão de precipitação de 36h, 60h, 84h, 108h, 132h e 156h do modelo BRAMS e o mesmo campo interpolado do IMERG. As análises das previsões feitas pelo BRAMS, com ambas as parametrizações físicas, serão dispostas em forma de tabela e por tipo de sistema sinótico/região da América do Sul.

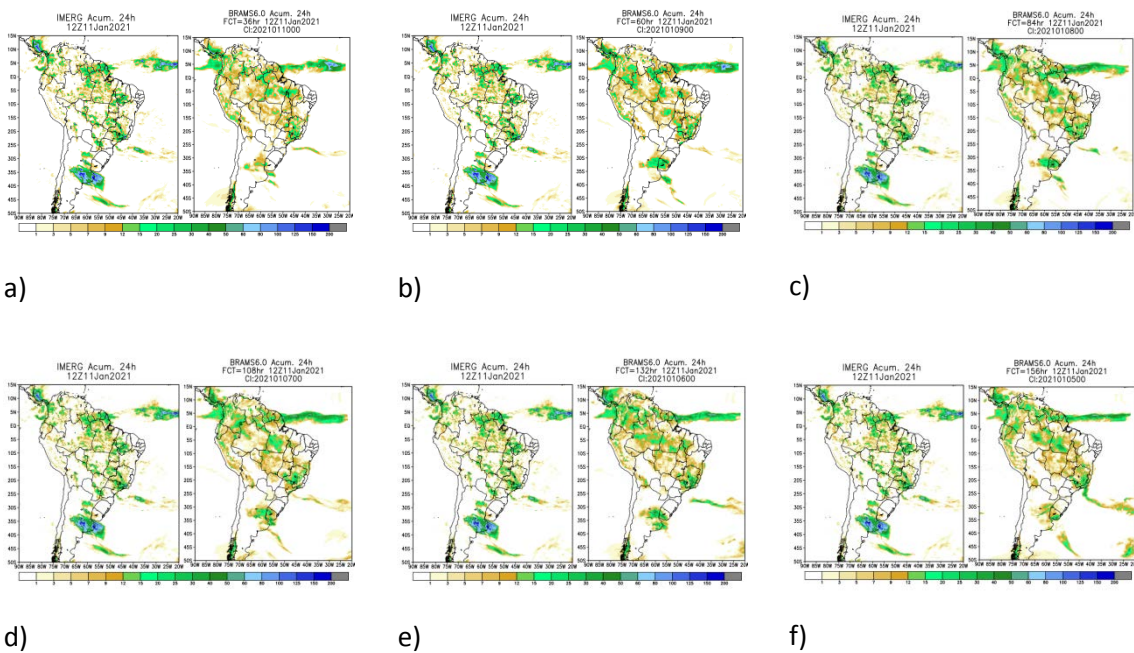


Figura 3: Precipitação acumulada em 24h para o dia 11/01/2022. Em cada quadro, as Figuras da esquerda representam o MERGE e as figuras da direita representam as previsões do modelo BRAMS para os prazos de previsão de a) 36h, b) 60h, c) 84h, d) 108h, e) 132h e f) 156h.

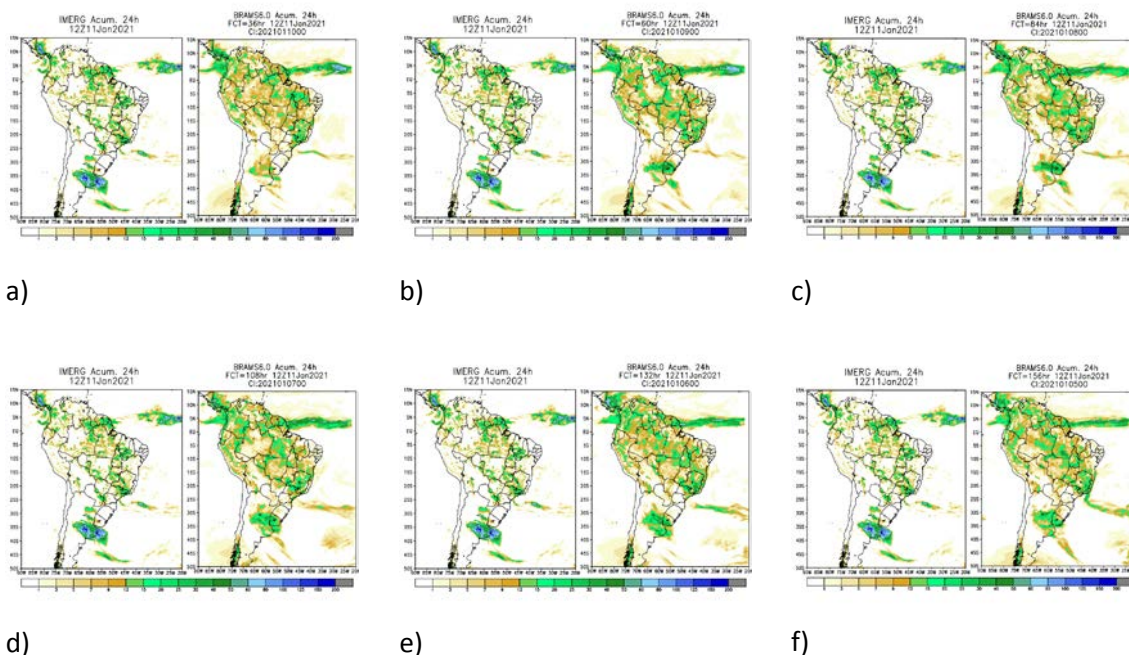


Figura 4: Idem que a Figura 3, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 1: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 11/01/2021.

Análise das Figuras 3 e 4 (Dia 11/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	L e N da Argentina. Grande volume de chuva.	Acerto do posicionamento. Subestimava de chuva no geral, com tendência de redução do viés em 60h.	Subestimava da precipitação, porém com viés menor que a simulação anterior.
Convecção no Brasil Central e no entorno	Convecção de meso-escala pelo aquecimento diurno, com maiores volumes de chuva em MG, S do PI e do MA.	Posicionamento correto em MG, S do PI e do MA em algumas horas de integração.	Ampliação das áreas com precipitação fraca principalmente sobre a bacia Amazônica. Representou bem a precipitação sobre MG, PI e MA.
ZCIT	Ativa somente no Atlântico central. Pouca chuva no Pacífico.	Faixa contínua de precipitação. Com o núcleo central pouco ou não representado. Grandes acumulados de chuva no Pacífico. Viés positivo no geral.	Faixa contínua de precipitação. Com o núcleo central pouco ou não representado. Grandes acumulados de chuva no Pacífico. Viés positivo no geral.
Andes	Nenhuma chuva observada. Exceto na Colômbia.	Chuvas isoladas ao norte do Bolívia. Principalmente sobre o Peru.	Chuvas isoladas ao norte da Bolívia. Principalmente sobre o Peru.

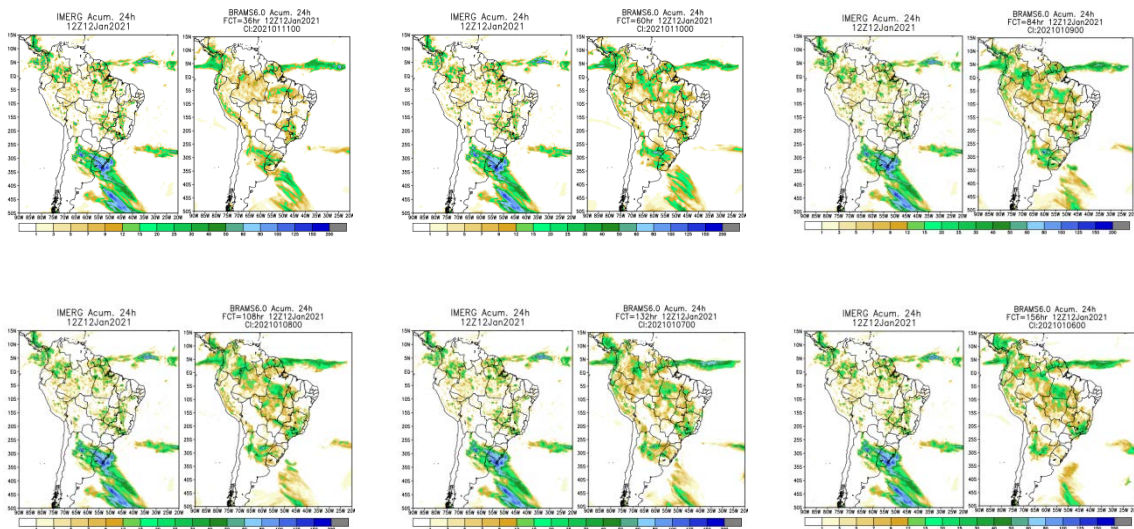


Figura 5: Idem que a Figura 3 só que para o dia 12/01/2021.

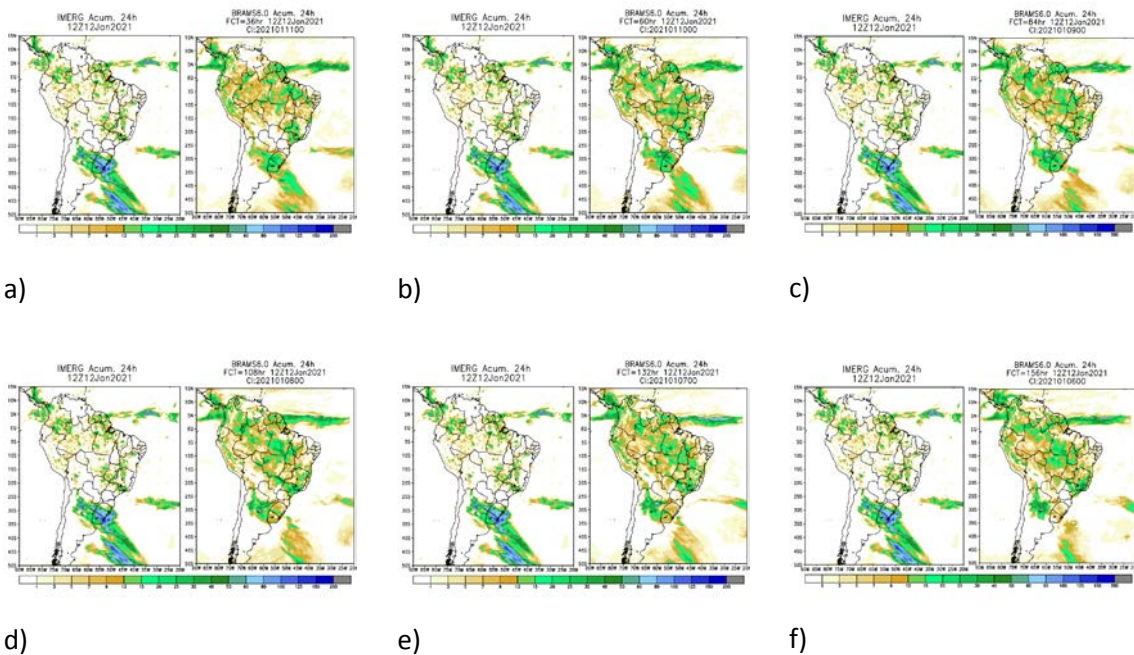


Figura 6: Idem que a Figura 5, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 2: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 12/01/2021.

Análise das Figuras 5 e 6 (Dia 12/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	Sobre do S do Brasil. Expressivo volume de chuva sobre o L da Argentina e S do RS.	Subestimativa no volume de chuva observado no SF, apesar de ter sinalizado algum volume de precipitação.	Reduziu o viés da precipitação, mas ainda não foi capaz de atingir o volume observado. A previsão piorou a partir das 108h em relação aos campos anteriores.
Convecção	Convecção principalmente	Superestimativa do volume de	Superestimativa da chuva fraca

no Brasil Central e no entorno	no S de MG e do PI e em RR. No restante, chuvas isoladas e fracas. Convecção, em parte, inibida pela subsidência gerada pelo SF ao Sul.	chuva sobre a Amazônia e sobre a Região Sudeste. Talvez, a fraca convecção no SF tenha favorecido as chuvas nesta região.	sobre toda a região. Com o enfraquecimento da chuva associada ao SF, houve uma clara tendência em aumentar a chuva sobre a região nos tempos de integração mais distantes.
ZCIT	Ativa somente no Atlântico central. Pouca chuva no Pacífico.	Faixa contínua de precipitação. Com o núcleo central pouco ou não representado. Superestimativa do volume de chuva no Pacífico. Viés positivo no geral.	A precipitação prevista se manteve com um caráter de faixa contínua. Superestimativa das chuvas no Pacífico. Viés positivo no geral.
Andes	Pouca ou nenhuma chuva observada. Núcleos fracos no Peru e Bolívia e mais fortes na Colômbia.	Chuvas isoladas ao norte do Bolívia. Principalmente sobre o Peru, Equador e Colômbia.	Chuvas isoladas ao norte da Bolívia. Principalmente sobre o Peru, Equador e Colômbia.

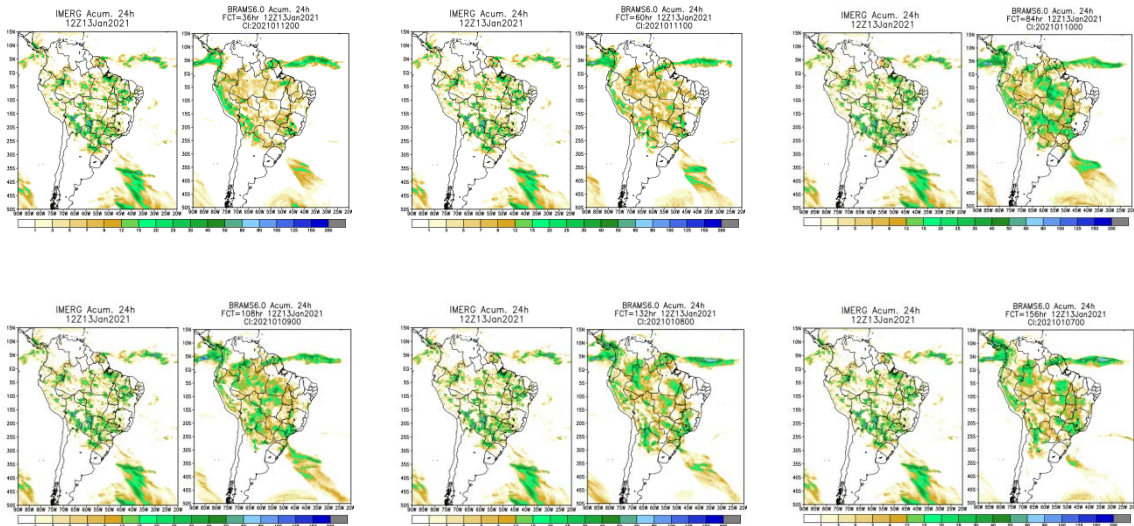
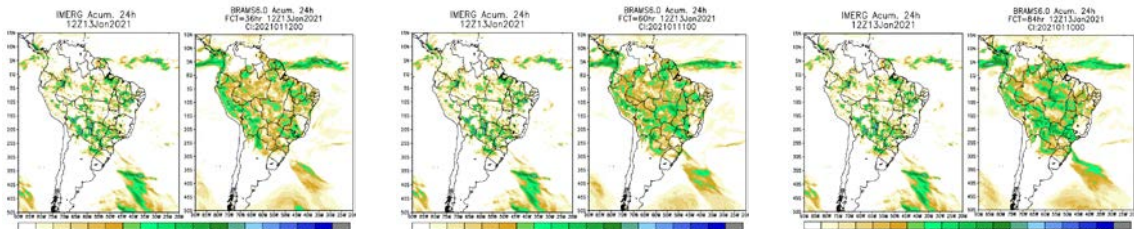


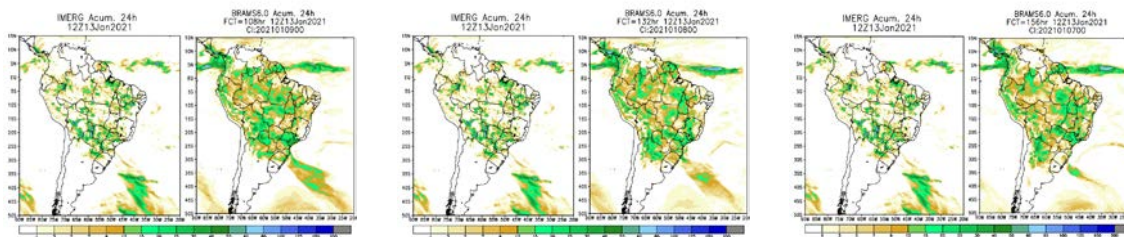
Figura 7: Idem que a Figura 3 só que para o dia 13/01/2022.



a)

b)

c)



d)

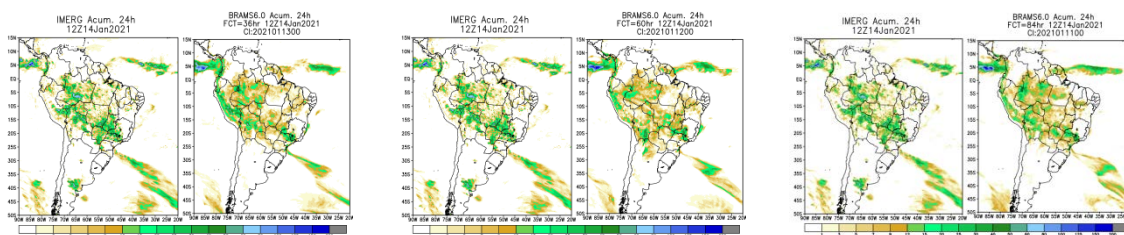
e)

f)

Figura 8: Idem que a Figura 7, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 3: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 13/01/2021.

Análise das Figuras 7 e 8 (Dia 13/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	O SF avançou pelo litoral do Sudeste, se posicionando, às 12Z, sobre o Estado de SP. O SF disparou a convecção sobre a Bolívia, Paraguai, MS, PR e SP.	Subestimou a chuva convectiva sobre boa parte da área sob a influência do SF. Exceto para a previsão acima de 84h, principalmente sobre SP.	Chuvas generalizadas sobre SP e MS. A chuva aumentou sobre o PR e Paraguai a partir de 108h. Chuvas subestimadas sobre o Oceano.
Convecção no Brasil Central e no entorno	Precipitação expressiva em grande parte do centro-sul do Brasil, seguramente estimulada pelo SF. Chuvas expressivas em parte do PI e MA e em algumas regiões da bacia Amazônica.	Inicialmente com chuva subestimada, tendência revertida a partir das 84h, quando surgiram núcleos fracos a moderados principalmente sobre a Bacia Amazônica.	Chuvas generalizadas sobre a Bacia Amazônica. Tendência de aumento das chuvas fracas a partir das 60h.
ZCIT	Ativa somente no Atlântico central, com um núcleo mais disperso. Pouca chuva no Pacífico.	Faixa contínua de precipitação com núcleo embudados. Fortes chuvas no Pacífico.	Faixa contínua de precipitação, mas com núcleo embudado e com viés maior do que previsto na parametrização anterior. Superestimativa das chuvas no Pacífico.
Andes	Pouca ou nenhuma chuva observada. Núcleos fracos no Peru e Bolívia. Mais fortes na Colômbia.	Convecção anormalmente forte sobre o Peru, Bolívia e Equador. Ausência de chuva sobre a Colômbia.	Aumento da convecção anômala sobre o Peru e Bolívia.



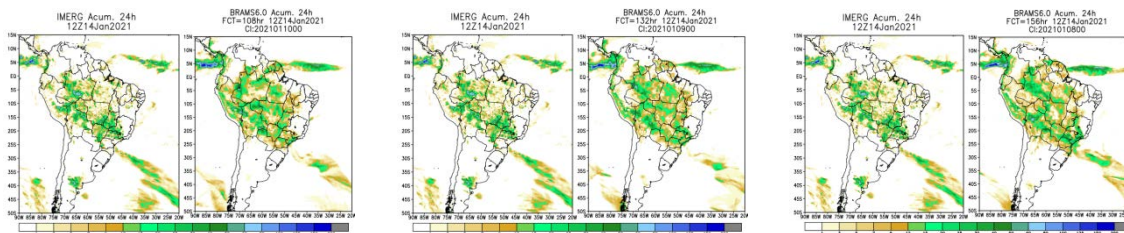


Figura 9: Idem que a Figura 3 só que para o dia 14/01/2022.

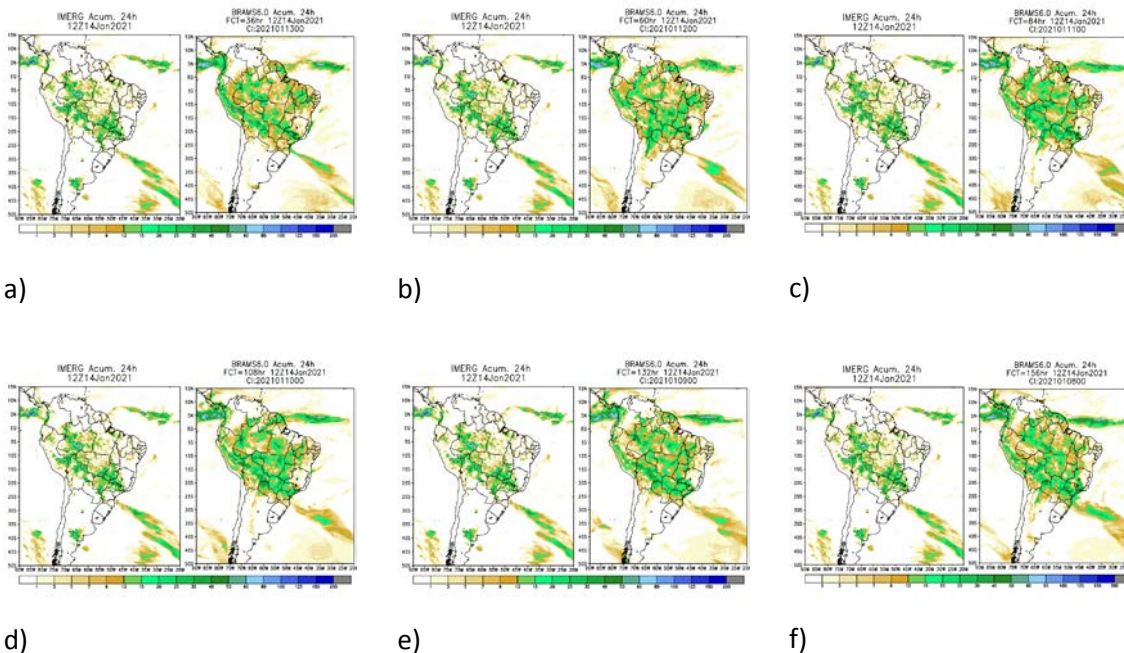


Figura 10: Idem que a Figura 9, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 4: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 14/01/2021.

Análise das Figuras 9 e 10 (Dia 14/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	SF ainda sobre o litoral do Estado de SP, mas já se afastando para o oceano. Novo SF cruzando os Andes e com chuvas na Argentina.	Ativa no oceano e com algumas áreas de chuva no N de SP e no centro-sul de MG. A partir de 108h houve aumento da chuva sobre SP e boa parte do MS e N do PR. Sem chuva acumulada na Argentina.	Precipitação mais ativa sobre o Oceano, mas com áreas de chuva no N de SP e centro-sul de MG.
Convecção no Brasil Central e no entorno	Convecção mais restrita sobre a Região Centro-Oeste e no O da Bacia Amazônica.	O modelo conseguiu reproduzir parte deste padrão. Com o aumento do tempo de integração houve aumento do volume precipitado, em especial na Bacia Amazônica.	Chuva generalizada na Bacia Amazônica, MA e PI.

ZCIT	Núcleo alongado sobre o Atlântico Central e próximo ao litoral da Colômbia.	Núcleo no Atlântico central e no litoral da Colômbia. A partir de 84h, tendeu-se a alongar a precipitação no Atlântico.	Núcleo no Atlântico central e forte no litoral da Colômbia. A partir de 84h, tendeu a alongar a precipitação no Atlântico.
Andes	Chuvas mais expressivas no leste do Peru.	Chuvas amplas e generalizadas no Peru e Bolívia.	Chuvas amplas e generalizadas no Peru e Bolívia.

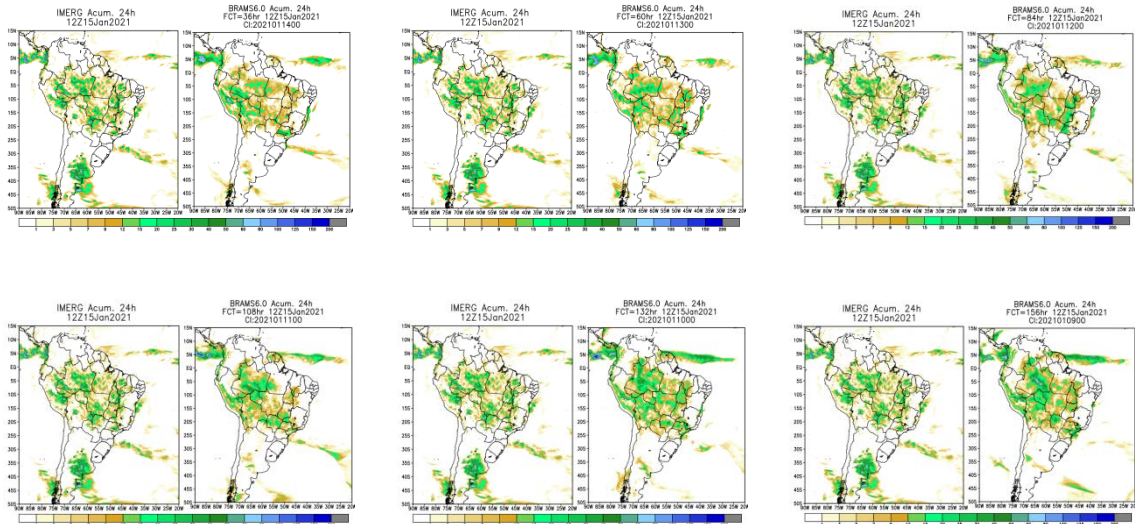


Figura 11: Idem que a Figura 3 só que para o dia 15/01/2022.

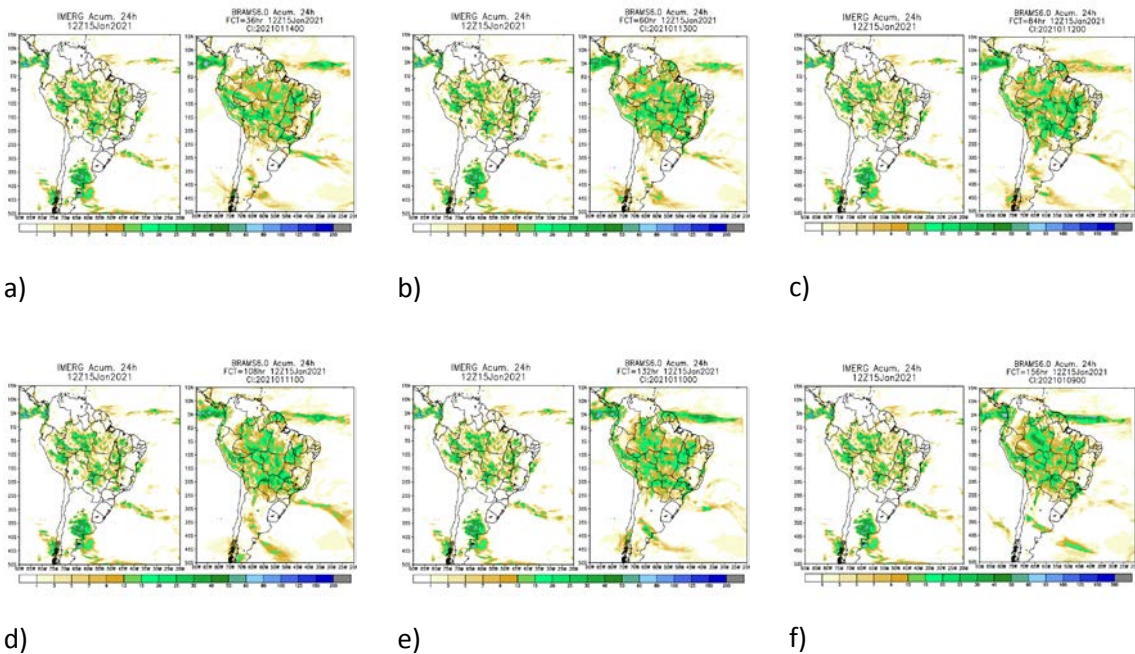


Figura 12: Idem que a Figura 11, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 5: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 15/01/2021.

Análise das Figuras 11 e 12 (Dia 15/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	SF se afastou para o oceano, mas ativando núcleos convectivos em SP. Novo SF provocando chuvas moderadas no L da Argentina.	Atividade restrita ao oceano. Novo SF praticamente sem precipitação no modelo.	Atividade restrita ao oceano. Novo SF com fraca atividade precipitante.
Convecção no Brasil Central e no entorno	Chuvas esparsas em todo o Brasil Central, MA e PI.	Chuvas esparsas e mais concentradas no O da Bacia Amazônica e esparsas no restante da região.	Aumento das chuvas fracas e moderadas em toda região.
ZCIT	Pouca atividade no Atlântico e moderada no Pacífico.	Núcleo no Atlântico central e no litoral da Colômbia. A partir de 84h, tendeu a alongar a precipitação no Atlântico.	Núcleo fraco no Atlântico central e no litoral da Colômbia. A partir de 84h, tendeu a alongar a precipitação no Atlântico.
Andes	Chuvas restritas basicamente ao Peru.	Chuvas restritas basicamente ao Peru e Colômbia.	Chuvas amplas no Peru e Colômbia.

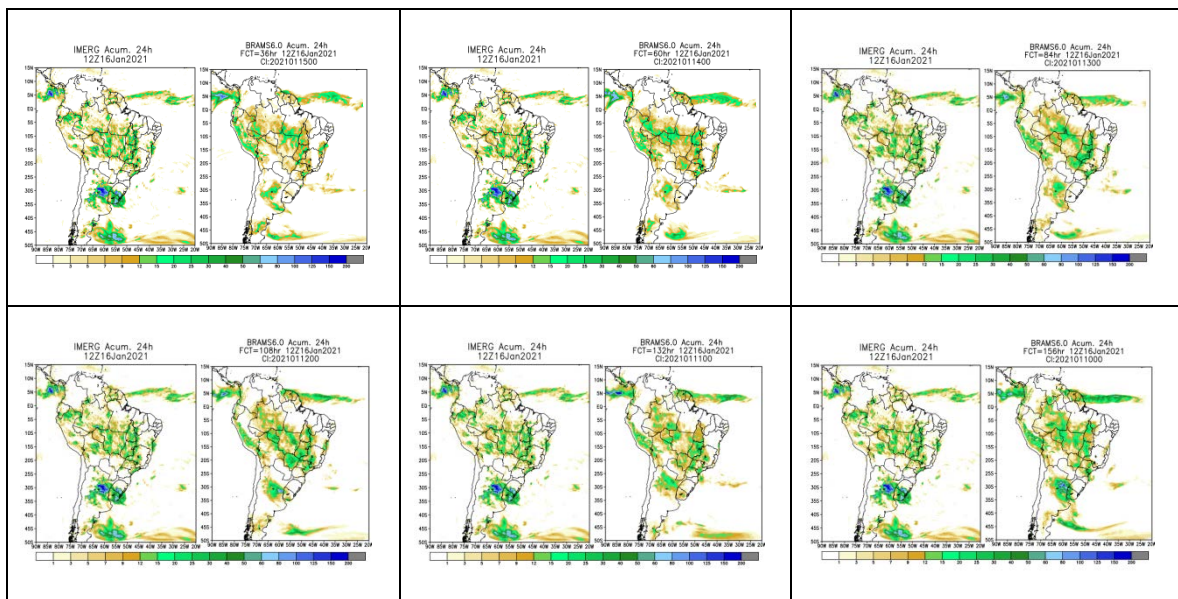
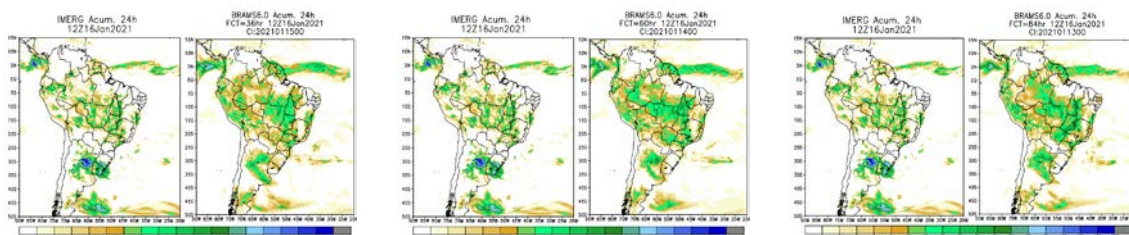


Figura 13: Idem que a Figura 3 só que para o dia 16/01/2021.



a)

b)

c)

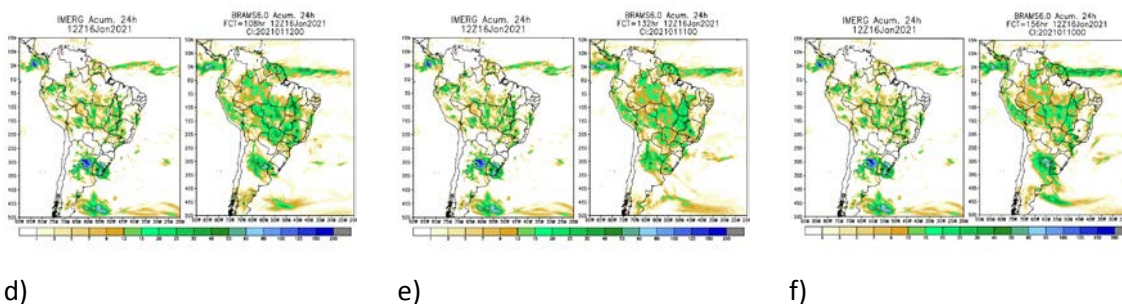


Figura 14: Idem que a Figura 13, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 6: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 16/01/2021.

Análise das Figuras 13 e 14 (Dia 16/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	SF com chuvas fortes no NE da Argentina e Uruguai.	Muito pouca chuva e somente no NE da Argentina. A área de precipitação aumentou com tempo de previsão.	O modelo colou chuvas fracas somente no NE da Argentina e ausente sobre o Uruguai. Mas a área com chuva aumentou em relação à parametrização anterior.
Convecção no Brasil Central e no entorno	Chuvas isoladas sobre MT, GO, setor S da Bacia Amazônica, no Estado de SP e no S e O de MG.	Chuvas fracas cobrindo amplas áreas da Região Centro-Oeste, setor S da Bacia Amazônica, no Estado de SP e no S e O de MG. A área com chuvas aumentou com o tempo de previsão.	Chuvas generalizadas em grande parte do Brasil central e em SP, litoral do PR e S e O de MG.
Litoral do NE	Chuvas no litoral da BA.	Chuva corretamente prevista.	Chuva corretamente prevista, exceto para os dois últimos tempos de integração.
ZCIT	Chuva em uma faixa estreita no Atlântico e com núcleo no litoral do Pacífico	Núcleo no Atlântico central e no litoral da Colômbia. A partir de 84h, tendeu a alongar a precipitação no Atlântico.	Padrão de distribuição das chuvas como previsto pelo modelo anterior, porém com um viés positivo.
Andes	Chuvas isoladas no Peru e na Bolívia.	Chuvas mais generalizadas no Peru e esparsas no norte da Bolívia.	Chuvas mais generalizadas no Peru e no norte da Bolívia.

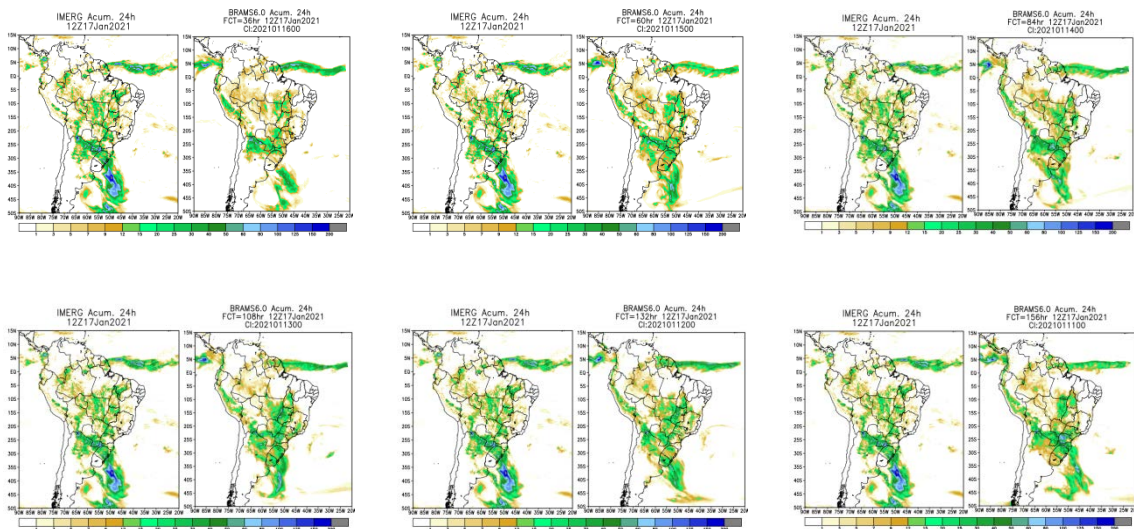


Figura 15: Idem que a Figura 3 só que para o dia 17/01/2022.

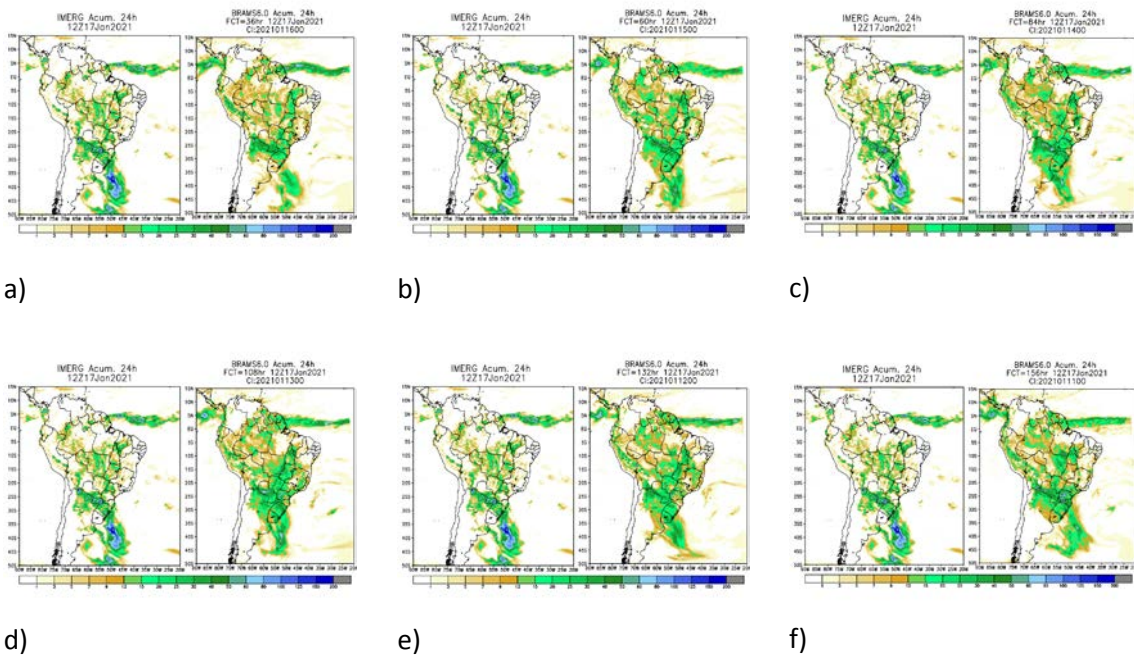


Figura 16: Idem que a Figura 15, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

Tabela 7: Resumo das análises dos resultados referentes ao dia 17/01/2021.

Análise das Figuras 15 e 16 (Dia 17/01/2021)			
	Observado	BRAMS	BRAMS/GFDL
Sistema Frontal (SF)	Sobre o S do Brasil, estando, às 12Z, sobre o RS. O campo de precipitação mostra grandes acumulados sobre este Estado e sobre o N da Argentina e S do Paraguai.	Chuvas fracas e moderadas basicamente no N do RS, em SC, no N da Argentina e no N do Paraguai.	Chuvas fracas e moderadas basicamente no RS e SC, no N da Argentina e S do Paraguai.
Convecção no Brasil Central e no entorno	A convecção tropical esteve bem desenvolvida sobre a Região Centro-Oeste, nos Estados do TO, O da AM e no MA.	Chuvas mais concentradas no L do MT e MS, em GO e no TO.	Chuvas generalizadas em grande parte do Centro-Oeste, da Bacia Amazônica, de GO e do TO. Eventualmente, dependendo do horário da integração, no S do MA.
ZCIT	Com uma faixa contínua sobre o Atlântico e inibida no Pacífico.	Com uma faixa contínua sobre o Atlântico e inibida no Pacífico.	Com uma faixa contínua sobre o Atlântico e com um núcleo bem desenvolvido no Pacífico.
Andes	Chuvas esparsas no Bolívia e sul do Peru.	Chuvas no Peru e oeste da Bolívia.	Chuvas no Peru e O da Bolívia, com aumento da área sob precipitação nos tempos de integração mais avançados.

4.3 Verificação categórica

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 (Roebber, 2009). 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 conseqüentemente no viés 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.

O desempenho dos modelos BRAMS é analisado a partir dos diagramas de performance apresentados na Figura 17. 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 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).

Em termos de *frequency bias*, os diagramas de desempenho indicam, para todos os prazos de previsão, que houve degradação das previsões para limiares abaixo de 10 mm com a adoção da microfísica do GFDL (Figura 18) devido à superestimativa da precipitação em grande parte da região central da América do Sul, se comparado à simulação com a microfísica original. Nesta (Figura 17), percebe-se o posicionamento dos círculos dos referidos limiares em quase 45 graus, indicando que o *frequency bias* é quase ótimo. Por outro lado, para os prazos de previsão de até 120h, observou-se ganho de desempenho das previsões para limiares de 15 mm a 35 mm. Este resultado está associado ao modelo representar melhor a intensidade da precipitação no sul do continente. Não houve mudança importante em termos de *frequency bias* para limiares de 50 mm. Isto porque, embora o modelo tenha melhorado sua acurácia em representar a precipitação associada à passagem de sistemas frontais no sul do continente, a intensidade ainda não foi compatível com a observação.

Analisando o POD da simulação original e da GFDL, verifica-se que a detecção de eventos teve aumento a partir do intervalo de 0,5 mm até 20 mm de precipitação. Com o aumento do *frequency bias*, o POD, por ser muito sensível à frequência climatológica do evento, é influenciado positivamente. Seu resultado está associado ao aumento artificial de um maior número de previsões de limiares mais baixos, o que aumenta o número de acertos. Por outro lado, o SR apresentou redução para os mesmos limiares ao longo de todos os prazos de previsão. 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.

O CSI representa o quão os eventos de chuva previstos correspondem aos eventos de chuva observados. Este índice considera apenas aquelas previsões corretas, sendo 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. O CSI da simulação BRAMS-GFDL apresentou melhora para os limiares de precipitação de 5 mm a 15 mm para até 60h de previsão. Limiares abaixo de 5 mm tiveram aumento de CSI a partir de 96h, o que está associado à crescente superestimativa do modelo ao longo do tempo de integração. Portanto, o modelo passou a simular corretamente os eventos de precipitação desses limiares quando passou a espalhar mais chuva sobre o domínio. A partir de 96h até 168h de previsão, o BRAMS-GFDL previu com maior acurácia os eventos de precipitação observados para limiares de 0,2 mm até 20 mm. Como é uma característica esperada do CSI, eventos raros, como aqueles de limiares acima de 35 mm, tiveram pontuação ligeiramente menor ao longo dos prazos de previsão. Eles compõem menos do que 10% do total de casos se comparado a limiares de 5 mm, que correspondem de 30% a 50% do total de casos ao longo do tempo de integração do modelo.

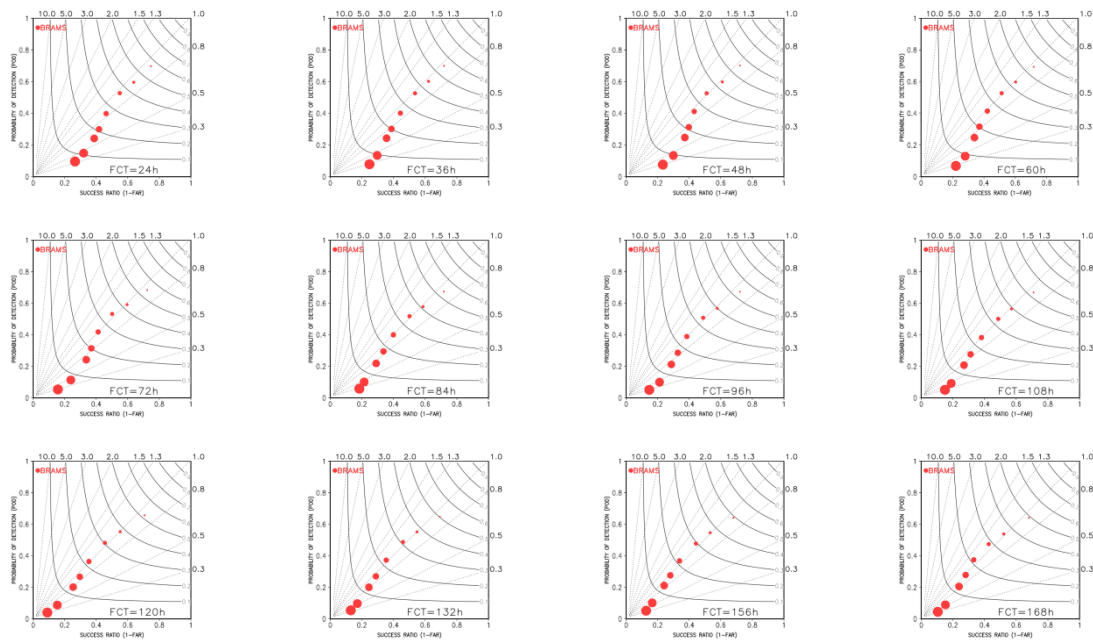


Figura 17: Diagramas de desempenho para os limiares de 0,5 mm, 2 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 35 mm e 50 mm de precipitação (círculos vermelhos, com a escala do menor para o maior círculo associada aos limiares) para os prazos de previsão de a) 24h, b) 36h, c) 48h, d) 60h, e) 72h, f) 84h, g) 96h, h) 108h, i) 120h, j) 132h, k) 156h e l) 168h de simulação do modelo BRAMS com a microfísica de nuvens original.

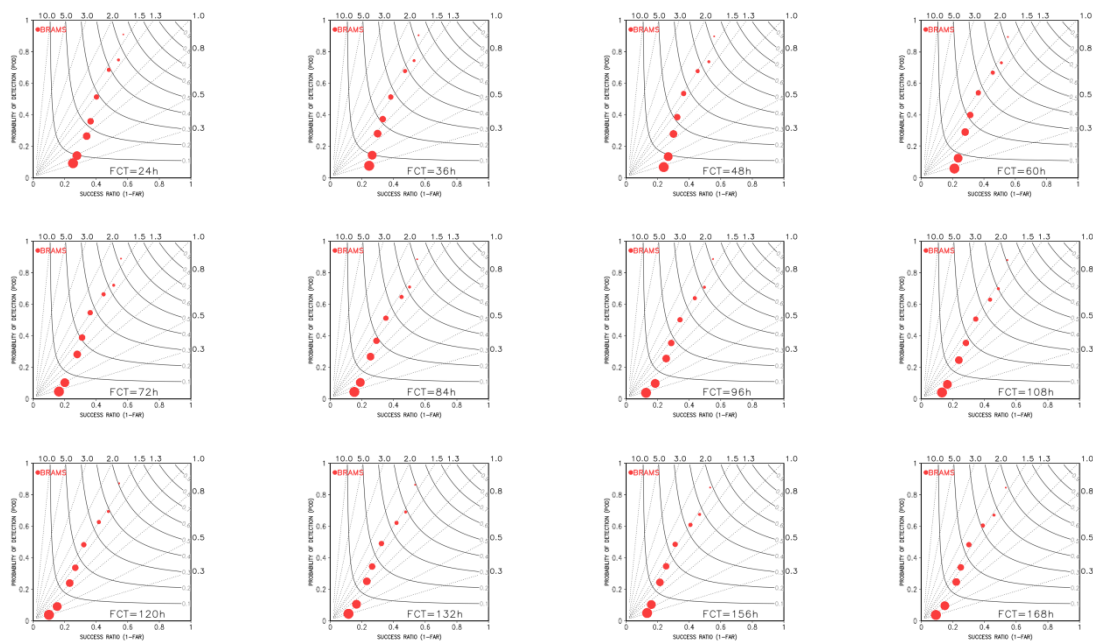


Figura 18: Idem que a Figura 17, porém com a parametrização de microfísica de nuvens do GFDL.

A análise do ETS ajustado (considera a remoção do *frequency bias*) (Figura 19) indica que previsões de eventos mais intensos (chuva acima de 10 mm) são mais difíceis de prever, como era esperado. O ETS referente à simulação do modelo considerando a microfísica do GFDL (Figura 19b) indica aumento para os

limiares mais baixos de chuva. Assim como observado nos diagramas de desempenho, este aumento está associado à maior probabilidade de detecção destes eventos. Isso é devido ao maior espalhamento da chuva fraca em mais pontos de grade, o que infla o ETS. Com isso, o modelo passou a superestimar a chuva fraca em grande parte da região central do continente sul-americano. Observou-se um pequeno aumento no ETS para limiares acima de 35 mm e prazo de previsão de 48h e 72h. De modo geral, para limiares acima de 10 mm, houve queda de desempenho do modelo. Porém, vale ressaltar que na nova simulação, o modelo passou a representar melhor os núcleos mais intensos de chuva, especialmente no sul do continente. Com isso, houve um aumento no número de eventos, e devido a problemas de posicionamento, o desempenho passa a ser comprometido.

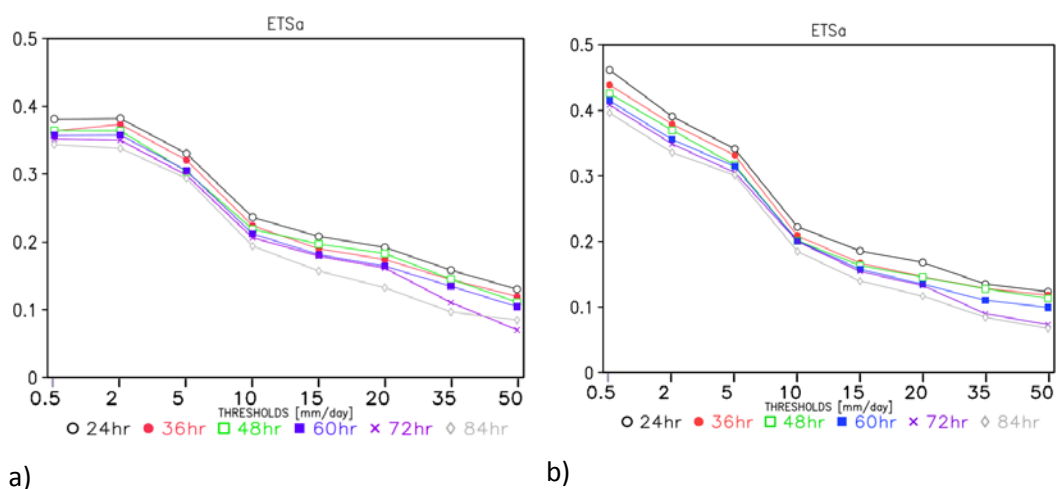


Figura 19: ETS ajustado (removido o efeito do *frequency bias*) referente à simulação do BRAMS com a parametrização de microfísica de nuvens original (a) e com a microfísica de nuvens do GFDL (b) para os prazos de previsão de 24h a 84h.

5) Considerações finais

O grupo considera que a simulação do modelo BRAMS-GFDL apresentou melhoria considerável de sua acurácia no sul da região sul da América do Sul, tendo em vista que passou a prever núcleos intensos de chuva que não eram previstos na rodada com a microfísica original. Entretanto, o modelo também passou a superestimar a chuva leve sobre grande parte do continente, o que contribuiu para a degradação dos índices estatísticos para limiares de chuva abaixo de 10 mm.

Considera-se importante uma análise mais detalhada de outras variáveis meteorológicas e perfis verticais de temperatura, vento e umidade, assim como de aquecimento e resfriamento devido à convecção para identificar a fonte de erros associados à superestimativa de precipitação identificada.

6) Bibliografia

Alonso, M. F.; Longo, K.; Freitas, S.; Fonseca, R.; Marpécal, V.; Pirre, M.; Klenner, L. An urban emission inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. *Atmos. Environ.*, v. 44, n. 39, p. 5072-5083, 2010.

Best, M. J.; et al. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description - Part 1: Energy and water fluxes. *Geosci. Model Dev.*, 4, 677–699, 2011. doi:10.5194/gmd-4-677-2011.

Clark, D. B.; Mercado, L. M.; Sitch, S.; Jones, C. D.; Gedney, N.; Best, M. J.; Pryor, M.; Rooney, G. G.; Essery, R. L. H.; Blyth, E.; Boucher, O.; Harding, R. J.; Cox, P. M. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description – Part 2: Carbon fluxes and vegetation dynamics. *Geosci. Model Dev.*, 4, 701–722, 2011. doi:10.5194/gmd-4-701-2011.

Crassier, V.; Suhre, K.; Tulet, P.; Rosset, R. Development of a reduced chemical scheme for use in mesoscale meteorological models. *Atmos. Environ.*, 34, 2633–2644, 2000. doi:10.1016/S1352-2310(99)00480-X

Crippa, M.; Guizzardi D.; Muntean, M.; Schaaf, E.; Dentener, F.; van Aardenne, J.A.; Monni, S.; Doering, U.; Olivier, J. G. J.; Pagliari, V.; Janssens-Maenhout, G. Gridded emissions of air pollutants for the period 1970–2012 within EDGAR v4.3.2. *Earth Syst. Sci. Data*. 2018. doi:10.5194/essd-10-1987-2018.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Andreae, M. O. Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants. *Geophysical Research Letters*, v. 33, p. L17808, 2006.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Chatfield, R.; Latham, D.; Silva Dias, M. A. F.; Andreae, M. O.; Prins, E.; Santos, J. C.; Gielow, R.; Carvalho, J. A. Including the sub-grid scale plume rise of vegetation fires in low resolution atmospheric transport models. *Atmospheric Chemistry and Physics (Print)*, v. 7, p. 3385-3398, 2007.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Trentmann, J.; Latham, D. Technical Note: Sensitivity of 1-D smoke plume rise models to the inclusion of environmental wind drag. *Atmospheric Chemistry and Physics (Print)*, v. 10, p. 585-594, 2010.

Freitas, S. R.; Rodrigues, L. F.; Longo, K. M.; Panetta, J. Impact of a monotonic advection scheme with low numerical diffusion on transport modeling of emissions from biomass burning. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 3, p. M01001, 2011.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Marécal, V.; Pirre, M.; GMAI, . A fully coupled regional atmospheric modelling for integrated air quality and weather forecasting. In: EGU General Assembly 2012, Viena. Geophysical Research Abstracts. Viena, v. 14, 2012.

Freitas, S. R. Panetta, J.; Longo, K. M.; Rodrigues, L. F.; Moreira, D. S.; Rosário, N. E.; Silva Dias, P. L.; Silva Dias, M. A. F.; Souza, E. P.; Freitas, E. D.; Longo, M.; Frassoni, A.; Fazenda, A. L.; Santos, E.; Silva, C. M.; Pavani, C. A. B.; Eiras, D.; França, D. A.; Massaru, D., Silva, F. B.; Santos, F. C.; Pereira, G.; Camponogara, G.; Ferrada, G. A.; Campos Velho, H. F.; Menezes, I.; et al.. The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): An integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geoscientific Model Development*, v. 10, p. 189-222, 2017.

Freitas, S. R.; Grell, G. A.; Molod, A.; Thompson, M. A.; Putman, W. M.; Santos e Silva, C. M.; Souza, E. P. Assessing the Grell-Freitas Convection Parameterization in the NASA GEOS Modeling System. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 10, p. 1266, 2018.

Gácita, M.S. Estudos Numéricos de Química Atmosférica para a Região do Caribe e América Central com Ênfase em Cuba. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2011.

Longo, K. M. et al. The coupled aerosol and tracer transport model to the brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (catt-brams) - Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 10, n. 13, p. 5785–5795, 2010.

Longo, K. M. et al. The chemistry CATT BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research, *Geoscientific Model Development*, v. 6, p. 1389, 2013

Mellor, G. L.; Yamada, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluids problems. *Reviews of Geophys. and Space Physics*, 20, 851-875, 1982

Morcrette, C. J., Van Weverberg, K., Ma, H.-Y., Ahlgrimm, M., Bazile, E., Berg, L. K., et al. Introduction to CAUSES: Description of weather and climate models and their near-surface temperature errors in 5-day hindcasts near the Southern Great Plains. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 2018. doi:10.1002/2017JD027199

Moreira, D.S., Freitas, S. R., Bonatti, J. P., Mercado, L. M., Rosário, N. M. É., Longo, K. M., Miller, J. B., Gloor, M., and Gatti, L. V. Coupling between the JULES land-surface scheme and The CCATT-BRAMS atmospheric chemistry model (JULES-CCATT-BRAMS1.0): applications to numerical weather forecasting and the CO₂ budget in South America, *Geosci. Model Dev.*, 6, 1243-1259, 2013.

Moreira, D. S.; Longo, K. M.; Freitas, S. R.; Yamasoe, M. A.; Mercado, L. M.; Rosário, N. E.; Gloor, E.; Viana, R. S. M.; Miller, J. B.; Gatti, L. V.; Wiedemann, K. T.; Domingues, L. K. G.; Correia, C. C. S. Modelling the radiative effects of smoke aerosols on carbon fluxes in Amazon. *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS DISCUSSION (ONLINE)*, v. 1, p. 1-48, 2017.

Oreopoulos, L., et al. The continual intercomparison of radiation codes: results from phase I. *J. Geophys. Res.*, 117, D06118, 2012. doi:10.1029/2011JD016821.

Rodrigues, L. F.; Lima, S. T.; Ruiz, R.; Panetta, J.; Freitas, S. R.; Campos Velhos, H. F. Large Parallel version for the BRAMS with Runge-Kutta dynamical core. In: Conference of Computational Interdisciplinary Science (CCIS 2019), Atlanta USA, 2019.

Roebber, P. J., Visualizing multiple measures of forecast quality. *Wea. Forecasting*, 24, 601-608, 2009.

Rosário, N. E.; Longo, K. M.; Freitas, S. R.; Yamasoe, M. A.; Fonseca, R. M. Modeling the South American regional smoke plume: aerosol optical depth variability and surface shortwave flux perturbation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 13, p. 2923-2938, 2013. doi:10.5194/acp-13-2923-2013

Taylor, K. E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, 106 (D7), 7183-7192, 2001.

Thompson, G.; Eidhammer, T. A Study of Aerosol Impacts on Clouds and Precipitation Development in a Large Winter Cyclone. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71(10), 3636–3658, 2014. doi:10.1175/JAS-D-13-0305.1

Tie, X.; Guenther, A.; Holland, E. Biogenic methanol and its impacts on tropospheric oxidants. *Geophys. Res. Lett.* 30: 1881, 2003. doi:10.1029/2003GL017167.