

EPISÓDIOS DE BLOQUEIOS NO HEMISFÉRIO SUL: COMPARAÇÃO ENTRE REANÁLISES DO NCEP/NCAR E MODELO HADCM3

MONICA CRISTINA DAMIÃO¹ MENDES, IRACEMA FONSECA DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI¹, RICARDO MACHADO TRIGO², DAVID MENDES¹, CARLOS DO CARMO DACAMARA², MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO³

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista - SP, Brasil

²Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Dep. de Física, Lisboa, Portugal

³Universidade Federal de Campina Grande, Dep. de Ciências Atmosféricas, Paraíba - Brasil

monica.damiao@cptec.inpe.br, iracema@cptec.inpe.br, rmtrigo@fc.ul.pt,
camara@fc.ul.pt, regina@dca.ufgc.edu.br

Recebido Fevereiro 2008 - Aceito Fevereiro 2009

RESUMO

Nesse artigo é apresentada uma comparação entre o diagnóstico de bloqueios para o Hemisfério Sul, identificados em uma simulação com o modelo de circulação geral do Hadley Centre (HadCM3), e aqueles obtidos das reanálises do NCEP/NCAR, para o período de 1960 a 2000. A definição de bloqueio usada baseia-se no cálculo de dois gradientes meridionais da altura geopotencial em 500 hPa. O ciclo sazonal e as regiões preferenciais de ocorrência dos bloqueios foi bem simulada pelo modelo. Semelhante ao que foi encontrado a partir das reanálises, o modelo identificou como área preferencial de ocorrência de bloqueios o Pacífico Sul e Oceania. A frequência dos bloqueios simulada pelo modelo foi semelhante à observada, com maior atividade verificada no inverno e início da primavera (junho até setembro).

Palavras-chave: bloqueios, HadCM3, NCEP/NCAR

ABSTRACT: BLOCKING EPISODES IN THE SOUTHERN HEMISPHERE: COMPARISON BETWEEN THE NCEP/NCAR REANALYSIS AND HADCM3 MODEL

A comparison of blocking episodes for the Southern Hemisphere obtained from the Hadley Centre (HadCM3) model results and from NCEP/NCAR reanalysis for the period from 1960 to 2000, is discussed in this study. The definition of blocking is obtained by using an objective index based on two, 500 hPa geopotential height, meridional gradients. The seasonal cycle and preferential areas of occurrence are well reproduced by the model. Similar to the reanalysis results, the South Pacific and Oceania were the preferred regions of blocking occurrence. The frequency of blocking episodes simulated by the model was also similar to the observed, with higher blocking occurrences in the winter and beginning of spring (from June to September).

Key-words: blocking, HadCM3, NCEP/NCAR

1. INTRODUÇÃO

Nas décadas de 80 e 90, os modelos de previsão numérica começaram a ser amplamente utilizados como ferramenta indiscutível para uma boa previsibilidade a curto, médio e longo prazo. Operacionalmente, as previsões numéricas de tempo e clima apresentaram melhorias substanciais nestas últimas décadas, cujos avanços decorreram gradual e continuamente

graças ao melhoramento da rede de observações meteorológicas, especialmente com a inclusão de dados de satélite a partir do fim dos anos 70 e ao desenvolvimento dos modelos. Apesar desse grande avanço operacional da previsão numérica, em determinadas situações atmosféricas em que sistemas meteorológicos persistentes são observados, a previsibilidade é afetada devido à incapacidade dos modelos numéricos em prever o início e o fim de tais sistemas.

A necessidade de se prever os sistemas atmosféricos persistentes como os episódios de bloqueio, na escala espacial e temporal, tem concentrado esforços dos mais diversos centros de meteorologia mundial e de muitos pesquisadores, sobretudo no que diz respeito ao entendimento dos processos físicos envolvidos na formação e manutenção desses sistemas (Tibaldi, 1983; Tibaldi, 1994; Marques, 1996, Marques et al., 1999 e 2000; Damião et al, 2005). A análise da capacidade dos modelos de clima em diagnosticar os bloqueios tem um interesse um tanto distinto dos modelos de tempo, cujo interesse principal se encontra relacionado com a possibilidade de prever o início e o término do bloqueio. A persistência desse sistema introduz na atmosfera anomalias no fluxo zonal e uma mudança brusca dos padrões normais de deslocamento dos sistemas transientes. Tais padrões anômalos na atmosfera, por muitas vezes não são captados pelos modelos numéricos de clima, que em consequência são incapazes de prever períodos prolongados de seca e de chuvas associados à presença dos bloqueios. Portanto, é importante verificar em uma simulação climática, qual o comportamento do modelo referente a casos de bloqueio, para se determinar a habilidade em simular/prever tais episódios de persistência de períodos secos ou chuvosos, em uma escala mais longa do que a de tempo, por exemplo, em uma simulação sazonal. Outra utilidade de analisar bloqueios em uma simulação climática é a possibilidade de comparar a frequência e o comportamento entre períodos diferentes, por exemplo, do clima presente com o clima futuro.

Recentemente, Damião et al. (2005) a partir da altura geopotencial em 500 hPa, obtiveram uma climatologia das atividades dos bloqueios para todo o Hemisfério Sul, validando não somente os resultados encontrados por Wiedenmann et

al. (2002), como também chamando a atenção para o impacto sobre o clima causado pela presença dos bloqueios. Segundo estes autores, durante os episódios de bloqueio, foi observada uma redução na precipitação sobre o Brasil, principalmente no verão, e um aumento nas temperaturas máximas e mínimas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte da Argentina, no inverno. A variabilidade interanual dos episódios de bloqueios foi examinada com respeito aos anos de El Niño e La Niña, sendo possível verificar que o total de episódios de bloqueios e de dias bloqueados em anos de El Niño foi maior do que em anos de La Niña. Portanto, dando continuidade aos estudos sobre os bloqueios ocorridos no Hemisfério Sul, neste trabalho é analisada a capacidade do modelo HadCM3 em prever situações de bloqueio em uma simulação climática. É analisada, separadamente para cada região graficamente representada na Figura 1, a presença dos episódios de bloqueios nos dados de reanálises e do modelo HadCM3. Salienta-se que neste artigo é apresentada uma avaliação dos campos de algumas variáveis meteorológicas obtidas do modelo HadCM3, fazendo uma comparação objetiva com os correspondentes campos obtidos a partir dos dados de reanálises do NCEP/NCAR. Serão expostas também, análises dos impactos climáticos dos bloqueios sobre os continentes do Hemisfério Sul, obtidos a partir dessas séries de dados.

2. DADOS E METODOLOGIA

a) Dados

Para a determinação dos episódios de bloqueio utilizaram-se dados diários em pontos de grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, extraídos

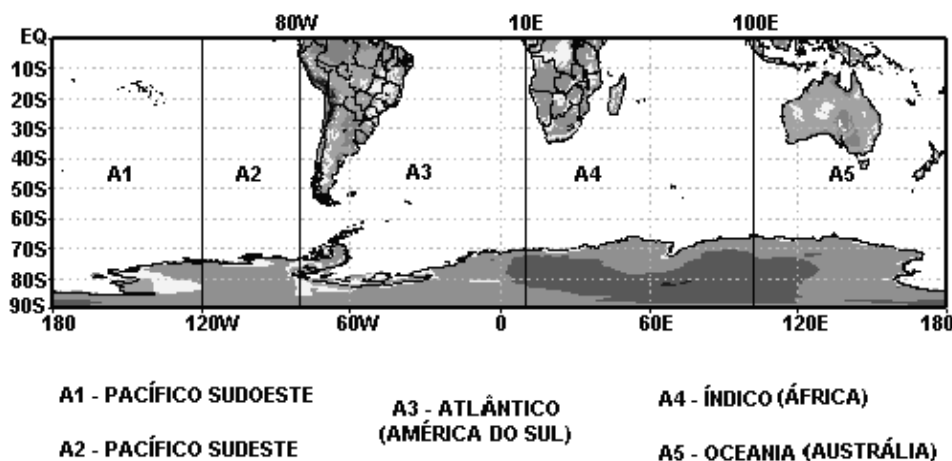


Figura 1 – Distribuição espacial das áreas de estudo.

das reanálises do NCEP/NCAR e do HadCM3, relativos à altura geopotencial em 500 hPa, para o período de 41 anos (1960 a 2000). É importante assinalar que os dados da altura geopotencial em 500 hPa extraídos do modelo, na grade de $2,5^\circ \times 3,75^\circ$ graus (lat/lon), foram transformados para a grade $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (usando o regrid, função do GRADS). Dados diários de precipitação e temperaturas máxima e mínima foram igualmente extraídos do modelo HadCM3 e das reanálises do NCEP/NCAR. Estes dados foram usados nas comparações entre as climatologias obtidas a partir das reanálises do NCEP/NCAR e do próprio modelo, para o estudo do impacto climático causado pelos episódios de bloqueio sobre as áreas continentais do Hemisfério Sul. A partir dos dados da precipitação e temperaturas foram obtidos campos de anomalias, para as quais foi aplicado um teste estatístico apropriado (teste-t), ao nível de significância de 0,10% e 0,05% (Damião et al., 2005). Os dados de reanálises do NCEP/NCAR são obtidos através de uma assimilação via modelagem numérica idêntica àquela que é usada no sistema operacional de previsão do NCEP (Kalnay et al., 1996). Outros comentários a respeito da qualidade, vantagens e desvantagens do uso das reanálises do NCEP/NCAR podem ser vistos em Reid et al. (2001), Trigo et al. (2004) e Wiedenmann et al. (2002).

b) O modelo HADCM3

O modelo HadCM3 é um modelo numérico acoplado da circulação global da atmosfera-oceano desenvolvido no Hadley Centre (Reino Unido), cuja componente atmosférica é resolvida numa malha com uma resolução horizontal $2,5^\circ \times 3,75^\circ$ lat/lon e cuja discretização vertical é efetuada em 19 níveis. Desta forma, a malha do modelo tem uma área de aproximadamente $417 \text{ km} \times 278 \text{ km}$ no equador, reduzindo-se a $295 \text{ km} \times 278 \text{ km}$ na latitude 45° (comparável a uma definição espectral de T42). Nas equações que representam os processos físicos que ocorrem na atmosfera e nos oceanos são consideradas as interações com a litosfera, biosfera e criosfera. As equações são discriminadas no espaço e no tempo em grades que cobrem todo o globo, integradas com passos de tempo de cerca de 30 minutos. Os processos físicos, que ocorrem em uma escala menor do que o espaço entre os pontos de grade, são parametrizados em termos das variáveis resolvidas pela grade. Entre estes processos, destacam-se aqueles que dependem do estado da atmosfera, ou seja, processos termodinâmicos e dinâmicos, ondas orográficas e de gravidade, convecção, radiação e processos da camada limite atmosférica (Gordon et al., 2000). O modelo utiliza uma parametrização simples da climatologia dos aerossóis baseada na obtida por Cusack et al. (1998). Sobre as massas continentais é incluída uma representação da umidade no solo e da evaporação, a qual inclui a dependência da resistência estomatal com temperatura, a pressão de vapor e a concentração de CO_2 .

Por sua vez, a parametrização do atrito baseia-se no esquema proposto por Milton e Wilson (1996), o qual inclui, entre outros, os efeitos da orografia. O modelo inclui ainda um novo esquema de interação da superfície do solo com a atmosfera, com novas representações da superfície do gelo, da umidade do solo e da drenagem da água superficial. O modelo utiliza um esquema termodinâmico simples, que inclui interações oceano-gelo-terra e um albedo que é função da profundidade da neve, do tipo da vegetação e também da temperatura da neve e do gelo. Outros comentários a respeito do modelo acoplado HadCM3, das qualidades e deficiências das simulações do modelo HadCM3, podem ser vistos em Stott et al. (2000), Gordon et al. (2000), IPCC (2001a, b), Hansen (2003), Kerr (2004) e Murphy et al., (2004).

2.2. METODOLOGIA

a) Determinação e definição dos bloqueios

Os critérios para definir um bloqueio foram durante muitos anos baseados em um caráter subjetivo (e.g. Elliot e Smith, 1949; Rex, 1950 a,b; Austin 1980; Treidl et al., 1981). Nas duas últimas décadas, com o advento dos computadores, surgiram definições mais objetivas que estão diretamente ligadas à existência de importantes anomalias temporais e espaciais na altura geopotencial na média troposfera (e.g. Lejenas e Okland, 1983; Dole 1986; Tibaldi e Molteni, 1990; Liu, 1994). A metodologia e definição dos bloqueios aplicada para os dados do HadCM3 e das reanálises do NCEP/NCAR é igual ao esquema utilizado em Damião et al. (2005). Dois índices meridionais da altura do geopotencial ao nível de 500 hPa (GHGS e GHGN) foram obtidos sobre os setores do Pacífico Sudoeste e Sudeste, Atlântico Sul, Índico e Oceania, utilizando as seguintes equações:

$$GHGS = Z(\lambda, \phi_S) - Z(\lambda, \phi_{02}) \quad (01)$$

$$GHGN = Z(\lambda, \phi_{01}) - Z(\lambda, \phi_N) \quad (02)$$

Onole:

$$\phi_N = 40^\circ S + \Delta$$

$$\phi_{01} = 55^\circ S + \Delta$$

$$\phi_{02} = 50^\circ S + \Delta$$

$$\phi_S = 65^\circ S + \Delta$$

$$\Delta = -10.0^\circ, -7.5^\circ, -5.0^\circ, -2.5^\circ, 0^\circ$$

onde z (λ ,) é a altura do geopotencial ao nível de 500 hPa, ϕ é a latitude, λ é a longitude e Δ é um contador latitudinal que pode assumir os 5 valores indicados acima. Uma longitude λ é definida como tendo um bloqueio, em um determinado instante de tempo, quando ambos os índices referidos acima satisfizerem em, pelo menos, um valor de Δ às condições descritas abaixo:

a) GHGN > 0 e b) GHGS < -10 mgp

Para que seja identificado um episódio de bloqueio nos setores do Hemisfério Sul é necessário que ocorram simultaneamente os seguintes critérios:

1) Que as condições a) e b) sejam verificadas em pelo menos três longitudes consecutivas dentro de uma área mínima de 40° de longitude;

2) Que o critério 1) seja observado no mínimo por cinco dias consecutivos;

3) Que em todo o episódio de bloqueio exista apenas um único dia intermediário que não satisfaça o critério 1).

O cálculo dos índices meridionais da altura geopotencial em 500 hPa, também é aplicado para cada 30° de longitude, com intuito de comparar a variabilidade longitudinal dos bloqueios para os dados extraídos das reanálises do NCEP/NCAR e do modelo. Entretanto, é importante assinalar que para diagnosticar os bloqueios é necessário investigar primeiramente se os dados do modelo são confiáveis, ou não. Para esse fim, utilizou-se a metodologia de Trigo e Palutikof (2001) com o intuito de verificar se o HadCM3 reproduz razoavelmente (ou não) os modos principais da variabilidade temporal, a média e a variância. Os episódios de bloqueios e consequentemente a quantidade de dias bloqueados¹, foram obtidos primeiramente para todo o Hemisfério Sul (HS), e posteriormente este foi dividido em 5 regiões distintas classificadas como: Pacífico Sudoeste e Sudeste, Atlântico, Índico e Oceania. Salienta-se que o Pacífico Sul foi dividido em duas áreas, sendo a primeira localizada entre 180°W e 120°W (Pacífico Sudoeste) e a segunda entre 120°W e 80°W (Pacífico Sudeste). O setor do Pacífico Sudoeste difere daquele utilizado por outros autores (Marques, 1996, Sinclair, 1996), os quais utilizaram longitudes que incluíam a Oceania.

Tabela 1 – Médias e desvio padrão anual e sazonal da altura geopotencial em 500 hPa extraídos do NCEP/NCAR e HadCM3.

	GEO500- 30°S/0°		GEO500-30°S/180°		GEO500-45°S/150°E	
	NCEP	HADCM3	NCEP	HADCM3	NCEP	HADCM3
	MEDIAS		MEDIAS		MEDIAS	
ANUAL	5791,35	5775,18	5739,09	5747,14	5553,16	5528,28
INVERNO	5747,45	5775,18	5676,19	5707,08	5491,47	5673,66
PRIMAVERA	5773,66	5758,49	5715,64	5737,23	5507,81	5475,56
VERÃO	5836,42	5840,05	5789,21	5801,64	5602,38	5583,37
OUTONO	5805,02	5792,87	5775,32	5742,61	5599,64	5576,58
	DESVIO PADRÃO		DESVIO PADRÃO		DESVIO PADRÃO	
ANUAL	16,35	8,57	16,37	11,29	18,42	19,45
INVERNO	23,86	8,57	24,45	14,09	32,25	29,09
PRIMAVERA	16,63	14,18	24,94	16,53	33,82	41,59
VERÃO	16,9	11,02	17,82	12,34	26,59	26,16
OUTONO	14,94	10,99	19,35	13,37	27,2	24,55
	GEO500-45°S/150°W		GEO500-60°S/150°E		GEO500-60°S/150°W	
	NCEP	HADCM3	NCEP	HADCM3	NCEP	HADCM3
	MEDIAS		MEDIAS		MEDIAS	
ANUAL	5539,35	5169,16	5180,97	5528,28	5218,16	5530,85
INVERNO	5446,12	5467,48	5132,41	5143,32	5171,61	5136,76
PRIMAVERA	5516,43	5497,78	5125,56	5089,88	5174,95	5133,3
VERÃO	5819,61	5616,25	5246,97	5194,82	5290,67	5224,98
OUTONO	5569,99	5560,4	5185,6	5135,01	5233,24	5170,63
	DESVIO PADRÃO		DESVIO PADRÃO		DESVIO PADRÃO	
ANUAL	19,57	24,42	21,84	19,45	32,42	21,31
INVERNO	32,58	32,77	33,49	38,79	51,06	58,76
PRIMAVERA	30,67	36,1	31,6	27,74	61,06	44,07
VERÃO	24,14	31,33	38,23	23,85	42,47	38,04
OUTONO	31,54	34,69	33,91	29,16	51,43	38,5

¹O conceito de dias bloqueados pode ser consultado em Tibaldi et al., 1994; Renwick, 1998; Trigo et al., 2004 e Wiedenmann et al., 2002.

b) Determinação da variabilidade dos bloqueios

Para obter a variabilidade sazonal determinou-se a quantidade de dias bloqueados e a frequência de bloqueios durante o período de 41 anos, enquanto a variabilidade interanual foi observada com base no total de episódios de bloqueios registrados. O cálculo da frequência de dias bloqueados foi obtido segundo o critério utilizado por Marques (1996), onde o total de dias bloqueados para cada mês, dentro do período de estudo, foi dividido por (total de dias do mês, multiplicado pelo número de anos) e multiplicado por 100, para dar o resultado em porcentagem. Adicionalmente, nesse trabalho foi verificada a variabilidade interanual dos bloqueios com relação aos anos de EN e LN, baseando-se nos totais de episódios e de dias bloqueados. A definição de ENSO utilizada foi obtida dos trabalhos de Rasmusson e Carpenter (1982) e Ropelewski e Halpert (1987), enquanto que os anos de EN e LN utilizados foram obtidos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml.

3. RESULTADOS

3.1. Validação dos dados do modelo do HadCM3

O desempenho das simulações do HadCM3 foi analisado a partir dos dados da altura geopotencial em 500 hPa, para seis pontos de grade que caracterizam satisfatoriamente regiões climáticas distintas do Hemisfério Sul (300S,00; 300S,1800; 450S,1500E; 450S,1500W; 600S,1500E; 600S,1500W). A análise da altura geopotencial em 500 hPa, para os dois conjuntos de dados (reanálise e modelo) no período de 1960 a 2000, é apresentada sob a forma de histogramas (Fig. 2), enquanto que os valores da média e do desvio padrão do NCEP/NCAR e HadCM3, para os pontos analisados, são apresentados

na Tabela 1. As diferenças anuais e sazonais médias e os desvios padrão médios foram analisados utilizando o t-teste (t-student) e o F-teste, respectivamente.

A Tabela 1 mostra que em alguns pontos e em algumas estações do ano, há diferenças maiores entre as médias do geopotencial dos dados do modelo e da reanálise, mas em outros esses valores são semelhantes. Os desvios padrão também apresentam esse comportamento, e similaridades entre os dados das reanálises e do modelo dependem da região e estação do ano considerada. Nos histogramas da Fig.2 para o ano todo, também há algumas semelhanças e diferenças entre as reanálises e a simulação do modelo para os diversos pontos.

Outra forma de apresentar os dados são os chamados gráficos de caixa (box plot) ou gráficos de caixa e linha (box and whiskers), que permitem representar simultaneamente várias medidas estatísticas de uma série de dados, tais como, de tendência central (média ou mediana), de dispersão (desvio padrão ou amplitude inter-quartis) e a possibilidade de detectar outliers (pontos bastante diferentes do conjunto de dados). A evolução ao longo do ano do box-plot da altura geopotencial em 500 hPa para os seis pontos selecionados está representada na Figura 3. Os asteriscos (*) representam valores extremos dentro da série, enquanto que a mediana é apresentada pelo traço horizontal no interior da caixa. Por sua vez, os limites da caixa representam, respectivamente, o 1º quartil (reta inferior) e o 3º quartil (reta superior). Fazendo uma comparação mensal dos dados do HadCM3 com as reanálises do NCEP/NCAR, pode-se assinalar que o modelo representou adequadamente a sazonalidade da altura geopotencial em 500 hPa para as latitudes subtropicais, porém com valores mais extremos em comparação com os observados para os dados do NCEP/NCAR. Nas latitudes extratropicais também ocorreram mais valores extremos para os dados do modelo, do que para os dados das reanálises do NCEP/NCAR (Fig. 3).

Tabela 2 – Médias (MED), desvios padrão (DEV) e correlação (COR) das temperaturas máxima e mínima extraídos do NCEP/NCAR e HadCM3 (HAD).

PONTOS	MÉD. HAD		MÉD. NCEP		DEV. HAD		DEV. NCEP		COR	
	<i>tmax</i>	<i>tmin</i>	<i>tmax</i>	<i>tmin</i>	<i>tmax</i>	<i>tmin</i>	<i>tmax</i>	<i>tmin</i>	<i>tmax</i>	<i>tmin</i>
45°S - 70°W	7.3	1.1	11.3	1.4	3.8	2.6	5.9	3.5	0.87	0.81
35°S - 65°W	24.0	17.3	23.8	17.3	7.9	9.8	5.0	8.4	0.89	0.94
20°S - 50°W	28.6	16.9	27.6	18.3	3.0	4.0	3.4	2.1	0.49	0.83
25°S - 60°W	27.2	17.6	31.2	19.3	6.8	4.9	3.9	3.2	0.64	0.72
10°S - 55°W	34.2	21.9	28.2	20.8	4.5	2.3	2.3	0.72	0.55	0.38
10°S - 40°W	32.7	19.3	30.0	19.8	2.6	2.0	3.0	1.1	0.53	0.77
5°S - 75°W	32.4	23.3	28.8	21.7	2.5	1.7	1.8	0.8	0.67	0.68

Os dados de temperatura máxima e mínima, e precipitação extraídos do modelo HadCM3, foram validados através das análises estatísticas em 7 pontos lat/lon selecionados sobre a América do Sul, com o intuito de cobrir as diversas regiões climáticas neste continente (Fig. 4). A Tabela 2 mostra os valores da média, desvio padrão e correlação para 7 pontos de latitudes/longitude distintos, representados na Figura 4. Os valores médios das temperaturas mínimas foram próximos entre as duas séries de dados, com correlações bastante elevadas entre os dados do modelo e do NCEP/NCAR (Tabela 2). Para as temperaturas máximas, e apesar das correlações serem altas, os valores em alguns pontos diferem entre as duas séries de dados. Com relação aos valores dos desvios padrão para as temperaturas máxima e mínima, nota-se que nas reanálises os desvios foram menores do que no modelo.

3.2. Climatologia dos bloqueios

A Figura 5 representa a variação longitudinal da frequência de bloqueios para todo o Hemisfério Sul, calculados para cada seção de 15° de longitude, para o período de 1960 a 2000, a partir dos dados de reanálises do NCEP/NCAR e do modelo HadCM3. Observa-se que as frequências dos bloqueios obtidas com os dados do modelo, para cada 15° de longitude, são consideravelmente maiores do que aquelas calculadas com base nas reanálises sobre o setor do Atlântico (80°W a 10°E). No entanto, é necessário realçar que, semelhante ao observado com as reanálises, o Atlântico constitui apenas a quarta área preferencial de atuação dos bloqueios (Damiao et al., 2008). Com efeito, sobre o Atlântico Sul, observa-se que para as duas séries de dados, a atividade dos bloqueios foi menor em

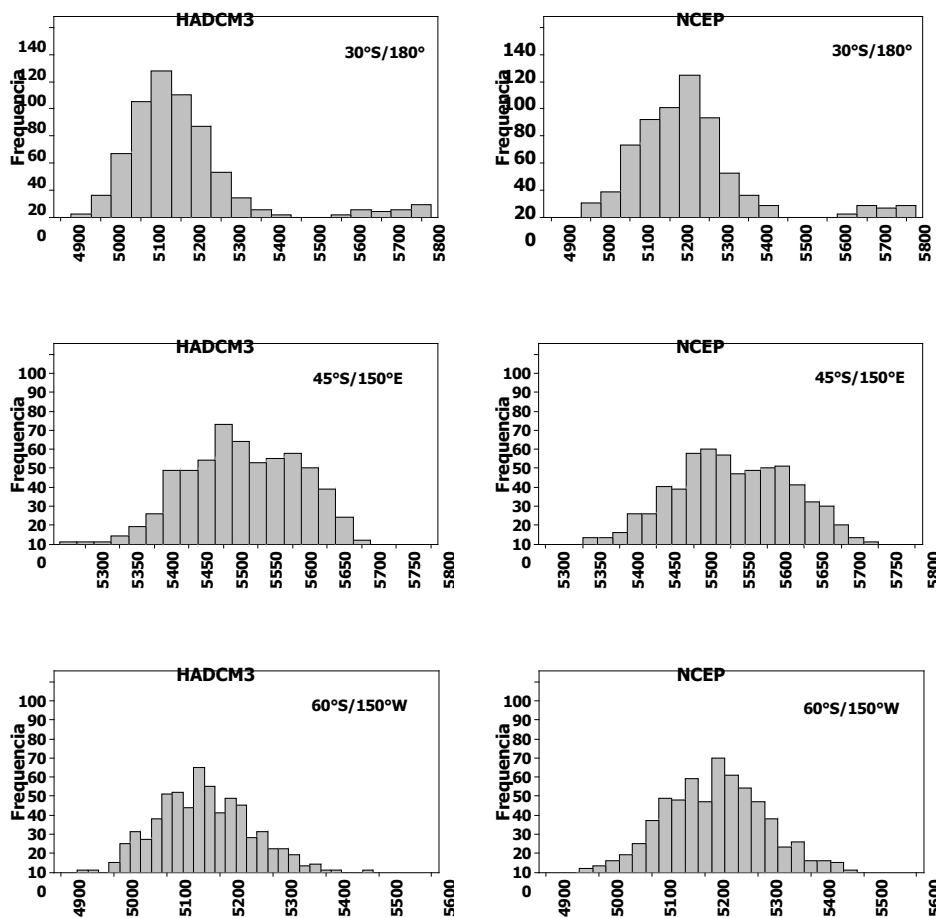


Figura 2 – Histogramas da altura geopotencial em 500 hPa (m) obtidos a partir dos dados do modelo HadCM3 e das reanálises do NCEP/NCAR para o período de 1960 a 2000. A localização geográfica dos pontos de grade selecionados é apresentada na parte superior direita dos gráficos.

comparação com as duas regiões do Pacífico e da Oceania. Notou-se ainda, que sobre as três regiões de maior atividade de bloqueios, isto é, Pacífico Sudoeste (180°W a 120°W), Pacífico Sudeste (120°W a 80°W) e Oceania (100°E a 180°E), o modelo subestimou a frequência dos episódios (Fig. 5), tendo um pico de máxima atuação dos bloqueios no Pacífico Sudoeste. Sobre o Oceano Índico (10°E a 100°E) o modelo mostrou-se capaz de reproduzir a quase inexistente atividade dos bloqueios observada nas reanálises.

Fazendo a comparação entre os resultados obtidos para todas as áreas de estudo, observou-se que a frequência de dias bloqueados sobre o HS, tanto para o HadCM3 como para o NCEP, apresentou uma variação sazonal pronunciada e bem configurada (Fig. 6) com os meses de maior frequência de

dias bloqueados concentrados de maio a setembro. Notou-se ainda, que o modelo HadCM3 superestimou a frequência de dias bloqueados sobre o Oceano Atlântico (Fig. 6). Para o Oceano Pacífico e Oceania as frequências de dias bloqueados simuladas pelo modelo foram próximas às da reanálise. De forma semelhante ao observado nas reanálises, a variabilidade interanual dos episódios de bloqueios extraída do modelo foi bastante pronunciada, especialmente sobre o Pacífico (Fig. 7a,b) e Atlântico Sul (Fig. 7c). É possível observar que o modelo HadCM3 apresentou uma atividade menor dos bloqueios especialmente sobre o Pacífico Sudoeste (Fig. 7a) e Oceania (Fig. 7c). Sobre o Índico (Fig. 7d) o modelo mostrou-se próximo das reanálises, uma vez que se pode observar a pouca atividade dos bloqueios nesta região. A capacidade do modelo em simular

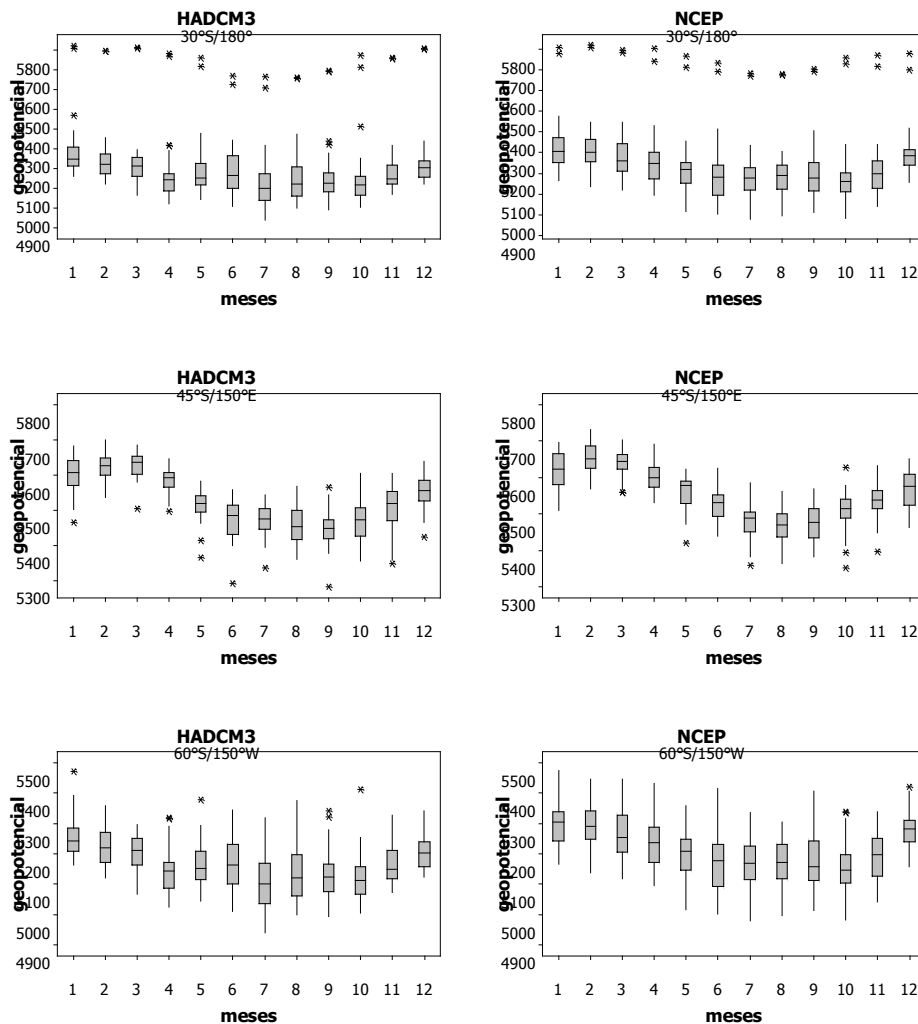


Figura 3 – Boxplot da altura do geopotencial (m) em 500 hPa obtidos a partir dos dados do modelo HadCM3 e das reanálises do NCEP/NCAR para o período de 1960 a 2000. A localização geográfica dos pontos de grade selecionados é apresentada na parte superior dos gráficos. Salienta-se que as escalas são distintas em cada figura.

a quantidade de bloqueios em relação aos anos de EN e LN foi também analisado neste estudo. Relativamente a esta questão é de assinalar que, tal como nas reanálises, o modelo foi capaz de simular uma ocorrência maior de episódios nos anos de EN (representados pelas colunas em preto) em comparação com os anos de LN (representados pelas colunas em cinza).

3.3.IMPACTO NOS CAMPOS DAS TEMPERATURAS E PRECIPITAÇÃO

Os compostos das anomalias das temperaturas máximas e mínimas e precipitação para os períodos de bloqueios são

analisados para os meses de inverno, para as regiões do Pacífico Sudeste, Atlântico e Oceania e apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente. Os campos anômalos são mostrados apenas para os pontos de grade onde os valores são significativamente diferentes da climatologia com nível de significância de 0,05% e 0,10% (teste-t, para a hipótese nula de média igual). De uma forma geral quando se estabelece uma comparação, com os correspondentes resultados obtidos para os dados das reanálises, podem-se constatar algumas semelhanças, mas também fortes diferenças para o caso das temperaturas. Os campos das anomalias das temperaturas máximas e mínimas, obtidos a partir do modelo, mostraram valores mais baixos que

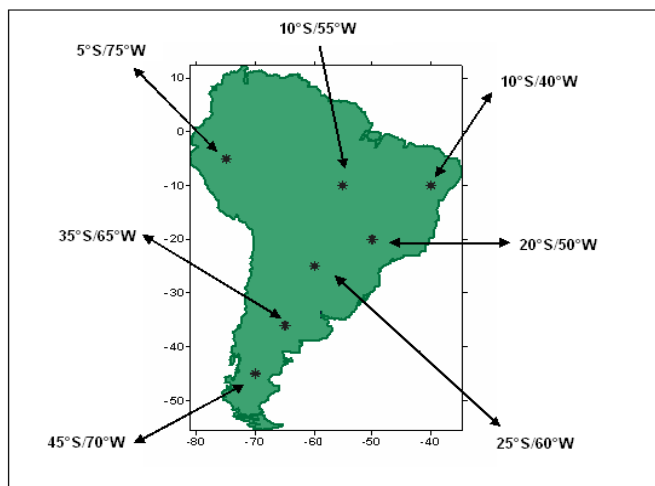


Figura 4 – Mapa da localização dos pontos de grade utilizados nas análises comparativas entre os campos das temperaturas máxima e mínima e da precipitação do HadCM3 e NCEP/NCAR.

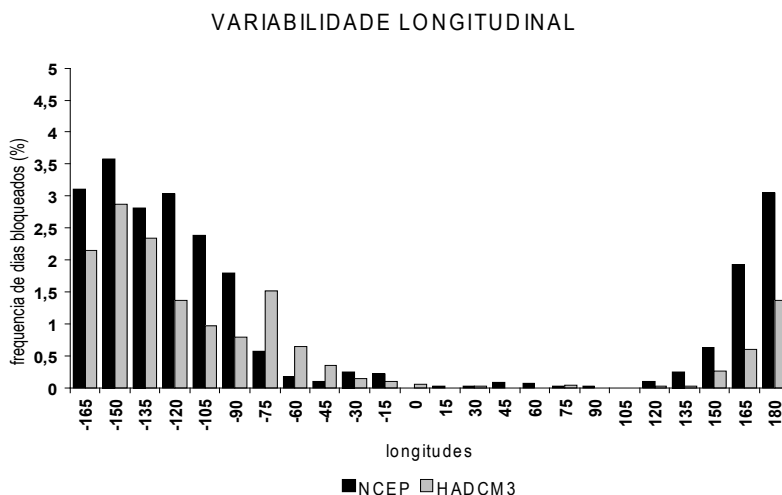


Figura 5 - Variabilidade longitudinal da frequência de bloqueios, a cada 15°, extraídos do modelo HadCM3 (cinza) e das reanálises do NCEP (preto) para o período de 1960 a 2000.

a média climatológica no sul da América do Sul, especialmente sobre a Argentina (Fig. 8a, b). Esse resultado difere daquele encontrado para o caso das reanálises (Fig. 8d, e), onde anomalias das temperaturas máximas e mínimas mais elevadas do que a climatologia, são observadas no sul do Brasil, norte da Argentina, Uruguai e Paraguai e mais baixas que a climatologia localizam-se no extremo sul da Argentina. No que se refere às anomalias da taxa da precipitação, causadas pela presença dos bloqueios no Pacífico Sudoeste, as áreas com anomalias mais marcantes ocorreram nas regiões oceânicas adjacentes à costa oeste da América do Sul, ou seja, sobre a região de bloqueio. Esse resultado também é encontrado nas reanálises e é típico

de uma situação de bloqueio. Assinala-se ainda, que anomalias da precipitação abaixo da normal são simuladas pelo modelo (Fig. 8c) sobre grande parte do Brasil, o que também ocorre nos campos obtidos com os dados de reanálise, porém com significância apenas em algumas áreas (Fig. 8f).

A presença dos bloqueios sobre o Atlântico (Fig. 9) favorece a ocorrência de anomalias negativas de temperaturas máximas e mínimas sobre grande parte da região sul da América do Sul, em especial sobre a Argentina, nos dois conjuntos de dados (modelo e reanálises). Nos compostos de precipitação para os bloqueios no Atlântico, as regiões de anomalias significativas encontram-se preferencialmente sobre a região de bloqueio,

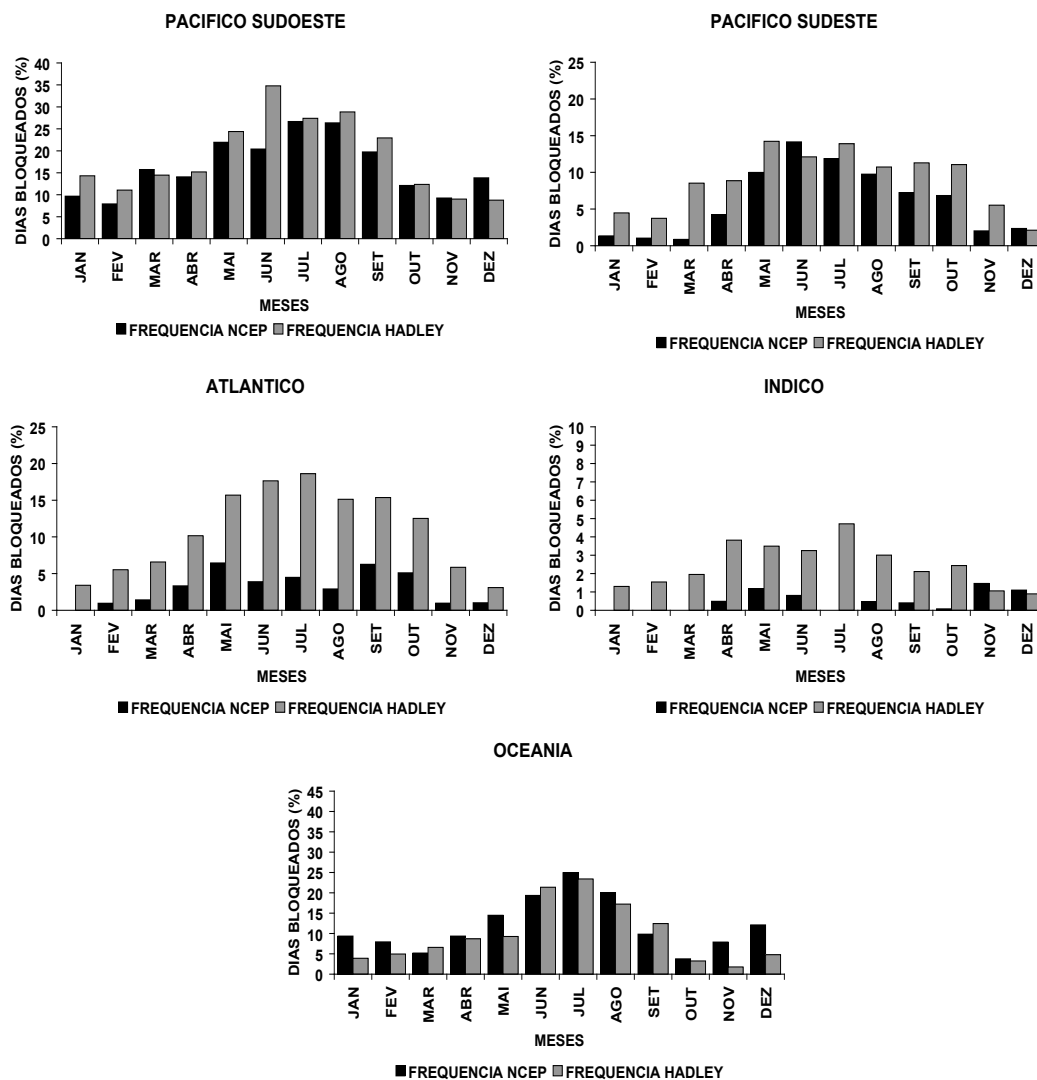


Figura 6 - Distribuição mensal da frequência dos dias bloqueados extraídos do HadCM3 (cinza) e das reanálises do NCEP (preto) para as áreas do (a) Pacífico Sudoeste e (b) Sudeste, (c) Atlântico, (d) Índico e (e) Oceania. As escalas são distintas para cada gráfico.

com chuva acima da média no setor norte do bloqueio (modelo e reanálise) e chuvas abaixo da média no setor sul (reanálise) (Fig. 9 c, f), isto é, as áreas oceânicas adjacentes à América do Sul. Sobre o oeste da AS são observadas também duas áreas de anomalias opostas, a primeira com anomalias positivas sobre o setor norte do Chile e a segunda com anomalias negativas no sul do Chile e Argentina. Ressalta-se aqui que as anomalias positivas encontradas sobre o setor norte do Chile parecem acompanhar as áreas de anomalias positivas observadas sobre o Sul do Brasil e áreas oceânicas adjacentes (Fig. 9c, f). Sobre o

Brasil, Bolívia e Perú o modelo simula chuvas abaixo da média, enquanto chuvas acima da média são indicadas pela reanálise.

Para os bloqueios que ocorrem sobre a Oceania (Fig. 10), é possível notar que esses afetaram significativamente as temperaturas máximas e mínimas, cujos valores mais baixos que a normal climatológica foram observados no centro-sul da Austrália nos resultados do modelo (Fig. 10a, b). Nos dados da reanálise (Fig. 10d, e) as temperaturas máximas e mínimas também foram mais baixas que a média climatológica, porém essas se concentraram no sul (máximas) e nordeste (mínimas)

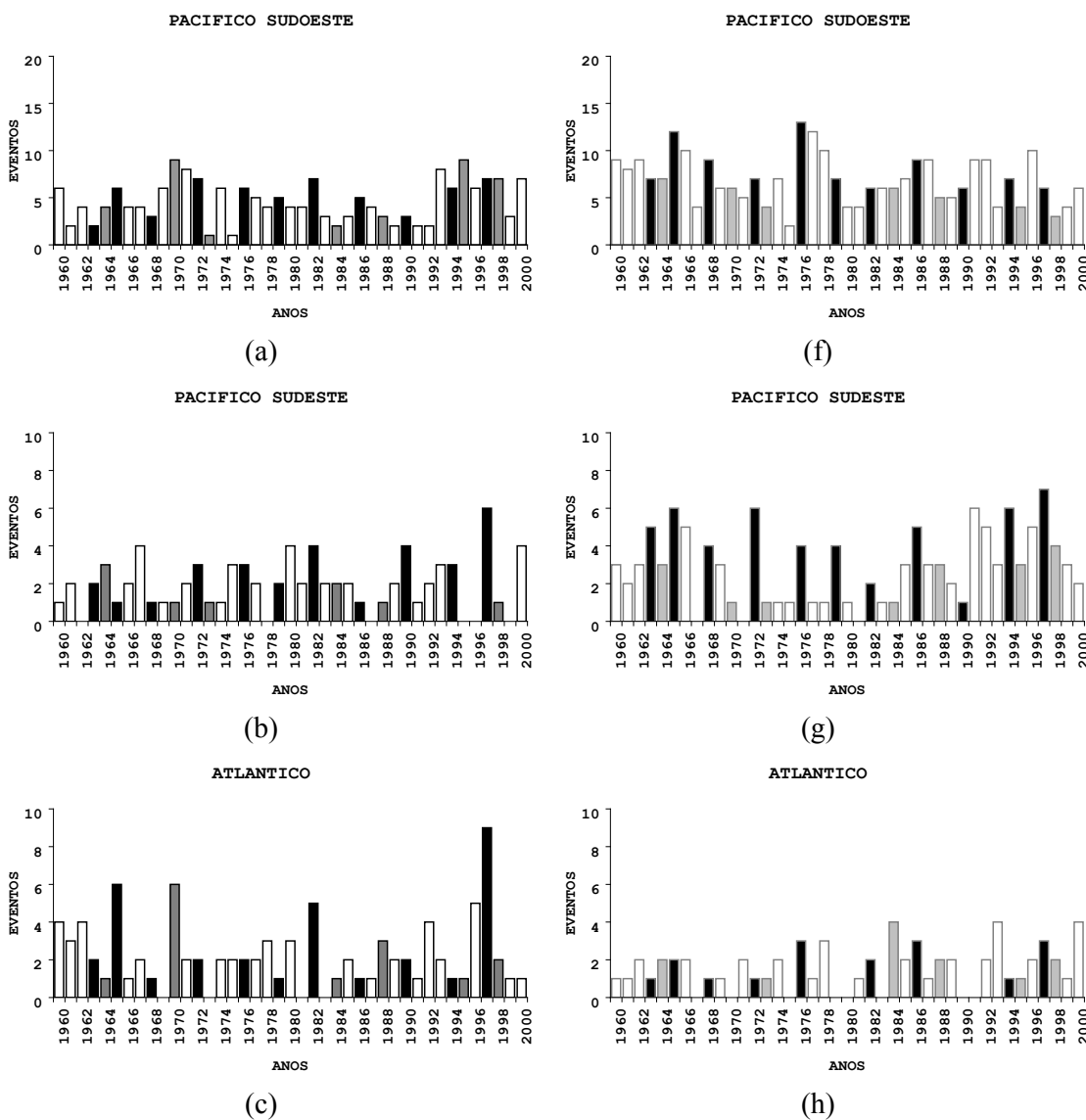


Figura 7 – Variabilidade interanual do total de episódios de bloqueio extraídos do modelo HadCM3 (a, b, c, d, e) e das reanálises do NCEP (f, g, h, i, j) para o período de 1960 a 2000. As colunas em preto correspondem aos anos de El Niño e as colunas em cinza correspondem aos anos de La Niña. As escalas são distintas para cada gráfico.

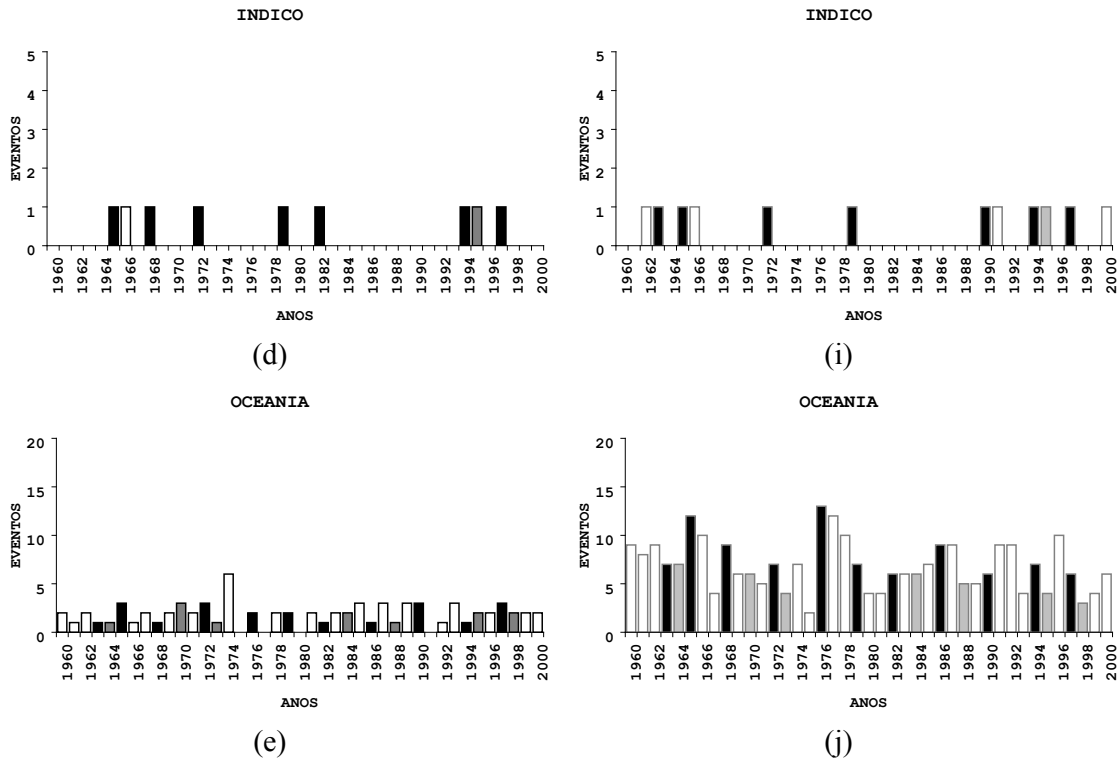


Figura 7 – Continuação

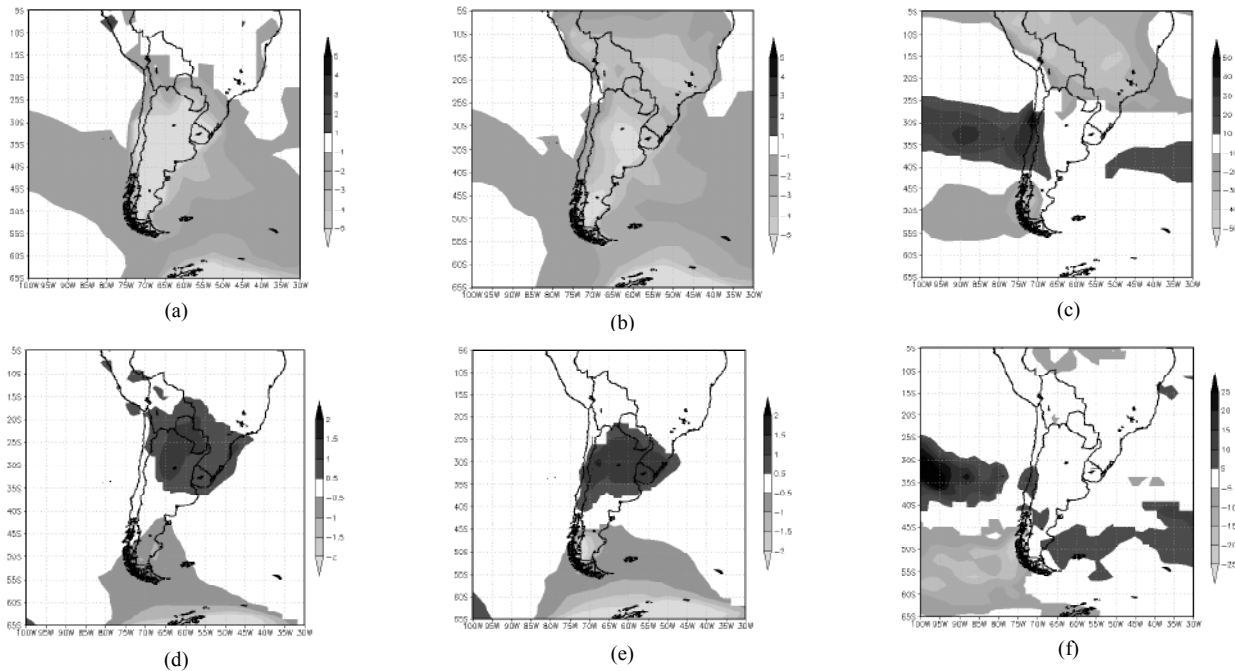


Figura 8 – Composto das anomalias das (a, d) temperaturas máximas (°C), (b, e) das temperaturas mínimas (°C) e (c, f) da taxa da precipitação (103 kg/m²/s) à superfície, nas épocas de bloqueios sobre o Pacífico Sudeste nos meses de inverno de 1960 a 2000, obtidos a partir dos dados do modelo HadCM3 (a, b, c) e das reanálises (d, e, f). As áreas em cores mostram as regiões onde as anomalias são significativamente distintas da climatologia ao nível de significância de 0,05% (0,10%) para as temperaturas máxima e mínima (precipitação). As escalas são distintas para cada composto, pois as anomalias simuladas pelo modelo são muito maiores do que as da reanálise.

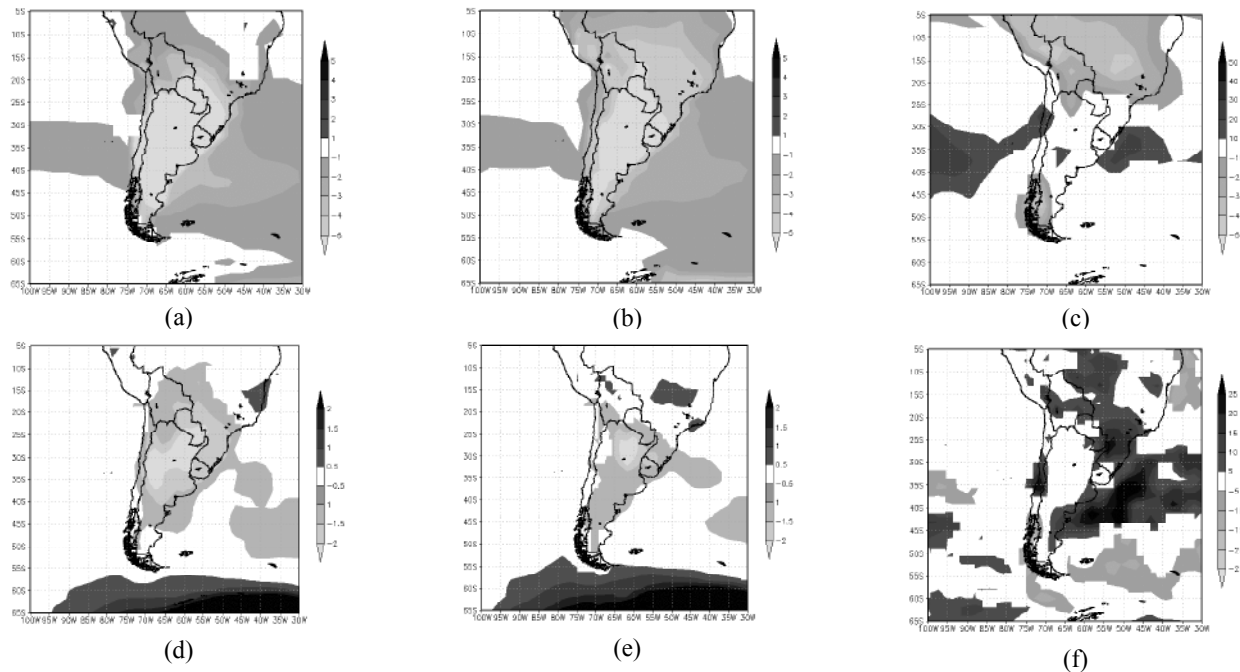


Figura 9 – Igual à Figura 8 só que para o Atlântico Sul.

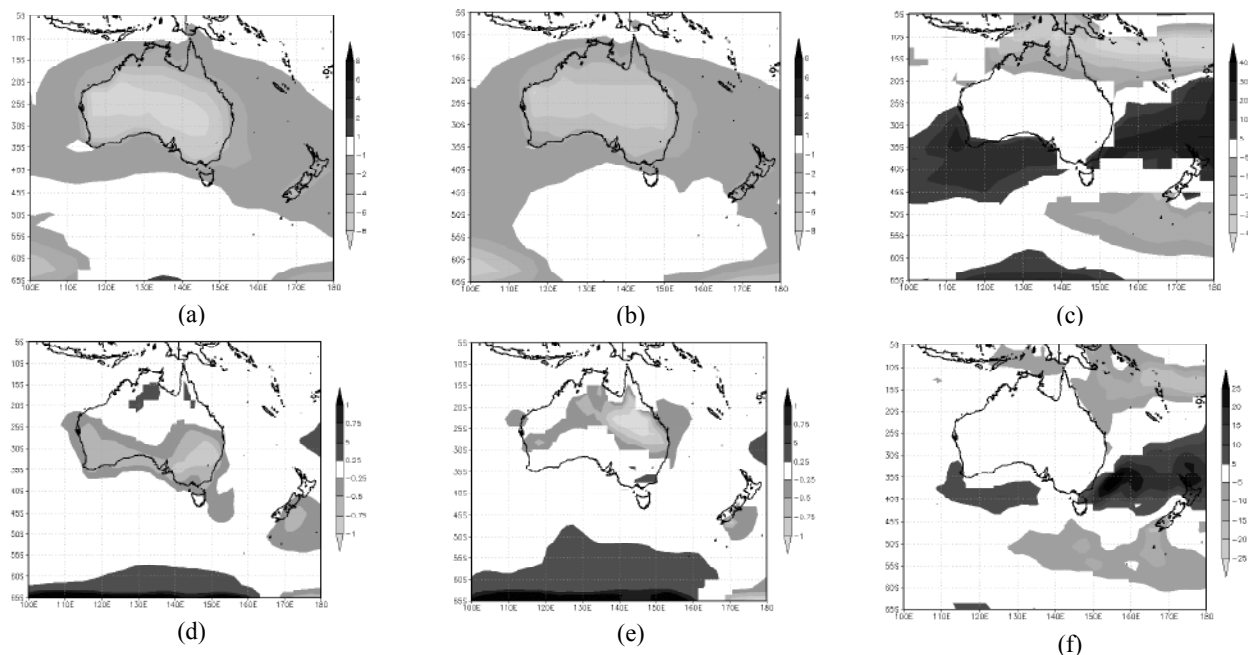


Figura 10 – Igual à Figura 8 só que para a Oceania.

da Austrália. Quanto à precipitação, as regiões com anomalias mais significativas encontram-se preferencialmente sobre a região de bloqueio, tanto para os resultados do modelo, quanto para as reanálises (Fig. 10c, f). Precipitação abaixo da média também é identificada ao norte da Austrália nos resultados do modelo e reanálise.

4. SUMÁRIO E CONCLUSÃO

Na análise longitudinal da quantidade de episódios para o período de 1960-2000, foi possível verificar que o modelo do HadCM3 subestima a quantidade de bloqueios sobre o Oceano Pacífico e Oceania, e superestima sobre o Oceano Atlântico. A pouca ocorrência de episódios de bloqueios sobre o Oceano Índico é bem simulada pelo modelo, o qual foi capaz de simular (tal como observado nas reanálises do NCEP/NCAR) uma ocorrência maior de episódios nos anos de EN em comparação com os anos de LN. As análises do impacto climático obtido do HadCM3 para o período de estudo (1960 a 2000), mostraram que os bloqueios ocorridos no inverno sobre o Atlântico favoreceram temperaturas máxima e mínima mais baixas que a média sobre o sul da América do Sul, especialmente sobre a Argentina, que foram reproduzidas pelo modelo. O impacto dos bloqueios do Pacífico Sudeste nas Temperaturas máximas e mínimas simuladas pelo modelo foi oposto ao da reanálise no setor norte da Argentina e sul do Brasil. Com relação aos bloqueios que ocorreram sobre a Oceania, notou-se temperaturas máxima e mínima mais baixas do que a normal climatológica no centro e sul da Austrália. O modelo reproduziu bem o padrão de precipitação nas áreas de bloqueio nas três regiões. Entretanto, sobre o continente as diferenças foram maiores.

5. AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi financiado pela Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito do programa de bolsa de investigação POCTI. Os autores agradecem ainda ao NCEP/NCAR pela disponibilidade dos dados utilizados, através do site: www.cdc.noaa.gov/dataset. Um dos autores (IFAC) agradece também ao apoio do CNPq.

6. REFERÊNCIAS

- AUSTIN, J. F. The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves. . Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 106, 327-350, 1980.
- CUSACK S.; SLINGO, A.; EDWARDS, J. M.; WILD, M. The radiative impact of a simple aerosol climatology on the Hadley Centre climate model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 24: 2517-2526, 1998.
- DAMIÃO, M. C. M.; TRIGO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A.; DaCAMARA, C. C. Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o oceano pacífico sul: impactos climáticos e mecanismos físicos associados. Revista Brasileira de Meteorologia, 20, 175-190, 2005.
- DAMIÃO, M. C. M.; TRIGO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A.; DaCAMARA, C. C. Blocking Episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the Climate of Adjacent Continental Areas. Pure and Applied Geophysics, 165, 1-22, DOI 10.1007/s00024-008-0409-4, 2008
- DOLE, R. M. Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: structure. Monthly Weather Review, 114, 178-207, 1986.
- ELLIOT, R. D.; SMITH, T. B. A study of the effect of large blocking highs on the general circulation in the northern hemisphere westerlies. Journal of Meteorology, 6, 67-85, 1949.
- GORDON, C.; COOPER, C.; SENIOR, C. A.; BANKS, H.; GREGORY, J. M.; JOHNS, T. C.; MITCHELL, J. F. B.; WOOD, R. A. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. Climate Dynamics, 16, 147-168, 2000.
- IPCC Climate Change 2001. The Scientific Basis. (Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., Van Der Linden, P. and Xiaosu, D., Editors). Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. World Meteorological Organisation and United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, 944 pp, 2001a.
- IPCC Climate Change 2001. Synthesis Report. Contributions of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. World Meteorological Organisation and United Nations Environment Programme, Cambridge University Press, 397pp, 2001b.
- KALNAY, E., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437-471, 1996.
- KERR, R. A. Three degrees of consensus. Science, 305, 932-934, 2004
- LEJENAS, H.; OKLAND, H. Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. Tellus, 35, 350-362, 1983.
- LIU, Q. On the definition and persistence of blocking. Tellus, 46A, 286-290, 1994.
- MARQUES, R F. C. Bloqueio Atmosférico no Hemisfério Sul. São José dos Campos. 1996. Tese de Doutorado- Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE-6742-TDI/632. 1996.

- MARQUES, R. F. C.; RAO, V. B. A diagnosis of a long-lasting blocking event over the Southeast Pacific Ocean. *Monthly Weather Review*, 127, 1761-1776, 1999.
- MARQUES, R. F. C.; RAO, V. B. Interannual variations of blocking in the Southern Hemisphere and their energetics. *Journal of Geophysical Research*, 105, 4625-4636, 2000.
- MILTON S. F.; WILSON C. A. The impact of parameterised sub-grid scale orographic forcing on systematic errors in a global NWP model. *Monthly Weather Review*, 124: 2023-2045, 1996.
- MO, K. C. Persistent anomalies of the Southern Hemisphere Circulation. In preprints from the first international conference on Southern Hemisphere Meteorology. São José dos Campos. American Meteorological Society, 70-72, 1983.
- MURPHY, J. M.; SEXTON, D. M.; BARNETT, D. M.; JONES, G. S.; WEBB, M. J.; COLLINS, M.; STAINFORTH, D. A. Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature*, 430, 768-772, 2004.
- RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110, 354-384, 1982.
- REID, P. A.; JONES, P. D.; BROWN, O.; GOODESS, C. M.; DAVIES, T.D. Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationships with surface climate by direct comparisons with station based data. *Climate Research*, 17, 247-261, 2001.
- RENWINCK, J. A. ENSO-related variability in the frequency of South Pacific blocking. *Monthly Weather Review*, 126, 3117-3123, 1998.
- REX, D. F. Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate I-An aerological study of blocking action. *Tellus*, 2, 196-211, 1950a.
- REX, D. F. Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate II-The climatology of blocking action. *Tellus*, 2, 275-301, 1950b.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 2352-2362, 1987.
- SINCLAIR, M. R. A. Climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 24, 245-263, 1996.
- STOTT, P. A.; TETT, S. F. B.; JONES, G. S.; ALLEN, M. R.; MITCHELL, G. J.; JENKINS, G. J. External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science*, 290, 2133-2137, 2000.
- TIBALDI, S. Numerical simulations of a case of blocking: The effects of orography and land-sea contrast. *Monthly Weather Review*, 111, 2068-2086, 1983.
- TIBALDI, S.; MOLTENI, F. On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42, 343-365, 1990.
- TIBALDI, S.; TOSI E; NAVARRA A; PEDULLI L. Northern and Southern Hemisphere seasonal variability of blocking frequency and predictability. *Monthly Weather Review*, 122, 1971-2003, 1994.
- TREIDL, R. A.; BIRCH E. C.; SAJECKI P. Blocking action in the Northern Hemisphere: a climatological study. *Atmosphere-Ocean*, 19, 1-23, 1981.
- TRIGO, R. M.; PALUTINOF, J. P. Precipitation over Iberia: A comparison between direct GCM output and different downscaling techniques. *Journal of Climate*, 14, 4422-4466, 2001.
- TRIGO, R. M.; TRIGO, I.; DaCamara; C. C. Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR Reanalyses. *Climate Dynamics*, 23 (1), 17-28, 2004.
- WIEDENMANN, J. M.; LUPO, A.; MOKHOV, I. I.; TIKHONOVA, E. A. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemisphere block intensity as a diagnostic. *Journal of Climate*, 15, 3459-3473, 2002.