

Uma análise preliminar da distribuição espacial da climatologia de precipitação pluviométrica simulada em bacias hidrográficas no Estado do Ceará – Brasil

Emerson Mariano da Silva
emerson_ariano@hotmail.com

Marco Aurélio Holanda de Castro
marco@ufc.br

Resumo

Este estudo apresenta uma análise dos resultados da simulação sazonal de precipitação pluviométrica, no período de fevereiro a maio, para os anos de 1971 a 2000, sobre a região das bacias hidrográficas do estado do Ceará, no semi-árido do Nordeste do Brasil (NEB), obtida através da aplicação da técnica de *downscaling dinâmico* (redução de escala da previsão). Os modelos de previsão numérica usados no estudo são: O Modelo Espectral Regional (RSM97), desenvolvido pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), e o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera ECHAM4.5, desenvolvido pelo *Max Plank Institute*. Os resultados mostram que a aplicação da técnica, utilizando-se os modelos acima, obteve desempenho satisfatório na tarefa de simulação da climatologia de precipitação sobre algumas das regiões em estudo, chegando a índices de subestimativas que variam de 1.9 a 19.4% nos melhores casos e de 32.5 a 40.1%, em outras situações.

Palavras-chave: *Previsão climática. Precipitação. Bacia hidrográfica.*

Abstract

That study presents an analysis of the results of seasonal simulation of precipitation, in from February to May period, for years from 1971 to 2000, on region of the basins of the Ceará state, in semi-arid of the Northeast of Brazil (NEB), obtained through the application of downscaling dynamic technique (scale reduction of the forecast). The models of numeric forecast used in the study are: The Regional Spectral Model (RSM97), developed by the National Centers for Environmental Prediction (NCEP), and the Model of General Circulation of the Atmosphere ECHAM4.5, developed by the Max Plank Institute. The results show that the utilization of the technique using the models above obtained satisfactory performance in the simulation task of the precipitation climatology about some of the regions in study, with underestimation indices that vary of 1.9 to 19.4% in the best cases and from 32.5 to 40.1% in other situations.

Keywords: *Downscaling. Seasonal rain. Basins.*

1 Introdução

O uso competitivo da água na região Nordeste do Brasil e, em especial, na zona semi-árida dessa região, onde está inserido o estado do Ceará, tem imposto à comunidade científica o aprimoramento e o desenvolvimento de novas técnicas que contribuam para a qualidade da previsão climática e para o gerenciamento dos recursos hídricos regionais, visando concorrer para a melhoria do complexo modelo de gestão das águas na região.

Nos últimos anos, uma alternativa para a melhoria da qualidade da previsão climática regional é o uso da técnica de redução de escala da previsão, *downscaling dinâmico*, que consiste em utilizar um modelo numérico de previsão regional forçado por informações geradas em um modelo atmosférico global, obtendo-se maior detalhamento espacial das previsões.

A eficácia desta técnica é comprovada em vários estudos de previsão climática em todo o globo, envolvendo vários modelos de previsão climática, como é o caso do estudo de Ji & Vernekar (1997), com o uso do modelo ETA do *National*

Centers for Environmental Prediction (NCEP), aninhado ao modelo global do *Center for Ocean-Land Atmosphere Studies* (COLA), para simular circulações de monções de verão sobre a região asiática. Outro exemplo é o de Christensen et al. (1998), em simulações climáticas na região da Península Escandinava, utilizando os modelos regional e global OPYC3 e ECHAM4 do *Max Planck Institute for Meteorology*.

Para a região do NEB, destacam-se os estudos numéricos realizados, com os modelos RSM97 do NCEP e ECHAM3 (*Max Planck Institute for Meteorology*) por Nobre et al. (2001) e os recentes estudos publicados por Alves et al. (2005) e Silva et al. (2002, 2005), que utilizam o modelo regional RSM97 (NCEP) forçado por campos gerados pelo modelo global ECHAM4.5 (*Max Planck Institute for Meteorology*) em um conjunto de simulações numéricas (30 anos) de precipitação sobre toda a região Nordeste do Brasil.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar e avaliar os resultados de simulações numéricas da distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica (chuvas), utilizando a técnica de *downscaling dinâmico*, realizadas ao longo de um período de trinta anos (1971-2000) sobre as diversas bacias hidrográficas do estado do Ceará. Desta forma, este estudo visa contribuir para otimizar e unificar as ações operacionais, bem como identificar e solucionar questões científicas e de desenvolvimento relacionadas à modelagem do clima sobre a região semi-árida do Nordeste do Brasil.

2 Metodologia e dados

Nas simulações numéricas da climatologia da precipitação pluviométrica sobre a região Nordeste do Brasil, usou-se o Modelo Regional RSM97, desenvolvido pelo NCEP (Juang e Kanamitsu, 1994), aninhado ao Modelo de Circulação Geral ECHAM4.5, do Max Plank Institute (Roeckner *et al.*, 1996).

Ressalta-se que essa metodologia de previsão vem sendo adotada operacionalmente na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), visando dar suporte as atividades de previsão climática regional, e de quantificação e gerenciamento de recursos hídricos no estado do Ceará.

A fim de se comparar qualitativa e quantitativamente os resultados das simulações da distribuição de precipitação com a distribuição observada, sobre as regiões das bacias hidrográficas do estado do Ceará, utilizaram-se duas bases de dados. A primeira é uma base de dados obtidos através do banco de dados climatológicos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da FUNCEME descrita em Porto et al. (2004). A segunda base de dados de precipitação é o conjunto de dados climatológicos de Xi e Arkin (1996), que é um composto de observações de superfície, estimativas de precipitação por satélite meteorológico e de análise de modelos numéricos atmosféricos em todo o globo.

2.1 O Modelo Regional (RSM97)

O Modelo Regional RSM97, desenvolvido por Juang e Kanamitsu (1994), No centro de Modelagem do Meio Ambiente do *National Centers for Environmental Prediction*, tem, em seu código rotinas que resolvem processos físicos da superfície até a alta atmosfera, tais como: balanço de radiação, de ondas longas e de ondas curtas, na atmosfera e na superfície (BRIEGLEB, 1986); processos físicos na camada limite superficial, que calcula os fluxos de temperatura e umidade ascendentes e descendentes e na superfície, bem como o balanço de energia e de massa na superfície (Mahrt e Pan, 1984; Pan e Mahrt, 1987; Betts et al., 1996); Arrasto por onda de gravidade (Alpert et al., 1998); Difusão vertical, que calcula os efeitos da difusão turbulenta na direção vertical através de parametrização (Hong e Pan, 1996; Troen e Mahrt, 1986; Kim e Mahrt, 1992; Kennedy e Shapiro, 1980); Parametrização de convecção profunda e de cumulus rasos, tipo Arakawa e Schubert simplificada (Arakawa e Schubert, 1974; Grell, 1993; Hong e Pan, 1996), entre outras.

Em adição, o RSM97 conta com um modelo de solo de duas camadas (Pan e Marth, 1987), designado para descrever o papel da vegetação e a interação da umidade do solo, sem modificar as trocas de momento, vapor d'água e energia.

2.2 O Modelo Atmosférico Global (ECHAM4.5)

O Modelo Atmosférico Global ECHAM4.5, desenvolvido no *Max Plank Institute*, tem um truncamento triangular no número de onda T42, aproximadamente 2,8° de latitude e de longitude, o que representa uma resolução espacial de aproximadamente 300 x 300 Km, na faixa equatorial, com 18 níveis verticais. Contêm parametrizações físicas, como as de nuvens do tipo cúmulos rasos, médios e profundos (Tiedtke, 1983).

Os fluxos turbulentos de superfície são calculados através do Monin-Obukov bulk usando teoria da similaridade. Dentro e acima da camada limite atmosférica usa um esquema fechado de alta ordem para computar a transferência

turbulenta de momento, calor, mistura e água de nuvem, e os coeficientes de difusão turbulenta são calculados com função da energia cinética turbulenta (E).

O modelo de solo contempla os balanços de calor, água no solo, bem como a presença de neve sobre o continente. Efeitos de vegetação, tais como interceptação de chuva na copa das árvores e o controle de evapotranspiração pelos estômatos são parametrizados.

2.3 Configuração das Simulações

O RSM97 foi integrado, com um conjunto de 10 membros, na versão não-hidrostatica, passo de tempo 600 segundos em modo de simulação, com um espaçamento de grade de 60 km centrada na latitude de 30oSul e na longitude de 27° Leste, com 18 níveis verticais. A vegetação usada é do tipo savana, e o domínio das simulações compreende desde o oeste da África do Sul até a Região Amazônica (Figura 1), em um período de seis meses (janeiro a junho), durante 30 anos, de 1971 a 2000, utilizando como dados de entrada os campos de saída do modelo global ECHAM4.5. Uma topografia mais refinada, comparada a do ECHAM4.5, sobre a região Nordeste foi usada como variável de contorno no MRE.

O aninhamento entre o RSM97 e o ECHAM4.5 foi executado de forma unidirecional, com condições iniciais distintas em cada um dos 10 membros, ou seja, o forçante de grande escala, vento, pressão, temperatura e umidade específica do ar, são inicializados pelo ECHAM4.5 e repassados ao RSM97 em todo o domínio, e não somente nas fronteiras laterais, a cada 6 horas, em cada um dos 10 membros do conjunto nas integrações de forma distinta.

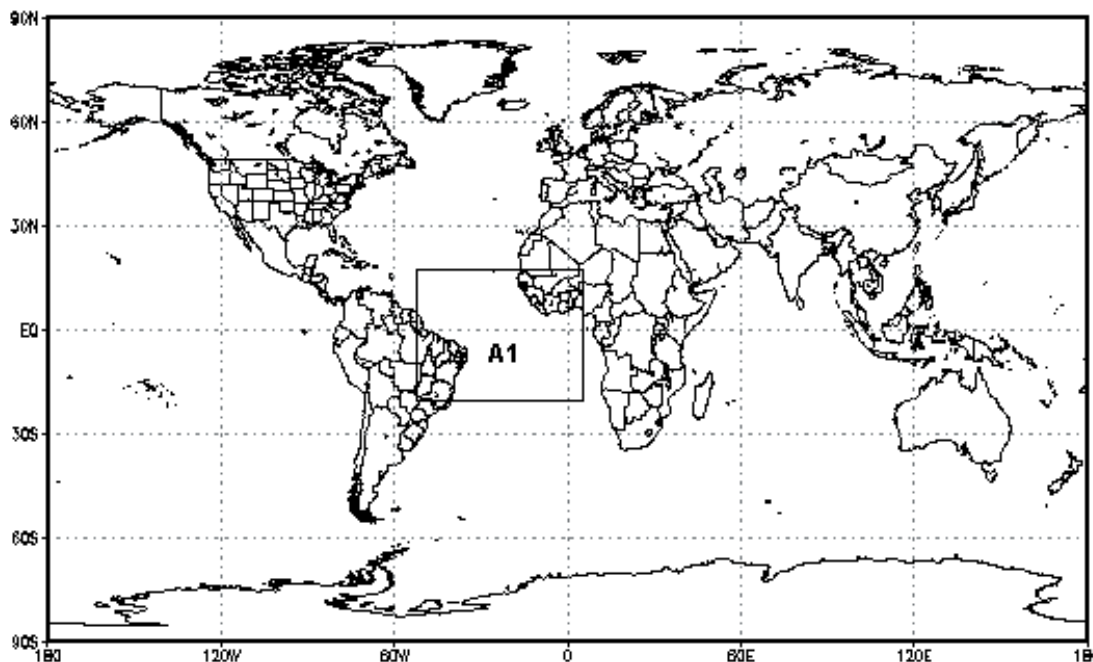


Figura 1: Domínio do Modelo Global ECHAM4.5 utilizado como forçante de entrada nas simulações do RSM97.

A área A1 da Figura, representa o domínio do Modelo Regional RSM97.

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM), observada nos Oceanos Pacífico, Atlântico e Índico, no período de 1971-2000, foi obtida do conjunto de dados chamados “Optimum Interpolation” (Reynolds e Smith, 1994) e serviram de variáveis de contorno à superfície nas simulações do modelo ECHAM4.5.

Para as simulações do estudo, usou-se o tipo de solo com característica intermediária entre um solo arenoso e argiloso, com uma cobertura da vegetação correspondente a 70% da área de cada grade.

Vale ressaltar que a configuração utilizada nas simulações foi obtida através de vários testes realizados, descritos em Silva et al. (2002), e teve como principal objetivo avaliar as mudanças causadas nos campos de saída do modelo regional em função das variações no espaçamento de grade, na posição da fronteira lateral, bem como no passo de tempo de cada simulação dos dados de entrada no modelo regional.

2.4 Média climatológica da Precipitação observada nas bacias hidrográficas do Ceará

Para obtenção das séries e das médias climatológicas de precipitação simulada e observada sobre as regiões das bacias hidrográficas do estado do Ceará, desenvolveram-se programas em linguagem FORTRAN®, e usou-se o sistema de exibição e análise de grade GrADS (Grid Analysis and Display System), além de uma extensão para cálculo de precipitação média espacial (ArcView Areal Rain Extension) implementada no software ArcView®.

A extensão *Areal Rain* calcula a precipitação para uma área particular usando o método do Polígono de Thiessen (Thiessen Polygon Method). A partir dos dados contidos em uma determinada área a extensão se encarrega de traçar as áreas representativas e criar os polígonos, levando em conta a área de influência de cada posto com dados. Assim, a precipitação média numa bacia hidrográfica é calculada por:

$$P_m = \frac{1}{A} \sum A_i P_i \quad (1)$$

Onde: A_i é a área de influencia do posto i , e P_i é a precipitação registrada no posto i , e A representa a área total da Bacia Hidrográfica.

3 Resultados e discussão

A Figura 02 mostra o contorno das bacias hidrográficas do estado do Ceará. São 11 bacias: Bacia do Acaraú, Bacia do Banabuiú, Bacia do Baixo Jaguaribe, Bacia do Coreau, Bacia do Curu, Bacia do Litora, Bacia do Médio Jaguaribe, Bacia Metropolitana, Bacia do Parnaíba e a Bacia do Salgado.

A Tabela 01 mostra os Principais Açudes, com as respectivas capacidades de armazenamento, para cada uma das bacias hidrográficas descritas acima. Os açudes de maior capacidade de armazenamento no Ceará são: o Açude do Castanhão, localizado na Bacia do Médio Baixo Jaguaribe, com capacidade de armazenamento de 6.700,0 milhões de m^3 ; o Açude de Orós, localizado na Bacia do Alto Jaguaribe, com capacidade para 1.940,0 milhões de m^3 ; o Açude Banabuiú, na Bacia do Banabuiú, com 1.601,0 milhões de m^3 , e o Açude Araras, localizado na Bacia do Acaraú, com capacidade para 891,0 milhões de m^3 .

Na Figura 03 tem-se um mapa com o contorno das bacias hidrográficas do Ceará, juntamente com os pontos que contêm dados de precipitação (observação), e os pontos do domínio modelo regional RSM97.

Na Tabela 02, tem-se uma síntese do total de pontos observados e modelados para cada uma das bacias hidrográficas. Observa-se que, em todas as bacias hidrográficas do Estado, existem pontos com dados simulados. Porém, na Bacia do Curu, só existem informações de apenas um ponto de simulação, inviabilizando do a aplicação da metodologia de obtenção da precipitação média proposta acima.

Outro aspecto relevante, é que a Bacia do Litoral, contém apenas 01 ponto com dados observados, é a do Parnaíba não tem dados observacionais. Entretanto, para efeito de comparação, entre os dados observados e modelados, nessas bacias hidrográficas usaram-se os dados do conjunto de Xi e Arkin (1996), que estão em pontos de grade e interpolados para a mesma resolução espacial dos dados do modelo numérico regional (RSM97).



Figura 02: Contorno das bacias hidrográficas do Estados do Ceará.



Figura 03: Pontos da simulação (ECHAM4.5/RSM97) e Observados (conjunto de dados ANEEL/FUNCEME) em cada uma das bacias hidrográficas do estado do Ceará.

Tabela 01: Principais açudes por bacia hidrográfica do Estado do Ceará.

Bacia Hidrográfica	Açudes	Capacidade em milhões de m ³
Bacia do Acaraú	Araras	891.0
Bacia do Alto Jaguaribe	Orós	1940.0
Bacia do Banabuiú	Banabuiú	1601.0
Bacia do Coreaú	Pentecostes	395.6
Bacia do Curu	Itauna	77.5
Bacia do Litoral	Sto Ant. de Aracatiaçu	24.3
Bacia Metropolitana	Pacoti	380.0
Bacia do Médio/Baixo Jaguaribe	Castanhão	6700.0
Bacia do Parnaíba	Jaburu II	116.0
Bacia do Salgado	Atalho	108.0

Tabela 02: Total de pontos com dados observados e simulados (RSM97) para cada bacia hidrográfica do estado do Ceará.

Bacia Hidrográfica	Postos observados	Pontos RSM97
Bacia do Acaraú	07	03
Bacia do Alto Jaguaribe	12	08
Bacia do Banabuiú	11	07
Bacia do Baixo Jaguaribe	05	02
Bacia do Coreaú	02	04
Bacia do Curu	05	01
Bacia do Litoral	01	04
Bacia do Médio Jaguaribe	09	02
Bacia Metropolitana	12	05
Bacia do Parnaíba	0	04
Bacia do Salgado	04	03

A Figura 04 mostra o total da precipitação pluviométrica observada e simulada, para o período chuvoso, que se estende nos meses de fevereiro a maio (Alves et al., 1992; Souza et al., 1996), em cada uma das bacias hidrográficas do estado do Ceará. Na Figura 05, tem-se o percentual do sobre/subestimação do total da precipitação pluviométrica simulada em relação a observada, na estação chuvosa, para as bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

Ressalta-se que os dados observados representa a climatologia de precipitação pluviométrica em cada um dos postos observados, e os dados simulados representam a média dos 10 membros simulados usando o modelo, regional RSM97 aninhado ao modelo global ECHAM4.5.

Os resultados mostram que, na maioria das bacias hidrográficas do Estado, a climatologia de precipitação simulada obteve menores valores que a observada, exceto na Bacia do Curu, onde ocorreu a situação inversa, uma sobre estimativa de 7% em relação ao valor observado. Apesar de nessa bacia hidrográfica só haver um ponto com dados simulados de precipitação pluviométrica. Nesse sentido, verifica-se que, apesar das circunstâncias, os dados da simulação podem auxiliar os tomadores de decisão nessa área.

Os valores médios da climatologia de precipitação pluviométrica, observados e simulados, encontrados para a Bacia do Parnaíba, são bem próximos, 559 e 548 mm, respectivamente. Apresentando uma subestimação de aproximadamente 2%, para o total de chuvas de fevereiro a maio.

Isso mostra que apesar de nessa bacia hidrográfica não ter pontos de observação pluviométrica, os dados de futuras previsões climáticas usando o sistema ECHAM4.5/RSM97, pode fornecer informações que auxiliem em tomadas de decisão pelos gestores dos recursos hídricos dessa região.

Na Bacia do Acaraú, onde se encontra o Açude Araras, os valores encontrados para a climatologia de precipitação pluviométrica foram de 639 e 567 mm, observados e simulados, respectivamente. Nesse caso, encontra-se uma subestimação

de 11% do total das chuvas de fevereiro a maio, mostrando mais uma vez que com esse sistema de previsão podem-se obter importantes informações climáticas para a região.

Na Bacia do Alto Jaguaribe, onde está o Açude de Orós, um dos mais importantes do Estado, o sistema ECHAM4.5/RSM97 subestimou em aproximadamente 5,2% o total das chuvas nos meses de fevereiro a maio. Mostrando um alto desempenho em simular a climatologia de precipitação para essa região.

Não obstante ao alto desempenho do sistema nas bacias hidrográficas mostrado acima, observa-se que em algumas delas o sistema não funcionou bem. Como é o caso da Bacia do Médio e Baixo Jaguaribe, onde se encontra o principal açude do Estado, o Açude do Castanhão. Nessas áreas, os valores simulados subestimam a climatologia de precipitação observada em 35,8 e 40,1%, respectivamente, para o total da estação.

Numa avaliação preliminar, pode-se encontrar que, nesse caso, o baixo desempenho do sistema pode estar relacionado com a topografia usada nas simulações com modelo regional, que, apesar de ter maior detalhamento que a do modelo global, não representa a observada (ver anexo). Porém, este aspecto só poderá ser explorado modificando a topografia no modelo regional e fazendo um outro experimento de previsão climática para a região.

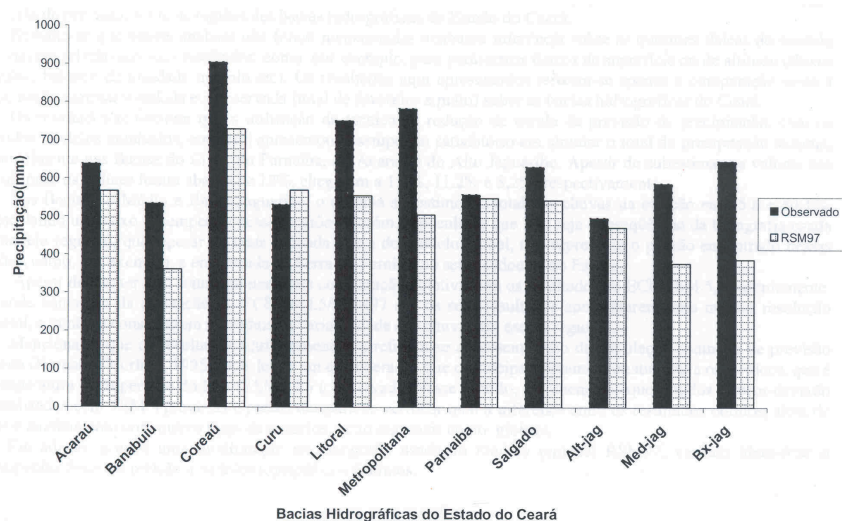


Figura 04: Total da precipitação pluviométrica observada e simulada, para o período chuvoso, que se estende nos meses de fevereiro a maio (Souza et al., 1996), em cada uma das bacias hidrográficas do Estado do Ceará. (Alt-Jag representa Alto Jaguaribe, Méd-Jag, Médio Jaguaribe e Bx-Jag, Baixo Jaguaribe).

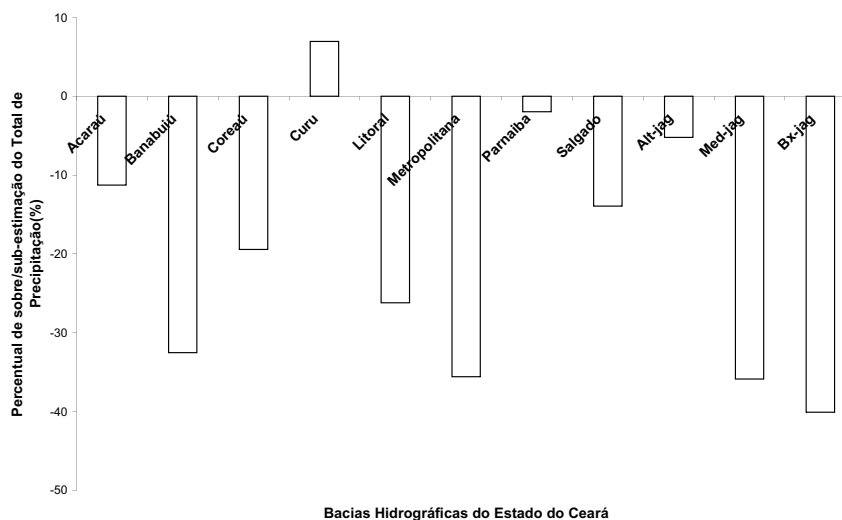


Figura 05: Percentual do sobre/subestimação do total da precipitação pluviométrica simulada em relação à observada, na estação chuvosa, para as bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

4 Conclusões e recomendações

O estudo mostra uma avaliação preliminar dos resultados da simulação da climatologia de precipitação pluviométrica simulada por modelos numéricos de previsão (ECHAM4.5/RSM97), aplicando-se a técnica de redução de escala da previsão, sobre as regiões das bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

Ressalta-se que nessas análises não foram mencionadas nenhuma inferência sobre as questões físicas do modelo regional em relação aos seus resultados, como, por exemplo, para parâmetros físicos de superfície ou de altitude (fluxos de calor, balanço de umidade no solo etc). Os resultados aqui apresentados referem-se apenas a comparação entre a precipitação sazonal simulada e a observada (total de fevereiro a maio) sobre as bacias hidrográficas do Ceará.

Os resultados mostraram que a utilização da técnica de redução de escala da previsão da precipitação, com os referidos modelos aninhados, em geral apresentou desempenho satisfatório em simular o total da precipitação sazonal, principalmente nas Bacias do Curú, do Parnaíba, do Acaraú e do Alto Jaguaribe. Apesar de subestimar os valores nas três últimas, os índices foram abaixo de 12%, chegaram a 1,9%, 11,2% e 5,2%, respectivamente.

Nas Bacias do Médio e Baixo Jaguaribe, o sistema subestimou o total das chuvas na estação em 35,8 e 40,1%, apresentando um baixo desempenho nessas regiões. Porém, especula-se que isso seja consequência da topografia usada no modelo regional, que, apesar de mais refinada que a do modelo global, não representa o padrão encontrado nessas regiões, como, por exemplo, a encontrada na Serra do Pereiro, no setor sudoeste do Estado.

Apesar de não ter sido feita aqui nenhuma comparação objetiva com os resultados do ECHAM4.5, aparentemente, a grande vantagem da utilização do ECHAM4.5/RSM97 são os seus resultados apresentarem uma melhor resolução espacial, e também conseguirem reproduzir a variabilidade das chuvas em escala regional.

Menciona-se que os resultados aqui apresentados referem-se ao desempenho da simulação chamada de previsão perfeita (Kumar & Horling, 1995), pois levou em consideração que o principal forçante climático para os trópicos, que é a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), foi à observada. Nesse sentido, recomenda-se que estudos futuros deverão ser realizados com TSM's previstas e persistidas para se verificar qual a diferença entre os resultados obtidos, além de testar o aninhamento com outros tipos de modelos, tanto regionais como globais.

Em adição, propõe uma modificação na topografia usada no modelo regional RSM97, visando identificar o desempenho deste em relação a padrões topográficos distintos.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Cearense de Apoio à Pesquisa (FUNCAP), pelo suporte financeiro dado para a realização desse trabalho. Em adição, os autores agradecem a toda a equipe que participou do Projeto Downscaling, na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Referências

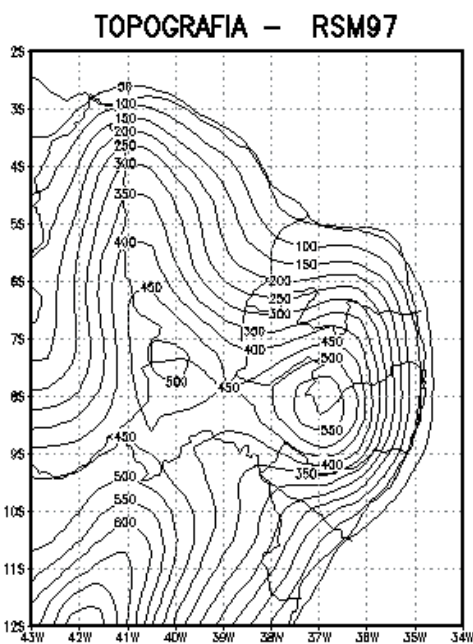
- ALPERT, J. C. et al. Mountain induced gravity wave drag parameterization in the NMC medium-range model. In: CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 8., 1988, Baltimore. *Proceedings...* Baltimore: AMS, 1988. p. 726-733.
- ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 7, n. 2, p. 583-592, 1992.
- ALVES, J. M. B. et al. Uma avaliação preliminar de simulações climáticas de um modelo regional espectral aninhado em um modelo global (Echam4.5) sobre o setor norte da região Nordeste do Brasil (1971-2000). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 20, n. 2, p. 191-206, 2005.
- ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a cumulus ensemble with the largescale environment, Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Boston, v. 31, n. 3, p. 674-704, 1974.
- BETTS, A. K.; HONG, S.-Y.; PAN, H.-L. Comparison of NCEP-NCA: reanalysis with 1987 FIFE data. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 124, n. 7, 1480-1498, 1996.
- BRIEGLEB, B. P. et al. Comparison of regional clear sky albedos inferred from satellite observations and model calculations. *Journal Climate and Applied Meteorology*, Boston, v. 25, n. 2, 214-226, 1986.

- Uma análise preliminar da distribuição espacial da climatologia de precipitação pluviométrica simulada em bacias hidrográficas no Estado do Ceará – Brasil*
- CHRISTENSEN, O. B. et al. Very-high-resolution regional climate simulations over Scandinavia-Present Climate. *Journal of Climate*, Boston, v. 11, n. 12, p. 3204-3229, 1998.
- GRELL, G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 121, n. 3, p. 764-787, 1993.
- HONG, S-Y.; PAN, H-L. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a mediumrange forecast model. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 124, n. 11, p. 2322-2339, 1996.
- JI, Y.; VERNEKAR, A. Simulation of the Asian summer monsoons of 1987 and 1988 with a regional model nested in a global GCM. *Journal of Climate*, Boston, v. 10, n. 8, p. 1965-1979, 1997.
- JUANG, H-M. H.; KANAMITSU, M. The NMC nested regional spectral model. *Monthly Weather Review*, Boston, v.122, n. 1, p. 3-26, 1994.
- KENNEDY, P. J.; SHAPIRO, M. A. Further encounters with clear air turbulence in research aircraft. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Boston, v. 37, n. 5, p. 986-993, 1980
- KIM, J.; MAHRT, L. Simple formulation of turbulent mixing in the stable free atmosphere and nocturnal boundary layer. *Tellus*, Stockholm, v. 44, série A, p. 381-394, 1992.
- KUMAR, A.; HOERLING, M. P. Prospects and limitations of seasonal atmospheric GCM predictions. *Bulletin of American Meteorological Society*, Boston, v. 76, n. 3, p. 335-345, 1995.
- MAHRT, L.; PAN, H-L. A two layer model of soil hydrology. *Boundary-Layer Meteorology*, Boston, v. 29, n. 1, p. 1-20, 1984.
- NOBRE, P.; MOURA, A. D.; SUN, L. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's regional spectral model at IR. *Bulletin of American Meteorological Society*, Boston, v. 82, n. 12, p. 2787-2796, 2001.
- PAN, H.-L.; MARTH, L. Interaction between soil hydrology and boundary layer development. *Boundary-Layer Meteorology*, Boston, v. 38, n.1, p.185-202, 1987.
- PORTO, M. M. et al. Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no estado do Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agrônoma*, Fortaleza, v. 35, n. 1, p. 17-25, 2004.
- REYNOLDS, R.W.; SMITH, T. M. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *Journal of Climate*, Boston, v. 7, n. 6, p. 929-948, 1994.
- ROECKNER, E. et al. *The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day Climate*. Hamburg: Max Planck Institute for Meteorology, 1996. (Report No 218).
- SILVA, E. M.; CASTRO, M. A. H. Análise da climatologia de precipitação simulada em escala regional usando downscaling dinâmico sobre a região Norte do nordeste do Brasil. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. 26. n. 2, p. 124-132, 2005.
- SILVA, E. M. et al. Resultados de uma simulação climática utilizando “Downscaling” dinâmico sobre o Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., Foz de Iguaçu, PR, 2002. *Anais...* Foz de Iguaçu, PR, 2002. p. 3824-3830.
- SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade espacial da precipitação sobre o estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., Campos do Jordão, 1996. *Anais...* Campos do Jordão: SBMET, 1996. p. 196-200.
- TIEDTKE, M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. In: ECMWF WORKSHOP ON CONVECTION IN LARGE-SCALE MODELS, Reading, 1983. *Proceedings...* Reading, 1983. p. 297-316
- TROEN, I.; MAHRT, L. A simple model of the atmospheric boundary layer: sensitivity to surface evaporation. *Boundary-Layer Meteorology*, Boston, v. 37, n. 1, p.129-148, 1986.
- XI, P. P.; ARKIN, P. A. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellites estimates, and numerical model predictions. *Journal of Climate*, Boston, v. 9, n. 4, p. 840-858, 1996.

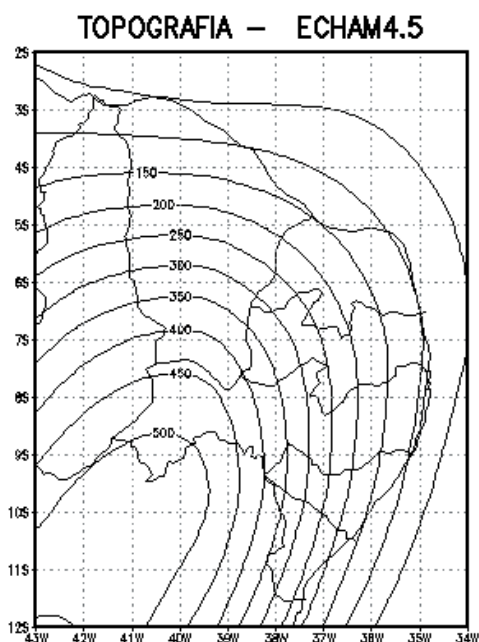
Emerson Mariano da Silva é Mestre em Meteorologia, formado pela Universidade Federal da Paraíba, Campus de Campina Grande, hoje, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Aluno do Curso de Doutorado de Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará.

Marco Aurélio Holanda de Castro é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA-UFC)

Anexo



a)



b)

Topografia sobre a Região Nordeste (em metros). a) Usada no modelo regional RSM97 e b) Usada no modelo global ECHAM4.5. (Fonte: Silva e Castro, 2005).