

ACOPLAMENTO DE MODELO CLIMÁTICO E MODELO HIDROLÓGICO

Francisco de Assis de Souza Filho^{1,2} & Rubem L.L. Porto²

Resumo - O desenvolvimento de um acoplamento de um modelo hidrológico concentrado e um modelo climático regional é objeto deste trabalho. O acoplamento unidirecional dos modelos seguiu a seguinte seqüência: modelo global ECHAM 4.5; modelo climático regional: RSM; e modelo hidrológico: SMAP e estatístico baseado nas equações do SCS. O acoplamento apresentou resultados satisfatórios. A correlação obtida com acoplamento do SCS foi 0,83 e a com o SMAP foi 0,81. Estes resultados estão associados a simulação do modelo climático regional com TSM conhecida, sendo pois o limite superior da capacidade de previsão do sistema acoplado. Estes resultados animam futuros desenvolvimentos nesta linha.

Abstract - The development of a accoupling of a hidrological model and a regional climatic model is object of this work. The models used are global model ECHAM 4.5; regional climatic model: RSM; and hidrological model SMAP and statisticial based on SCS's Equations. The accoupling has good results. The correlation obtained with SCS's was 0,83 and SMAP was 0,81. To produce this results we use observe TSM in climate models.

Palavras-chave - Hidrologia, Hidrometeorologia, clima, Previsão de Vazões, Modelos Climáticos

INTRODUÇÃO

A previsão de vazão pode ser realizada utilizando-se modelagem dinâmica ou estatística. Um procedimento para a realização de tais previsões é o uso de Modelos de Circulação Gerais (GCMs) do oceano e a atmosfera, seguindo-se por "downscaling" que usa Modelos regionais de previsão de clima ou aproximações estatísticas, seguido por modelos chuva-deflúvio concentrados ou

¹ Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. assisfilho@seccrel.com.br. (85)4331803

² Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - Av. Prof. Almeida Prado, 271 – Trav. 3 - Cidade Universitária - São Paulo – Brasil - CEP: 05508-900 - Tel: (11) 3091 5403
assisfilho@seccrel.com.br, rlporto@usp.br;

distribuídos. Esta é uma direção de pesquisa útil. Neste momento, ainda estão sendo avaliados assuntos relacionados a propagação de incerteza ao longo da metodologia, processos estão sendo parametrizados e capacidade de previsão final esta sendo avaliada.

O modelo climático utilizado foi simulado com temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico conhecida. Este modo de previsão produz o melhor resultado possível do modelo.

Este trabalho apresenta o acoplamento de um modelo hidrológico concentrado com um modelo de previsão climática regional.

A REGIÃO DE APLICAÇÃO

A aplicação da metodologia foi realizada na Bacia Hidrográfica do reservatório Orós. Este reservatório tem uma bacia hidrográfica de 25.000 km² e localiza-se no sul do Ceará na bacia do Alto Jaguaribe. A sua bacia de contribuição tem no semi-árido da depressão sertaneja sua maior área, recebendo aportes do rios Bastiões e Jucá que drenam água de região subúmida do Cariri cearense.

MODELO CLIMÁTICO

Com a disseminação e a recente demonstração da previsibilidade de eventos climáticos, em particular o evento El Niño - Oscilação Sul e seus impactos de longo Prazo (Cane et al., 1986; Barnston et; 1999b; Mason et al., 1999b), tem havido um grande interesse pelo uso das previsões climáticas resultantes dos Modelos de Circulação Geral da atmosfera – MCGA’S (Rajagalopan et al., 2002).

Nos últimos anos devido a acelerada demanda pela informação climática e a restrição de escala espacial dos MCGA’S, alguns centros de pesquisa em meteorologia passaram a aplicar a chamada técnica do “Downscaling” (redução de escala da informação climática regional) em algumas regiões onde as MCGA’S apresentam melhor previsibilidade sazonal (Ji & Vernekar, 1997; Nobre et al., 2001; Sun & Graham, 2001).

Uma das dificuldades aparentes é traduzir essa informação climática para os usuários interessados e mostrar ou reduzir sua incerteza associada (erros). Em geral, os resultados da previsão climática são apresentados como a chance (%) de acertar dentro de uma categoria de percentis, ou quanto o valor quantitativo previsto se afasta da média ou normal climatológica da variável considerada (Mason et al., 1999; Krishnamurti et al., 2000). Rajagalopan et al, 2002, usando técnicas estatísticas, mostram um método que combina a probabilidade climatológica de

cada categoria com a seqüência de previsões probabilística resultante do MCGA relacionando-as com a previsão climática.

O sistema de previsão regional do clima, aqui utilizado, é o implementado na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME em convênio com o International Research Institute (IRI), Universidade de Columbia (EUA). O sistema utiliza o modelo regional espectral (MRE97), uma versão do MRE do National Centers Environmental Prediction - NCEP-EUA (Juang e Kanamitsu, 1994), sendo rodado com os dados de entrada do MCGA (ECHAM4.5) do Max Plank Institute. O modelo ECHAM4.5 tem um truncamento triangular no número de onda 42 (aproximadamente 2,8° de latitude e longitude). Maiores detalhes deste modelo pode ser encontrado em Roeckner et al. (1996).

O acoplamento entre os modelos é unidirecional. As forçantes de larga escala utilizadas para a inicialização do MRE foram obtidos das simulações do MCGA ECHAM4.5 para os meses de fevereiro a maio de 1971-2000. A informação de larga escala das componentes meridionais e zonal, umidade específica, temperatura e pressão foram utilizadas como contorno do modelo que utilizou um passo de atualização de 6 horas na das informações do contorno. A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) observada nos Oceanos Pacífico, Atlântico e Índico no período de 1971-2000 do conjunto de dados chamados "Optimum Interpolation" (Reynolds e Smith, 1994) serviram de variáveis de contorno à superfície nas simulações do modelo ECHAM4.5.

O método de perturbação aninhada usado seguiu o utilizado no MCGA sobre todo o domínio, e não somente na zona de fronteira lateral. As variáveis dependentes no MRE são definidas como a soma da perturbação e o campo base (campo que depende do ajuste do MCGA em relação ao MRE). A resolução da perturbação no domínio regional incluiu um esquema semi implícito, com filtragem no tempo com difusão horizontal semi implícita. Maiores detalhes sobre as características do MRE podem ser encontradas em Juan et al., 1997.

O MRE foi integrado, com um conjunto de 10 membros, na versão não-hidrostática, passo de tempo 600 segundos em modo de simulação, com um espaçamento de grade de 60Km centrada na latitude de 3°Sul e na longitude de 27° Leste, e 18 níveis verticais. A vegetação usada foi do tipo savana com 70% de cobertura da área de cada grade do domínio. O domínio compreende desde o oeste da África do Sul até Região Amazônica. Uma topografia mais refinada (60 Km), comparada a do ECHAM4.5, sobre a região Nordeste foi utilizada como variável de contorno no MRE.

Em termos de especificações físicas na superfície do MRE, o mesmo foi simulado com um modelo de solo de duas camadas (Pan e Marth, 1987). O modelo de solo é designado para descrever o papel da vegetação e a interação da umidade do solo em modificar as trocas de momento, vapor d'água e energia.

MODELO HIDROLÓGICO E O ACOPLAMENTO

O modelo hidrológico utilizado é um modelo concentrado e bastante simplificado baseado na equação do Soil Conservation Service (SCS). Como a bacia do Oros encontra-se, em grande parte, em região cristalina, com camada de solo muito pequena. Assumiu-se em uma primeira abordagem a inexistência de contribuição de base. O modelo de previsão climática apresenta resultados de saída diária das chuvas, porém estes modelos não uma boa capacidade de prever a seqüência entre dias úmidos e secos; como esta informação é decisiva para a utilização de modelos chuva-deflúvio em base diária optou-se pela utilização de modelo chuva-deflúvio com base mensal, de formas que o erro associado a diversidade de possibilidade das ocorrências diárias possíveis estivesse estimado no cálculo do resíduo da previsão de vazões. Dois modelos foram analisados um modelo estatístico baseado na equação de partição chuva-deflúvio do Soil Conservatio Service e o outro é o modelo SMAP, Lopes et al(1982).

O modelo Estatístico

O modelo estatístico utilizado baseou-se em uma regressão não linear sobre a equação do SCS modificada para a forma descrita a seguir. Este modelo é robusto, parcimonioso em parâmetros e extremamente simples. Este modelo foi aplicado para os totais de chuva do período de Fevereiro a Abril.

$$Q = k \frac{(P - \delta_1)^2}{(P + \delta_2)}$$

Onde Q é a vazão e P é a precipitação. K, δ_1 e δ_2 são os parâmetros do modelo. O parâmetro K tem por função ajustar a escala da precipitação observada e da precipitação obtida do modelo.

O modelo SMAP

O modelo SMAP desenvolvido por Lopes et al(1982) é construído a partir da equação de partição chuva deflúvio do SCS e possui dois reservatórios (subsuperficial e subterrâneo). O modelo tem seis parâmetros de ajuste e a Figura 4 apresenta a sua estrutura conceitual.

RESULTADOS

Modelo estatístico

O modelo foi ajustado para a vazão sazonal do período de fevereiro a abril. Utilizou-se o período de 1971-1992 para calibrar os parâmetros e o período de 1993 a 1996 para análise.

O resultado da previsão de vazões do modelo para o período de 1993 a 1996 é apresentado na Figura 1. Observa-se que os valores observados mantiveram-se entre os quantis de 25% e 75% em todos os anos e a previsão acompanhou a tendência de maior vazão em 1995 e de vazões mais baixas em 1993, 1994 e 1996.

A Figura 2 apresenta a previsão de precipitações médias na bacia do Óros. A correlação para o período de 1971-2000 foi de 0,79. O ano de 1971 foi o ano que apresentou maior erro. Retirando-se o ano de 1971 a correlação cresceria para 0,84. Observa-se que há uma mudança na escala da chuva observada e na chuva previstas no modelo, o valor máximo da precipitação no modelo é de 700 mm e o observado é de 1000mm.

O comportamento das vazões previstas com relação as vazões observadas é apresentada na Figura 3. Observa-se que o erro na previsão das precipitações de 1971 tornaram-se mais pronunciados após o calculo das vazões associadas. A correlação entre vazão observada e vazão prevista é de 0,83; caso seja removido o ano de 1971 esta correlação subiria para 0,91

Modelo SMAP

Utilizou-se a precipitação e vazões observada no período (1973-1996) para a calibração do modelo. Na calibração do modelo obteve-se uma correlação de 0,93 entre as vazões do modelo e observadas. O resultado da calibração é mostrado na Figura 5.

O modelo simulou o período de 1971-2000 utilizando a precipitação obtida no modelo climático regional. Esta precipitação foi corrigida utilizando-se a distribuição de probabilidade acumulada da precipitação observada e prevista, Figura 6. A correlação entre os totais observados e previstos do período de janeiro a Junho foi de 0,81. A Tabela 1 apresenta a correlação mês a mês dos valores observados e previstos. Observa-se que o modelo não tem capacidade de prever as vazões no mês de janeiro na bacia do Orós. Este fato é atribuído a dois fatores o primeiro ao sistema que produz chuva em Janeiro é associado as frentes frias, que tem maior dificuldade de previsão que as chuvas associadas a zona de convergência (produtores das chuvas de meados de fevereiro a maio); e o segundo fator é a sensibilidade do modelo as condições iniciais de umidade, pois o primeiro mês de simulação é Janeiro e um dos parâmetros de ajuste do modelo á condição precedentes.

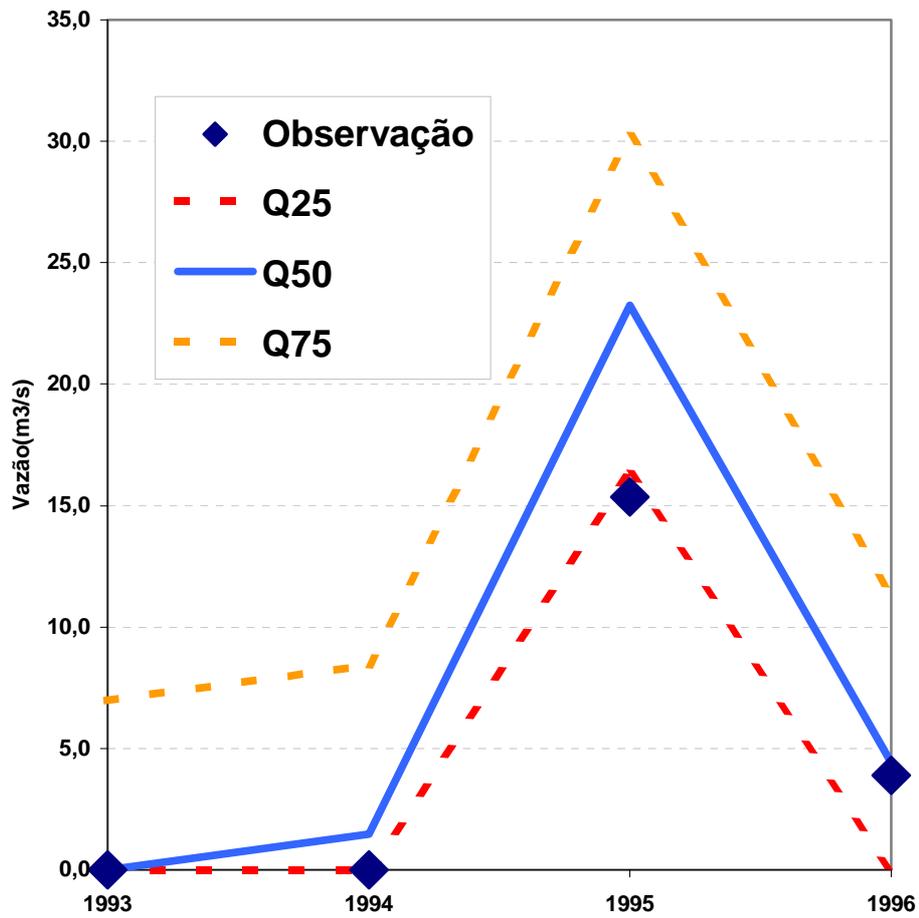


Figura 1: Previsão de vazões para o período 1993 a 1996 realizadas a partir das precipitações do RSM

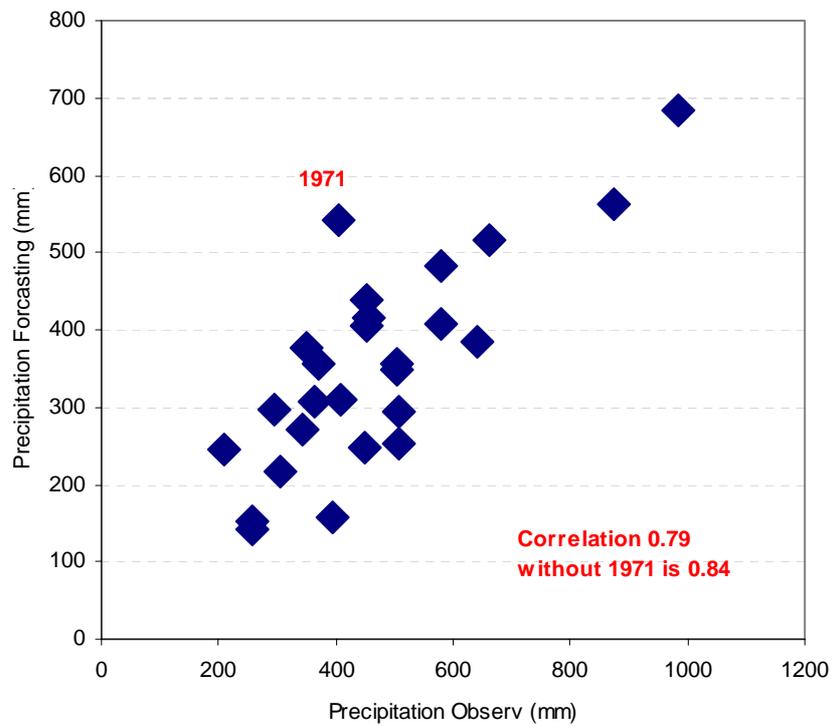


Figura 2: Relação entre precipitação observada e prevista nos meses de fevereiro, março e abril na Bacia hidrográfica do reservatório Orós.

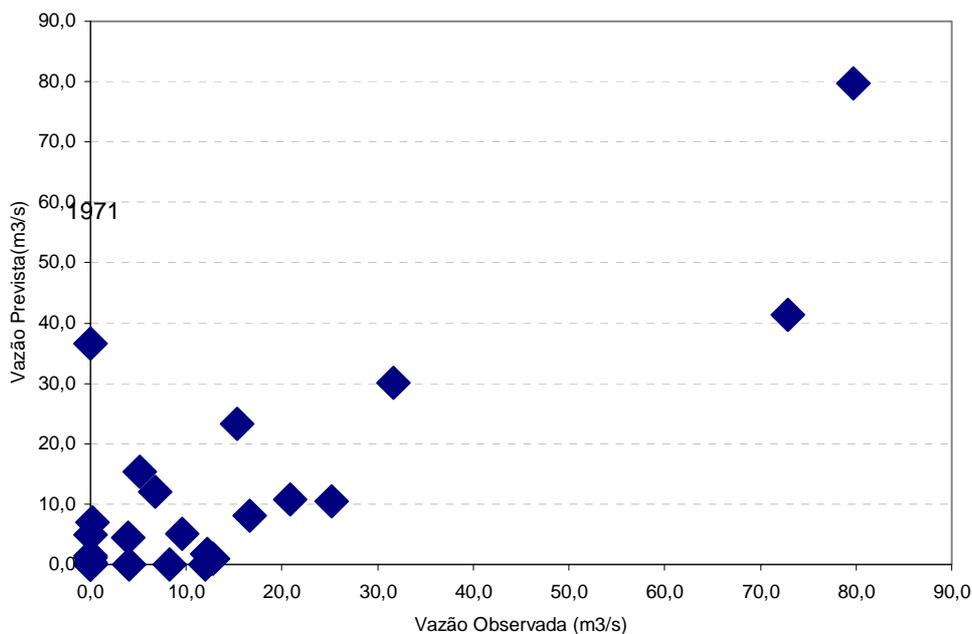


Figura 3: Relação entre vazão observada e prevista nos meses de fevereiro, março e abril na Bacia hidrográfica do reservatório Orós.

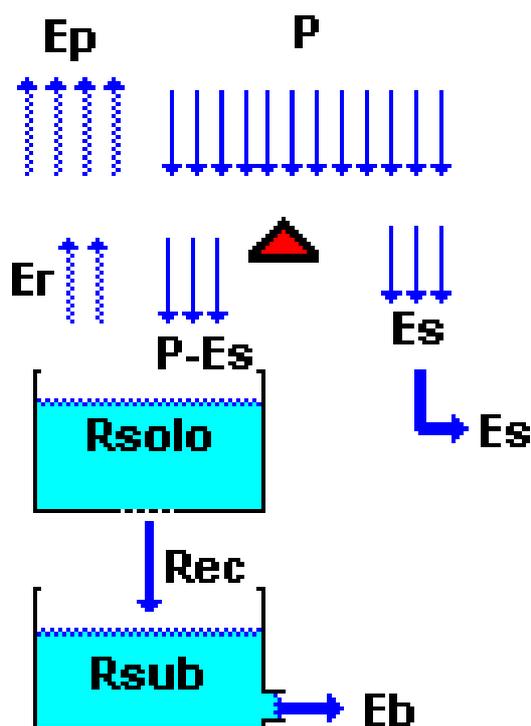


Figura 4: Estrutura do modelo SMAP

Tabela 1: Correlação entre os valores Previstos e Observados no período 1971-2000

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Correlação	0,05	0,58	0,52	0,72	0,92	0,56

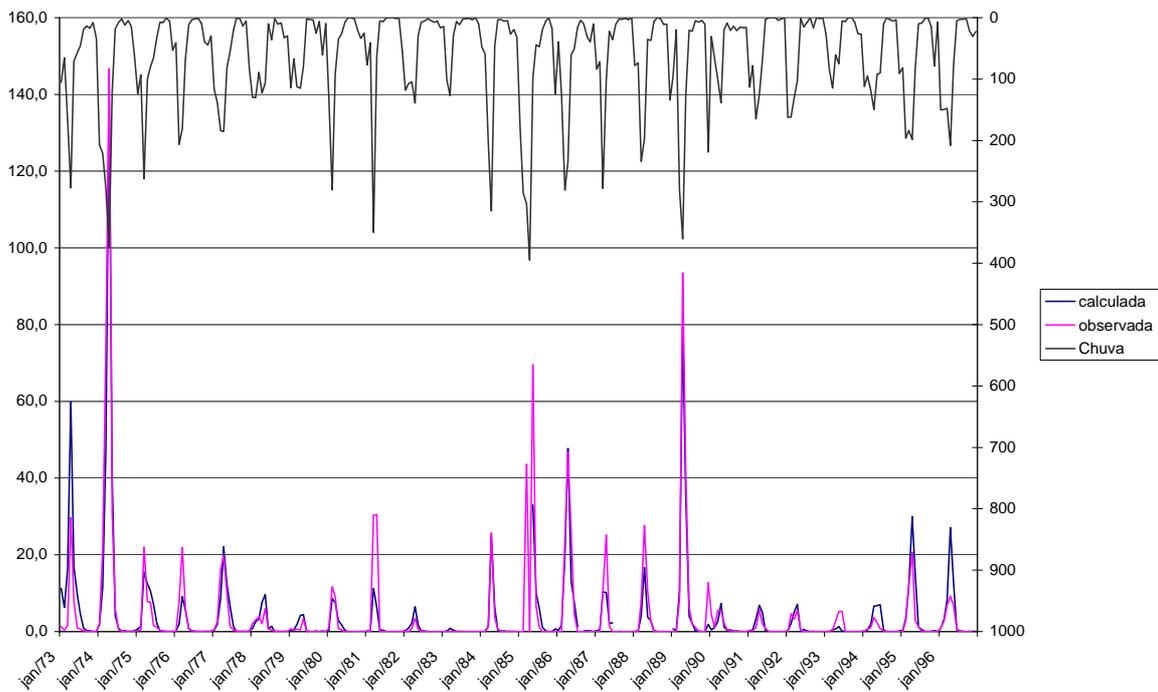


Figura 5: Resultado da calibração do modelo SMAP

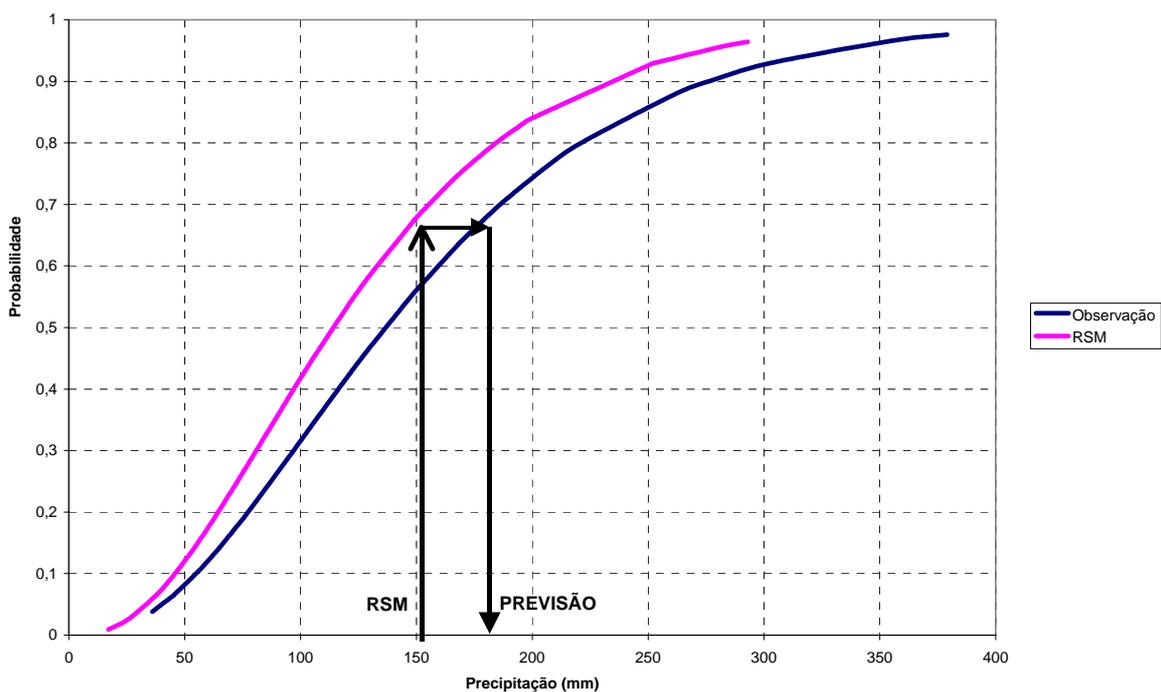


Figura 6: Correção de escala entre a precipitação do modelo e a observada é realizada utilizando a distribuição de probabilidade acumulada. Distribuição de probabilidade acumulada para o mês de abril.

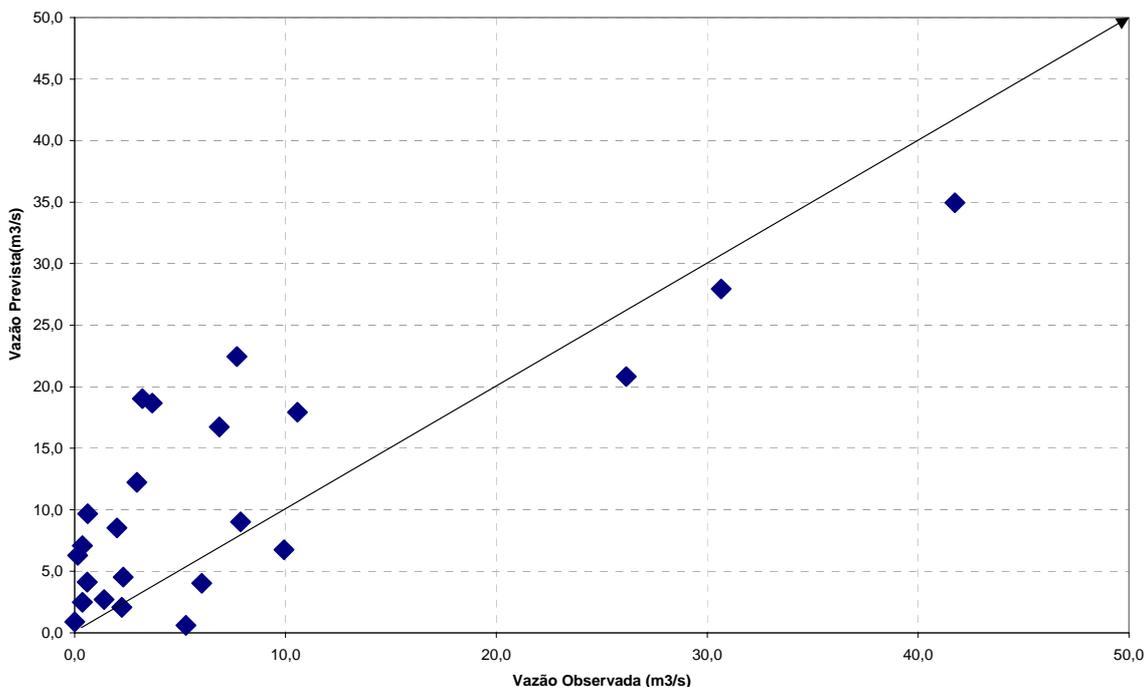


Figura 7: Vazões observadas e Previstas com o RSM (previsão climática regional) e SMAP (modelo hidrológico chuva-deflúvio) para o mês de Maio.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos foram satisfatórios e apresentaram a potencialidade desta linha de trabalho. O aprimoramento do modelo hidrológico é um passo importante.

O modelo SMAP e o estatístico tiveram performance similares. Estes são apenas os resultados preliminares do modelo SMAP, análise mais detalhada da performance deste modelo e melhoria na metodologia de cálculo estão sendo implementadas.

Os modelos hidrológicos concentrados produzem bons resultados com baixo custo computacional, como pode-se observar. Modelos concentrados mais completos e utilizando dados na escala diária estão sendo analisados. Os modelos concentrados possibilitam, devido ao seu pequeno número de parâmetros e baixo custo computacional, a análise das incertezas associados aos seus parâmetros com técnicas tais como Monte Carlo Markov Model (MCMC).

O modelo climático utilizado foi simulado com temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico conhecida. Este modo de previsão está associado ao melhor resultado possível do modelo. Nas previsões reais não se conhece as TSMs devido a este fato a previsão real deverá produzir resultados de pior qualidade que os aqui apresentados. Está-se concluindo a geração das previsões do modelo para o período de 1971 a 2000 com a utilização das TSM previstas. Este resultado poderá fornecer uma nova análise da performance-se do modelo.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao CNPQ pelo auxílio dado na elaboração das pesquisas que possibilitaram este trabalho.

REFERÊNCIAS

- BARNSTON, A .G et al. NCEP forecast for the El Niño of 1997-98 and its U.S. impacts. *Bull. Amer. Meteor. Soc*; 80, 1829-1852. 1999b.
- CANE, M.A.; ZEBIAK, S.E; DOLAN; S.C. experimental forecast of El Niño. *Nature*, 321, 827-832. 1996.
- CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B. and CAVALCANTI, I. F. A. Extend range forecast over South America using the regional eta model. *J. Geophys. Res.* 105, d8, 10.147-10160. 2000.
- LOPES, J.E, BRAGA, B.F.F, CONEJO, J.L. A Simplified Hydrologic Model in Applied Modeling in Catchment Hydrology. Ed. V.P. Singh. Water Resources Publication. 1982.
- MASON, S.J.L. et al. The IRI Seasonal Climate Prediction System and the 1997/98 El Niño event. *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 80, 1953-1973, 1999.
- 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. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 2787-2796. 2001.
- RAJAGOPALAN, B.; LALL, M.; ZEBIAK, S. E. Categorical Climate forecast through regularization and optimal combination of multiple GCM ensembles. Pg. 1-34. In. press. 2002.
- ROECKNER, E., et al. The Atmospheric General Circulation Model ECHAM-4: Model Description and Simulation of Present-day Climate. Max Planck Institute for Meteorology. Report No 218. 1996.
- SUN, L.; GRAHAM, N. Climate simulation over East Africa using the NCEP Regional Spectral Model. *Submitted to J. Geophys. Res.* 2001.
- KRISHNAMURTY, T.N. et al. Multimodel ensemble forecast for Weather and Seasonal Climate. *J. Climate*, 13, 4196-4216.2000.