

# UM ESTUDO DE DOWNSCALING DINÂMICO DE PRECIPITAÇÃO INTRASAZONAL ACOPLADO A MODELO CHUVA-VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA ALTO-MÉDIO SÃO FRANCISCO

JOSÉ PEDRO REBÉS LIMA E JOSÉ MARIA BRABO ALVES

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Fortaleza – CE, Brasil

rebes@funceme.br, brabo@funceme.br

Recebido Outubro 2008 - Aceito Maio 2009

## RESUMO

Este estudo mostra a aplicação de modelagem hidroclimática dinâmica (hydroclimate downscaling) de precipitação acoplada a um modelo hidrológico chuva-vazão, para as Bacias hidrográficas denominadas Cachoeira Manteiga e Porto da Extrema, localizadas na Bacia do Alto-Médio São Francisco no Estado de Minas Gerais. Ênfase foi dada à simulação na escala intrasazonal (mensal). Os resultados sugerem que a simulação de precipitação pode ser usada como variável de entrada em modelos de estimativa de vazão para períodos na escala de um mês, dando subsídio a um melhor aproveitamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica estudada. Estes ainda sugerem que a simulação de precipitação, quando corrigida pela técnica Probability Density Function (PDFs), é mais eficiente na estimativa de precipitação simulada quando comparada com a precipitação observada na bacia, resultando em uma melhor simulação de vazão afluente na bacia.

**Palavras-Chave:** Simulação hidroclimática, modelo chuva-vazão, bacia hidrográfica.

**ABSTRACT:** A STUDY OF INTRASEASONAL PRECIPITATION DYNAMIC DOWNSCALING COUPLED TO RAIN-STREAMFLOW MODEL AT THE ALTO-MÉDIO SÃO FRANCISCO HYDROGRAPHIC BASIN.

This study shows the use of rainfall dynamic hydroclimate downscaling coupled to the rain-streamflow hydrological model for the hydrographic basins named Cachoeira Manteiga and Porto da Extrema, localized at Alto-Médio São Francisco Basin in Minas Gerais State. The emphasis was to simulate the intraseasonal scale (monthly). The results suggest that the rainfall simulation can be used as input data to streamflow estimation models for periods of monthly scale, allowing a more rational usage of the surface water resources in the hydrographic basin studied. It is also suggested that the rainfall data simulation, corrected by the Probability Density Function (PDF) technique, is more efficient to estimate rainfall comparing to observed rainfall in the basin thus resulting in a better simulation of the basin flow outlet.

**KeyWords:** Hydroclimatic simulation, rain-streamflow model, hydrographic basin.

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do rio São Francisco, o qual tem 2.700 km de extensão, se apresenta de suma importância no cenário social e econômico do Brasil, em particular no que se refere à agricultura. A área irrigada é de 342.900 hectares, correspondendo a 11% dos 3,1 milhões de hectares irrigados no país. Várias atividades têm se destacado, dentro do regime produtivo do rio São Francisco, entre elas: o crescimento da agricultura de sequeiro

para produção de soja e milho, da pecuária, com ênfase na bovinocultura e caprinocultura, da pesca e aqüicultura, da indústria e agroindústria, das atividades minerais, do turismo e lazer. Sendo assim, estudos que permitam avaliar a sensibilidade da modelagem dinâmica acoplada precipitação-vazão na bacia do São Francisco, são ferramentas de fundamental importância para um melhor planejamento de atividades que necessitam de uso racional da água. Dentro do conceito integrado de bacia hidrográfica, a aplicabilidade de informações meteorológica e

hidrológica agregadas é essencial para tomada de decisão, com ênfase no aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos nas diversas escalas de tempo e espaço.

Em simulações/previsões de afluência e quantidade de reservas hídricas para diversos usos, alguns deles conflitantes, têm sido utilizados acoplamentos numéricos (modelagem acoplada chuva-vazão) que simulam/prevêm as condições hidrológicas de água de superfície. Modelos hidrológicos podem dar diferentes simulações/previsões para diversos impactos na bacia hidrográfica. O uso de modelos hidrológicos depende do seu objetivo, e principalmente de disponibilidade de dados (Brilly, 1999). Estas previsões futuras de afluências, até pouco tempo, em geral, eram feitas com modelos estatísticos (Xu et al. 2001), passando a utilizar técnicas de modelagem física da atmosfera, fazendo com que a comunidade hidrológica comesse a utilizar esta informação. Este uso foi possível, segundo Sarewitz e Pilke (2000), graças a uma maior confiabilidade nos modelos atmosféricos, cujos desempenhos têm tido um notável progresso nas últimas décadas, devido a uma integração de ciências da terra e à capacidade computacional cada vez mais acelerada (Oliveira, 2006).

A previsão de precipitação para períodos sazonais, atualmente tem alta confiabilidade em várias áreas do globo, incluindo o Nordeste do Brasil, e em particular sua região semi-árida. Este aumento de previsibilidade deve-se a um melhor entendimento das conexões dos oceanos com a atmosfera (Goddard et al., 2001; 2003). Os atuais modelos de circulação geral da atmosfera forçados por temperaturas da superfície do mar (TSMs) tem a capacidade de capturar a circulação de grande escala da atmosfera sobre o nordeste da América do Sul, entretanto, estes não capazes de prever ou simular características da atmosfera ou da precipitação em uma escala mais local, devido a sua resolução espacial superior a 250 km (Nobre et al., 2001).

Segundo Oliveira (2006), até alguns anos atrás, a incompatibilidade de escala temporal e espacial da informação meteorológica restringia seu uso em modelos hidrológicos, sendo uma alternativa nos anos recentes o uso de downscaling dinâmico. No Brasil, poucos estudos de previsões meteorológicas de tempo (escala de dias) e sazonais (acima da escala mensal) têm sido usados como dados de entrada na modelagem hidrológica e em sistemas de operação de reservatórios (Galvão, 1999; Collischonn, 2001; Tucci et al. 2003; Galvão et al.; 2005, Da Silva et al., 2005 a, b; Alves et al., 2007; Lima e Alves, 2008).

O downscaling usa Modelos Regionais (MRs) aninhados a modelos dinâmicos de circulação geral da atmosfera – MCGAs. Estes MRs incorporam características regionais como topografia, vegetação, solo, diferenças continente-oceano, etc., não contidas nos modelos globais. Dessa forma, o MCGA responde mais à

influência da circulação de grande escala, enquanto o modelo regional é capaz de responder às forçantes dos efeitos locais, e de sub-escala dos MCGAs (Giorgi e Maranucci, 1991).

Vários estudos acerca do uso desta técnica (downscaling) sugerem um melhor desempenho na simulação e previsão de distribuição de precipitação localizada (Nobre et al., 2001; Seth e Rojas 2003 e Sun et al. 2005). No caso de bacias hidrográficas, Alves et al. 2008 apresenta resultados do potencial do uso da simulação de downscaling dinâmico de precipitação, em simular a variabilidade intrasazonal da precipitação na bacia hidrográfica do Açude Castanhão no Ceará. Outros estudos nos Estados Unidos e Inglaterra têm mostrado resultados de downscaling dinâmico de precipitação na escala de bacia hidrográfica (Miller et al., 1999). Mais recentemente, no volume número vinte e sete (2007) do *International Journal of Climatology*, há várias artigos que comentam sobre o uso e comparação de downscaling estatísticos e dinâmicos de precipitação e suas aplicações em estudos hidrológicos em várias áreas do globo.

O objetivo do estudo é mostrar o desempenho da modelagem climática dinâmica (dynamic downscaling) de precipitação acoplada ao modelo hidrológico chuva-vazão, apenas no processo de calibração, mostrando inclusive o ganho com a correção do erro sistemático da precipitação na escala intrasazonal em uma área ainda pouco estudada. Também, se dá ênfase a este desempenho em anos definidos como de contrastes climáticos (El Niño, La Niña e Normais).

As bacias de contribuição deste estudo localizam-se na parte nordeste e sul da Bacia Alto-Médio São Francisco, definidas a partir dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e de Porto da Extrema, dentro do Estado de Minas Gerais (Figuras 1). O regime climático destas bacias é predominantemente da parte norte da região sudeste, área cuja previsibilidade climática tem menor destreza nos modelos dinâmicos climáticos. A TSM é a principal variável nas condições de contorno da simulação climática de precipitação nestes modelos, contudo não é a principal forçante climática de precipitação na região de estudo. Nesta área da Bacia do São Francisco a precipitação tem como principal forçante a variabilidade interna da atmosfera, principalmente a atuação de fenômenos atmosféricos transientes: influências de frentes frias e do posicionamento e intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (Barreiros e Chang, 2002).

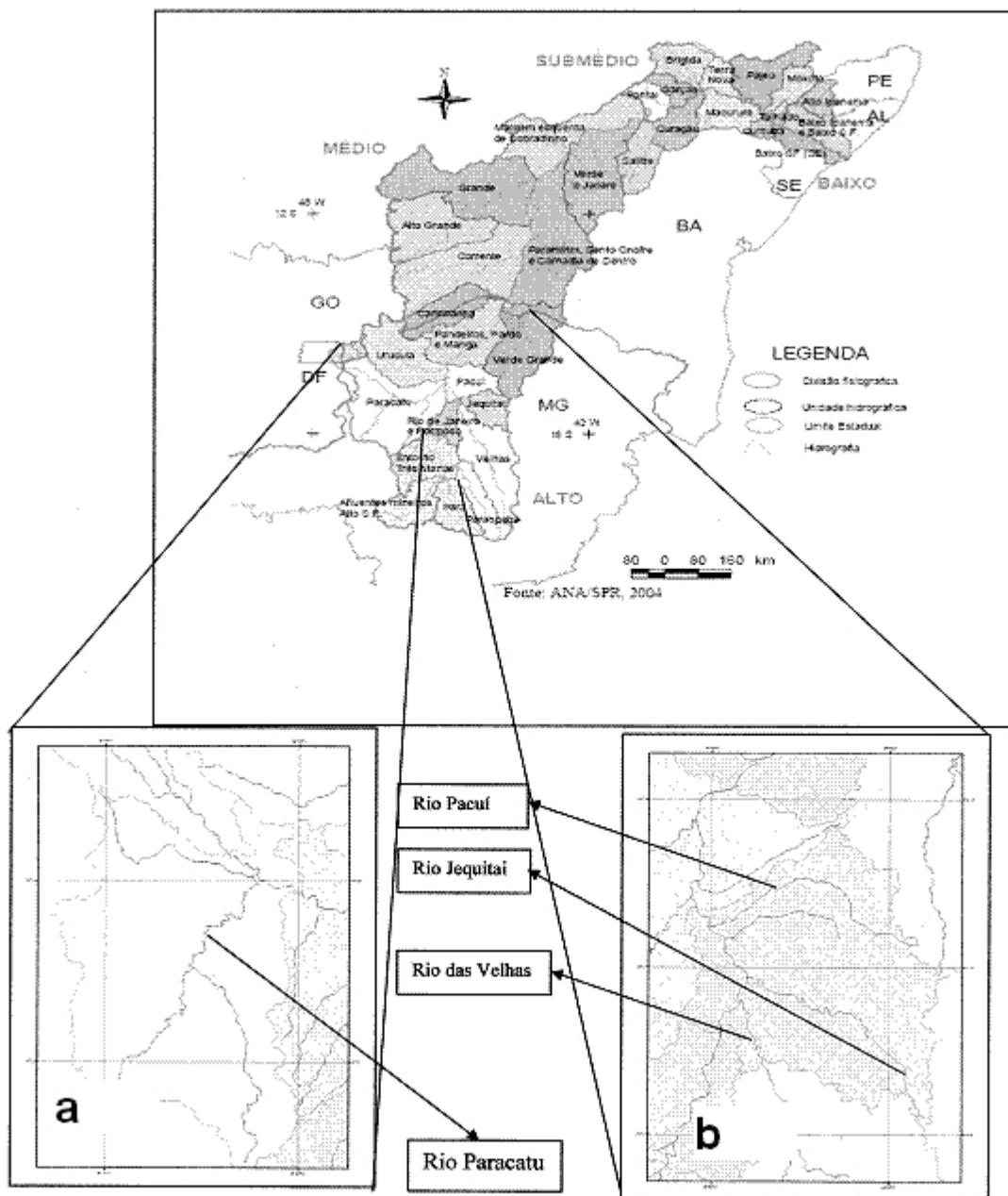
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Modelos atmosféricos usados

O modelo global atmosférico usado foi o ECHAM4.5, baseado no modelo de previsão de tempo do European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Várias

modificações têm sido aplicadas ao mesmo no Max Planck Institute for Meteorology and German Climate Computing Centre (DKRZ) para melhorar a previsão climática, estando o mesmo atualmente na quarta geração. Uma detalhada descrição do ECHAM4.5 pode ser encontrada em Roeckner et al. (1996). O Modelo Regional Espectral (MRE) usado neste estudo foi a versão hidrostática do MRE do National Center for Atmospheric Research – NCEP (Juang & Kanamitsu, 1994). O MRE foi

integrado para seis meses a partir de 01 de janeiro a 30 de junho com dez distintas condições iniciais advindas do MCGA para o período de 1971-2000. Informações do MCGA das componentes zonal e meridional do vento, umidade específica, temperatura do ar e pressão, a pressão a superfície a cada 6 horas serviram de assimilação pelo MRE. As TSMs obtidas no banco de dados do NCEP observadas nos meses de janeiro a junho de 1971-2000 foram usadas como condição de contorno oceânica para



**Figura 1** – Localização das Sub-Bacias Hidrográficas dos postos fluviométricos usados no estudo. a) Porto Extrema e b) Cachoeira Manteiga.

o MCGA e o MRE. Maiores detalhes sobre o ECHAM4.5, o MRE e o processo de downscaling podem ser encontrados em Sun et al. (2005).

## 2.2 Erros na modelagem dinâmica da Atmosfera

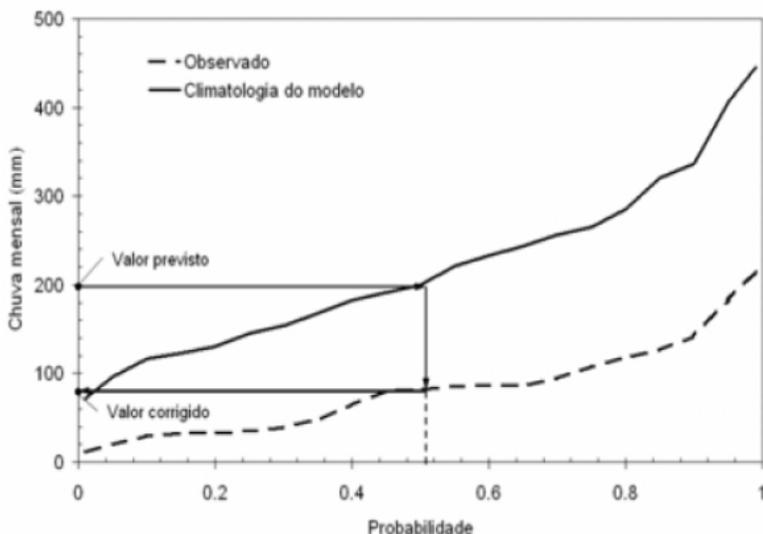
Os resultados da modelagem dinâmica da atmosfera apresentam erros sistemáticos (tendências). Estes vieses podem ser corrigidos por algumas técnicas. De uma forma geral, estas têm como base métodos estatísticos que tentam realizar uma análise dos erros com base em uma série histórica longa de dados observados e modelados. Segundo Reis Junior et al. (2006), dois métodos em geral são usados: o que preserva os dois primeiros momentos da série histórica e o método que preserva as frequências amostrais observadas na série histórica. O método dos dois primeiros momentos (MOM) consiste em calcular a média e o desvio padrão diário das séries observadas e modeladas para cada mês do ano, para o período de 1971-2000. O valor bruto da previsão de chuva, em um dado dia do mês, é subtraído da média histórica dos valores previstos, e dividido pelo correspondente desvio padrão, obtendo-se então um valor padronizado. Logo, o valor corrigido da simulação/previsão é dado pela multiplicação do valor padronizado pelo desvio padrão da série histórica observada, e adicionado o valor da média histórica dos dados observados.

O método utilizado tem como base as Probability Density Functions (PDFs) mensais das amostras previstas/simuladas e observadas no período de 1971-2000, e consiste da obtenção de duas curvas de frequência amostral uma para a previsão ou simulação e outra para os dados observados. O valor bruto da

previsão diária de chuva em cada mês está associado a uma probabilidade de ocorrência dada pela curva de frequência amostral do modelo. Para se obter o valor corrigido da simulação/previsão, basta pegar o valor da chuva correspondente à mesma probabilidade de ocorrência na curva dos valores observados. Este processo é fácil de se construir em uma planilha eletrônica, a Figura 2 mostra um exemplo hipotético do mesmo. Neste estudo foi executada apenas a correção com base nas frequências amostrais (Tucci et al. 2005). O período usado para essas correções das precipitações mensais simuladas pelo MRE foi de janeiro a junho entre 1940-1970 (totais mensais de precipitação média observada na bacia).

## 2.3 Dados de precipitação e vazão nas bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e de Porto da Extrema

Especificamente sobre a área de captação das bacias hidrográficas de Cachoeira da Manteiga e Porto da Extrema, foram usados postos pluviométricos com dados disponíveis diários do banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas), nos períodos de 1940-2000. Com estas estações da área de influência de ambas as bacias, usando o método do Polígono de Thiessen, foram calculadas médias diárias e mensais de precipitação. Como o modelo de downscaling rodado na FUNCEME incorpora somente o primeiro semestre, esses cálculos se detiveram ao período de janeiro a junho. Para os dados simulados pelo MRE, em grades de aproximadamente 60 km x 60 km, foi realizada interpolação linear para grades de aproximadamente 10 km x 10 km, nas áreas das bacias



**Figura 2** – Diagrama esquemático da correção da precipitação simulada com base nas curvas de distribuição de probabilidade acumulada. Adaptado de Tucci et al. (2005).

hidrográficas dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e Porto da Extrema. Os dados de vazão usados no estudo foram coletados nos postos fluviométricos de Cachoeira da Manteiga e de Porto da Extrema. Estes dados são valores diários para o período de 1955-1996, e a partir desses dados diários foram calculadas médias mensais. Estes foram ainda analisados, quanto a sua consistência (que não apresentavam faltas de informações diárias), e selecionados para serem usados os dados compreendidos no período de 1981-2000 e 1971-1996, respectivamente para ambas as bacias. A coleta e consistência desses dados são rotineiramente feitas pela ANA.

#### 2.4 Dados de TSM usados na definição dos anos de contrastes climáticos

Os dados de TSM usados, foram obtidos de duas fontes: para a definição dos anos de contrastes climáticos, usou-se TSMs de uma versão do Comprehensive Atmospheric-Ocean Data Set (COADS). Esse arquivo contém dados de médias mensais em pontos de grade de 1o x 1o de latitude-longitude, para um período de 1945 a 2000 (Da Silva et al., 1994); como base para a simulação dos modelos ECHAM4.5, MR/97 foram usadas TSMs do bando de dados do International Research Institute (IRI), conjunto de dados denominados de Interpolação Ótima (Reynolds e Smith, 1994). Os valores de TSM para o período de 1971-2000, com cobertura em todos os oceanos, foram interpolados para a grade dos modelos ECHAM4.5 e MRE/97. Para a precipitação e vazão, foi feita uma comparação para anos de contrastes climáticos (La Niña, El Niño e Normais) entre o simulado pelo MRE (com correção pelas PDFs) e o observado (valores médios) nas bacias de estudo.

Embora existam na literatura vários autores que tenham definido ano de ocorrência de eventos El Niño, La Niña, Normais no Pacífico Tropical (Trenberth, 1997 e outros), e de dipolos de TSM no Atlântico Tropical (Servain, 1991), nesse estudo foram definidos eventos de El Niño, La Niña e Normais no Pacífico Tropical (Philander, 1990) como: anos de El Niño quando a anomalia de TSM na área de Niño 3 esteve com uma anomalia acima de 0,5°C no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro; e La Niña quando essa anomalia foi inferior a -0,5°C; Anos Normais foram considerados aqueles com anomalias entre -0,5°C e 0,5°C (Alves et al, 2007).

Em função da classificação acima citada os anos tiveram a seguinte classificação: La Niña (1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1984, 1985, 1986, 1989, 1996, 1997, 1999 e 2000); El Niño (1973, 1977, 1983, 1987, 1988, 1992, 1995 e 1998); e Normais (1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1990, 1991, 1993 e 1994).

#### 2.5 Estatística usada para avaliar a precipitação e a vazão

Várias medidas de desempenho podem ser usadas para comparar resultados e seus erros associados entre variáveis observadas e simuladas/previstas cada uma com suas vantagens e desvantagens. As métricas calculadas são o bias estatístico, o Erro Absoluto Médio, o Erro Quadrático Médio, a razão entre os desvios padrão modelado e observado e o Coeficiente de Correlação.

O Bias (Viés) estatístico ( $b$ ) é dentre as métricas consideradas aqui, a mais simples e menos representativa. É dado pela média da diferença entre a série modelada (simulada) e a observada, e indica o erro sistemático (subestimativa ou superestimativa).

$$b = \frac{1}{N} \sum (V_{o,i} - V_{s,i}) \quad (1)$$

onde  $V_o$  é o valor da variável observada,  $V_s$  é o valor da variável simulada e  $N$  é o período de tempo usado no cálculo. O bias pode ter qualquer valor real, onde os valores mais próximos de zero, por definição, representam menor erro. É medido com a mesma unidade usada nas séries.

O Erro Absoluto Médio (EAM) é considerado uma medida de erro mais justa. Na mesma os desvios negativos não se cancelam com os positivos, o que o torna mais representativo que o bias.

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_{o,i} - V_{s,i}| \quad (2)$$

onde  $V_o$  é o valor da variável observada e  $V_s$  é o valor da variável simulada/prevista. Pela definição, só pode assumir valores não-negativos, sendo que quanto menor o valor maior semelhança entre as séries. É medido com a mesma unidade usada nas séries.

O Erro Quadrático Médio (EQM) é definido pela soma dos quadrados das diferenças entre resultados simulados/previstos e as observações.

$$EQM = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{o,i} - V_{s,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde  $V_o$  é o valor da variável observada e  $V_s$  é o valor da variável simulada/prevista. É a métrica de erro mais comumente usada. É muito sensível a grandes desvios entre os valores das séries comparadas, o que se torna mais relevante quando se trata de avaliação de grandes erros. Pode assumir qualquer valor não negativo e tem a mesma unidade de medida das séries. É maior a semelhança entre as séries simulada/prevista e a observada quanto mais próximo de zero for o seu valor.

Uma estimativa de erro frequentemente sugerida é a comparação entre os desvios padrão do simulado/previsto e o observado. A síntese é que medidas parecidas de desvio padrão estão associadas à similaridade entre as séries.

$$\sigma_{obs} = \left[ \frac{1}{N} \sum \left( V_{o,i} - \bar{V}_o \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\sigma_{sim} = \left[ \frac{1}{N} \sum \left( V_{s,i} - \bar{V}_s \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

onde  $V_o$  é o valor da variável observada e  $V_s$  é o valor da variável simulada/prevista, e onde  $\bar{V}_s$  e  $\bar{V}_o$  indicam o valor da média da variável simulada/prevista e observada. Com o cálculo dos desvios padrão pode-se calcular a razão entre os desvios como:

$$R_a = \frac{\sigma_{obs}}{\sigma_s} \quad (6)$$

Uma maior semelhança entre os desvios padrão é representada por uma razão mais próxima da unidade. Esta razão é adimensional, podendo assumir qualquer valor não negativo.

O Coeficiente de Correlação ( $r$ ), segundo a literatura, é a mais relevante métrica de comparação de todas as apresentadas. Sua fórmula é mostrada abaixo.

$$r = \frac{1}{N} \sum \frac{V'_{o,i} V'_{s,i}}{\sigma_o \sigma_s} \quad (7)$$

Nas formulações acima as variáveis simuladas são relativas tanto aos dados sem correção do MRE como os corrigidos pelas PDFs.

## 2.6 Modelo hidrológico chuva-vazão (SMAP)

Vários modelos hidrológicos têm sido testados para estimativa de vazão em bacias hidrográficas. O modelo escolhido nesse estudo para a geração de vazão foi o modelo SMAP - Soil Moisture Accounting Procedure (Lopes et al., 1981) na versão mensal. Foi considerada a facilidade de uso deste modelo, o qual exige a obtenção de poucos dados observacionais e a baixa demanda computacional. A base conceitual de aplicação do modelo hidrológico levou em conta os conceitos de modelagem concentrada, admitindo, por exemplo, um valor médio de precipitação, evaporação e vazão ao longo da bacia dos postos fluviométricos em estudo. O período utilizado para a calibração do modelo hidrológico foi o de janeiro de 1981

a dezembro de 2000 para o posto fluviométrico de Cachoeira Manteiga e de janeiro de 1971 a dezembro de 1996 para o posto fluviométrico de Porto da Extrema. O SMAP utiliza em seu esquema físico, dois reservatórios lineares representando o solo (camada superior) e o aquífero (camada inferior). A cada evento de precipitação (P) é realizado um balanço de massa e uma parcela de (P) é transferida como escoamento superficial (ES). Este cálculo foi feito através da equação do “Soil Conservation Service” (SCS) para escoamento superficial.

Assim neste estudo, os dados de entrada para o modelo são: (1) precipitação mensal (P) em mm; (2) evapotranspiração potencial (EP) mensal em mm; e (3) área da bacia hidrográfica em km<sup>2</sup>. Os parâmetros a serem calibrados manualmente são: taxa de umidade do solo inicial (TUin), que determina o nível inicial do reservatório RSOLO; e escoamento de base inicial (EBin). Os parâmetros do modelo a serem calibrados automaticamente são: SAT – capacidade de saturação do solo em mm; PES – parâmetro controlador do escoamento superficial; CREC – coeficiente de recarga, parâmetro relacionado com a permeabilidade na zona não saturada do solo em mm; e K - taxa de deplecionamento do nível RSUB, que gera o escoamento de base (EB).

Dos oito parâmetros do modelo SMAP foram utilizados apenas quatro na calibração automática. Em seguida, os valores dos parâmetros calibrados foram usados na estimativa das vazões com os dados de precipitação simulados pelo MRE e suas correções nos períodos de 1981-2000 e 1971-1996, para as duas bacias estudadas. A calibração dos quatro parâmetros do modelo foi feita com a tentativa de minimizar a função objetiva, coeficiente Nash-Sutcliffe, nas duas bacias, usando 100 interações (Nascimento et al., 2006).

## 2.7 Calibração e análise de eficiência do SMAP

Para a calibração automática do modelo chuva-deflúvio SMAP mensal foram utilizadas como função objetivo, a soma da raiz do erro quadrático entre as vazões observadas ( $q_i$ ) e as vazões estimadas ( $\hat{q}_i$ ) onde esta soma foi minimizada utilizando a função solver da planilha eletrônica Excel:

$$F0 = \sum (q_i - \hat{q}_i)^2 \quad (8)$$

A eficiência da calibração foi quantificada utilizando a formulação proposta por Nash e Sutcliffe (1970):

$$E = 1 - \frac{\sum (q_i - \hat{q}_i)^2}{\sum (q_i - \bar{q}_i)^2} \quad (9)$$

onde  $q_i$  é a vazão modelada e  $\bar{q}_i$  é a vazão média da série de vazões observadas.

### 2.8 Esquema do Acoplamento Atmosférico / Chuva-Vazão

Os procedimentos utilizados para a realização do acoplamento atmosférico/chuva-vazão estão ilustrados na Figura 3 por meio de um diagrama esquemático. Este diagrama representa o acoplamento entre a modelagem dinâmica da atmosfera e a modelagem hidrológica usada neste estudo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Precipitação

Os resultados mostraram para os meses de janeiro a junho (tabelas não mostradas), que os parâmetros estatísticos usados na avaliação de desempenho da precipitação mensal média na área das bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e de Porto da Extrema com os dados corrigidos

pelos PDFs, e os dados sem correção usando a grade simulada pelo MRE (aproximadamente 60 km x 60 km) para todo o período de simulação (1981-2000 e 1971-1996), e para os anos de contrastes climáticos, apresentaram algumas diferenças marcantes. Quanto à correlação, não aparecem diferenças muito significativas no coeficiente de correlação e na razão entre os desvios padrões, embora os valores sejam um pouco maiores em magnitude com os dados de precipitação corrigidos. Diferenças expressivas em magnitudes são verificadas em todos os meses, e os períodos de análises quando se comparam o bias, e os erros médios quadráticos e erros médios absolutos, notando-se uma vantagem no uso da correção dos dados de precipitação pelas PDFs, que aproximam os dados simulados pelo MRE as observações. Há uma redução significativa destes parâmetros, quando se compara os dados corrigidos pelas PDFs.

As Tabelas 1 e 2 mostram a síntese entre os meses de janeiro a junho na avaliação de desempenho da precipitação mensal média nas áreas das bacias dos postos fluviométricos de

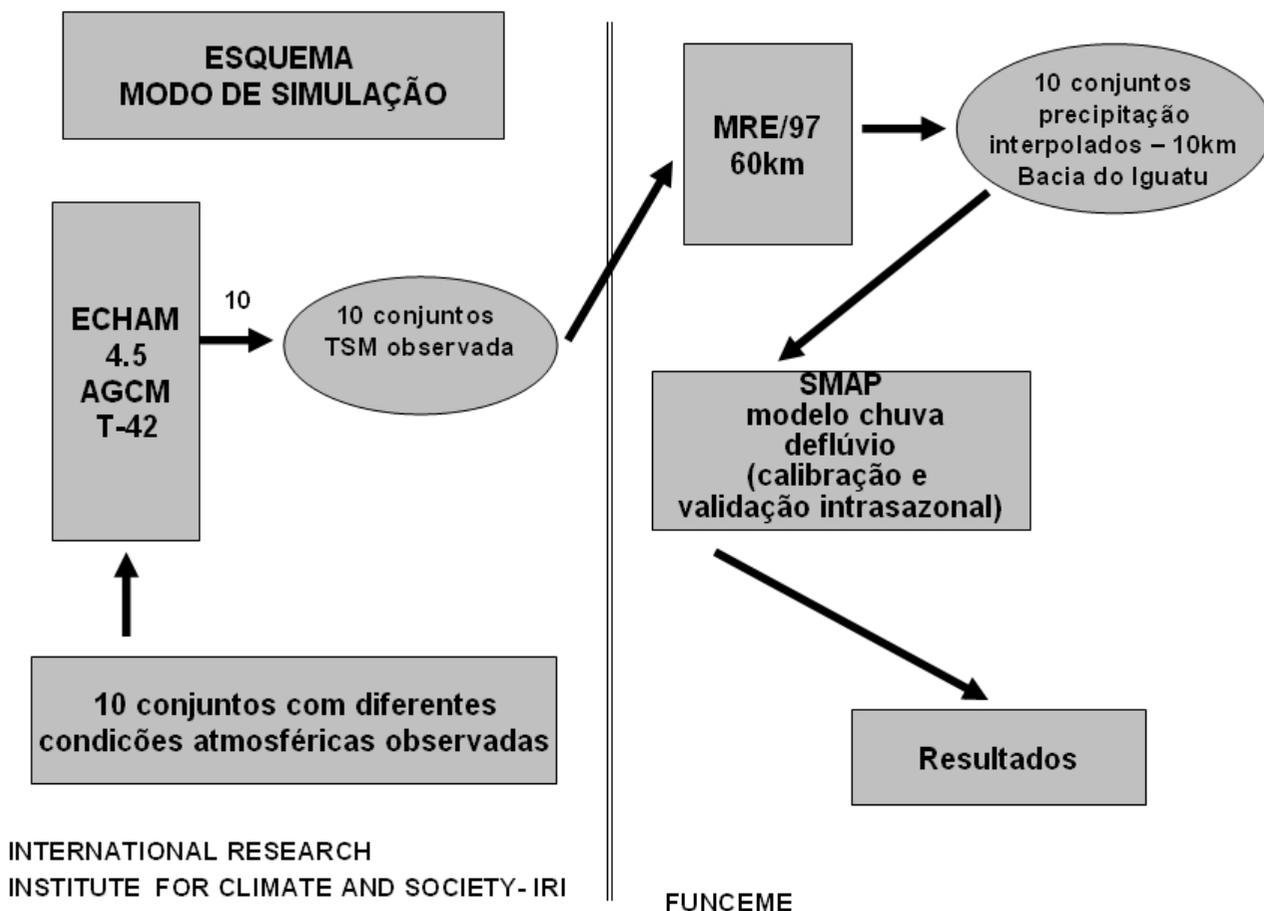


Figura 3 – Esquema representativo do acoplamento entre a modelagem dinâmica da atmosfera e a modelagem hidrológica.

Cachoeira Manteiga e de Porto da Extrema, com os simulados pelo MRE sem correção e com os seus dados corrigidos pelas PDFs (1981-2000 e 1971-1996), e para os anos de contrastes climáticos. Como na análise, mês a mês apresentada anteriormente, notou-se que houve um ganho significativo quando se usou a correção na precipitação, entre o observado e o modelado. Quanto aos anos de contrastes climáticos, embora a amostra de anos seja pequena para se extrair conclusões mais categóricas, pode-se verificar que os anos de La Niña e Normais são as composições de anos melhores simulados pelo MRE com seus dados corrigidos pelas PDFs.

### 3.2. Calibração do modelo chuva-vazão SMAP

Para o posto fluviométrico de Cachoeira Manteiga com uma área de influência de 10.6749 km<sup>2</sup>, a calibração do SMAP no período de janeiro de 1981 a dezembro de 2000, obteve como parâmetros ótimos: SAT = 5000; PES = 4,553058; CREC = 3,750765; K= 3; TUin = 80; e EBin = 0,3, com uma eficiência de Nash-Sutcliff igual a 0,26. No posto fluviométrico de Porto da Extrema, com uma área de influência de 30.100 km<sup>2</sup>, a calibração do SMAP no período de janeiro de 1971 a dezembro de 1996 obteve como parâmetros ótimos: SAT =

**Tabela 1** - Estatísticas entre a precipitação média na bacia do posto fluviométrico de Cachoeira da Manteiga (período de janeiro a junho) observada e a simulada pelo MRE e corrigida pelas PDFs para o período de 1981-2000 e anos de contrastes climáticos.

	Precipitação (MRE)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<b>1981-2000</b>	0,22	92,84	1,16	137,83	93,52
<b>La Niña</b>	0,19	76,76	1,1	116,31	76,76
<b>El Niño</b>	0,12	117,38	1,13	162,61	117,38
<b>Normais</b>	0,34	89,74	1,26	137,27	92,01
	Precipitação (PDFs)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<b>1981-2000</b>	0,26	-12,67	0,95	94,39	0,74
<b>La Niña</b>	0,19	-33,33	0,94	88,3	0,96
<b>El Niño</b>	0,17	16,85	0,85	101,2	17,29
<b>Normais</b>	0,41	-14,64	1,06	95,17	2,99

**Tabela 2** - Estatísticas entre a precipitação média na bacia do posto fluviométrico de Porto da Extrema (período de janeiro a junho) observada e a simulada pelo MRE e corrigida pelas PDFs para o período de 1971-1996 e anos de contrastes climáticos.

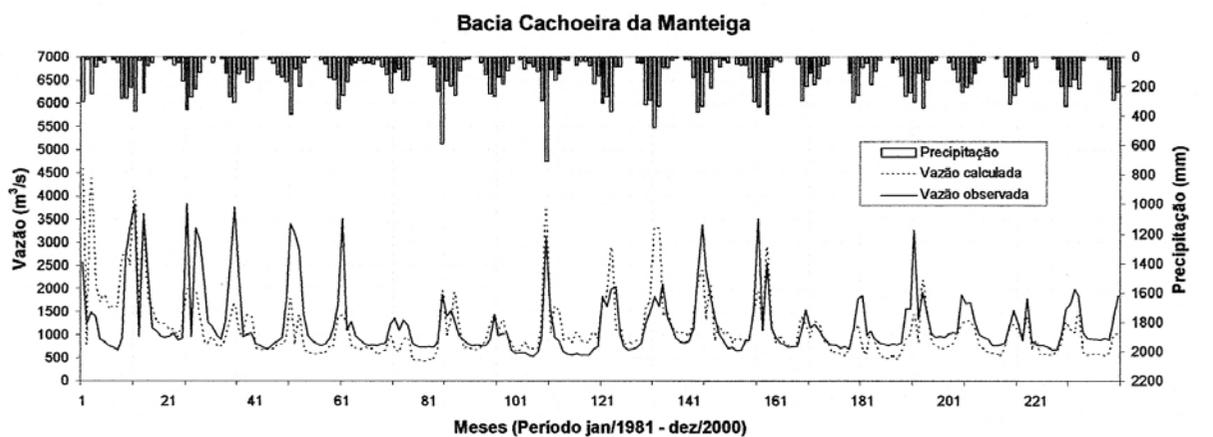
	Precipitação (MRE)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<b>1971-1996</b>	0,15	148,59	1,07	204,12	148,59
<b>La Niña</b>	0,4	129,96	1,13	173,06	129,96
<b>El Niño</b>	0,08	189,92	0,84	251,18	189,92
<b>Normais</b>	-0,02	137,14	1,29	194,97	137,14
	Precipitação (PDFs)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<b>1971-1996</b>	0,16	4,72	1,12	95,81	11,1
<b>La Niña</b>	0,38	-11,63	1,26	72,47	0,07
<b>El Niño</b>	0,09	46,36	0,81	118,3	46,36
<b>Normais</b>	0,04	-9,5	1,43	99	3,08

10000; PES = 11,80649; CREC = 0,405405; K= 3; TUin = 80; e EBin = 40, com uma eficiência de Nash-Sutcliff igual a 0,41. Os hidrogramas das vazões observadas e calculadas para as bacias de ambos os postos pluviométricos podem ser observados nas Figuras 4 e 5. Nota-se nestas figuras, que alguns picos da vazão observada foram subestimados pela modelagem, enquanto os picos com vazões menos intensas foram melhores simulados. Estas características devem estar associadas à função objetivo de calibração dos parâmetros do modelo SMAP usada, principalmente a função Nash-Sutcliff, que é mais sensível a diferenças em relação aos picos de vazões máximas (Tucci, et al. 2005). Isto reflete um valor abaixo do aceitável (0,36) e na categoria aceitável (0,36-0,75) do Nash-Sutcliff para ambas as bacias dos postos fluviométricos estudados. Resultados de

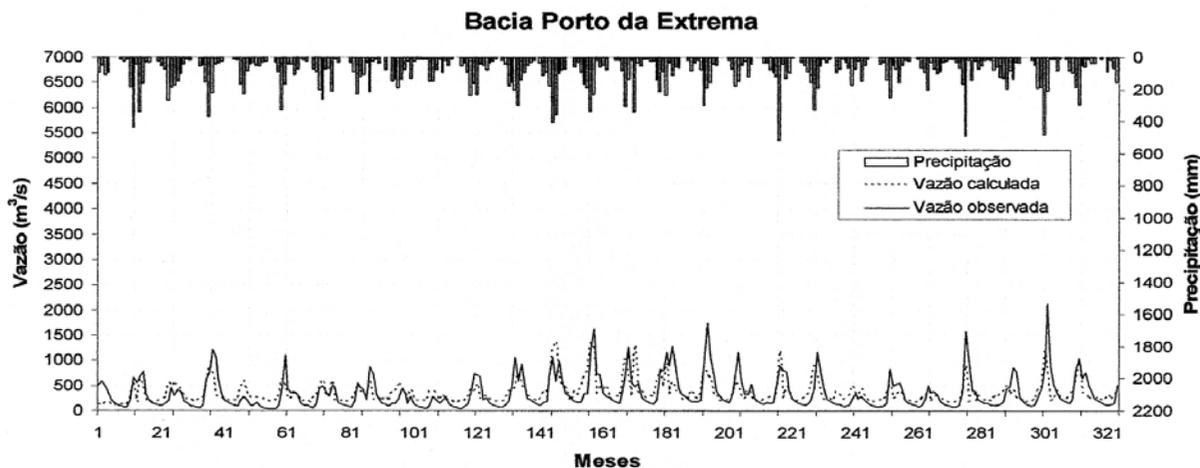
ajustes de calibração nestas bacias, com uso de um modelo distribuído de grandes bacias, apresentaram coeficientes Nash-Sutcliff mais robustos com valores acima de 0,8, porém em uma etapa de validação com período de anos diferentes do usados aqui (Da Silva et al. 2005).

### 3.3 Resultado do acoplamento entre o downscaling de precipitação e o modelo chuva-vazão

A estimativa da vazão com o modelo SMAP, usando como entrada a precipitação simulada pelo MRE sem correção para as bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e Porto da Extrema, são mostradas nas Figuras 6 e 7, no período de janeiro a dezembro de 1981-2000 e 1971-1996,



**Figura 4** – Hidrograma das vazões mensais observadas e calculadas e precipitação (janeiro a dezembro) média na bacia do posto fluviométrico de Cachoeira da Manteiga com período de calibração de janeiro de 1981 a dezembro de 2000.



**Figura 5** – Hidrograma das vazões mensais observadas e calculadas e precipitação (janeiro a dezembro) média na bacia do posto fluviométrico de Porto Extrema com período de calibração de janeiro de 1971 a dezembro de 1996.

respectivamente, usando os parâmetros ótimos: SAT = 5000; PES = 4,553058; CREC = 3,750765; K= 3; TUin = 80; e EBin = 0,3, calibrados no período janeiro de 1981 a dezembro de 2000, e SAT = 10000; PES = 11,80649; CREC = 0,405405; K= 3; TUin = 80; e EBin = 40, calibrados no período janeiro de 1971 a dezembro de 1996. Nestas figuras, nota-se um erro sistemático de superestimativa da vazão estimada em relação à observada em todo o período de estudo. Esta característica deve-se ao bias úmido de precipitação do MRE sobre o NEB comparado à precipitação observada (Alves et al., 2007). Isto também refletiu em um baixo coeficiente de Nash-Sutcliff igual

a -23,24. Essa característica segundo Tucci et al. (2005), se deve à função objetivo de calibração, que é muito sensível à variação quadrática das vazões mais intensas. Esses resultados foram similares aos encontrados em Marengo et al. (2005) e Tucci et al. (2005) para a Bacia Hidrográfica Médio- Baixo São Francisco, localizada no semi-árido nordestino. Em seus estudos, esses autores mostram que os resultados de simulações/previsões de vazões com o uso de modelagem dinâmica apresentam resultados promissores, porém quantitativamente, os erros são ainda significativos em alguns anos quando comparados as vazões observadas (Alves et al., 2007).

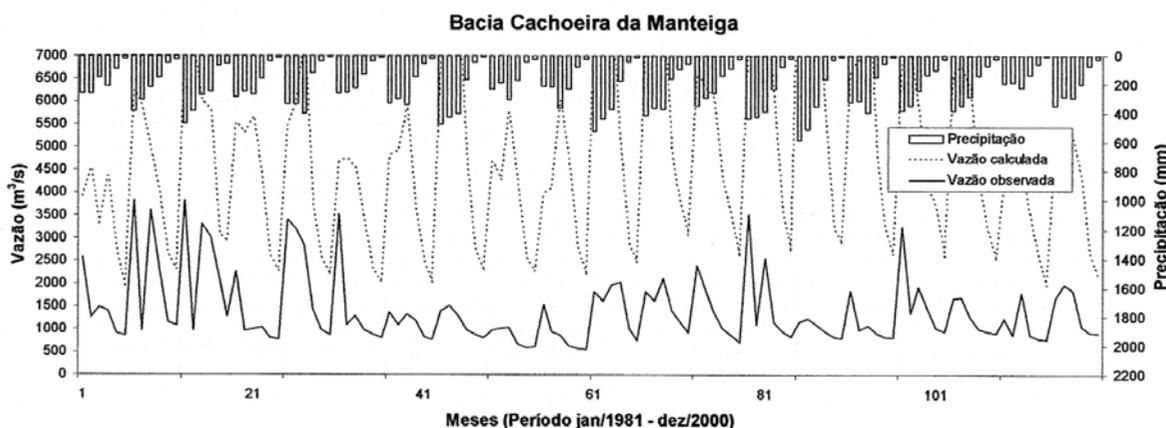


Figura 6 – Hidrograma de vazões mensais observadas e calculadas e precipitação (janeiro a junho) médias na bacia do posto fluviométrico de Cachoeira da Manteiga calibrados pelo modelo SMAP, tendo como dados de precipitação, os simulados pelo MRE sem correção no período de janeiro de 1981 a dezembro de 2000.

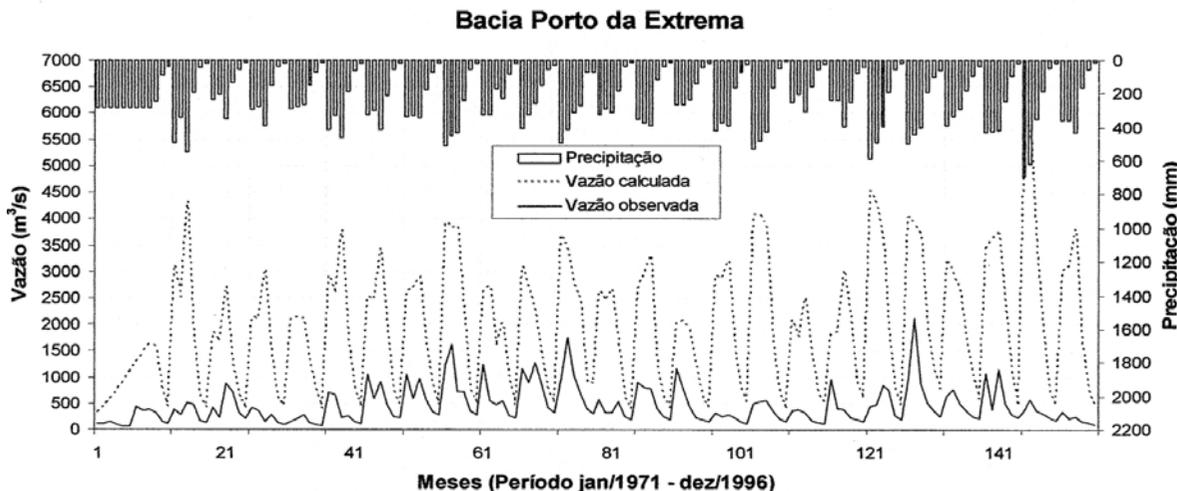


Figura 7 – Hidrograma de vazões mensais observadas e calculadas e precipitação (janeiro a junho) médias na bacia do posto fluviométrico de Porto Extrema calibrados pelo modelo SMAP, tendo como dados de precipitação, os simulados pelo MRE sem correção no período de janeiro de 1971 a dezembro de 1996.

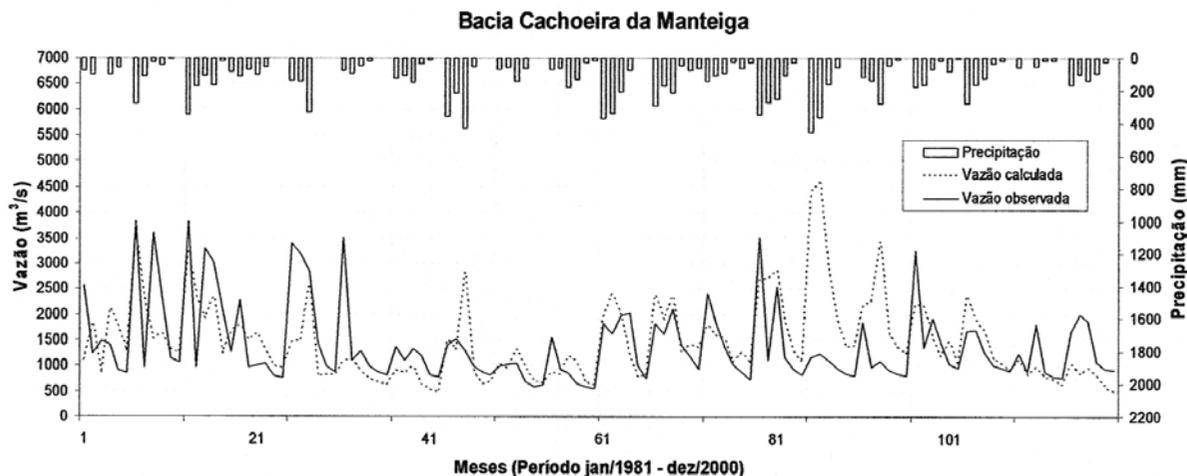
As Figuras 8 e 9 mostram a estimativa de vazão obtida pelo SMAP, com os dados de entrada de precipitação do MRE corrigido pelas PDFs nas bacias hidrográficas de contribuição dos postos fluviométricos em estudo. Observa-se um melhor desempenho da simulação da vazão com a correção, ocorrendo uma diminuição do erro sistemático verificado nas Figuras 6 e 7, onde não há correção da precipitação. O valor da eficiência do coeficiente de Nash-Sutcliff é da ordem de -0,16 em ambas as bacias. Nota-se também, que as vazões menos intensas foram mais bem simuladas, e que alguns picos de vazões observadas

na bacia não foram bem capturados na simulação, mesmo com a correção nos dados de precipitação.

As análises das Figuras 6, 7, 8 e 9 mostram que a despeito dos valores da função objetivo de calibração do modelo SMAP, a qual é penalizada se o modelo chuva-vazão não conseguir capturar os máximos de vazão dos hidrogramas, como foi o caso em questão, que há um ganho desta função quando se usa a correção da precipitação. O fato de que os valores do Nash ainda serem inferiores ao aceitável, não implica de que não haja potencial no uso da metodologia proposta. Mesmo em um

**Tabela 3** - Estatísticas entre a vazão média do posto fluviométrico de Cachoeira Manteiga (período de janeiro a junho) observada e estimada pelo modelo SMAP tendo como variável de entrada a precipitação de simulada pelo MRE corrigida pelas PDFs para o período de 1981-2000 e anos de contrastes climáticos.

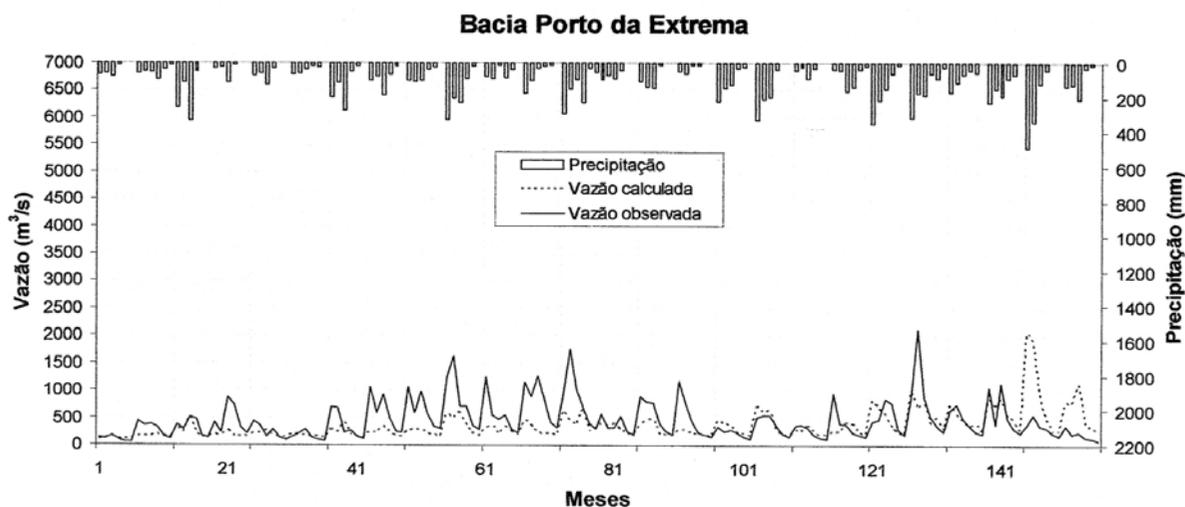
	Vazão (MRE)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<u>1981-2000</u>	0,07	3349,12	0,51	3801,39	3349,12
La Niña	0,2	2958,14	0,58	3254,68	2958,14
El Niño	-0,09	3993,36	0,45	4563,57	3993,36
Normais	0,12	3226,17	0,51	3635,71	3226,17
	Vazão (PDFs)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<u>1981-2000</u>	0,21	50,22	0,9	834,67	128,17
La Niña	0,13	-125,19	1,01	774,44	45,8
El Niño	0,1	292,09	0,75	1011,38	324,76
Normais	0,47	42,23	1,02	706,9	168,85



**Figura 8** – Hidrograma de vazões mensais observadas e calculadas e precipitação (janeiro a junho) médias na bacia do posto fluviométrico de Cachoeira Manteiga calibrados pelo modelo SMAP, tendo como dados de precipitação, os simulados pelo MRE corrigidos no período de janeiro de 1981 a dezembro de 2000.

**Tabela 4** - Estatísticas entre a vazão média do posto fluviométrico de Porto da Extrema (período de janeiro a junho) observada e estimada pelo modelo SMAP tendo como variável de entrada a precipitação de simulada pelo MRE corrigida pelas PDFs para o período de 1971-1996 e anos de contrastes climáticos.

	Vazão (MRE)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<u>1971-1996</u>	0,31	1544,02	0,62	1638,76	1544,02
La Niña	0,55	1416,75	0,48	1493,04	1416,75
El Niño	0,14	1783,27	0,64	1909,42	1783,27
Normais	0,22	1499,34	0,92	1563,87	1499,34
	Vazão (PDFs)				
	r	bias	ra	EQM	EAM
<u>1971-1996</u>	0,17	78,06	0,69	488,9	101,12
La Niña	0,52	-4,18	0,82	265,88	31,01
El Niño	0,05	335,46	0,54	767,3	335,46
Normais	0,06	-30,77	0,9	392,49	34,16

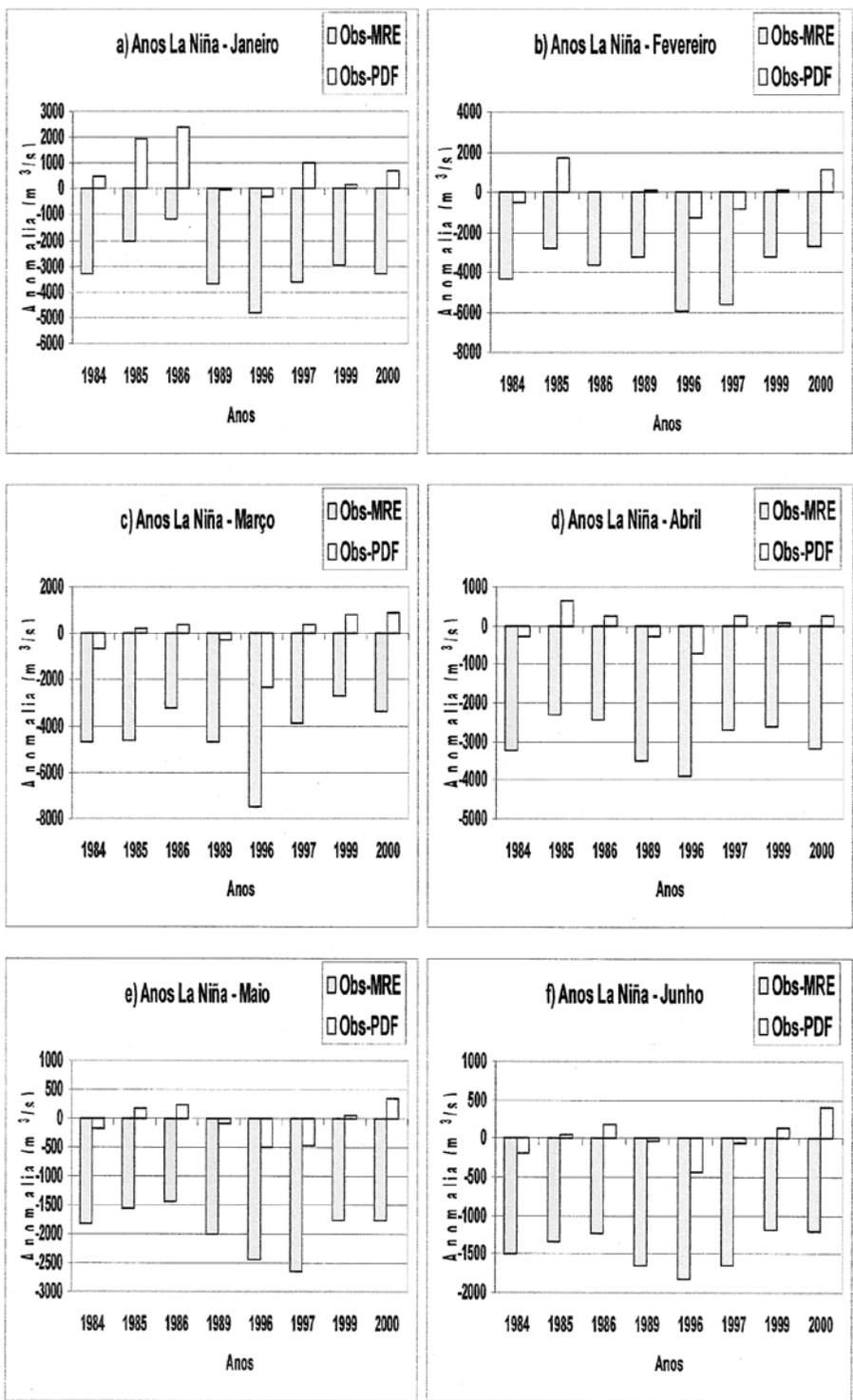


**Figura 9** – Hidrograma de vazões mensais observadas e calculadas e precipitação (janeiro a junho) médias na bacia do posto fluviométrico de Porto da Extrema calibrados pelo modelo SMAP, tendo como dados de precipitação, os simulados pelo MRE corrigidos no período de janeiro de 1971 a dezembro de 1996.

processo onde somente foi realizada a calibração da modelagem dinâmica chuva-vazão, este acoplamento obteve êxito na estimativa de vazões, em particular para os períodos de vazões mínimas. Isto sugere, que também haverá ganhos na utilização da metodologia no processo de validação do modelo chuva-vazão.

A variabilidade interanual nos anos de contrastes climáticos do bias (viés) mensal janeiro a junho, entre a vazão estimada pelo SMAP tendo com entrada os dados de

precipitação simulada pelo MRE e corrigidos pelas PDFs, e a observada (médias para as bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e de Porto da Extrema) apresentaram características semelhantes nos anos de contrastes climáticos. Aqui apresenta-se na Figura 10 esta característica para os anos de La Niña para a bacia de Cachoeira Manteiga. Observa-se nessa figura que, principalmente, nos meses de fevereiro a maio, a magnitude da anomalia do erro, ano longo dos anos é menor



**Figura 10** – Anomalia de vazões mensais ( $m^3/s$ ) para os anos de La Niña na bacia do posto fluviométrico de Cachoeira da Manteiga estimadas pelo modelo SMAP tendo com entrada os dados de precipitação simulados pelo MRE e seus valores corrigidos pelas PDFs. a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio e f) junho.

quando os valores de precipitação foram corrigidos, mostrando o ganho potencial da correção pela PDFs na precipitação simulada na bacia, cuja influência é repassada ao modelo chuva-vazão. Outra característica interessante em todos os meses e anos de contrastes climáticos, é que as vazões tendo como entrada a precipitação do MRE sem correção sempre superestimaram as observações.

As Tabelas 3 e 4 mostram a síntese entre os meses de janeiro a junho, na avaliação de desempenho da vazão mensal média nas áreas das bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira da Manteiga (1981-2000) e de Porto da Extrema (1971-1996) estimada pelo SMAP, tendo como entrada os dados de precipitação simulados pelo MRE e seus valores corrigidos pelas PDFs, e para os anos de contrastes climáticos. Como na análise mês a mês apresentada para a precipitação, também pode se notar para a vazão, que houve um ganho significativo, ao usar-se as correções na precipitação, quando se comparou a vazão observada e a simulada, os erros são bem menores. Quanto aos anos de contrastes climáticos, a correção de precipitação também se refletiu na vazão estimada, embora a amostra de anos seja pequena para se extrair conclusões mais categóricas. Pode-se verificar na Tabela 3, que os anos de La Niña e Normais foram às composições que tiveram vazões melhor simuladas pelo SMAP com os dados de entrada do MRE corrigidos pelas PDFs.

Vale mencionar, que neste estudo não foram executados testes mais rigorosos no período de observações precipitação-vazão em ambas as bacias, que por ventura pudessem melhorar o valor da função objetivo quando da calibração do modelo hidrológico chuva-vazão. Isto é, não se pretendeu avaliar o valor da função objetivo de calibração do modelo chuva vazão, nem escolha de um período de tempo ideal. Isto porque, como parte do objetivo procurou-se mostrar o potencial da utilização do downscaling, dinâmico com correção na precipitação, acoplado ao modelo hidrológico somente na etapa de calibração. Logo, procurou-se aproveitar um período de observação nas séries de precipitação e vazão das bacias em estudo, que estivesse compreendido no período da simulação dinâmica de precipitação; e investigar principalmente a diminuição do erro sistemático de precipitação e vazão associado ao uso da correção executada nos de precipitação simuladas pelo MRE.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos para as bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira da Manteiga e de Porto da Extrema, as principais conclusões retiradas do estudo foram as seguintes:

(1) A vazão estimada pelo modelo SMAP, com os dados de precipitação simulados pelo MRE sem correção, mostraram que estas são superestimadas em todo o período de análise, fato

que é devido ao bias úmido de precipitação em grande parte do NEB simulada pelo MRE, inclusive sobre a área de estudo; (2) Quando se corrigiu os dados de precipitação simulados pelo MRE pelas PDFs, foi observada uma melhor concordância entre os dados de vazão mensais simulados e observados na bacia. Os resultados das análises de índices estatísticos mostraram, exceto a razão entre os desvios padrões simulados e observados, que estes foram muito menores em magnitude em todo o período de análise e nos anos de contrastes climáticos quando os dados do MRE foram corrigidos pelas PDFs; (3) Apesar do conceito da simulação climática de precipitação não conter uma possível variabilidade intrasazonal dessa variável (eventos que ocorrem na escala de um mês), foi observado que a simulação dos dados de precipitação do MRE quando usados como dados de entrada para o modelo chuva-vazão corrigidos pelas PDFs, sugerem um potencial para estimativa de vazão mensal nas bacias dos postos fluviométricos de Cachoeira Manteiga e de Porto da Extrema; (4) Embora os resultados sejam simulações e não previsões de precipitação, estes mostraram que modelos atmosféricos regionais, quando alinhados em MCGAs, apresentaram resultados promissores na estimativa de precipitação na escala de uma bacia hidrográfica, e quando têm seus dados corrigidos se aproximam das observações pluviométricas na bacia, de modo que melhoram consideravelmente a estimativa na vazão nas bacias em estudo. Isto sugere, que o aproveitamento de simulação/previsão de precipitação resultante de modelagem climática dinâmica como dado de entrada em modelos hidrológicos chuva-vazão na escala intrasazonal, pode ser utilizado como metodologia para fornecer subsídio para uma melhor gestão de uso de água superficial em bacias hidrográficas do Nordeste e do Sudeste do Brasil.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Um dos autores deste trabalho, o Dr. José Pedro Rebés Lima, agradece o apoio financeiro pelo Fundo Setorial de Energia (CTEnerg), por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), entidade governamental brasileira promotora do desenvolvimento científico e tecnológico, na forma de bolsa de fixação CNPq/PROSET junto à FUNCEME. Os autores agradecem ainda ao Grupo de Downscaling da FUNCEME por ceder os dados simulados de precipitação usados no artigo.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; NASCIMENTO, L.S. V. A sensibilidade intrasazonal de um downscaling dinâmico de precipitação (1971-2000): Uma análise na bacia hidrográfica do Açude Castanhão-CE. Revista Brasileira de Meteorologia,

- São José dos Campos, v.23, n.1, p.73-87. 2008.
- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; NASCIMENTO, L. S. V.; BARROS, F. V. F., 2007. Estudo Preliminar Intrasazonal do Acoplamento entre Modelagem Dinâmica de Precipitação e Vazão no Nordeste do Brasil. In Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, São Paulo – SP.
- BARREIROS, M.; CHANG, P. Variability of South Atlantic Convergence Zone simulated by an atmospheric general circulation model. *Journal of Climate*, Boston, n.4, v.15, p.745-763. 2002.
- BRILLY, M. Development contemporary hydrological models. Proc. 18th Goljescek Memorial Day. *Acta Hydrotechnica*. 17/26. Ljubljana, Slovenia, p.31-44. 1999.
- COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica de grandes bacias. Porto Alegre: UFRGS. Tese. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 194p. 2001.
- DASILVA, A.M.; YOUNG, A.C. e LEVITUS, S. Algorithms and Procedures, vol.1, Atlas of Surface Marine Data. Maryland, National Oceanic and Atmospheric Administration, 83 pp. 1994.
- DA SILVA, S. R.; FILHO, M. F. G.; SANTOS, C. A. G.; LACERDA, F. & MONCUNNIL, D. Climate predictability, hydrology and water resources over Nordeste Brazil. In: *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change – Impact Assessment and Decision Making* (ed. By Thorsten Wagener, Stewart Franks, Hoshin V. Gupta, Eva Bøgh, Luis Bastidas, Carlos Nobre & Carlos De Oliveira Galvão), p.211-220. IAHS, n.295, British Library, Wallingford, Oxfordshire, UK, 2005.
- DA SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M; COLLISCHONN, W. Previsão de vazão de longo prazo na bacia do Rio São Francisco II. Ajuste do modelo hidrológico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 13p. Submetido 2005.
- GODDARD, L.; MASON, J. S.; ZEBIAK, S. E.; ROPELEWSKI, C. R.; BASCHER, R. CANE, M. A. Current approaches to seasonal-to-interannual climate predictions. *International Journal of Climatology*, Londres, v.21, p.1111-1152, 2001.
- GODDARD, L.; BARNSTON, A. G.; MASON, J. S. Evaluation of the IRIS's "net assessment" seasonal climate forecasts 1997-2001. *Bulletin of American Meteorological Society*, Boston, v.84, p.1761-1781. 2003.
- GALVÃO, C. O. Aplicabilidade em Recursos Hídricos da previsão de precipitação de longo prazo no Nordeste do Brasil. 1999. Tese, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. 1999.
- GALVÃO, C. O.; NOBRE, P.; BRAGA, A. C. F. M.; DE OLIVEIRA, K. F.; MARQUES, R.; DA SILVA, S. R.; FILHO, M. F. G.; SANTOS, C. A. G.; LACERDA, F. & MONCUNNIL, D. Climate predictability, hydrology and water resources over Nordeste Brazil. In: *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change – Impact Assessment and Decision Making* (ed. By Thorsten Wagener, Stewart Franks, Hoshin V. Gupta, Eva Bøgh, Luis Bastidas, Carlos Nobre & Carlos De Oliveira Galvão), p.211-220. IAHS, n.295, British Library, Wallingford, Oxfordshire, UK, 2005.
- GIORGI, F.; MARANUCCI, M. R. Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensivity of wintertime and summertime simulations tom selected physics parameterizations and lower boundary conditions. *Quarterly Royal Journal of Meteorological Society*, Londres, v.117, p.1171-1207. 1991.
- JUANG, H. M. H.; KANAMITSU, M. The NMC nested regional spectral model. *Monthly Weather Review*, Boston, v.122, p.3-26. 1994.
- LIMA, J. P. R.; ALVES, J. M. B. Modelagem Hidroclimática Dinâmica das Bacias de Contribuição dos Rios Pacuí e Jequitai inseridas nas Bacias Alto e Médio São Francisco. In: *Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul Sudeste: Monitoramento, Modelagem, Sistemas de Alerta e de Suporte a Decisões - Base para a Gestão de Recursos Hídricos*, Rio de Janeiro-RJ, 2008.
- LOPES, J. E. J; BRAGA JR. B. P. F.; CONEJO, J. G. L. "Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado". In: *Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v.2, p.42-62. Fortaleza-CE, 1981.
- MILLER, N. L.; KIM, J.; HARTMAN, R. K.; FARRARA, J. Downscaling climate on stream flow study on Southwestern on Unite States. *Journal American Water Resources Association*, 35, p.1525-1537. 1999.
- NASCIMENTO, L. S. V.; REIS, D. S.; MARTINS, E. S. P. R. . Aplicação do algoritmo de otimização multiobjetivo MOPSO na calibração de modelos hidrológicos. In: *Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 2006, Gravatá. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- NASH, J. E.; SUCTCLIFFE, J. River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology*, Londres, v.10, p.282-290. 1970.
- NOBRE, P.; A. D. MOURA.; L. SUN. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP'S Regional Spectral Model at IRI. *Bulletin of American Meteorological Society*, Boston, v.82,

- p.2787-2796. 2001.
- OLIVEIRA, K. F. Previsão de vazão em uma bacia do semi-árido usando previsões climáticas numéricas de precipitação. 2006. 77 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande-PB. 2006.
- PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and Southern Oscillation. Acad. Press, 289pp. 1990.
- REIS JUNIOR, D. S. MARTINS, E. S. R.; NASCIMENTO, L. S.; COSTA, A. A. Previsões sazonais de vazão no Estado do Ceará. In: Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 20p. 2006.
- REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *Journal of Climate*, Boston, v.7, p.929-948. 1994.
- ROECKNER, E. et al. The atmospheric general circulation model ECHAM4: model description and simulation of the present-day climate. Max Planck Institut für Meteorologie, Report n.218, Hamburg, Germany, 90. 1996.
- SAREWITZ, D.; PIELKE, Jr. R. A. Prediction and science and policy. In: SAREWITZ, D., D.; PIELKE, Jr., BIERLY, Jr., R. (Ed.). Prediction, science, decision, making, and future change. Washington, DC: Island Press. 2000.
- SERVAIN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications, *Journal of Geophysical Research*, Boston, 96(C8), 15137-15146, 10.1029/91JC01046, 1991.
- SETH, A.; ROJAS, M. Simulation and sensitivity in a nested modeling systems for South America. Part I: Re-analyses boundary forcing. *Journal of Climate*, Boston, v.16, p. 2698-2712. 2003.
- SUN, L.; MONCUNNIL, D. F.; LI, H.; MOURA, A. D.; FILHO, F. D. D. S. Climate downscaling over Nordeste Brazil using NCEP RSM97. *Journal of Climate*, Boston, v.18, p.551-567. 2005.
- TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. *Bulletin of American Meteorological Society*, Boston, n.78, p.2771-2777. 1997.
- TUCCI, C. E. M.; CLARK, R. T.; COLLISCHONN, W.; DIAS, P. L. S.; SAMPAIO, G. O. Long term flow forecast based on climate and hydrological modeling: Uruguay river basin. *Water Resources Research*, Boston, v.39, n.7, p.3 (1-11). 2003
- TUCCI, C. E. M.; SILVA, B. C. DA; COLLISCHONN, W. et al. Previsão de vazão de longo prazo na bacia do Rio São Francisco III: Previsão de vazão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 13p. Submetido 2005.
- XU, Z.; ITO, K.; LI, J. Risk estimation for flood and drought: case studies: In: MARIÑO, M. A. SIMONOVIC, S. P (Eds). *Integrated water resources management*. IAHS 272., p.333-339. 2001.