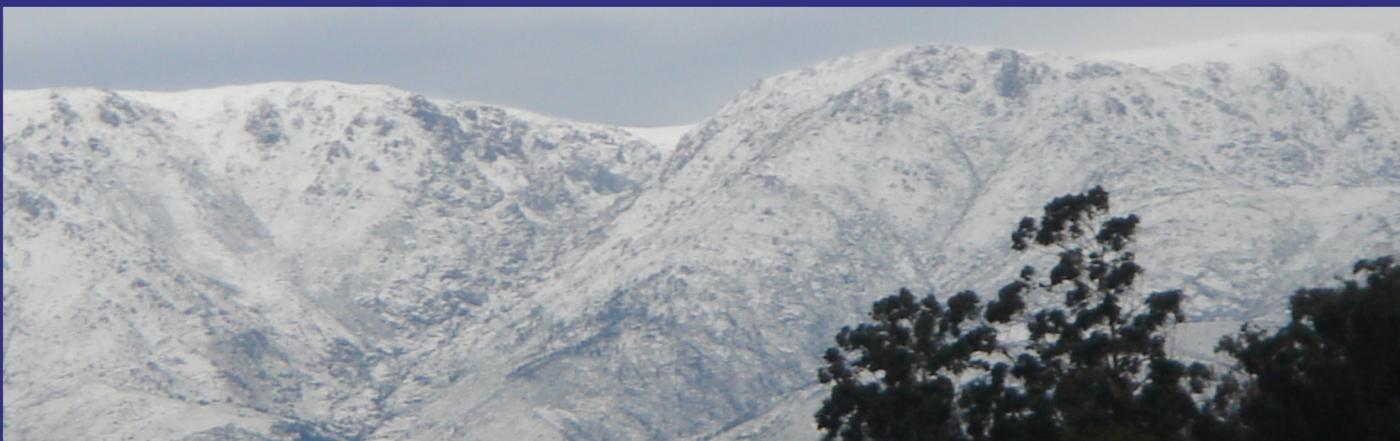


territorium



17

Riscos, Sociedade(s) e Segurança



USO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS PARA ACOMPANHAMENTO CLIMÁTICO E PREVENÇÃO DE RISCOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ (BRASIL) ^{1*} ^{2**}

Djane Fonseca da Silva

Prof. Dr. Universidade Federal do Ceará - UFC Campus Cariri,
Juazeiro do Norte (CE), Brasil
djanefonseca@hotmail.com

Francisco de Assis Salviano de Sousa

Prof. Dr. DCA/UFCG, Campina Grande (PB), Brasil
fassis@dca.ufcg.edu.br

Mary Toshie Kayano

Prof.Dr. CPTEC/INPE, São José dos Campos (SP), Brasil
mary.kayano@cptec.inpe.br

RESUMO

As variações da precipitação na bacia hidrográfica do rio Mundaú foram estudadas utilizando o Índice de anomalia de chuva (IAC) e a Análise de Ondeleta. Os resultados mostraram que a variabilidade interanual ligada ao ciclo de El Niño Oscilação Sul e a variabilidade decadal influenciaram na variabilidade pluviométrica local.

Palavras chave: análise de ondeletas, ponto de inversão, escalas temporais, variabilidade decadal.

RÉSUMÉ

Les variations de la précipitation dans le bassin hydrographique du fleuve Mundaú ont été étudiées en utilisant l'indice d'anomalie de pluie (IAP) et l'analyse d'ondeletas. Les résultats ont montré que la variabilité interannuelle liée au cycle d'El Niño Oscillation Sud et la variabilité en décades ont influence la variabilité pluviométrique locale.

Mots-clé: analyse d'ondeletas, point d'inversion, échelles de temps, variabilité en décades.

ABSTRACT

Precipitation variations in the hydrographic basin of the Mundaú river were studied using the rainfall anomaly index (RAI) and the wavelet analysis. The results showed that the El Niño-Southern Oscillation related interannual variability and the decadal variability influenced the local rainfall variability.

Key words: wavelet's analysis, point of inversion, temporal scales, decadal variability.

^{1*} O texto deste artigo foi submetido para revisão em 27-05-2009, tendo sido aceite para publicação em 19-02-2010.

^{2**} Pesquisa vinculada ao Processo CT-Hidro 142460/2004-4, Doutorado em Recursos Naturais UFCG.

Este artigo é parte integrante da Revista Territorium, n.º 17, 2010, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

Introdução

Estudos que investigam os impactos do clima em áreas de importância sócio-econômica e ambiental e seus efeitos nas atividades econômicas e na população são de extrema importância, pois é através desses estudos que é possível conhecer os problemas da região e ao mesmo tempo tentar solucioná-los, tornando possível o planejamento de ações no setor social, econômico e ambiental. A previsão e diagnóstico climático, também, poderão auxiliar nos planejamentos do uso da água, agrícola, energético, pesqueiro, sucro-alcooleiro e industrial no âmbito da bacia hidrográfica em estudo (DA SILVA, 2009).

Especificamente, na bacia hidrográfica do rio Mundaú, o presente estudo será muito útil para o desenvolvimento regional através da gestão dos recursos naturais locais, visto que o rio Mundaú abastece a região metropolitana da cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas. Praticamente em todos os municípios onde passa o rio Mundaú, este serve à irrigação da cana-de-açúcar (que é uma das principais atividades econômicas realizadas na bacia), é fonte de turismo com suas belezas naturais, abastece as indústrias sucro-alcooleiras e petroquímicas e abriga o Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/Manguaba (CELMM), um dos principais estuários do país.

Adicionalmente, com a compreensão dos mecanismos geradores de precipitação, da sua variabilidade espaço-temporal e dos seus efeitos que, ora afetam as atividades agrícolas e conseqüentemente a população da região, a sociedade ganhará no sentido de planejar suas atividades, reduzir perdas e riscos em vários setores.

O objetivo principal deste trabalho é o de analisar a climatologia da região do Baixo Mundaú (foz do rio Mundaú, onde se situa também um dos principais estuários do país e a cidade de Maceió), mostrando sua variabilidade espaço-temporal, os principais eventos que causa e ao mesmo tempo verificar como isso afeta os aspectos ambientais, agroeconômicos e sociais.

Essa ação mostrará o papel da disponibilidade de água na produção agrícola, no uso da irrigação e, conseqüentemente, na economia local. No que se refere à influência da precipitação aos aspectos ambientais, as informações climatológicas servem como ferramenta para a gestão de pesca e carcinocultura, além de se relacionar fortemente com a qualidade de água na bacia hidrográfica e na distribuição dos crustáceos, os quais são fonte de rendas para a população ribeirinha. A defesa civil local pode utilizar as informações aqui citadas ou a metodologia para monitoramento e prevenção dos eventos extremos.

A bacia hidrográfica do rio Mundaú

A bacia hidrográfica do rio Mundaú ocupa parte do sudeste pernambucano e do centro-norte-oriental de Alagoas, drenando as microrregiões homogêneas da Mata Alagoana e de Maceió (Figura 1). O principal rio da bacia, o rio Mundaú, nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas pela cachoeira da Escada, ao sul da cidade pernambucana de Correntes e a noroeste da cidade alagoana de Santana do Mundaú, atravessa a área central da Mata Alagoana e chega ao litoral, com a sua foz afogada, formando a Lagoa Mundaú (TENÓRIO, 1985).

A bacia hidrográfica é composta por regiões assoladas por eventos adversos (desde sistemas sinóticos a mecanismos de grande escala) que proporcionam secas ou enchentes. O escoamento nas cabeceiras do rio é temporário devido à má distribuição de chuvas na região Nordeste do Brasil (NEB), mas no período chuvoso, com o aumento da precipitação, o escoamento cresce, e torna-se lento devido à presença das lagoas Mundaú e Manguaba, cujas águas escoam lentamente para o oceano devido à topografia local.

As chuvas dos meses de fevereiro a julho correspondem, climatologicamente, a aproximadamente 73% de toda precipitação anual local. O período chuvoso da região coincide com a época em que ocorrem os distúrbios de leste, chamados de Ondas de Leste, que somados com sistemas de escala local (Convergência dos Alísios e Brisa Terrestre), intensificam as chuvas, principalmente à noite (COSTA *et al.*, 2005).

A precipitação média anual na bacia é de 900 mm. Os máximos valores de precipitação concentram-se próximos à região litorânea, com médias anuais em torno de 2000 mm. Esses valores são conseqüência de influências de brisas marítimas e de sistemas atmosféricos globais que transportam mais umidade para o continente, provocando maior concentração de chuvas nessa área. Verifica-se diminuição na precipitação à medida que se adentra no continente, devido à aproximação da região do polígono das secas (GOMES *et al.*, 2004).

No baixo curso do rio Mundaú, já na sua foz, encontram-se as lagoas Mundaú e Manguaba, localizadas no litoral médio do Estado de Alagoas, a sudeste da cidade de Maceió. Dentre as 17 lagoas do litoral alagoano, essas duas lagoas se destacam pela extensão, proximidade da capital, número de habitantes, produtividade e problemas ambientais e sociais (SOUZA *et al.*, 2004).

As lagoas Mundaú e Manguaba compõem um ecossistema lagunar, o CELMM, onde se processa a dinâmica de escoamento das águas das bacias hidrográficas dos rios Mundaú e Paraíba do Meio, respectivamente, e o fluxo e refluxo das marés. As lagoas se interligam em sua porção

inferior através de canais, apresentando uma única comunicação com o mar (SOUZA *et al.*, 2004).

Aspectos climatológicos

O NEB é conhecido por apresentar em alguns anos secas severas ou chuvas excessivas, que têm sido relacionadas aos padrões anômalos de grande escala da circulação atmosférica global associados ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

As secas severas no NEB, objeto de inúmeros estudos por seus impactos sociais e econômicos, têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño. Esta hipótese é baseada no fato de que para alguns anos de El Niño (fortes ou moderados) ocorrem secas severas no NEB (ANDREOLI *et al.*, 2004; ARAGÃO, 1986).

Entretanto, a relação entre El Niño e as secas no NEB não comporta só uma forma de interpretação (KANE E TRIVEDI, 1988; KANE, 1992; KANE, 1997). KANE (1997) mostrou que dos 46 El Niños (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados a secas severas em Fortaleza, por exemplo.

Haja vista que as análises espectrais das séries de anomalias de temperatura de superfície do mar (ATSM) para os Oceanos Atlântico e Pacífico são caracterizadas por oscilações em escalas de tempo interanual e decadal, sendo a escala interanual mais pronunciada na região do Pacífico, e a decadal no Atlântico (HASTENRATH E KACZMARCZYK, 1981; SPERBER E HAMEED, 1993; MEHTA E DELWORTH, 1995), é importante verificar quais escalas exercem influência sobre a variabilidade pluviométrica de uma bacia hidrográfica.

Apesar da variabilidade de TSM no Pacífico ser dominada por variabilidades na escala de tempo interanual, ZHANG *et al.* (1997) separaram a variabilidade temporal do Pacífico em duas componentes: uma relacionada à escala de variabilidade interanual do ciclo ENOS, e a outra linearmente independente incluindo toda a variabilidade interdecadal.

Assim, as variações da precipitação na região do Baixo Mundaú foram estudadas utilizando a Análise de Ondeleta (AO). Esta técnica envolve transformação de uma série unidimensional em um espaço de tempo e frequência, o que permite determinar as escalas de variabilidade dominantes e suas variações temporais.

Sabe-se também que a precipitação no NEB é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos de várias escalas quase periódicos, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (UVO, 1989), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (ARAGÃO, 1975; KOUSKY E GAN, 1981), os Sistemas Frontais (KOUSKY, 1979), e os Distúrbios de Leste (ESPINOZA, 1996), que podem ser modificados pelas características

fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala planetária, destacando o dipolo do Atlântico e o ENOS. Deste modo, faz-se também necessário estudar a variabilidade interanual com ênfase na quadra chuvosa da região.

Metodologia

A bacia hidrográfica do rio Mundaú tem uma área total de 4.126 Km², está compreendida entre as latitudes de 9,4° a 8,4° S e longitudes 35,4° e 36,2° W, abrangendo os Estados de Alagoas e Pernambuco, conforme a Figura 1.

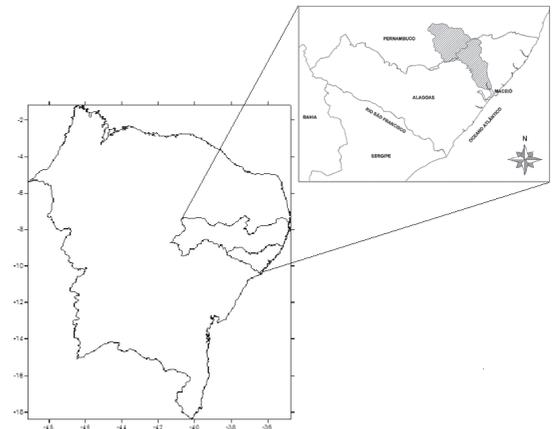


Fig. 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Mundaú em relação aos Estados que a compõem, Alagoas e Pernambuco, e em relação ao NEB.

Na Figura 2 têm-se a região do Baixo Mundaú e as estações pluviométricas utilizadas no trabalho. Deve-se lembrar a má distribuição de estações pluviométricas na região.

Aqui, será dada ênfase a região do Baixo Mundaú, pela sua importância sócio-econômica e ambiental, e pela sua localização próxima à cidade de Maceió.

Neste trabalho foram utilizados dados de precipitação para o período de 1955-1991 para 6 localidades do Baixo Mundaú, obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA).

A partir da metodologia de ROOY (1965), utilizada por FREITAS (2004; 2005), foi construída a série do índice de anomalia de chuva (IAC) de 1955 a 1991, classificando os anos como secos ou chuvosos.

Posteriormente, foram analisados dois anos classificados como secos e dois anos classificados como úmidos calculando o IAC mensal. Pretendeu-se com isso, fazer comparações entre anos diferentes, verificar a contribuição da quadra chuvosa para o total anual e conhecer melhor os mecanismos meteorológicos atuantes no período.

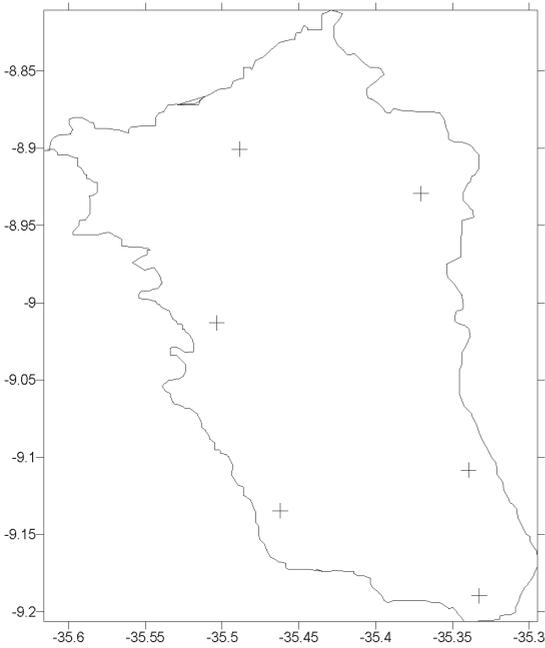


Fig. 2 - Estações pluviométricas utilizadas neste trabalho.

De acordo com a justificativa de DA SILVA (2009) o IAC pode ser escolhido para acompanhar a variabilidade pluviométrica e não outro como o de PALMER (Palmer Drought Severity Index - PDSI), por exemplo, porque este último, é calculado com base em dados de evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial eventual, etc. e expressa uma medida para a diferença acumulada entre a precipitação normal e a precipitação necessária à evapotranspiração (HAVENS, 1969; STEILA, 1971; ALLEY, 1984, 1985; GUTTMAN, 1991). Já o IAC só necessita de dados de precipitação, é simples de ser calculado e visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação.

Considerado mais coerente, foi usado o IAC, desenvolvido e utilizado primeiramente por ROOY (1965), o qual o denominou de *Rainfall Anomaly Index* (RAI), e adaptado por FREITAS (2004; 2005) para o NEB.

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias positivas; } \quad (1)$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias negativas. } \quad (2)$$

Sendo: N = precipitação mensal atual, ou seja, do mês que terá gerado o IAC (mm); \bar{N} = precipitação média mensal da série histórica (mm); \bar{M} = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm); \bar{X} = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm); e anomalias positivas são valores acima da média e negativas, abaixo da média.

Posteriormente, foram feitas correlações entre os índices climáticos Índice de Oscilação Sul (IOS), Índice

Multivariado de El Niño-Oscilação Sul (IME), Anomalia de Temperatura de Superfície do Mar (ATSM) do Oceano Atlântico Tropical e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e as anomalias de chuva de todos os anos para o BM através de regressão linear realizadas no *Excel* ou no *software* SPSS versão 9.0, pelo método de *Stepwise*, no intuito de mostrar as relações entre a variabilidade climática global e as chuvas locais.

Foram analisados os valores dos coeficientes de correlação e determinação aplicando o teste de *t-Student*, no sentido de verificar se o valor do coeficiente de determinação entre as duas variáveis é significativo estatisticamente para a amostra. Significativas, as melhores correlações podem ser utilizadas como previsores das anomalias de precipitação através das suas equações.

Para amostras de tamanho $N > 30$, denominadas grandes amostras, as distribuições amostrais de várias estatísticas são aproximadamente normais e melhores com o crescimento de N. Para amostras de tamanho $N < 30$, denominadas pequenas amostras, essa aproximação não é boa e torna-se pior com o decréscimo de N, de modo que devem ser introduzidas as modificações convenientes.

Uma das mais utilizadas distribuições para pequenas amostras é a *t-Student*, a qual é bastante utilizada nos estudos de meteorologia (KOUSKY E KAYANO, 1994; KAYANO E KOUSKY, 1996; FIGUEROA, 1997; CASTRO, 2002), e pode ser calculado da seguinte forma:

$$t_c = t / \sqrt{(n - 2) + t^2} \quad (3)$$

Sendo: t_c = valor do percentil e c é o grau de liberdade. Foi usado $p = 0,95$ ou 95%; t = valor do percentil tabelado de acordo com u (n-1); n é o número de dados.

Foi sujeita à AO a série de precipitação para todo o período de dados, com a intenção de identificar tendências, ciclos ou oscilações durante as diferentes configurações atmosféricas de grande escala e para poder proceder a comparações. Estas análises preliminares de ondeletas podem fornecer uma indicação mais clara de qual escala temporal domina os sistemas meteorológicos ao longo da série.

O índice de precipitação submetido à AO foi primeiramente “tratado”. Os mesmos são anomalias das variáveis calculadas a partir da climatologia mensal e normalização através dos respectivos desvios padrão, como mostrado abaixo:

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - Var_i / \sigma_i) \quad (4)$$

Em que: $AVar_{i,j}$ é a anomalia da variável, no ano $j = 1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i = 1, 2, 3, \dots, 12$; $Var_{i,j}$ é a variável no ano $j = 1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i = 1, 2, 3, \dots, 12$, o qual foi

calculado sua anomalia; Var_i é a média climatológica do mês para o qual se calculou a anomalia e σ_i é o desvio padrão utilizado para cada mês i específico.

Como ocorrido também em DA SILVA (2009), será usada a série de anomalias de precipitação do Alto Mundaú como índice de precipitação na aplicação da análise de ondeletas, pelo fato de que a variabilidade de precipitação na região nordeste do Brasil têm sinal homogêneo. Essa metodologia também foi aplicada por KOUSKY E CHU (1978), ACEITUNO (1988), ANDREOLI *et al.* (2004).

A ondeleta *Morlet* é complexa e possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave. Segundo a literatura, este é um critério para escolha da função ondeleta (WENG E LAU, 1994; MORETTIN, 1999).

A função de *Morlet* é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (5)$$

que representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano. São: i = parâmetro de dilatação e compressão da onda; ω_0 = parâmetro de frequência e t = tempo. Todos introduzidos no *script* de programação do *Software Matlab*.

Resultados e discussões

A quadra chuvosa para o BM se estende de abril a julho (Figura 3) e os meses mais secos ocorrem de outubro a janeiro. A Figura 4 mostra as médias climatológicas dos municípios do BM que foram utilizados neste estudo. Flexeiras e Rio Largo apresentaram-se climatologicamente como os mais chuvosos, enquanto que Atalaia, em boa parte do ano, permaneceu com seus valores de precipitação abaixo da média.

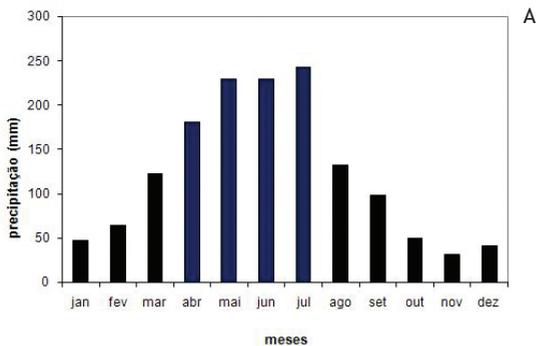


Fig. 3 - Médias climatológicas da precipitação no Baixo Mundaú.

Figura 5 mostra o IAC do BM, onde os valores negativos representam anos secos e os valores positivos os anos

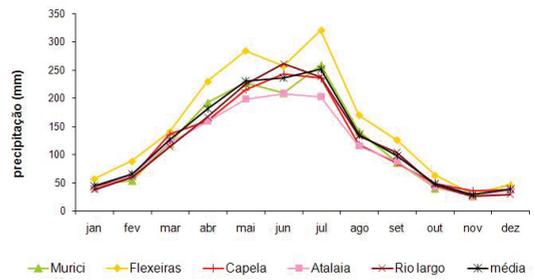


Fig. 4 - Precipitação média mensal dos municípios do Baixo Mundaú (AL) no período 1955-1991.

chuvosos ou úmidos. Antes do ano de 1974, ocorreram no BM, 10 anos chuvosos e 9 anos secos; depois desse ano, foram 8 anos úmidos e 10 anos secos, deste modo, o primeiro período é mais úmido que o posterior a 1974, tornando esse ano um “ponto de inversão” (marcado por seta) de uma possível modificação no padrão de precipitação local. Dos 37 anos da série de IAC no BM, 18 anos foram úmidos e 19 anos foram secos. Esse “ponto de inversão” também foi observado na vazão do rio Mundaú por DA SILVA *et al.* (2005).

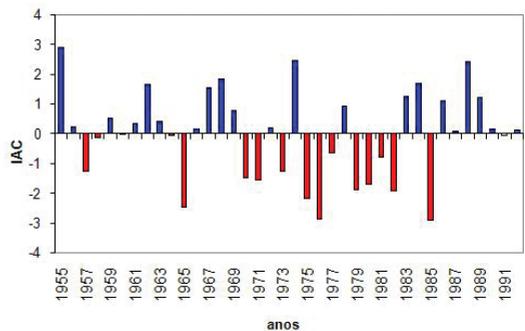


Fig. 5- IAC anual para o Baixo Mundaú

Dentre os anos da série de IAC, foram escolhidos dois anos secos (1983 e 1987) e dois anos úmidos (1975 e 1977) para analisar o comportamento desses anos e as diferenças entre suas quadras chuvosas.

Na Figura 6 tem-se o IAC mensal para os anos secos no BM (AL), 1983 e 1987. Ao longo desses anos, poucos meses apresentaram precipitações mensais acima da média, destacando-se o período de janeiro a março, onde esse acréscimo da precipitação pode ter sido ocasionado pela atuação de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e pela convecção e instabilidade devido ao aquecimento da superfície no verão. O total de precipitação na quadra chuvosa desses anos foi de 370 mm em 1983 e de 578 mm em 1987. Esses valores equivaleram a 47% e 58% do total médio anual, respectivamente (Figura 6).

A Figura 7 mostra o IAC mensal para os anos de 1975 e 1977, nos quais o IAC anual apresentou-se positivo,

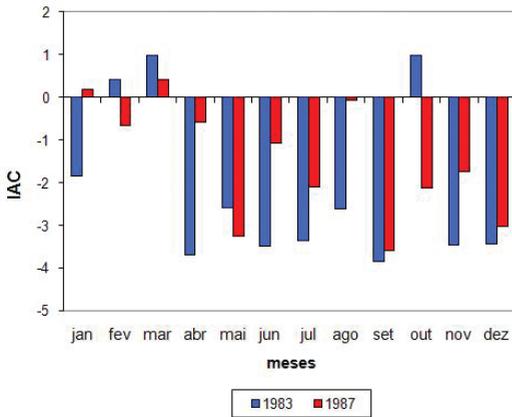


Fig. 6 - IAC mensal de anos secos (conforme IAC anual) para o Baixo Mandaú

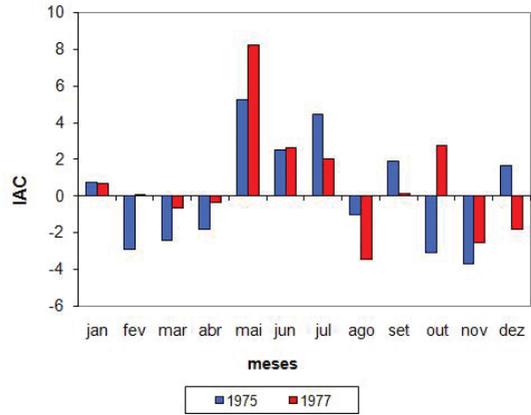


Fig. 7 - IAC mensal de anos úmidos (conforme IAC anual) para o Baixo Mandaú

ou seja, anos úmidos ou chuvosos. Percebe-se que nesses anos a contribuição da quadra chuvosa é muito significativa, colaborando fortemente com o total anual. Neste período é comum ocorrerem precipitações mais acentuadas devido a mecanismos de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade para o continente e a ação de frentes frias ou seus remanescentes, que se propagam ao longo da costa, além das Ondas de Leste, que atuam no NEB durante o inverno, e das POAS, que atuam principalmente de junho a agosto. A quadra chuvosa dos anos de 1975 e 1977 contribuiu com 1387 mm e 1452 mm, respectivamente; ou seja, a quadra chuvosa de 1975 equivaliu a 75% do total médio anual e a quadra chuvosa de 1977 a 74% do total médio anual (Figura 7).

Através das correlações lineares entre índices climáticos e as anomalias de precipitação da quadra chuvosa do BM identificou-se que, para esses meses, o melhor

previsor foi o índice da ATSM, para os dois tipos de anos. Aplicando o teste de significância *t-Student*, o mínimo valor de correlação significativa seria de 0,49. Em ambos os casos a correlação foi significativa (0,65 e 0,656, respectivamente).

As ATSM podem explicar 42,23% (ano seco) e 43,11% (ano úmido) das chuvas da quadra chuvosa do BM (TABELA I). Na previsão para a quadra chuvosa do BM (TABELA II), os erros foram menores ao utilizar as ATSM do Atlântico como previsor para o ano úmido, havendo quase totalidade do acerto do sinal da anomalia ocorrida, sendo esse um resultado muito importante. Já a previsão para o ano seco apresentou maiores diferenças entre valor previsto e real, superestimando-o na maioria dos casos.

Os resultados das AO indicaram que o pico dominante para o BM é da escala de 20,2 - 22 anos (Figura 8c). O espectro de potência global (EPG) mostra outro pico dominante na

TABELA I: Valor do coeficiente de determinação, correlação e percentual de determinação (r^2) entre anomalias de precipitação (mm) da quadra chuvosa no BM e quatro índices climáticos.

| Índices | Ano | Coefficiente de correlação | Coefficiente de determinação | r^2 (%) |
|---------|-------|----------------------------|------------------------------|--------------|
| IME | seco | 0,1 | 0,0102 | 1,02 |
| | úmido | 0,03 | 0,0009 | 0,09 |
| IOS | seco | 0,215 | 0,0465 | 4,65 |
| | úmido | 0,473 | 0,2244 | 22,44 |
| ODP | seco | 0,414 | 0,172 | 17,2 |
| | úmido | 0,047 | 0,0023 | 0,23 |
| TSM | seco | 0,650* | 0,4233 | 42,23 |
| | úmido | 0,656* | 0,4311 | 43,11 |

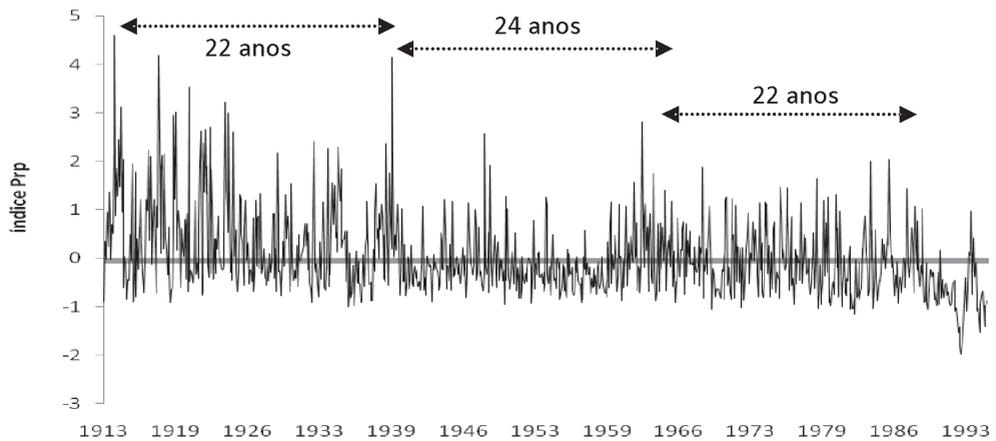
* Melhor valor significativo de acordo com o teste de *t-Student*

TABELA II: Previsão da anomalia de precipitação (mm) da quadra chuvosa no BM utilizando o índice de ATSM para ano seco (1983) e úmido (1977), conforme IAC.

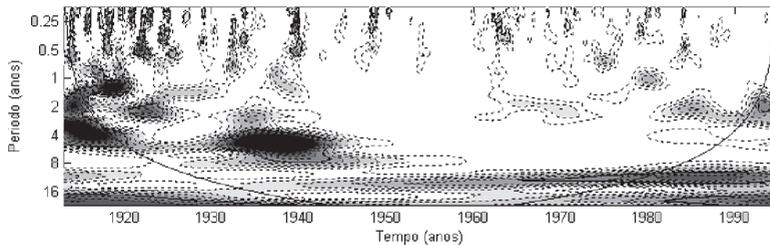
| Mês previsto | ATSM usado | Diferença entre | | Mês previsto | ATSM usado | Diferença entre | |
|--------------|------------|-------------------------------|--------------------|--------------|------------|-------------------------------|--------------------|
| | | anomalia prevista e real (mm) | Sinal da anomalia* | | | anomalia prevista e real (mm) | Sinal da anomalia* |
| <i>Abr</i> | <i>mai</i> | -0,170 | A | <i>abr</i> | <i>mai</i> | -1,195 | A |
| <i>Abr</i> | <i>jun</i> | -0,145 | A | <i>abr</i> | <i>jun</i> | -1,182 | A |
| <i>Abr</i> | <i>jul</i> | -0,100 | A | <i>abr</i> | <i>jul</i> | -1,228 | A |
| <i>Mai</i> | <i>abr</i> | 3,152 | E | <i>mai</i> | <i>abr</i> | -0,949 | A |
| <i>Mai</i> | <i>jun</i> | 3,158 | E | <i>mai</i> | <i>jun</i> | -0,916 | A |
| <i>mai</i> | <i>jul</i> | 3,148 | A | <i>mai</i> | <i>jul</i> | -0,961 | E |
| <i>jun</i> | <i>abr</i> | 1,149 | E | <i>jun</i> | <i>abr</i> | -1,131 | A |
| <i>jun</i> | <i>mai</i> | 1,169 | E | <i>jun</i> | <i>mai</i> | -0,978 | A |
| <i>jun</i> | <i>jul</i> | 1,197 | E | <i>jun</i> | <i>jul</i> | -1,162 | A |
| <i>jul</i> | <i>abr</i> | 0,833 | E | <i>Jul</i> | <i>abr</i> | -0,899 | A |
| <i>jul</i> | <i>mai</i> | 0,847 | E | <i>Jul</i> | <i>mai</i> | -0,803 | A |
| <i>jul</i> | <i>jun</i> | 0,874 | E | <i>Jul</i> | <i>jun</i> | -0,816 | A |

E = erro e A = acerto

a) Índice de Prp do BM



b) Espectro de energia (EPW)



c) Espectro global de wavelet (EPG)

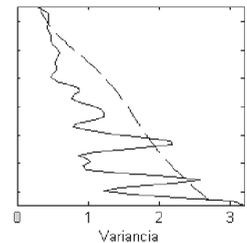


Figura 8 - a) Índice de precipitação para BM (Prp) normalizado pelo desvio padrão; b) Espectro de energia local para Prp. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U, representado o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet, o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

escala de 4,6 - 5 anos. Picos não significativos ocorrem em escala mais curta de aproximadamente 2 anos. Essas informações são analisadas acompanhadas do relatório gerado pelo *Software Matlab* e do espectro global de *wavelet*.

Os picos significativos são resultantes de altos valores do espectro de potência da ondeleta (EPW) (Figura 8b) em 1935-1990 para o pico de aproximadamente 22 anos e em 1913-1918 e 1933-1940 para o pico de 5 anos. Nesses últimos períodos ocorreram os máximos valores do índice de precipitação no BM.

No período antes de 1977, a atmosfera apresentava-se influenciada pela fase fria da ODP, a qual propiciou maior número de Las Niñas. Após 1977, aumentou o número de ocorrência de El Niño, que provocou diminuição de chuvas para o NEB. A influência dessa oscilação é claramente verificada no gráfico de precipitação (Figura 8a), em que, antes de 1977, os valores foram maiores que os do período posterior.

É importante notar que as variações de escalas mais curtas podem ser importantes na pluviometria, contribuindo para os altos valores de precipitação (Figura 8a). Verificou-se que principalmente a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal influenciam na variabilidade pluviométrica local. Esses resultados encontram-se de acordo com os observados por ANDREOLI *et al.* (2004), MARKHAM (1974), CHU (1984) e HASTENRATH E KACZMARCZYK (1981), todos realizados para Fortaleza, também na região NEB.

Esses resultados indicam que a variabilidade de precipitação na bacia é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo; no entanto, a variância significativa dominante ocorre na escala decadal.

De acordo com a literatura, citados em DA SILVA (2003), períodos de aproximadamente 21 anos podem estar relacionados com ciclos de atividade solar, variações de atração gravitacional entre Terra-Lua-Sol ou variações internas do sistema Terra-oceano-atmosfera. Já os de 11 anos são associados ao ciclo de manchas solares (KERR, 1996, E MOLION, 2005).

Diante do fato de que eventos de escala temporal de 5 e de 20 anos no BM influenciam as precipitações locais, pode-se planejar o armazenamento e aproveitamento das águas de chuva, além de prevenir a população ribeirinha e agricultores para eventos extremos e enchentes. Essas escalas temporais que dominam sobre escalas de eventos meteorológicos atuantes são contribuintes para aumento do total pluviométrico e, através do acompanhamento pluviométrico, pode-se maximizar o aproveitamento de água de chuva na gestão agrícola, pesqueira, social e energética, dentre outras.

Conclusões

Foi detectado, através do IAC anual, um “ponto de inversão” na série de precipitação. No Baixo Mundaú, o período antes de 1974 é mais úmido que o posterior a 1974. Esse fato explica-se, possivelmente, pela junção de ações antrópicas e naturais. Na região litorânea do BM, o crescimento das cidades e a redução da cobertura vegetal geraram uma elevação nas temperaturas locais, propiciando, ao longo do tempo, uma diminuição de chuvas. Não se pode esquecer o fator altitude. Em adição, a ODP antes de 1974, apresentou-se na sua fase fria, quando ocorreram mais eventos de La Niña, o que pode ter influenciado na distribuição positivamente anômala do BM. Após 1974, o período mostrou-se influenciado pela fase quente da ODP na qual ocorreram mais eventos de El Niño.

Analisando o IAC mensal determinou-se que a quadra chuvosa de anos secos contribuiu com 50% do total anual precipitado, em média. Nos anos úmidos a quadra chuvosa contribuiu em média com 75% do total anual precipitado. O IAC mensal, em anos secos, tende a ser negativo, até mesmo durante sua quadra chuvosa.

Verificou-se para a bacia hidrográfica do rio Mundaú, através da análise de ondeletas, que principalmente a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal influenciaram na variabilidade pluviométrica local. No BM, através das análises de ondeletas, encontrou-se a escala temporal dominante de aproximadamente 22 anos. Essas escalas temporais dominam sobre os mecanismos meteorológicos de escalas temporais menores.

A partir dessas informações, conhecendo-se a climatologia local, as regiões mais úmidas e as mais secas no âmbito da bacia hidrográfica, os períodos de ocorrências de quadras seca e chuvosa, os principais mecanismos meteorológicos associados às chuvas e dispondo-se de um monitoramento pluviométrico, pode-se otimizar o uso múltiplo dos recursos hídricos, nos setores agrícola, pesqueiro, social e energético. Ao mesmo tempo, com as informações geradas aqui, a defesa civil e a população previnem-se de riscos decorrentes de eventos extremos de chuvas.

Referências bibliográficas

- ACEITUNO, P. (1988) - “On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surface climate”. *Monthly Weather Review*, v.116, p.505-524.
- ALLEY, W. M. (1984) - “The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions”. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109.

- ALLEY, W. M. (1985) - "The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought". *Water Resources Bulletin*, 21 (1), 105-114.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. (2004) - "A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza". *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.3, 337-344.
- ARAGÃO, J.O.R. (1975) - *Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, São José dos Campos, SP, INPE, 47 p.
- ARAGÃO, J.O.R. (1986) - *A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño*. NCAR/CT-100, 144 pp.
- CASTRO, C.A.C. (2002) - *Interações Trópicos-Extra-tropicais na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.
- CHU, P. S. (1984) - "Time and space variability of rainfall and surface circulation in the northeast Brazil - Tropical Atlantic sector". *J. Meteor. Soc. Japan*, v.26, n.2, p.363-369
- COSTA, M. C.; OLIVEIRA, M. C. F.; MORAES, J. C.; BARRETO, P. N.; DANTAS, V. A.; CARVALHO, S. P. (2005) - "Comportamento e relação entre PRP e vazão na bacia do rio Mundaú, Alagoas e Pernambuco". *Anais. XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Campinas - SP.
- DA SILVA, D.F. (2003) - *Influência da Variabilidade Climática Interanual na Hidrologia da Bacia do rio São Francisco*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas - UFAL.
- DA SILVA, D.F.; BORBA, J.C.C.; ALMEIDA, H.R.R.C.; LOPES, Z.F. (2005) - "Influência do Clima na Variabilidade Espaço-Temporal da bacia do rio Mundaú (localidades de Pernambuco)". *Anais. I Simpósio Internacional de Climatologia, Fortaleza-Brasil*.
- DA SILVA, D.F. (2009) - *Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroecômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)*. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, UFCG (PB).
- ESPINOZA, E. S. (1996) - *Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE.
- FIGUEROA, S.N. (1997) - *Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos*. Tese de Doutorado do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-7121-TDI/672). São José dos Campos,.
- FREITAS, M. A. S. A. (2004) - "Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. *Anais, Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses*. Puerto Iguazú: CACIER. v. 1.
- FREITAS, M. A. S. (2005) - "Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas". *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95,.
- GOMES, H.B.; AMORIM, R. C. F.; DI PACE, F. T.; AMORIM, R. F. C.; OLIVEIRA, C. P. (2004) - "Estudo dos dados hidrometeorológicos da Bacia do rio Mundaú utilizando métodos estatísticos". *Anais, XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE*
- GUTTMAN, N.B. (1991) - "A Sensitivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index". *Water Resources Bulletin*, 27(5), 797-807.
- HASTENRATH, S.; KACZMARCZYK, E. B. (1981) - "On spectra and coherence of tropical climate anomalies". *Tellus*, v.33, n.5, p.453-462.
- HAVENS, A.V. (1969) - *Economic Impact of Drought on Water Systems in Passaic River Basin, n.J.* New Brunswick, New Jersey Agricultural Experiment Station.
- KANE, R. P.; TRIVEDI, N. B. (1988) - "Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil", *Clim. Change*, v.13, p.317-336.
- KANE, R. P. (1992) - "El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil". *Rev. Bras. Geofís.*, v.10, n.2, p.49-59.
- KANE, R. P. (1997) - "Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities". *Inter. J. Climatol.*, v.17, p.655-665.
- KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. (1996) - "Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales". *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 11, n. 1 e 2, p. 06 -17.
- KERR, R.A. (1996) - "A now dawn for sun-climate links?". *Science*, Washington, DC, v.271, n°5254, p.1360-1361.
- KOUSKY, V. E. (1979) - "Frontal influences on northeast Brazil". *Monthly Weather Review*, v.107, n° 9, p. 1140-1153.

- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. (1981) - "Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic". *Tellus*, 36(6): p.538-551.
- KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. (1978) - "Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil". *J. Meteor. Soc. Japan*, v.56, p.457-466.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. (1994) - "Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector". *J. Climate*, 7, 1131-1143,.
- MARKHAM, C. G. (1974) - "Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil", *J. App. Meteor.*, v.13, p.176-179.
- MEHTA, V.; DELWORTH, T. (1995) - "Decadal variability of the Tropical Atlantic ocean surface temperature in shipboard measurements and in a global ocean-atmosphere model". *J. Clim.*, v.8, n.3, p.172-190.
- MOLION, L.C.B. (2005) - "Aquecimento Global, El Niño, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico", *Revista Climanalise*.
- MORETTIN, P.A. (1999) - *Ondas e Ondeletras: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletras*. EDUSP.
- ROOY, M.P. Van. (1965) - "A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space", *Notes*, 14, 43.
- SOUZA, R.C.; REIS, R.S.; FRAGOSO, JR., C.R.; SOUZA, C.F. (2004) - "Uma análise na Dragagem do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/Manguaba em Alagoas através de um Modelo Numérico Hidrodinâmico Bidimensional-Resultados Preliminares". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.9, n.4.
- SPERBER, K. R.; HAMEED, S. (1993) - "Phase Locking of Nordeste precipitation with sea surface temperatures". *Geophys. Res. Lett.*, v.20, n.2, p.113-116.
- STEILA, D. (1971) - *Drought Analysis in Four Southern States by a New Index*. PhD Diss., Athens, Ga., The University of Georgia.
- TENÓRIO, R. S. (1985) - *Estudo Hidrometeorológico da Bacia do Rio Mundaú*. Universidade Federal de Alagoas. MET. Maceió - Alagoas.
- UVO, C. R. B. (1989) - *A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro*. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos.
- WENG, H.; LAU, K-M. (1994) - "Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific". *Journal of the Atmospheric Sciences*, v.51, n.17, p.2523-2541.
- ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; BATTISTI, D. (1997) - "ENSO-like interdecadal variability: 1900-93". *J. Clim.*, v.10, p.1004-1020.