



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

USO DE IAC E ONDELETAS PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS MULTI- ESCALAS TEMPORAIS NA PRECIPITAÇÃO DA BACIA DO RIO MUNDAÚ

Djane Fonseca da Silva¹; Francisco de Assis Salviano de Sousa²; Mary Toshie Kayano³

RESUMO

As variações da precipitação em uma região da bacia hidrográfica do rio Mundaú, no estado de Alagoas, Brasil, foram estudadas utilizando o índice de anomalia de chuva (IAC) e a análise ondeleta. Este método envolve transformação de uma série unidimensional em um espaço de tempo e frequência, permitindo determinar as escalas de variabilidade dominantes e suas variações temporais. Os resultados mostraram que a variabilidade de precipitação nas duas regiões é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo. No entanto, a variabilidade interanual ligada ao ciclo de El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a variabilidade decadal das escalas influenciaram na variabilidade pluviométrica local.

Palavras-chave: bacias hidrográficas, IAC, ondeletas, variabilidade espaço-temporal.

USE OF RAI AND WAVELET OF ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TEMPORAL MULTI- SCALES IN THE RAINFALL OF THE MUNDAÚ RIVER WATERSHED

ABSTRACT

The variations of the rainfall in a region of the Mundaú river watershed, at state of Alagoas, Brazil, had been studied using the rainfall anomaly index (RAI) and the Wavelet Analysis. This method involves transformation of a one-dimensional series in a time space and frequency, allowing determining the dominant scales of variability and its secular variations. The results had shown that the precipitation variability in the two regions is defined by located secular multi-scales in certain intervals of time. However, on inter-annual variability to the ENSO cycle and the decadal variability of the scales had influenced in the local pluviometric variability.

Keywords: watershed, RAI, wavelet, space- weather variability.

Trabalho recebido em 18/01/2009 e aceito para publicação em 20/02/2009.

¹ Meteorologista - Doutora em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Pindorama, nº36, Cruz das Almas, Maceió-AL, CEP:57038-440, e-mail: djane Fonseca da Silva@yahoo.com.br;

² Prof. Dr. Titular, DCA/UFCG, fassis@dca.ufcg.edu.br;

³ Professora e Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) (SP), e-mail: mary.kayano@cpotec.inpe.br.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Mundaú ocupa a parte centro-norte-oriental de Alagoas, drenando as microrregiões homogêneas da Mata Alagoana e de Maceió. O rio Mundaú, o principal da bacia, nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas na cachoeira da Escada, ao sul da cidade de Correntes e 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).

Os meses de fevereiro a julho correspondem à aproximadamente 73% de toda precipitação anual local. O período chuvoso da região coincide com a época em que há atuação de Ondas de Leste, que somados com sistemas de escala local (Convergência dos Alísios e Brisas), intensificam as chuvas nesta área, principalmente à noite (COSTA et. al, 2005). Tal bacia hidrográfica situa-se na região nordeste do Brasil (NEB) que é conhecido por apresentar, em alguns anos, secas severas ou chuvas excessivas. Esses eventos têm sido relacionados aos padrões anômalos, de grande escala, da circulação atmosférica global associada 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).

Entretanto, a relação entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca (KANE & TRIVEDI, 1988; KANE, 1992; KANE, 1997). Kane (1997) mostrou que dos quarenta e seis eventos de El Niño (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente vinte e um (45%) estiveram associados à secas severas em Fortaleza, por exemplo.

No NEB a previsão e o monitoramento de períodos secos ou chuvosos são particularmente úteis devido aos seguintes aspectos: (1) a existência de inúmeros projetos de irrigação implantados e a serem implantados ao longo dos principais rios; (2) o abastecimento d'água das grandes cidades é, em sua maioria, dependente direto do escoamento dos rios, ou indiretamente do volume acumulado nas barragens; (3) a maioria das culturas agrícolas dependem exclusivamente da regularidade das chuvas e (4) a possibilidade de uso de água subterrânea é pequena quando comparada ao da água superficial (FREITAS, 2004; 2005).

Deste modo, o monitoramento desses períodos pode ser efetuado através do emprego de índices. Com base neles, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos secos ou chuvosos, assim como as diferenciadas medidas a serem efetivadas de acordo com os valores atingidos por tais parâmetros.

Freitas (2004; 2005) utilizou o índice de anomalia de chuva (IAC) para localidades no Estado do Ceará e observou que com base nele é possível fazer uma comparação das condições atuais de precipitação em relação aos valores históricos, servindo ainda para avaliar a distribuição espacial do evento, consoante sua intensidade.

Mauget (2005) ao estudar a variação multi-decadal da precipitação de 1901 a 1998, para identificar as concentrações mais significativas de anos úmidos e secos dentro da série, em regiões continentais, encontrou alta incidência de anos úmidos na América do Norte durante o período de 1972 a 1998, com oito dos dez anos mais úmidos desde 1901, ou seja, oito eventos aconteceram durante esse último período de 27 anos.

Gonçalves et al. (2006) obtiveram o IAC para quinze estações situadas no rio São Francisco, fato o qual mostrou que a incidência de anos secos é

substancialmente maior na região estudada. Através da aplicação do índice em áreas situadas à jusante da hidrelétrica de Sobradinho, pode-se explicar a ocorrência de cheias e inundações ocorridas no sertão pernambucano.

Segundo Repelli et al. (1998), o índice proposto parece ser apropriado para utilização em regiões semi-áridas e ou tropicais, especialmente para o NEB. A facilidade de acesso aos dados de precipitação mensais em tempo real é um fator importante e faz do índice uma ferramenta potencial para aplicações de monitoramento durante a estação chuvosa.

Estudos que utilizam as ondeletas vêm crescendo em várias áreas. Este método 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 que a precipitação pluviométrica no NEB é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos de várias escalas quase periódicos que podem ser modificados pelas características fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala planetária, destacando-se o dipolo do Atlântico e o ENOS, que modificam a frequência, distribuição espacial e intensidade desses sistemas; deste modo,

faz-se necessário estudar a variabilidade interanual com ênfase na quadra chuvosa de ambas as regiões.

Desde a década de 90 que a aplicação da Transformada em Ondeletas (TO) vem sendo utilizada em diversas áreas da ciência e da técnica, desde as ciências médicas às ciências exatas, da eletrônica à ótica aplicada (VITORINO, 2003). Assim, para se analisar as variações decadais nas séries pode-se utilizar a TO. A partir dessas pode-se detectar oscilações tanto de doze anos como de três a sete anos (TUCCI & BRAGA, 2003) e gerar uma medida quantitativa (frequência) de mudanças ao longo do tempo e determinar o período total dessas mudanças.

Segundo Barbosa et al. (2004), basicamente, a idéia central da análise de ondeletas (AO), no contexto de análises de sinais, consiste em decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então, determinar as componentes da variabilidade dominantes.

Na meteorologia houve uma grande quantidade de trabalhos aplicando a análise de ondeletas ao sinal turbulento (FARGE, 1992). No que se refere à climatologia e à dinâmica atmosférica, poucos estudos utilizaram até o momento a AO.

A grande maioria dos trabalhos desenvolvidos sobre a dinâmica atmosférica enfoca as escalas climáticas,

desde a sua variabilidade interdecadal a intrasazonal. Em geral, estes trabalhos buscam uma metodologia eficaz na localização de fenômenos transientes e que atuem simultaneamente em várias escalas de tempo, proporcionando novas perspectivas e abordagens de análises, impossíveis de se efetuarem através dos métodos tradicionais.

Este método é útil para detectar, analisar e caracterizar as escalas de tempo que afetam os sistemas atmosféricos sobre a América do Sul e oceanos adjacentes, além de revelar a estrutura temporal das séries temporais não-estacionárias. O reconhecimento que a AO possui propriedades matemáticas capazes de quantificar as relações tempo-escala em meteorologia estimula muitas pesquisas em mesoescala e na escala sinótica (REPELLI et. al, 1998; SCHNEIDER et. al, 2005).

Alguns autores associam eventos na escala interdecadal ao ciclo de manchas solares (KERR, 1996 e MOLION, 2005, entre outros). Eles relataram muitos fenômenos geofísicos que também apresentam periodicidades desta ordem e tentaram estabelecer uma relação destes com o ciclo solar de 10-11 anos. Todavia, tal explicação foi duramente contestada por outros autores, tais como Mann et. al (1995), para os quais tal variabilidade climática, pelo menos no Hemisfério

Norte, deva ser atribuída à interação entre o Oceano Atlântico e a atmosfera, ponto de vista que é parcialmente endossado por Allen & Smith (1994).

Kerr (1996) discute novas evidências a partir das quais a conexão sol-clima deve ser considerada seriamente, particularmente no que se refere às flutuações de temperatura dos oceanos tropicais e subtropicais.

Andreoli et al. (2004) utilizaram a TO para analisar as variações da precipitação em Fortaleza e da TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico para o período de 1856 a 1991 e foi identificado um pico dominante de 12,7 anos na série. Confirmou-se ainda uma alta coerência entre a variabilidade de precipitação no norte do NEB e o gradiente inter-hemisfério de ATSM no Atlântico na escala decadal.

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 & KACZMARCZYK, 1981; SPERBER & HAMEED, 1993; MEHTA & DELWORTH, 1995), pretende-se nesse trabalho verificar quais

escalas exercem influência sobre a variabilidade pluviométrica da região do Baixo Mundaú (BM), foz do rio Mundaú, situada na região nordeste do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho serão utilizados dados de precipitação para o período de 1955-1991 para localidades da região do Baixo Mundaú, situada em Alagoas, no âmbito da bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE) (Figura 1). Todos os dados foram obtidos através da Agência Nacional das Águas (ANA). Para gerar as ondeletas, o período de dados usados foi de 1913 a 1994. Esses dados serão usados para os cálculos da climatologia local e do índice de anomalia de chuva (IAC) e das correlações lineares com os índices climáticos.

Neste trabalho foi escolhido o índice IAC para acompanhar a variabilidade pluviométrica e não outro como o de Palmer (Palmer Drought Severity Index-PDSI), pois este último, por exemplo, 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 e 1985; GUTTMAN, 1991).

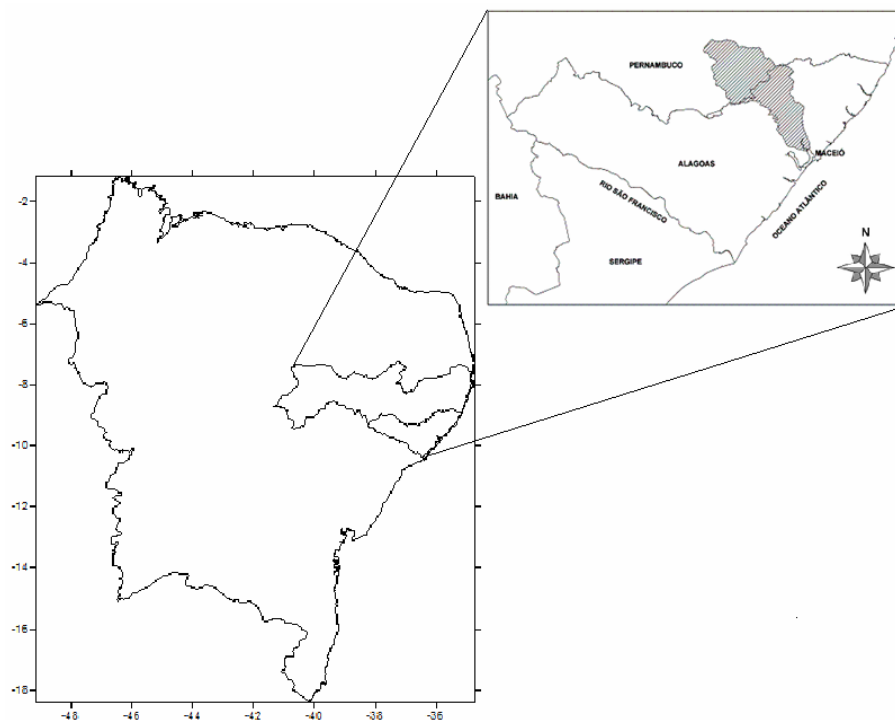


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Mundaú em relação ao nordeste brasileiro e da mesma e suas regiões em relação aos Estados que a compõem, Alagoas e Pernambuco.

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, será usado o Rainfall Anomaly Index (RAI) ou Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido e utilizado por Rooy (1965) e utilizado por Freitas (2004, 2005) para o Estado do Ceará, também na região Nordeste.

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

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

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

A partir da metodologia de Rooy (1965) e Freitas (2004, 2005) será calculado o IAC para construir a série de 1955 a 1991, classificando o ano como seco ou chuvoso.

Posteriormente, serão analisados anos classificados como seco e chuvoso calculando o IAC mensal. Pretende-se com isso, analisar diferentes anos verificando a contribuição da quadra chuvosa para o total anual e conhecer melhor os mecanismos meteorológicos atuantes no período.

Serão feitas correlações entre os índices climáticos (IOS-Índice de Oscilação Sul, IME-Índice Multivariado de El Niño Oscilação Sul, ATSM-Anomalia de temperatura de superfície do mar e ODP-Oscilação Decadal do Pacífico) e as anomalias de chuva de todos os anos para o BM através de regressão linear realizadas na planilha eletrônica Excel ou no Software SPSS versão 9.0 para mostrar as relações entre a variabilidade climática global e as chuvas locais.

Serão 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.

Para amostras de tamanho $N > 30$, denominadas grandes amostras, as distribuições amostrais de várias estatísticas são aproximadamente normais e melhores como 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 utilizado nos estudos de meteorologia (KOUSKY & KAYANO, 1994; KAYANO & KOUSKY, 1996; FIGUEROA, 1997; CASTRO, 2002), e pode ser calculado da seguinte forma:

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

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

Posteriormente, os dados de precipitação serão sujeitas a Análise Onduleta (AO) para todo o período com a intenção de identificar tendências, ciclos ou oscilações no âmbito da região durante as diferentes configurações atmosféricas de grande escala e para poder proceder a comparações. Ao mesmo tempo serão verificadas as escalas temporais dominantes.

O índice de precipitação que será submetido à AO será primeiramente tratado. Os mesmos são anomalias das variáveis calculadas a partir da

climatologia mensal e normalização através dos respectivos desvios padrões, 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 será calculado sua anomalia; Var_i^* é a média climatológica do mês a ser calculado a anomalia e σ_i é o desvio padrão utilizado para cada mês i específico.

O uso da série de anomalias de precipitação para o Baixo Mundaú, da bacia hidrográfica do rio Mundaú, como índice de precipitação na aplicação da análise de ondeletas é justificado pelo fato que a variabilidade das chuvas na região nordeste do Brasil tem sinal homogêneo. Essa metodologia também foi aplicada por Kousky e Chu (1978), Aceituno (1988) e Andreoli et. al (2004).

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatações (a) e translações (b) de uma função simples $\psi(t)$ de variável real t , algumas vezes chamada de “ondeleta-mãe”.

As funções derivadas da “ondeleta-mãe” são denominadas “ondeletas filhas”, ou simplesmente ondeletas (WENG & LAU, 1994). Esta função deve ser

quadraticamente integrável dentro de um intervalo real, ou espaço $[L^2(\mathcal{R})]$, ou seja, deve apresentar energia finita. Define-se matematicamente a função ondeleta numa escala a e posição b , onde a e b são valores reais, e $a > 0$, como sendo:

$$\Psi_{a,b}(t) = (1/a^{1/2}) \psi(t-b/a) \quad (5)$$

A transformada em ondeletas contínua da função $f(t)$ é definida pela seguinte equação:

$$(W\psi f)(a,b) = (1/a^{1/2}) \int f(t) \psi(t-b/a) dt \quad (6)$$

Em que $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo $1/a^{1/2}$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta.

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 & LAU, 1994; MORETTIN, 1999).

A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (7)$$

que representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano.

Pode-se então variar a "escala" da ondeleta mudando sua largura. Esta é a vantagem real da AO. Ondas Morlet apresentam alta frequência enquanto gaussianas apresentam baixa frequência. Para a determinação de ciclos curtos ou longos modifica-se o tipo da onda para Morlet ou Gaussiana, respectivamente.

A maneira de mudar o tamanho total das ondeletas em relação ao tempo, as chamadas "ondeletas escaladas" é representada como:

$$\varphi[(n'-n)\delta / s] = (\delta / s)^{1/2} \varphi_0[(n'-n)\delta / s] \quad (8)$$

Em que s é o parâmetro de "dilatação" usado para mudar a escala, e n é o parâmetro de transformação no tempo. O fator de $s^{-1/2}$ é uma normalização para manter a energia total da Wavelet. A transformação do conjunto da onda é dada por:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \varphi^*[(n'-n)\delta / s] \quad (9)$$

Em que o asterisco (*) denota o complexo conjugado de φ . A integral acima pode ser utilizada para valores de escalas (desde alta frequência até a mais baixa). Um retrato bidimensional da variabilidade pode

então ser construído traçando a amplitude e a fase da Wavelet.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quadra chuvosa para o BM se estende de abril a julho e os meses mais secos ocorrem de outubro a janeiro (Figura 2). A Figura 3 mostra as médias climatológicas dos municípios do BM que foram utilizados nesse estudo. Flexeiras e Rio Largo apresentam-se como os mais chuvosos enquanto que Atalaia, em boa parte do ano, permanece com seus valores de chuva abaixo da média.

A Figura 4 mostra o IAC do BM, onde os valores negativos representam anos secos e os valores positivos, os anos 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" 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), e na precipitação da bacia hidrográfica do rio Paraíba por Araújo et al. (2007).

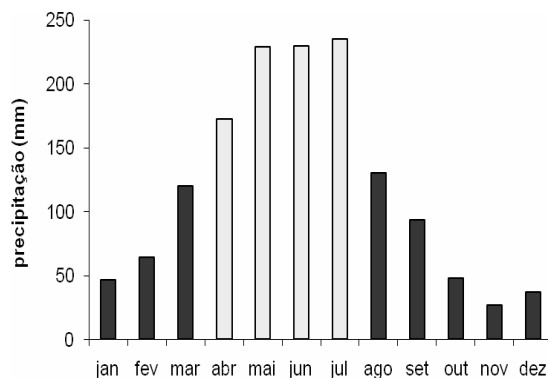


Figura 2. Médias Climatológicas da precipitação no Baixo Mundaú.

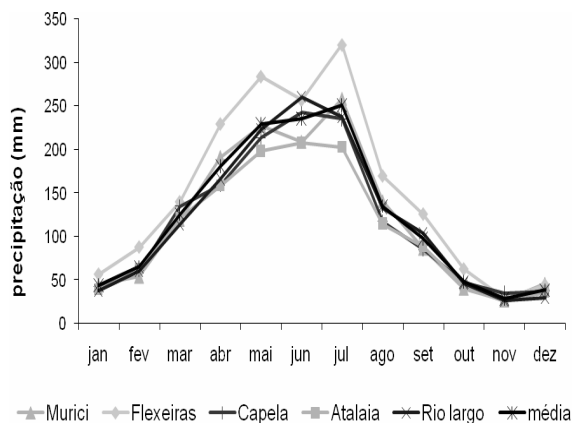


Figura 3. Precipitação média mensal dos municípios do Baixo Mundaú (AL) no período 1955-1991

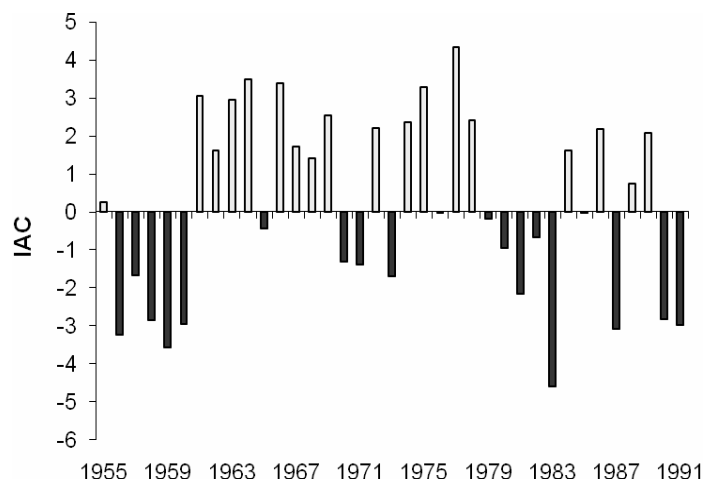


Figura 4. IAC anual para o Baixo Mundaú.

Na Figura 5 tem-se o IAC mensal para os anos secos no BM, 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 Alto 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, equivalendo a 47% e 58% do total anual, respectivamente.

A Figura 6 mostra o IAC mensal para os anos de 1975 e 1977, nos quais o IAC anual apresentou-se positivo, ou seja, ano chuvoso.

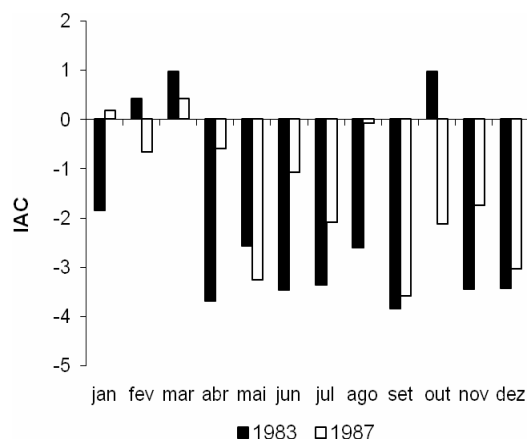


Figura 5. IAC mensal de anos secos (conforme IAC anual) para o Baixo Mundaú.

Percebe-se que nesses anos a contribuição da quadra chuvosa é muito significativa, colaborando fortemente para o total anual. Neste período é comum ocorrerem precipitações mais acentuadas devido aos 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 atua na região durante o inverno, e das Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAS), que atuam principalmente de junho a agosto.

A quadra chuvosa nos anos de 1975 e 1977 contribuiu com 1387 mm e 1452 mm, respectivamente, o que equivale a 75% do total anual do primeiro ano e 74% do total anual do segundo ano citado.

Aparentemente, a região reflete primeiramente o sinal da variabilidade interanual, a qual domina os menores

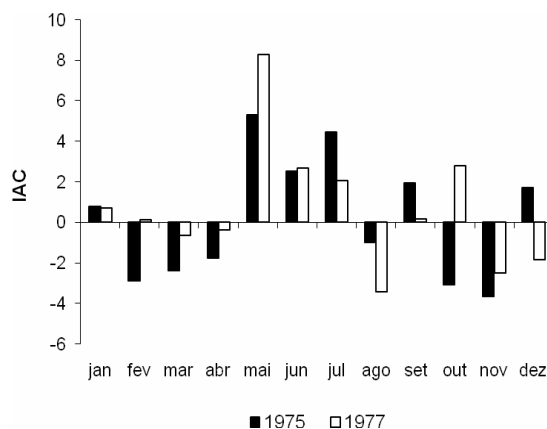


Figura 6. IAC mensal de anos úmidos (conforme IAC anual) para o Baixo Mundaú.

sistemas meteorológicos (escala sazonal). Independente dos mecanismos que causam chuvas na região, a distribuição das mesmas depende se o ano é seco ou úmido.

Foram feitas regressões lineares entre os valores reais de anomalias de precipitação no BM e os quatro índices climáticos.

Para os índices IME, IOS e ODP, foram mais significativas as correlações durante o ano seco. Tanto para o ano seco como para o ano úmido as correlações foram consideradas insignificantes ao utilizar anomalias de TSM do Atlântico. Para o BM, dos 37 anos da série de anomalias de precipitação, 18 anos foram úmidos e 19 anos foram secos. De acordo com a Tabela 1, os melhores valores de coeficiente de correlação e determinação, para o ano seco, corresponderam ao ODP, enquanto para o ano úmido foi o IME.

Tabela 1. Valor do coeficiente de determinação, correlação e porcentagem de determinação (%) entre anomalia de precipitação no BM e índices climáticos.

índices	ano	coeficiente de correlação	coeficiente de determinação	r ² (%)
IME	seco	0,469	0,21996	21,996
	úmido	-0,656	0,4303	43,03
IOS	seco	0,786	0,61779	61,779
	úmido	-0,22	0,0484	4,84
ODP	seco	0,85	0,7225	72,25
	úmido	-0,25	0,0625	6,25
ATSM	seco	-0,322	0,103684	10,36
	úmido	-0,11	0,0121	1,21

No ano seco, há 85% de correlação (r) utilizando o índice de ODP, e para o úmido, as correlações foram negativas em todos os casos. Porém, o IME apresenta-se correlacionado inversamente as chuvas do ano úmido em 65%. A correlação com IME foi de -0,656; -0,22 com IOS; -0,25 com ODP. Esses resultados mostram que as variabilidades que ocorrem nos Oceanos Atlântico e Pacífico interferem nas precipitações locais.

Posterior ao teste de t-Student, ao nível de confiança de 95%, são válidas confiáveis as correlações que forem iguais ou maiores que 0,41 em ano seco. Contudo, não pode ser considerada significativa a correlação do ano úmido com a ATSM. Sintetizando, nos anos secos, a região tem suas chuvas correlacionadas à Oscilação Decadal do Pacífico.

Aplicando a Análise de Ondeleta, encontrou-se pico dominante para o BM na escala de 22 anos. O espectro global de wavelet (EPG) (Figura 7c) mostra picos dominantes na escala de 20,2–22 anos e 4,6–5 anos. Picos não significativos ocorrem na escala interanual e interanual curta ao longo da série.

Os picos significativos são resultantes do espectro de energia (EPW) (Figura 7b) de 1913-29 e 1981-1994, e de 1979-1990 para 20-22 anos e em 1913-1918 e 1933-40 para cinco anos. Nesses últimos períodos ocorreram os máximos valores do índice de precipitação (Prp) no BM.

No período antes de 1977, a atmosfera apresentava-se influenciada pela fase fria da ODP, a qual propicia maior número de La Niñas.

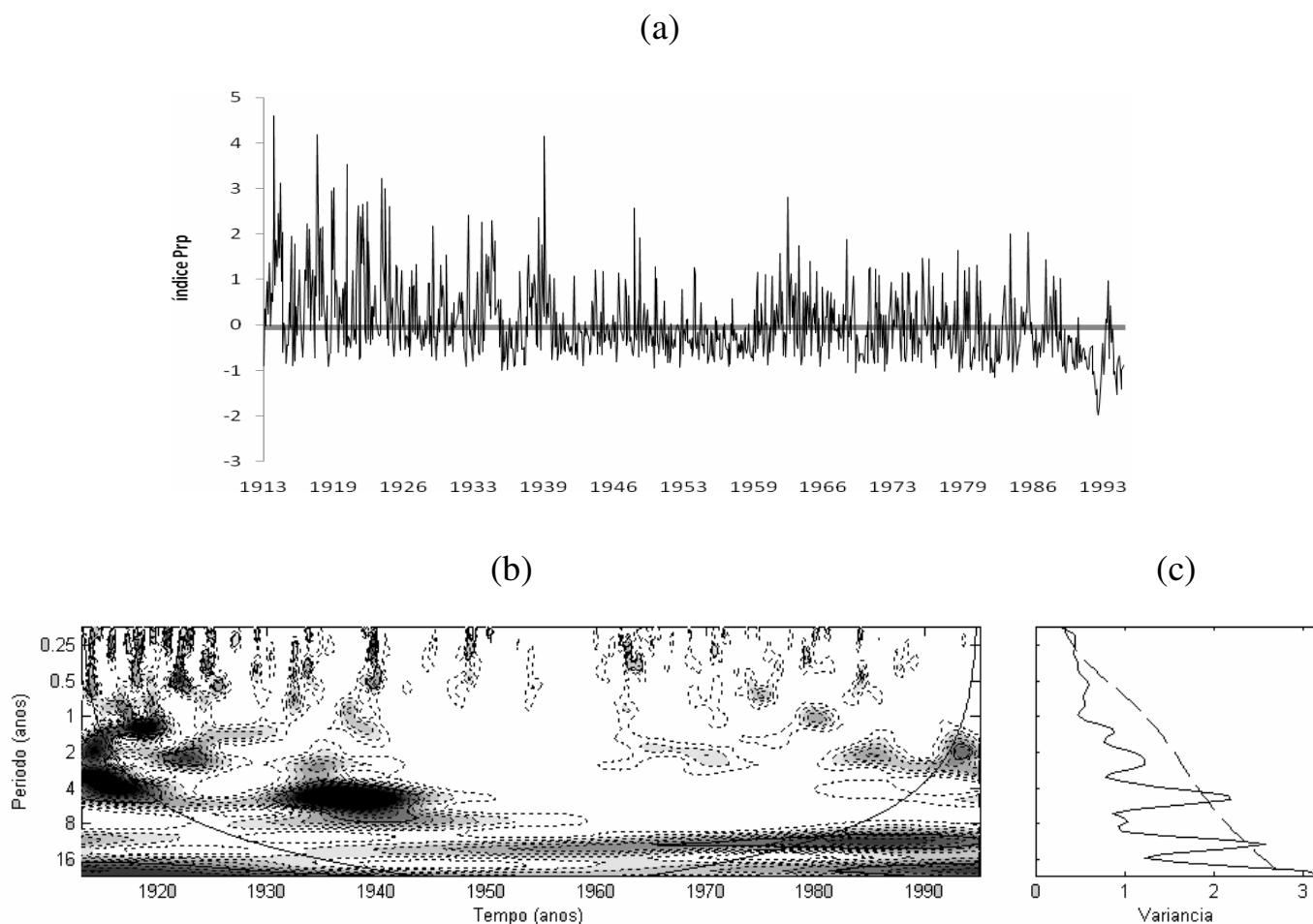


Figura 7. a) Índice de precipitação para BM (Prp) normalizado pelo desvio padrão; b) Espectro de energia (EPW) local para Prp. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

Após 1977, aumentou o número de ocorrência de El Niño, que provoca diminuição de chuvas para o NEB. A influência dessa oscilação é claramente verificada no gráfico de Prp (Figura 7a), onde antes de 1977 os valores foram maiores que os do período posterior.

4. CONCLUSÃO

Utilizando o IAC para verificar a variabilidade interanual, verificou-se que foi refletido primeiramente o sinal da variabilidade interanual, a qual domina os menores sistemas meteorológicos (escala sazonal). Independente dos mecanismos que causam chuva na região, a distribuição

das mesmas depende se o ano é seco ou úmido.

A partir das ondeletas obtiveram-se resultados os quais indicaram que a variabilidade de precipitação na região é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo. Principalmente a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal das escalas 11 e 22 anos influenciaram na variabilidade pluviométrica local.

Concluiu-se que ambas as ferramentas estatísticas são de extrema utilidade para o conhecimento da climatologia e as mesmas mostram quais os possíveis eventos da variabilidade climática que exerce maior influência sobre a pluviometria local.

REFERÊNCIAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: surface climate, **Mon. Wea. Rev.**, v.116, p.505-524, 1988.
- ALLEN, M.R.; SMITH, L.A. Investigating the origins and significance of low frequency modes of climate variability. **Geophysical Research Letters**, Washington, v.21, n.10, p.883-886, 1994.
- ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, **Journal of Climate and Applied Meteorology**, 23, 1100-1109. 1984.
- ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought, **Water Resources Bulletin**, v.21, n.1, p.105-114. 1985.
- ANDREOLI, R. V., KAYANO, M. T., GUEDES, R. L., OYAMA, M. D., ALVES, M. A. S. 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, 2004.
- ARAÚJO, L. E.; DA SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. de. Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da precipitação na Bacia do rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, UFPE, Recife-PE, vol.1, 2007.
- BARBOSA, E.B.M.; ROSA, M.M.; VIJAYKUMAR, N.L.; BOLZAN, M.J.A.; TOMASELLA, J. **Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-bacia Amazônica**, INPE, São José dos Campos, 2004.
- CASTRO, C.A.C. **Interações Trópicos-Extratrópicos 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. 2002.
- COSTA, M C.; OLIVEIRA, M. C. F.; MORAES, J. C.; BARRETO, P. N.; DANTAS, V. A.; CARVALHO, S. P. Comportamento e relação entre PRP e vazão na bacia do rio Mundaú, Alagoas e Pernambuco. In: CONGRESSO DE BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. **Anais...**, Campinas-SP, julho 2005.

- DA SILVA, D.F.; BORBA, J.C.C.; ALMEIDA, H.R.R.C.; LOPES, Z.F. Influência do Clima na Variabilidade Espaço-Temporal da bacia do rio Mundaú (localidades de Pernambuco). I Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...**, Fortaleza-Brasil, Outubro de 2005.
- FARGE, M.: Wavelet transforms and their applications to turbulence. **Ann.Rev.Fluid Mech.**, v.24, p.395-457, 1992.
- FIGUEROA, S.N. **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, 1997
- FREITAS, M. A. S. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. In: Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses, 2004, Puerto Iguazú. **Anais...** Puerto Iguazú : CACIER, 2004. v. 1. p. 1-1.
- FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.
- GONÇALVES, W.A.; CORREIA, M.F.; ARAÚJO, L.E.; DA SILVA, D.F.; ARAÚJO, H.A. Vulnerabilidade Climática do Nordeste Brasileiro: Uma análise de eventos extremos na Zona Semi-árida da bacia hidrográfica do São Francisco, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14. **Anais...**, Florianópolis, 2006.
- GUTTMAN, N.B. A Sensitivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index, **Water Resources Bulletin**, v.27, n.5, p.797-807. 1991.
- HASTENRATH, S., KACZMARCZYK, E. B. On spectra and coherence of tropical climate anomalies, **Tellus**, v.33, n.5, p.453-462, 1981.
- HAVENS, A.V. **Economic Impact of Drought on Water Systems in Passaic River Basin**, n.J., New Brunswick, New Jersey Agricultural Experiment Station. 1969.
- KANE, R. P.; TRIVEDI, N. B. Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil, **Clim. Change**, v.13, p.317-336, 1988.
- KANE, R. P. El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil, **Rev. Bras. Geofís.**, v.10, n.2, p.49-59, 1992.
- KANE, R. P. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities, **Inter. J. Climatol.**, v.17, p.655-665, 1997.
- KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 11, n. 1 e 2, p. 06 -17, Jun. 1996.
- KERR, R.A. A new dawn for sun-climate links? *Science*, Washington, DC, v.271, n°5254, p.1360-1361, 1996.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **J. Climate**, v.7, p.1131-1143. 1994:
- KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil, **J. Meteor. Soc. Japan**, v.56, p.457-466, 1978.

- MANN, M.E.; LALL, U.; SALTZMANN, B. Decadal-to-centennial-scale climate variability: insights into the rise and fall of the great salt lake. *Geophysical Research Letters*, Washington, DC, v.22, n.8, p.937-940, apr.1995.
- MAUGET, S.U.M. **Índice Padronizado de Precipitação (SPI)**; C. Springer Science, 2005. V.1, p.90.
- MEHTA, V.; DELWORTH, T. 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, 1995.
- MORETTIN, P.A. **Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas**, São Paulo: EDUSP, 1999.
- REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, C. A. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DA FLISMET, 1998, Brasília DF. **Anais...** 1998.
- ROOY, M.P. VAN. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**, Notes, 14, 43, 1965.
- SCHNEIDER M., VITORINO, I., SILVA DIAS, P.L. Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondeletas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, **Anais...**, Fortaleza-CE, out.2005.
- SPERBER, K. R.; HAMEED, S. Phase Locking of Nordeste precipitation with sea surface temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, v.20, n.2, p.113-116, 1993.
- STEILA, D. **Drought Analysis in Four Southern States by a New Index**, PhD Diss., Athens, Ga., The University of Georgia. 1971.
- TENÓRIO, R. S. **Estudo Hidrometeorológico da Bacia do Rio Mundaú**. Universidade Federal de Alagoas. MET. Maceió - Alagoas, Fevereiro/1985.
- TUCCI, C.E.M; BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**, Coleção ABRH, p. 348, 2003.
- VITORINO, M.I. **Análise das Oscilações Intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes Utilizando a Análise de Ondeletas**, Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, 2003.
- WENG, H. LAU, K-M. 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, 1994.