

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

INFLUÊNCIA DO CLIMA GLOBAL NOS PROGNÓSTICOS DAS
DESCARGAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE
ALAGOAS

FABIANA CARNAÚBA MEDEIROS

MACEIÓ - AL
2002



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Nº de ordem: MET - UFAL-MS/011

**INFLUÊNCIA DO CLIMA GLOBAL NOS PROGNÓSTICOS DAS
DESCARGAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE
ALAGOAS**

Por

FABIANA CARNAÚBA MEDEIROS

ORIENTADOR: LUIZ CARLOS BALDICERO MOLION
DOUTOR EM METEOROLOGIA

MACEIÓ - AL

2002

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

M488i Medeiros, Fabiana Carnáuba.
Influência do clima global nos prognósticos das descargas de bacias hidrográficas do Estado de Alagoas / Fabiana Carnáuba Medeiros. – Maceió, 2002
xii, 69p. : il.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia. Maceió, 2002.

Bibliografia: p. 64-69.

1. Meteorologia agrícola - Alagoas. 2. Climatologia – Alagoas. 3. Recursos hídricos. 4. Mundaú, Rio (AL). 5. Paraíba, Rio (AL). 6. Coruripe, Rio (AL).

I. Título.

CDU: 551.58:631(813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

**“INFLUÊNCIA DO CLIMA GLOBAL NO PROGNÓSTICO DAS DESCARGAS DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE ALAGOAS”**

FABIANA CARNAÚBA MEDEIROS

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia. N.º de ordem: MET-UFAL-MS-011

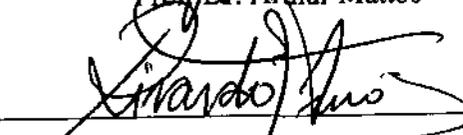
Aprovada pela banca examinadora composta por:



Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Orientador)



Prof. Dr. Arthur Mattos



Prof. Dr. Ricardo Sarmiento Tenório

Maceió - AL
Outubro - 2002

*Dedico à MINHA FILHA, **Rafaela Carnaúba Medeiros**, que mesmo sem entender direito da importância deste estudo, me deu forças para chegar onde cheguei.*

Agradecimentos

Á DEUS acima de tudo,

Á meus pais e a toda minha família, que acreditam no meu trabalho,

Ao meu orientador, Prof. Luiz Carlos Baldicero Molion, e ao meu co-orientador, Ricardo Sarmanto Tenório, que me deixaram a vontade para direcionar meu trabalho do jeito que melhor me conviesse,

A todos os professores do Departamento de Meteorologia da UFAL,

Aos amigos José Gino de Oliveira e Gustavo da Silva Carvalho, cujos ensinamentos foram fundamentais para a realização deste trabalho,

Aos amigos da Diretoria de Hidrometeorologia que sempre confiaram no meu potencial, Edel, Rômulo, Emanuel, Romildo, André, Alexandre, Moisés, Ana Cláudia e Maria do Rosário.

Á FAPEAL, pelos recursos financeiros cedidos.

RESUMO

MEDEIROS, Fabiana Carnáuba. Influência do clima global nos prognósticos das descargas de bacias hidrográficas do estado de Alagoas. Orientador: Dr Luiz Carlos Baldicero Molion. Maceió – AL: UFAL; 2002. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

O objetivo deste estudo foi procurar sinais da influência da variabilidade interanual do clima global no ciclo anual de vazões de algumas bacias hidrográficas selecionadas para o estado de Alagoas, a saber, rios Coruripe, Mundaú e Paraíba. Índices que representam as configurações da circulação geral da atmosfera, como Índice de Oscilação Sul (IOS) e Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul (IME), proposto recentemente pelo Climate Diagnostic Center (CDC/NCEP/NOAA), foram utilizados. As vazões médias mensais foram correlacionadas com os índices globais e procuraram-se atrasos de fase (“lag”) com o objetivo de utilizar esses índices em algoritmos de previsão de vazões e, possivelmente, como parte de um sistema de prognóstico de vazões. Os resultados foram encorajadores, com alguns coeficientes de correlação superiores a 0,7 e os índices globais antecedendo de 2 a 3 meses as vazões dos rios referidos.

ABSTRACT

MEDEIROS, Fabiana Carnáuba. Global Climate impacts on river basin discharge forecast for the state of Alagoas. Adviser: Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion. Maceió – AL: UFAL: 2002. Dissertation (Master in Meteorology).

The objective of this study was to search for signs of influence of the global climate interannual variability on the river discharge annual cycle of selected watersheds of the State of Alagoas, namely, Coruripe, Mundau and Paraiba rivers. Indices that represent the patterns of the general circulation of the atmosphere, such as Southern Oscillation Index and Multivariate ENSO Index, proposed by Climate Diagnostic Center (CDC/NCEP/NOAA) recently, were employed. Mean monthly discharges of these rivers were correlated with the indices and lags searched so the global indices could compose forecast algorithms and possibly be part of a system of river discharge prognostics. The results were encouraging, with some correlation coefficients above 0.7 and indices lagging 2 to 3 months the discharges.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE EQUAÇÕES.....	XII
RELAÇÃO DE SÍMBOLOS E SIGLAS.....	XIII
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Bacia do Rio Coruripe.....	2
1.2 - Bacia do Rio Paraíba.....	4
1.3 - Bacia do Rio Mundaú.....	5
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3 – METODOLOGIA.....	30
4 – RESULTADOS.....	38
5 – CONCLUSÕES.....	62
6 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Coeficiente de correlação entre o IOS e as séries normalizadas de chuva para o leste do Nordeste.....	13
TABELA 2 -	El Niño – Oscilação Sul (ENOS).....	20
TABELA 3 -	Vazões médias mensais (m ³ /s) do posto Boa Fortuna – bacia do rio Mundaú.....	27
TABELA 4 -	Vazões médias mensais (m ³ /s) do posto Atalaia - bacia do rio Paraíba.....	28
TABELA 5 -	Vazões médias mensais (m ³ /s) do posto Camaçari – bacia do rio Coruripe.....	29
TABELA 6 -	Dados mensais de IOS extraídos da homepage www.cdc.noaa.gov	30
TABELA 7 -	Dados bimestrais de IME, extraídos da homepage www.cdc.noaa.gov	33
TABELA 8 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Mundaú (IOS/IDR).....	35
TABELA 9 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Paraíba (IOS/IDR).....	36
TABELA 10 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Coruripe (IOS/IDR).....	38
TABELA 11 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Coruripe (IOS/IDR).....	39
TABELA 12 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Paraíba (IOS/IDR).....	41
TABELA 13 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Mundaú (IOS/IDR).....	42
TABELA 14 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Mundaú (IME/IDR).....	44
TABELA 15 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Paraíba (IME/IDR).....	46
TABELA 16 -	Coeficientes de correlação para a bacia do rio Coruripe (IOS/IDR).....	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	O Estado de Alagoas e suas regiões ambientais.....	1
FIGURA 2 -	Localização da bacia do rio Coruripe no estado de Alagoas.....	2
FIGURA 3 -	Localização da bacia do rio Paraíba no estado de Alagoas.....	4
FIGURA 4 -	Localização da bacia do rio Mundaú no estado de Alagoas.....	5
FIGURA 5 -	Distribuição anual de chuvas sobre o ENE do Brasil.....	10
FIGURA 6 -	Estações chuvosa e seca para a costa Leste do Nordeste.....	11
FIGURA 7 -	Precipitação média para os meses abril, maio, junho e julho.....	12
FIGURA 8 -	Célula de circulação de Walker em anos normais.....	15
FIGURA 9 -	Célula de circulação de Walker em anos de El Niño.....	16
FIGURA 10 -	Isolinhas da precipitação média anual para o estado de Alagoas.....	24
FIGURA 11 -	Precipitação média para o estado de Alagoas.....	25
FIGURA 12 -	Vazão média para a bacia do rio Mundaú.....	27
FIGURA 13 -	Vazão média para a bacia do rio Paraíba.....	28
FIGURA 14 -	Vazão Média para a bacia do rio Coruripe.....	29
FIGURA 15 -	Dados de IOS para o período 1974-1998.....	31
FIGURA 16 -	Dados de IME de 1950 a 2002.....	33
FIGURA 17 -	Correlação IOS abril x IDR julho.....	36
FIGURA 18 -	Correlação IOS abril x IDR setembro.....	37
FIGURA 19 -	Correlação IOS abril x IDR julho.....	38
FIGURA 20 -	Correlação com filtro IOS março x IDR julho.....	40
FIGURA 21 -	Correlação com filtro IOS abril x IDR setembro.....	42

FIGURA 22 -	Correlação com filtro IOS abril x IDR julho.....	43
FIGURA 23 -	Correlação com filtro IME mar/abr x IDR jul/ago.....	45
FIGURA 24 -	Correlação com filtro IME jun/jul x IDR set/out... ..	47
FIGURA 25 -	Correlação com filtro IME mai/jun x IDR jun/jul.....	48
FIGURA 26 -	Curva gerada com preenchimento de falhas e dados gerados.....	50
FIGURA 27 -	Resultado da correlação do IOS de março x IDR de julho.....	51
FIGURA 28 -	Resultado da correlação com margem de erro do IOS de março x IDR de julho.....	51
FIGURA 29 -	Resultado da correlação do IOS de abril x IDR de julho.....	52
FIGURA 30 -	Resultado da correlação com margem de erro do IOS de abril x IDR julho.....	52
FIGURA 31 -	Resultado da correlação do IOS de abril x IDR de julho.....	53
FIGURA 32 -	Resultado da correlação com margem de erro do IOS de abril x IDR de julho.....	54
FIGURA 33 -	Resultado da correlação do IME de jun/jul x IDR de set/out.....	55
FIGURA 34 -	Resultado da correlação do IME de mar/abr x IDR de jun/jul.....	55
FIGURA 35 -	Resultado da correlação com margem de erro do IME de mar/abr x IDR de jun/jul.....	56
FIGURA 36 -	Resultado da correlação do IME de mai/jun x IDR de jun/jul.....	56
FIGURA 37 -	Resultado da correlação com margem de erro do IME de mai/jun x IDR de jun/jul.....	57
FIGURA 38 -	Resultado da correlação do IME de jan/fev x IDR de jul/ago.....	58
FIGURA 39 -	Resultado da correlação com margem de erro do IME de jan/fev X IDR de jul/ago.....	58
FIGURA 40 -	Tendência do IDR calculado para os anos de 1998 a 2002.....	59
FIGURA 41 -	Hidrograma de nível e ietograma para o dia 31 de julho de 2000 .	60

LISTA DE EQUAÇÕES

1 -	Índice de Descarga de Rio (IDR)	31
2 -	Equação do coeficiente de correlação.....	31
3 -	Coeficiente de correlação.....	32
4 -	Filtro das séries temporais.....	32
5 -	Equação utilizada para previsão – bacia do rio Paraíba.. ..	61
6 -	Equação utilizada para previsão – bacia do rio Mundaú.....	61
7 -	Equação utilizada para previsão – bacia do rio Coruripe.....	61
8 -	Equação utilizada para previsão – bacia do rio Paraíba.....	61
9 -	Equação utilizada para previsão – bacia do rio Mundaú.....	61
10 -	Equação utilizada para previsão – bacia do rio Coruripe.....	61

RELAÇÃO DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ENSO	El Niño - Oscilação Sul
ENE	Leste do Nordeste
IDR	Índice de Descarga de Rio, calculados com dados de vazão
IME	Índice Multivariado de ENOS (Multivariate ENSO Index = MEI)
IOS	Índice de Oscilação Sul (Southern Oscillation Index = SOI)
NEB	Nordeste do Brasil
NMRH	Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos de Alagoas
NNE	Norte do Nordeste do Brasil
OS	Oscilação Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

1 - INTRODUÇÃO

O estado de Alagoas está localizado na região Nordeste do Brasil, vizinho aos estados de Pernambuco, Bahia e Sergipe. Seu território tem uma área de 27.933,1 km² (Anuário Estatístico de Alagoas, 1998). Alagoas possui uma larga faixa costeira no Oceano Atlântico, com aproximadamente 220 km de extensão. Pode ser dividido em seis regiões ambientais. Na região Leste encontram-se a Zona da Mata e o Litoral. Na região Oeste, encontra-se o Sertão e o Sertão do São Francisco; na região Sul, o Baixo São Francisco. A região Agreste é considerada uma região de transição.

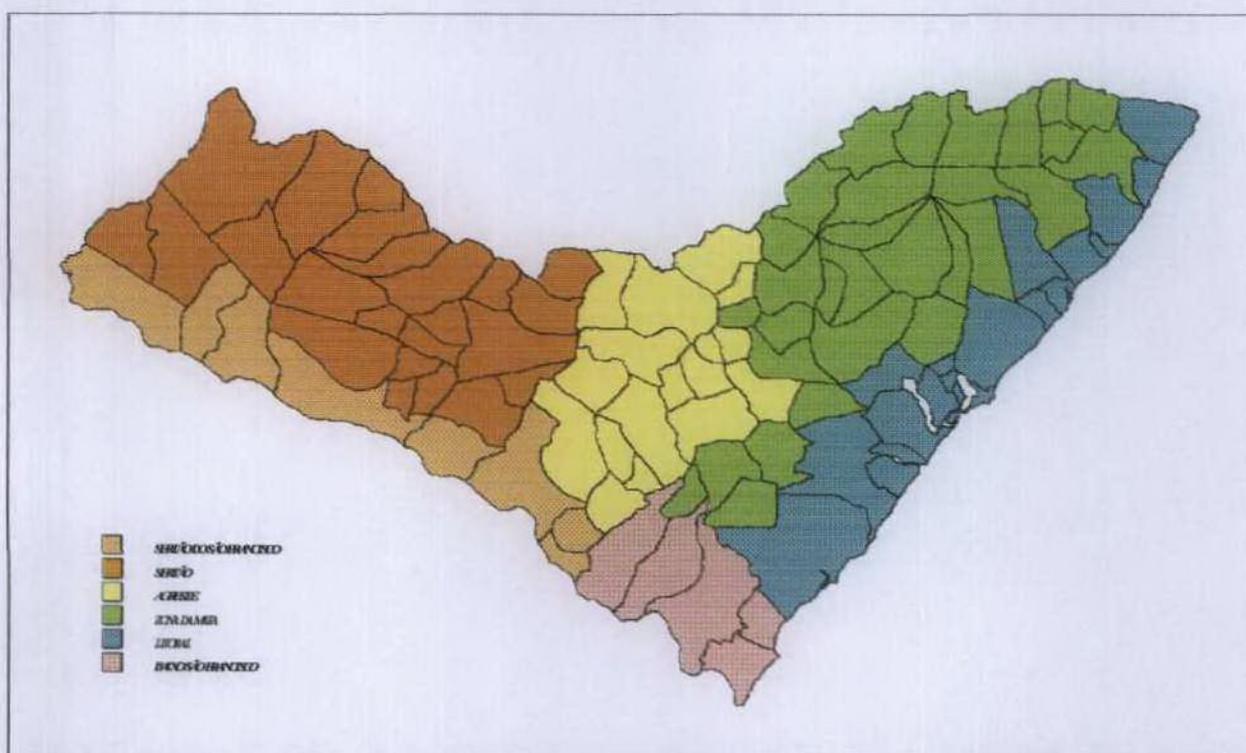


Figura 1 – O estado de Alagoas e suas regiões ambientais (Fonte: NMRH/AL).

Os rios do estado de Alagoas pertencem a duas grandes bacias brasileiras, de acordo com a classificação do DNAEE: Bacia do Atlântico Sul, trechos Norte e Nordeste e a Bacia do Rio São Francisco. O Estado de Alagoas pode ser subdividido em 44 principais bacias hidrográficas (SEMA/SUDENE/SEPLAN/CMA/AL, 1979), dentre elas as bacias dos rios Paraíba, Mundaú e Coruripe, que fazem parte deste trabalho de pesquisa.

1.1 Bacia do Rio Coruripe

Das três bacias em estudo, é a única que é totalmente inserida dentro do estado de Alagoas, entre as coordenadas $10^{\circ} 00'00''$ e $10^{\circ} 05'00''$ (S) e $36^{\circ} 00'00''$ e $36^{\circ} 05'00''$ (W), distribuída em treze (13) municípios: Coruripe, Arapiraca, Palmeira dos Índios, Teotônio Vilela, Junqueiro, Limoeiro de Anadia, Coité do Nóia, Taquarana, Igaci, Belém, Campo Alegre, Mar Vermelho e Tanque D'Arca. O Rio Coruripe tem uma extensão de 336 km, área total de 1.679,8 km², vazão média de 8,1 m³/s e desemboca no Atlântico perto da cidade de Coruripe, ao Sul de Maceió (Figura 2).



Figura 2 – Localização da bacia do rio Coruripe no estado de Alagoas

O rio Coruripe é considerado temporário em suas partes mais altas, que ficam inseridas na Zona do Agreste, apresentando cheias com fortes enxurradas. O rio adquire características de perene à medida que se adentra nas zonas da Mata e Litoral.

De acordo com a classificação de Köppen, a região onde está inserida a bacia do rio Coruripe, Zona do Litoral, Zona da Mata e Agreste, pode ser classificada como do tipo As'. Essa classificação se refere a clima úmido, tropical quente e chuvoso, com verão seco. Pelos dados apresentados, observa-se que se trata de uma área caracterizada pelo nível pluviométrico médio, inconstante ao longo de todo o ano, principalmente na sua porção ocidental, com uma estação seca e outra chuvosa bem definidas. A área drenada pela bacia apresenta pluviometria média anual que varia de 1.200 a 1.600 mm, estando os valores mais baixos nas cabeceiras e no curso médio e os mais altos nas proximidades de sua desembocadura. O trimestre mais chuvoso acontece entre maio e julho em praticamente toda a bacia, segundo os dados das estações pluviométricas inseridas na bacia. Os meses menos chuvosos concentram-se no verão, entre os meses de outubro e dezembro, em toda área da bacia.

As análises dos dados de temperatura apontaram para um clima de temperaturas elevadas, com amplitude térmica pouco superior a 5° C e temperaturas médias anuais sempre superiores a 18° C. As menores temperaturas são observadas no segundo semestre do ano em todas as estações, principalmente nos meses de setembro a novembro na porção norte da área (em Palmeira dos Índios) e entre junho e agosto na sua porção Sul (Coruripe). As maiores temperaturas acontecem no início do ano, entre fevereiro e abril, na porção Norte (Palmeira dos Índios). As maiores médias anuais ocorrem no extremo sul da Bacia, onde se aproximam de 27° C.

A evapotranspiração potencial da bacia do rio Coruripe varia de 1.200mm a 1.400mm, isto é, o total pluviométrico anual quase não supre as necessidades hídricas da região. A variação das vazões do rio Coruripe obedece ao regime de precipitação da bacia, ou seja, durante as chuvas, ocorrem altas descargas, inclusive causando inundações (Pró-Água 2000).

1.2 Bacia do Rio Paraíba

A bacia hidrográfica do rio Paraíba está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas, entre as coordenadas $08^{\circ} 44'$ e $09^{\circ} 39'$ (S) e $35^{\circ} 45'$ e $36^{\circ} 45'$ (W) com área total de $3.148,5 \text{ km}^2$ e vazão média de $20,7 \text{ m}^3/\text{s}$, distribuída nos seguintes municípios de Alagoas: Atalaia, Cajueiro, Capela, Chã Preta, Maribondo, Mar Vermelho, Palmeira dos Índios, Paulo Jacinto, Pilar, Pindoba, Quebrangulo e Viçosa, que representa 11,2% da área do estado de Alagoas, e limita-se ao Norte com a Bacia do rio Ipanema no estado de Pernambuco, ao Sul com as bacias dos rios São Miguel e Sumaúma, ao Leste com a bacia do rio Mundaú, e ao Oeste com as bacias dos rios Traipú e Coruripe.



Figura 3 – Localização da bacia do rio Paraíba no Estado de Alagoas

O rio Paraíba nasce no estado de Pernambuco e deságua no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba no litoral do estado de Alagoas. Sua bacia é formada por vários afluentes de pequeno porte, que apresentam um regime de enxurrada durante a estação chuvosa.

Parte da bacia do rio Paraíba no estado de Alagoas está localizada em uma região de clima tropical quente e chuvoso, com verão seco do tipo As' , segundo classificação de Köpen. As temperaturas na região são bastante elevadas, com exceção dos microclimas das regiões serranas que, devido à altitude, são mais baixas. A temperatura média anual é de $25^{\circ} C$ e a temperatura média mensal mais alta pode atingir $30^{\circ} C$, nos meses mais quentes, que são dezembro e fevereiro. Sua estação chuvosa compreende os meses de abril a julho, com pluviosidade média anual de 1.400 mm (SUDENE, 1999).

1.3 Bacia do Rio Mundaú

O rio Mundaú é um dos principais rios que drenam o território alagoano em direção ao Oceano Atlântico. Sua bacia está localizada na região central do Extremo Leste de Alagoas e tem sua cabeceira situada no estado de Pernambuco. O rio Mundaú deságua na Lagoa Mundaú que tem uma superfície de $26,8 \text{ km}^2$ e encontra-se ligada à Lagoa Manguaba através de um sistema de canais (Figura 4).



Figura 4 – Localização da bacia do rio Mundaú no estado de Alagoas

O rio Mundaú é perene e tem uma extensão de 141 km, com área de 4.102,6 km² e vazão média de 30,6 m³/s. Sua bacia é distribuída pelos seguintes municípios de Alagoas: São José da Laje, Santana do Mundaú, Ibateguara, União dos Palmares, Branquinha, Capela, Murici, Messias, Atalaia, Pilar, Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte, Maceió e Coqueiro Seco.

Existe um problema constante na bacia do rio Mundaú que são as enchentes. O escoamento nas cabeceiras do rio é temporário. No período das chuvas, o escoamento cresce, sendo agravado pela presença das lagoas Mundaú e Manguaba, cujas águas têm dificuldade de escoar rapidamente para o oceano. Particularmente no período em que sopram ventos do SE com alta persistência. No curso médio da bacia, as enchentes já causaram grandes prejuízos tendo, inclusive, provocado a relocação de assentamentos urbanos. Historicamente, as maiores enchentes ocorreram nos trechos médio e baixo da bacia do rio Mundaú. Em Santana do Mundaú, a máxima enchente registrada ocorreu em 03/03/1993.

Na maior parte da bacia, predomina o clima tipo As' ("pseudo tropical") segundo Köppen, quente e chuvoso, com verão seco e temperatura média anual de 24° C e chuvas acima de 900mm (SUDENE, 1999).

O estado de Alagoas, assim como os demais estados da Região Nordeste, sofre com a variabilidade das chuvas na maior parte dos meses do ano. Essa variabilidade está diretamente relacionada com o fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS). O El Niño é um fenômeno oceânico, caracterizado pelo aquecimento das águas do Pacífico, causando estiagens no Norte e Nordeste do Brasil e enchentes no Sul e Sudeste do Brasil.

Uma das manifestações mais espetaculares interanuais da circulação geral da atmosfera é o fenômeno Oscilação Sul (OS), tipo marítima de circulação com centros de ação, um localizado sobre a Indonésia e norte da Austrália, e outro sobre o sudeste do Oceano Pacífico perto da costa oeste da América do Sul. A Oscilação Sul é representada por um índice (Índice de Oscilação Sul - IOS), definido como a diferença padronizada das anomalias de pressão entre estes dois centros.

Anos em que a OS está na sua fase negativa, em geral, correspondem a anos de El Niño, que acarretam excesso de chuva no Sul e Sudeste do Brasil e escassez no Norte e Nordeste. Anos de fase positiva, ocorre o fenômeno inverso, a La Niña, que corresponde a chuvas acima da média no Norte e Nordeste e escassez no Sul e Sudeste (Molion, 2002).

Neste trabalho, deseja-se estudar a possível relação existente entre o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e vazões dos rios Paraíba, Mundaú e Coruripe, utilizando dados mensais de vazão e dados mensais de índices de escala global que indicarão algoritmos de previsão.

Foram preferencialmente utilizados dados de vazão, sendo eles de melhor aproveitamento para indicação de fenômenos de grande escala, apresentando vantagens com relação aos dados pluviométricos, pois as bacias hidrográficas tendem a destacar os impactos produzidos pelos fenômenos de escala superior a da bacia.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Nordeste brasileiro está localizado nos trópicos, aproximadamente entre 1° S e 18° S e 35° W e 47° W. Está caracterizada pela grande variabilidade espacial e interanual do seu regime de chuvas e, em alguns anos, severas secas assolam a região. As secas não são fenômenos cíclicos e sim repetitivos uma vez que não têm um período de tempo fixo de recorrência. A literatura registra relatos de secas desde o ano do descobrimento do Brasil, a seca de 1499/1500. É provável que, desde que o presente clima tenha se estabelecido a cerca de 7.000 anos atrás, o Nordeste venha sofrendo secas que talvez tenham sido muito mais severas que as atuais, particularmente durante os séculos XVIII e XIX, sendo a de 1877/79 uma das piores já descrita na literatura regional (Molion e Toledo Filho, 1993).

A maior parte da região Nordeste do Brasil (NEB) é caracterizada como semi-árida, apresentando, na parte central, temperatura média que varia de 24 a 28° C, com grande variabilidade espacial e temporal da precipitação e elevada taxa de evaporação. A região é frequentemente submetida aos efeitos de secas severas, estando as áreas mais atingidas no chamado “Polígono das Secas”, cuja precipitação média anual é inferior a 800 mm, chegando a valores extremos inferiores de 400 mm, na parte central da Paraíba e Pernambuco, e próximo de Petrolina no vale do São Francisco (Strang 1972).

A existência de várias regiões diversificadas no semi-árido nordestino é a constatação da grande variabilidade do clima ali prevalecente, não se podendo confundir os diversos semi-áridos localizados com toda a Região Nordeste. A partir de 1989, a SUDENE praticamente deixou de utilizar a figura do Polígono como referência à área oficial de ocorrência de secas. Em lugar de trabalhar com a figura do Polígono, a SUDENE passou a considerar uma nova região como referência para as medidas de apoio ao fortalecimento da economia das áreas afetadas pelas estiagens no Nordeste (SERHI, 2002).

A ocorrência de secas tem um forte impacto social devido à vulnerabilidade do homem e à fragilidade econômica da região, que apresenta uns dos mais baixos índices de desenvolvimento humano (IDH) do mundo. Há, assim, um grande interesse social em melhorar a previsão climática com o maior período de antecedência possível (6 meses ou mais), com o objetivo de orientar as ações do governo para mitigar os efeitos prejudiciais das secas (Gouveia et al., 2002).

O NEB possui diferentes regimes de precipitação. No norte, o principal período chuvoso é entre fevereiro e maio. No sul, as chuvas ocorrem durante o período dezembro a fevereiro, e no leste o período das chuvas vai de abril a julho (Molion e Bernardo, 2002). A variação espacial anual das chuvas é bastante alta nessa região. Enquanto partes do interior da região possuem precipitação em torno de 600 mm, a costa leste do NEB registra totais em torno de 2000 mm (Kousky e Chu, 1978). Segundo Lima e Rao (1994), o litoral leste da região Nordeste do Brasil (ENE) possui um regime de chuvas satisfatório em termo de totais e regularidade (60% das chuvas ocorrem de abril a julho) Porém, em alguns anos, secas e enchentes severas ocorrem, causando sérios problemas à agricultura, atividade básica da economia regional.

Várias hipóteses são oferecidas para explicar o máximo das chuvas no inverno e o mínimo no verão sobre a ENE do Brasil. Chuvas intensas estão diretamente relacionadas com movimentos verticais ascendentes da atmosfera que, por sua vez, estão associados com baixa pressão atmosférica de superfície. Movimentos ascendentes são controlados principalmente por circulações atmosféricas de grande escala intensificados pelas circulações locais (Molion e Moraes, 1987). Kousky (1979) mostrou que difíceis eventos de precipitação no ENE do Brasil estão associados com frentes frias vindas do Sul do País. Kousky (1980) notou que sistemas de precipitação sobre a costa leste do Nordeste do Brasil ocorrem geralmente durante a noite. Ele atribuiu isso ao máximo que ocorre próximo à costa leste devido, provavelmente, à convergência noturna entre os Alísios e a brisa terrestre próximos à costa. Outro fator que pode ser considerado, é a variação sazonal dos ventos costeiros, onde são associados à intensidade e posição da alta subtropical, no sul do Oceano Atlântico. Um estudo minucioso da variação mensal da pressão ao nível do mar e de ventos de superfície mostrados por Hastenrath e Heller (1977), mostra que a alta subtropical no Atlântico Sul começa se intensificar à medida que o inverno avança, tendo seu máximo no mês de julho. Durante janeiro e fevereiro (verão), a precipitação sobre o Nordeste é afetada pela entrada irregular de frentes frias, ou remanescentes delas, podendo alcançar latitudes ao de norte para 15° S. Para esse período, também é importante a presença de vórtices tropicais de altos níveis (VCAN), associados com as frentes frias. (Kousky e Gan, 1981). Yamazaki e Rao (1977) sugeriram a importância dos sistemas frios se propagando do lado ocidental, que foram detectados com imagens de satélite sobre o Oceano Atlântico. Em estudo mais recente, Chan (1990) confirmou a ocorrência de várias propagações de leste e distúrbios de vento sobre o Oceano Atlântico durante as estações de outono e inverno. Um a

excelente descrição dos mecanismos físicos que produzem chuva no NEB é encontrada em Molion e Bernardo (2002).

A Figura 5 mostra a variação anual na costa leste do Nordeste. Nota-se que no litoral, a precipitação anual é superior a 1.600 mm, havendo um decréscimo para o interior, chegando a 600 mm. No geral, as isoietas são paralelas à costa, exceto em uma pequena região em torno de 9° S e 37.5° W onde existe um máximo de 1.200 mm. Esse máximo secundário está associado com a orografia local (Planalto da Borborema) (Rao et al, 1993).

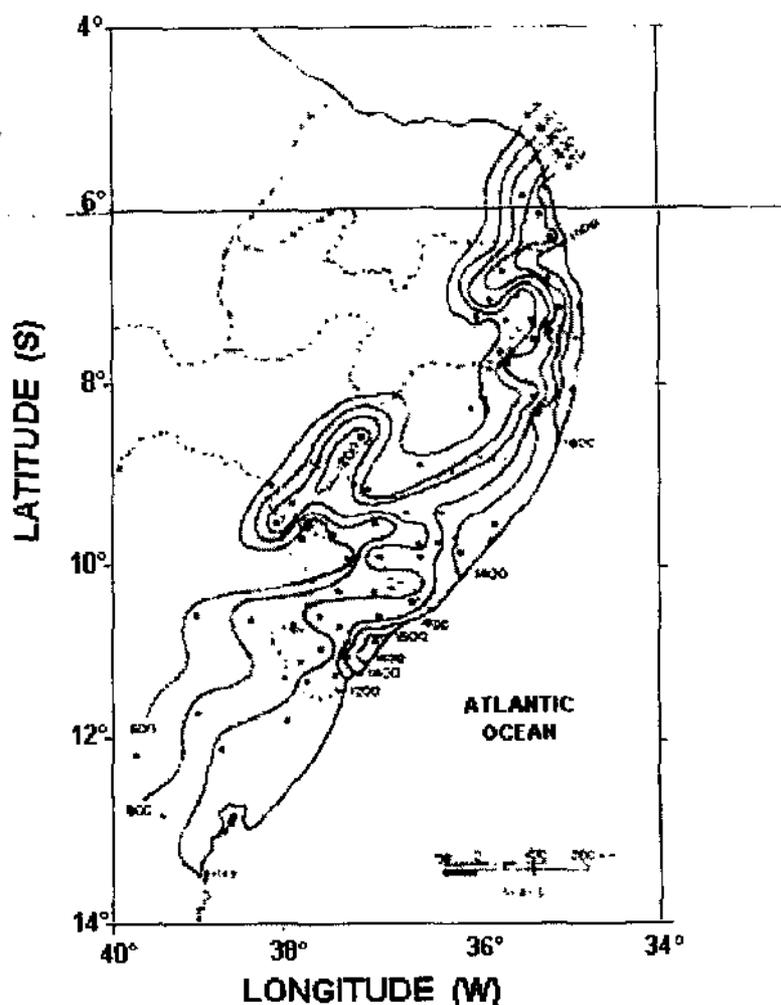


Figura 5 - Distribuição anual de chuvas sobre o ENE do Brasil (Rao et al, 1991).

A figura 6 mostra as estações chuvosa e seca para o ENE. As quatro letras simbolizam as iniciais dos quatro meses consecutivos que possuem alta ou baixa pluviosidade.

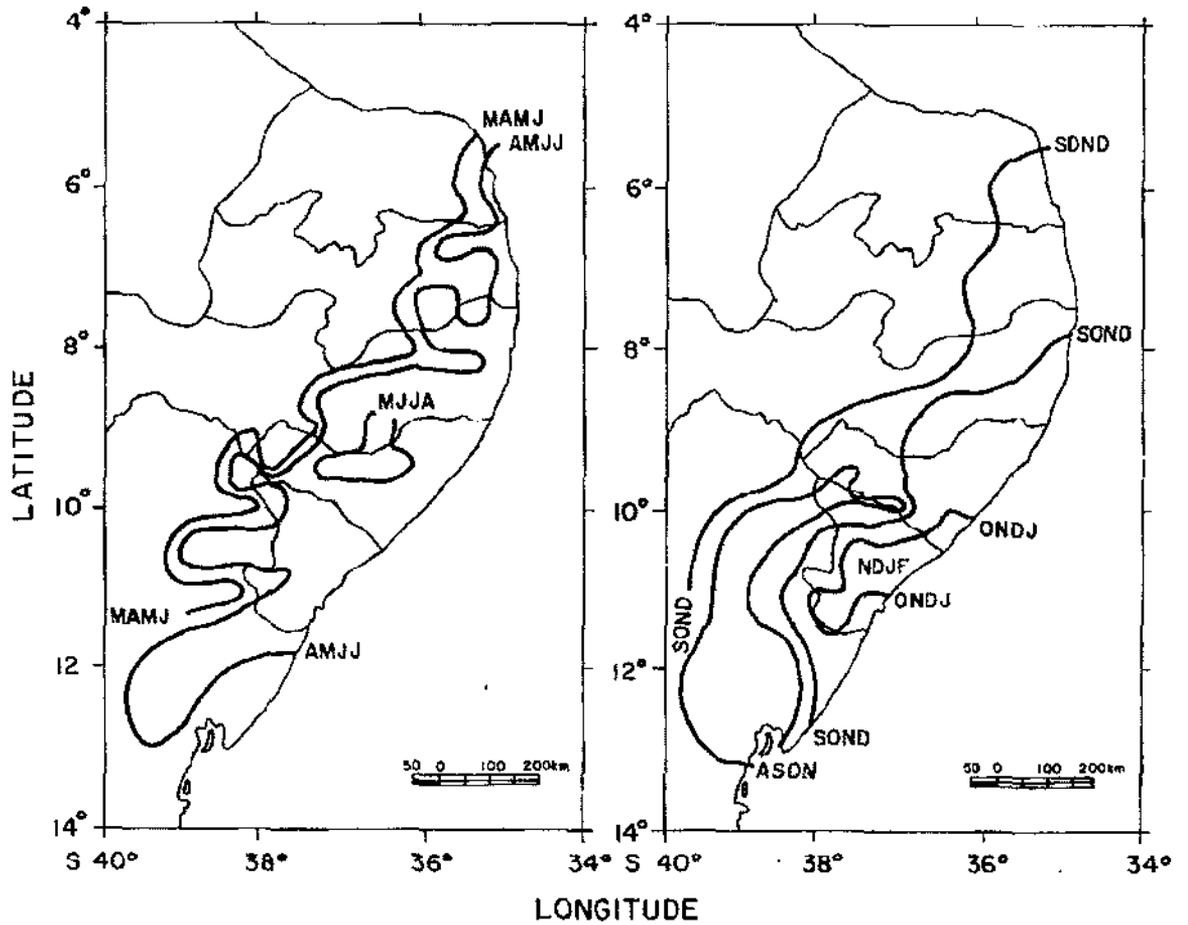


Figura 6 - Estações chuvosa e seca para a costa Leste do Nordeste (Rao et al, 1991).

As figuras 7(A,B,C,D) mostram a variabilidade média das chuvas da região Nordeste para os meses de abril a julho para uma série histórica de 1911 a 1990. Nota-se que em abril começa a estação chuvosa para a costa leste se estendendo pelos outros meses da quadra.

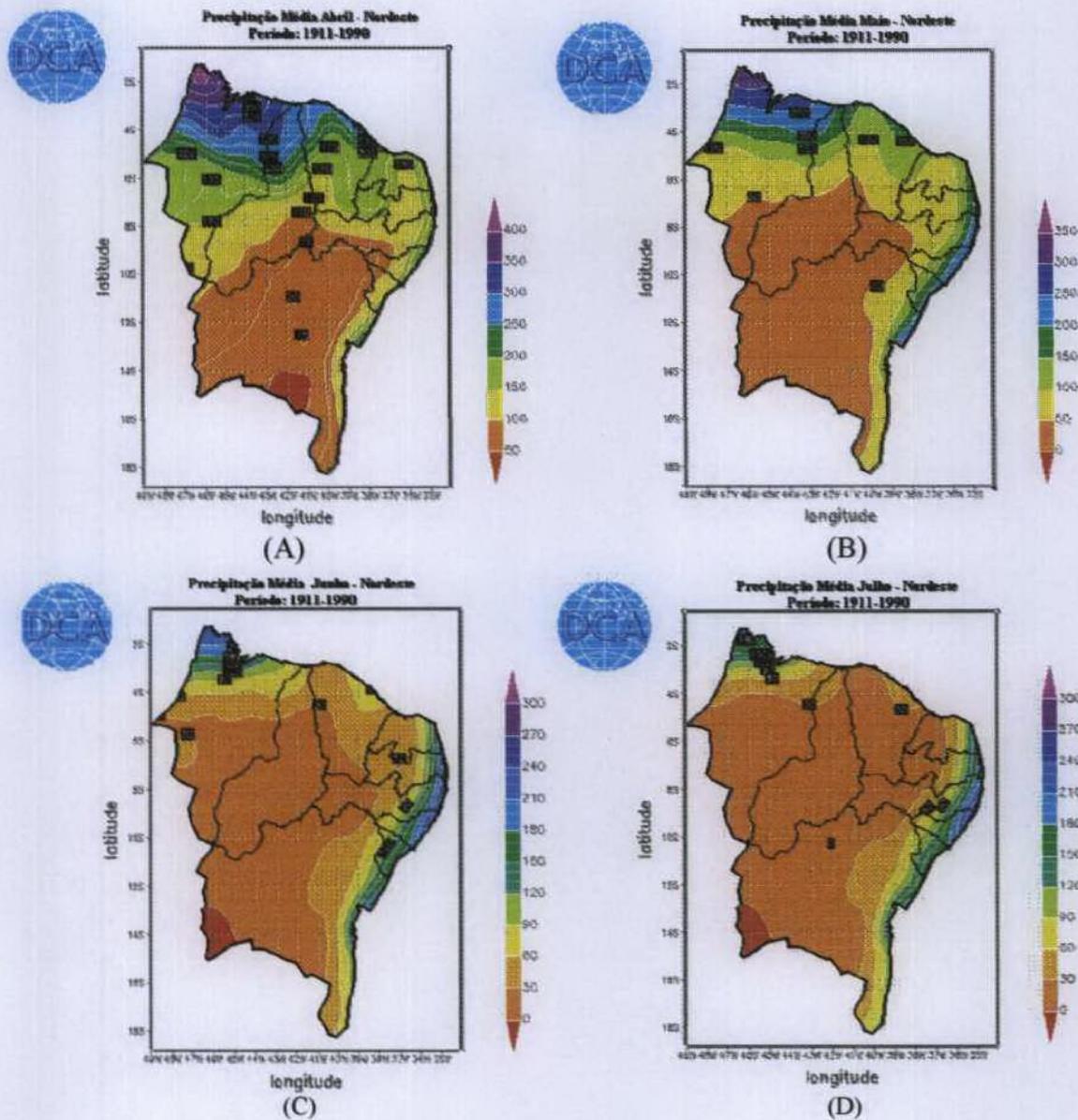


Figura 7 – Precipitação média para o mês de abril (A), maio (B), junho (C) e julho (D).
(Fonte: DCA, 2002)

Para estabelecer a conexão entre chuvas do norte do nordeste do Brasil (NNE) e do ENE, foram calculados por Rao et al (1993) coeficientes de correlação (CC) entre séries normalizadas de precipitação para o ENE e séries de precipitação para o NNE para o período 1914-83 (Hastenrath,1985). O coeficiente de correlação encontrado foi 0,36. De qualquer forma, a pequena correlação, junto ao fato de as estações chuvosas serem diferentes nas duas regiões, com

defasagem de 02 meses, mostraram que os mecanismos de precipitação são diferentes e permitem estudos separados.

A Tabela 1 mostra os coeficientes de correlação entre Índices de Oscilação Sul (IOS), cujas características serão citadas mais a frente, e séries normalizadas de chuva (precipitação) (SNC) para a costa leste do Nordeste para o período 1948-83. No geral, os coeficientes de correlação são pequenos. O coeficiente de correlação para o período abril/maio/junho/julho foi pequeno e negativo. O coeficiente de correlação para o período seco agosto/setembro/outubro/novembro foi um pouco superior e positivo. Isto indica que, durante anos de El Niños, a redução de precipitação da estação seca sobre o ENE é ainda maior (Rao et al, 1993).

Tabela 1 - Coeficiente de correlação entre o IOS e as séries normalizadas de chuva para o ENE.

IOS x SNC	CC	IOS x SNC	CC
JFMA x JFMA	0.06	JJAS x JJAS	0.11
FMAM x FMAM	0.22	JASO x JASO	0.33
MAMJ x MAMJ	0.07	ASON x ASON	0.30
AMJJ x AMJJ	-0.03	SOND x SOND	0.03
MJJA x MJJA	-0.06	Anual x Anual	0.11

Um grande número de pesquisas científicas investigou os mecanismos físicos responsáveis pela grande variabilidade pluviométrica (ocorrência de secas e enchentes) observada no Semi-Árido Nordestino e concluíram que tais anomalias pluviométricas estão fortemente relacionadas com padrões atmosféricos e oceânicos de grande escala que se desenvolvem, simultaneamente ou não, sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. Os dois modos de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala que modulam a distribuição de chuvas sobre o Semi-Árido durante sua estação chuvosa são os fenômenos El Niño/Oscilação Sul (ENOS) observado sobre o Pacífico e o gradiente meridional de TSM do Atlântico (Sousa et al, 1998). Anomalias positivas da TSM no Atlântico equatorial durante fevereiro tendem a coincidir com a migração da ZCIT para o sul antes do tempo e, por conseguinte, a estação chuvosa começa mais cedo. Segundo Uvo e Nobre (1989), a causa direta da boa (precipitação acima do normal) ou da má (precipitação abaixo do normal) estação chuvosa é a posição da ZCIT durante os meses de abril e maio. Em um ano normal, a ZCIT começa a retornar para a posição norte no meio de abril.

Durante o ano seco a ZCIT também não alcança a posição sul do Equador, não sendo suficiente para causar precipitação sobre a região, ou mover para o norte mais cedo.

Estudos demonstraram que o ENOS resulta de uma combinação da interação oceano-atmosfera com ondas oceânicas de grande escala, causando uma oscilação auto-sustentada no Pacífico equatorial. Os elementos que caracterizam a variabilidade temporal do ENOS são: (1) frequência, (2) ciclo de evolução e (3) persistência. Embora a frequência normal do ENOS corresponda ao período de 3-5 anos, há registros de variabilidade na banda de 2-9 anos. A variabilidade na frequência de ENOS dificulta a detecção da sua influência sobre processos continentais de baixa frequência, e.g. armazenamento de água no solo e subsolo (Quinn e Neal., 1987).

Anomalias climáticas na costa oeste da América do Sul foram citadas em primeiros escritos, pelo conquistador espanhol Francisco Pizarro em 1525, relatando a existência de uma contracorrente de águas quentes, de Norte para Sul. Essas anomalias foram estudadas por Sir Gilbert Walker em 1924, que vislumbrou estar o fenômeno oceânico local relacionado com configurações atmosféricas de escala global. Walker identificou uma acentuada variação da pressão atmosférica entre as massas de ar localizadas nas faixas tropicais e subtropicais do Oceano Índico e do Oceano Pacífico (Silva, 2000). Essa variação indicava que, sempre que um sistema de baixa pressão (ciclone) estivesse atuando na região da Indonésia, mais precisamente na estação meteorológica de Darwin, um sistema de alta pressão (anticiclone) era detectado a sudeste do Oceano Pacífico, na ilha da Páscoa e em Tahiti, Polinésia Francesa. Walker observou que esses sistemas se invertiam entre uma região e outra e que, cada vez que essa inversão ocorria, ocasionava significativas mudanças de tempo em ambas as regiões (Silva, 2000).

A distância entre Tahiti e Darwin é de aproximadamente de 8.000 km, sendo 3.000 km antes de 180° (Tahiti – Pacífico) e 5.000 Km a Este de 180° (Darwin-Oceano Índico). Entre esses dois pontos, estabelece-se o sistema de balanço de pressão atmosférica, uma gangorra barométrica que define as condições climáticas subsequentes e que, de forma alternada, dá origem aos episódios frios e quentes, de caráter global, que se desenvolvem sobre o Oceano Pacífico, afetando diretamente Equador e Peru, na costa oeste da América do Sul (Silva, 2000). Os centros de ação são ligados por uma célula de circulação de grande escala (leste-oeste), que foi denominada célula de Walker, onde o ramo ar ascendente forma nuvens e chuva e o ramo ar descendente inibe a formação de nuvens.

A Figura 8 mostra a célula de circulação de Walker, bem como o padrão de circulação em todo o Pacífico Equatorial em anos normais, ou seja, sem a presença do fenômeno El Niño. A célula de circulação, com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (ventos Alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera. No Oceano Pacífico, pode-se ver a região com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Pode-se ver, também, a inclinação da termoclina, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental.

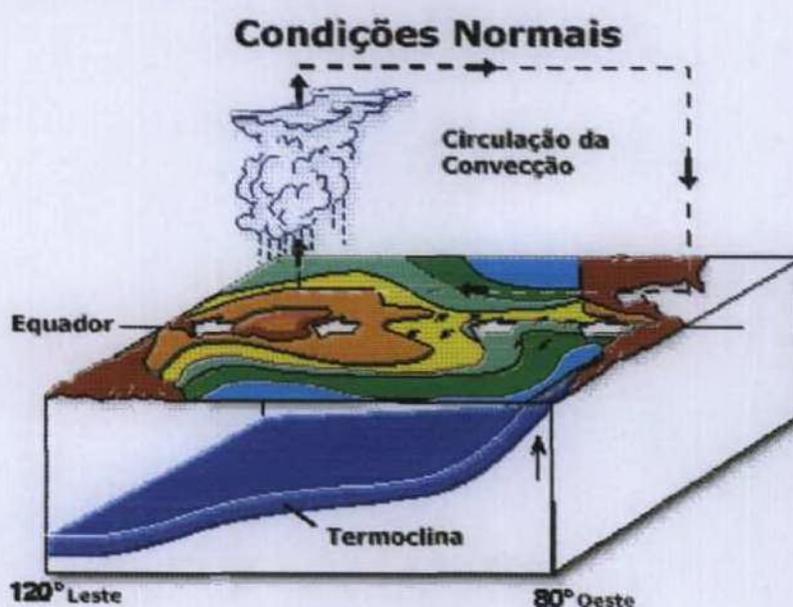


Figura 8 – Célula de circulação de Walker em anos normais (PMEL/NOAA/EUA, 2002).

A figura 9 mostra o padrão de circulação observado em anos de El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico. Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida. No Oceano Pacífico Equatorial, podem ser observadas águas quentes em praticamente toda a sua extensão. A termoclina fica mais aprofundada junto à costa oeste da América do Sul principalmente devido ao enfraquecimento dos ventos Alísios.

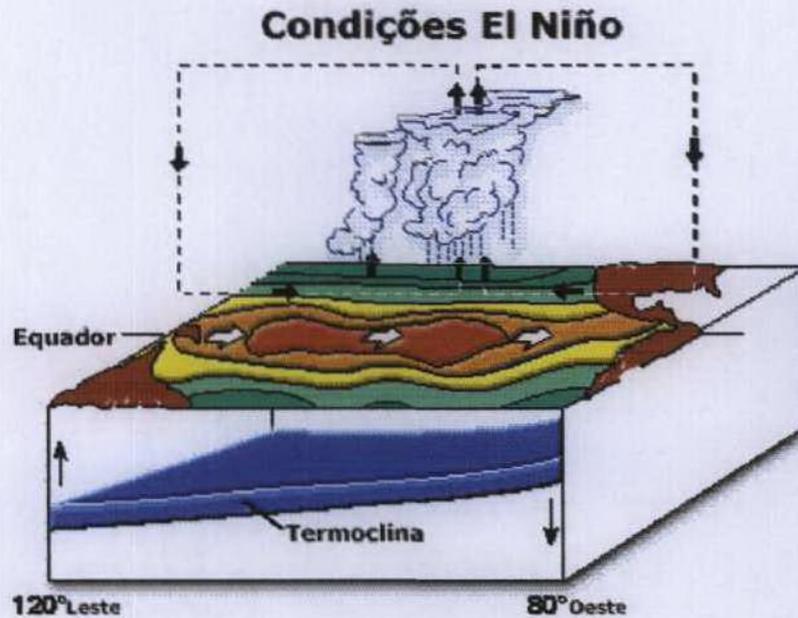


Figura 9– Célula de circulação de Walker em anos de El Niño. (PMEL/NOAA/EUA, 2002).

O aumento no calor sensível e nos fluxos de vapor de água da superfície do oceano para a atmosfera sobre as águas quentes provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global, as quais, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo. Oscilação Sul é uma medida da intensidade dos centros de pressão no oeste e leste do Pacífico no Hemisfério Sul. El Niño e Oscilação Sul são partes de um mesmo fenômeno de interação entre o Oceano Pacífico Tropical e a atmosfera. J Bjerknes foi o primeiro a demonstrar a vinculação entre o IOS e El Niño, estabelecendo a sigla ENSO (El Niño – Oscilação Sul).

O aquecimento, e o subsequente resfriamento num episódio típico de El Niño, dura de 12 a 18 meses, tendo início no princípio do 1º ano, atingindo sua máxima intensidade durante dezembro-janeiro e terminando na metade do 2º ano. Em seu estágio maduro, as águas quentes ocupam uma região estreita e comprida próxima do equador que se estende desde a costa do Peru até por volta de 180° (linha de data) com anomalias de temperaturas de 3° a 5° C próxima à costa da América do Sul, reduzindo gradualmente para 1° ou 2° C próximo de 160° W (CPTEC, 2002).

Para efeitos de monitoramento, o fenômeno El Niño é dividido em cinco regiões. O Niño 1 situa-se entre 5°S e 10°S de latitude e 80°W e 90°W de longitude, o Niño 2 na mesma longitude, mas na latitude de 0° a 5°S, o Niño 3 entre 5°N e 5°S de latitude e 90°W e 150°W de longitude, o

Niño 3 4 entre 5°N e 5°S e 120°W e 170°W, enquanto o Niño 4 localiza-se entre 5°N e 5°S e 150°W e 160°E (Guerra e Caramori, 2002)

Em 1983, o Comitê científico de Pesquisas Oceânicas (SCOR) definiu, como parâmetro básico para a determinação da intensidade do fenômeno El Niño a temperatura da superfície do mar (TSM) e, com uma nomenclatura apropriada, nominou a intensidade do fenômeno:

W/M – Fraco a moderado (Weak/Moderate);

M – Moderado; (Moderate)

S – Forte (Strong);

S⁺ - Ligeiramente forte (Quite Strong);

VS – Muito Forte (Very Strong) (Silva,2000).

Associa-se a intensidade ao intervalo da anomalia térmica positiva, isto é, acima da média climatológica, observada ao longo do litoral. Assim, nos eventos muito fortes, as observações da TSM, no Litoral, normalmente alcançam valores de 7 a 12° C acima da normal durante vários meses do verão, (hemisfério sul), com alto índice de precipitação, avaliada através dos registros de inundações e destruições generalizadas que poderiam ser identificados com a nomenclatura citada anteriormente. Nos eventos fortes, a TSM (litoral) vai de 3 a 5° C acima da normal durante vários meses do verão (hemisfério sul), com fortes precipitações e inundações, trazendo destruições significativas. Já nos eventos moderados, a TSM no litoral, vão de 2 a 3° C acima da normal, quando, também, ocorrem com as chuvas que provocam inundações, resultando em pequenos danos econômicos e sociais (Silva, 2000).

Admite-se que há cerca de 20 regiões no mundo cujo clima seja afetado pelas fases do ENSO. O Sul da América do Sul (AS) sofre fortes e consistentes anomalias de precipitação associadas com os vários estágios dos eventos El Niño e La Niña (Ropelewski e Halpert, 1987). Sabe-se que a previsibilidade climática é menor nos extratropicos que nos trópicos, devido à maior variabilidade do tempo relacionada a sistemas sinóticos instáveis (Trenberth et al., 1998). Contudo, devido à propagação de ondas de Rossby, a variabilidade de baixa frequência das condições de fronteiras nos trópicos (TSM) causa variabilidade atmosférica de baixa frequência nos extra-trópicos, que modula a variabilidade sinótica produzindo anomalias consistentes durante o ciclo ENOS. (Grimm et al, 2000). Stockenius (1981) observou que a precipitação sobre a Região Nordeste do Brasil tem significativa correlação positiva com o Índice de

Oscilação Sul (IOS). Aceituno (1988) estudou o funcionamento da OS sobre a América do Sul e ao redor do Atlântico Tropical e Oceano Pacífico Leste. Com relação à precipitação sobre o Brasil, ele encontrou durante o verão Austral da fase negativa da OS, condições relativamente secas prevalecendo sobre a região Nordeste do Brasil e sobre parte da Bacia Amazônica. Sinais mais fracos, com tendências de condições relativamente mais úmidas, foram notadas na Bacia do Rio Paraná e no Brasil Central, bacias do Tocantins, Araguaia e Xingú, no período inicial do Verão Austral (Coelho et al, 1999).

Os impactos climáticos, causados pelos eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) em algumas regiões, são observados de forma direta, principalmente no campo da precipitação, variável meteorológica de maior representatividade no clima das regiões tropicais. Anos de seca no Nordeste do Brasil foram associados com os períodos da fase negativa do ENSO (Kousky et al, 1984). Esses eventos têm conseqüências importantes para as condições do tempo, onde existem registros de inundações destrutivas e secas, motivando incêndios ocasionais e devastadores (Sousa, 2002).

Segundo Aragão (1986), existe uma grande probabilidade de ocorrer secas no Nordeste do Brasil em 70% dos casos de ocorrência de episódios de moderado a forte do El Niño, considerando ainda, que a influência deste fenômeno é mais forte ao norte do Nordeste do Brasil (região entre 1 a 12 graus Sul), entre o norte dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba e Norte da Bahia. Estatisticamente, ocorrem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos. Kane (1989) indicou que, para o Nordeste, de 29 eventos El Niño durante 137 anos, no período de 1849-1985, somente 12 foram associados com secas na região. Desde meados da década de 1970, acontecem fenômenos de El Niño mais intensos, e até mais frequentes, como são os eventos de 1982/83, 1986/87 o evento extenso de 1990/94 e o muito intenso de 1997/98 (Themberth, 1999). Essa mudança de escalas decadais é explicada por Trenberth. Uma mudança no regime de pressão e temperatura da superfície do mar alterou o clima regional desde 1975/76, cujos impactos podem ser observados até nos regimes de chuva na Amazônia (Marengo, 2001).

Os dois principais eventos El Niño do último século aconteceram em 1982-1983 e 1997-1998. A duração do evento foi maior em 1982-1983 que em 1997-1998. O primeiro evento terminou em junho de 1983, já o segundo em maio de 1998. O pico ocorreu em janeiro de 1983 para o primeiro evento, e em dezembro de 1997 para o segundo. Depois do pico de máximo houve, para os dois eventos, uma redução da anomalia positiva da TSM que desapareceu

totalmente em outubro de 1983 e em junho de 1998 (Dessay et al., 2002). O ENOS considerado o mais longo nos últimos 50 anos ocorreu em 1990 ao início de 1995, sendo comparável apenas com o episódio de 1911-1915 (Halpert et al., 1996).

O fenômeno La Niña, é o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. De modo geral, pode-se dizer que La Niña é o oposto do El Niño, pois as temperaturas habituais da água do mar à superfície nesta região situam-se em torno de 25° C, ao passo que, durante o episódio La Niña, tais temperaturas diminuem para cerca de 22° a 23° C. As águas mais frias estendem-se por uma estreita faixa, com largura de cerca de 10 graus de latitude ao longo do equador, desde a costa peruana, até aproximadamente 180° de longitude no Pacífico Central. Assim como o El Niño, La Niña também pode variar em intensidade (Marengo e Oliveira, 1998).

Durante os episódios de La Niña, os ventos Alísios ficam mais intensos que a média climatológica. O IOS apresenta valores positivos, os quais indicam a intensificação da pressão no Pacífico Central e Oriental, em relação à pressão no Pacífico Ocidental. Em geral, o episódio começa a se desenvolver em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final daquele ano e dissipa-se em meados do ano seguinte (Marengo e Oliveira, 1998), ou pode durar 12 a 24 meses. Um exemplo dessa variação é o intenso episódio La Niña ocorrido em 1988/89, comparado ao episódio mais fraco de 1995/96.

A tabela 2 mostra os anos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, assim como a sua intensidade, para o período 1974-1998.

Tabela 2 – Anos de Ocorrência do El Niño e La Niña (Galvani e Pereira, 1998).

ANO	FRACO	MOD.	FORTE	FRACO	MOD.	FORTE	AUSÊNCIA
EL NIÑO			LA NIÑA				
1974					X		
1975						X	
1976							X
1977		X					
1978	X						
1979							X
1980	X						
1981							X
1982			X				
1983		X					
1984							X
1985							X
1986	X						
1987			X				
1988				X			
1989				X			
1990	X						
1991		X					
1992		X					
1993		X					
1994		X					
1995						X	
1996					X		
1997			X				
1998			X				

De acordo com Aragão (1986), a precipitação em diversas regiões tropicais tem relação com as temperaturas da superfície do mar (TSMs) nos oceanos tropicais. Os dois oceanos mais importantes para o Nordeste do Brasil (NEB), já citados anteriormente, são o Atlântico (fenômeno Gradiente meridional do Atlântico) e o Pacífico (fenômeno El Niño/Oscilação do Sul (ENOS)). As precipitações abaixo do normal no norte semi-árido do Nordeste do Brasil (NNE) (região entre 2° e 12° S e 36° e 43° W) ocorrem quando o gradiente meridional apresenta TSMs acima do normal no Atlântico tropical norte e TSMs abaixo do normal no Atlântico equatorial e tropical sul. Hastenrath e Greischar (1993) examinaram séries históricas de precipitação em uma rede de estações bem distribuídas sobre o Nordeste brasileiro e não encontraram tendências significativas para condições mais úmidas ou secas na Região. No entanto, outros trabalhos mostram que a precipitação nessa Região é bastante sensível a extremos

de TSM do Pacífico equatorial associados ao ENSO (Ropelewski e Halpert 1987, 1989), assim como as anomalias de temperatura da superfície do Atlântico, associadas ao gradiente meridional de anomalias de TSM do Atlântico (Moura e Shukla 1981; Uvo et al. 1996).

As precipitações acima do normal no NNE ocorrem quando o gradiente meridional apresenta anomalias de TSM opostas ao acima mencionado. A circulação atmosférica é modificada na ocorrência dessas anomalias (Moura e Shukla, 1981). No primeiro caso (secas), a circulação troposférica meridional (Hadley) se modifica com movimentos ascendentes anômalos no Hemisfério Norte e subsidência anômala no Hemisfério Sul. Esse ramo sul da circulação anômala de Hadley inibe a formação de nuvens sobre o Atlântico Sul e sobre o NNE causando secas. Quando o sinal do gradiente meridional é oposto, ou seja, águas mais frias no norte e mais quentes no sul, o movimento vertical ascendente no Hemisfério Sul, sobre o NNE e o Atlântico Sul, se intensifica, causando chuvas em excesso (Aragão, 1998).

Durante janeiro, a estação chuvosa ainda não está definida para o Nordeste e a precipitação que acontece sobre a região é na maioria das vezes devida a frentes frias ou resto delas. Os mapas heterogêneos para a TSM do Oceano Atlântico Tropical e precipitação do Nordeste não mostram uma forte relação para o mês de janeiro. Uma pequena região no Atlântico Central foi de forma significativa correlacionada com a precipitação sobre o centro e partes do sul do Nordeste. Durante fevereiro, quando a estação chuvosa começa no NNE, muitas correlações interessantes começam a aparecer. *A influência da TSM do Oceano Pacífico aparece um pouco mais forte com relação a janeiro.*

Correlações sobre a região do El Niño são geralmente inferiores, exceto para uma pequena região ao longo do Equador. Por outro lado, o Oceano Atlântico mostra a forte relação com a precipitação sobre o Nordeste em fevereiro. A região central do Atlântico, entre 5° N e 10° S, está relacionada positivamente com precipitação sobre o norte do Nordeste. A anomalia quente no centro do Atlântico Tropical está relacionada com o início cedo da estação chuvosa no Nordeste, principalmente a região incluindo o norte e oeste do estado do Ceará, oeste do Piauí e parte do Rio Grande do Norte, onde a presença da ZCIT é uma das causas mais importantes de precipitação.

Março apresenta um quadro completamente diferente. Nenhuma relação significativa foi observada entre a TSM do Atlântico e a precipitação sobre o Nordeste. Isso pode ser explicado por um fato que, durante março, a banda de nuvem da ZCIT do Atlântico está próxima do Equador sem levar em consideração outros fatores. Porém, a TSM do Pacífico equatorial mostra

uma forte relação da precipitação, entre as anomalias da TSM positivas, que estão associadas com a diminuição das chuvas. A precipitação do Nordeste é vista correlacionada certamente com anomalias da TSM na região do El Niño, especialmente o norte de 7° S.

O estabelecimento de um gradiente meridional anômalo da TSM para o Atlântico, em abril e maio, está bem correlacionado com precipitação da região. Anos extremos úmidos ou secos ocorrem quando os modelos de TSM do Atlântico e Pacífico associaram com precipitação acima ou abaixo da normal ou ocorrendo simultaneamente. Em abril, a banda do Pacífico equatorial entre 120° W e dados de linha mostram a alta correlação negativa com a precipitação sobre o Nordeste. Sobre o Atlântico, para esse primeiro tempo, a característica do gradiente meridional é observada, e altamente correlacionada com a precipitação na maioria do Nordeste.

Para maio, a região, com alta correlação sobre o Pacífico, é deslocada para o leste, desde 150° W para a costa da América do Sul, ao longo do Equador. Essa região está, na maioria das vezes, relacionada com a precipitação do norte para 6° S, e também para uma pequena área no interior do Nordeste, parte do estado da Bahia.

As áreas heterogêneas para as médias de TSM de fevereiro-maio e precipitação mostram claramente as diferentes influências dos oceanos Pacífico e Atlântico sobre a estação chuvosa do Nordeste Brasileiro. Para o Pacífico, a alta correlação foi observada na banda equatorial de 170° E para costa da América do Sul, correlacionada negativamente com a precipitação sobre o norte e parte do oeste do Nordeste. Para o Atlântico, o gradiente meridional é evidente. A parte norte do Oceano Atlântico está correlacionada negativamente com a precipitação do Nordeste, enquanto a parte sul mostrou a correlação positiva. Características sobre o Oceano Atlântico mostraram a melhor explicação da variância da precipitação, o mesmo ocorrendo com o Oceano Pacífico.

A influência do Oceano Pacífico sobre a estação chuvosa do Nordeste do Brasil é mais evidente para março (antes afetava apenas o sul do NEB). A TSM do Atlântico mostra a alta relação para a precipitação do Nordeste, explicando uma alta covariância. Anomalias da TSM sobre o Atlântico parece bem relacionado com o início da estação chuvosa e também com sua duração (Uvo et al, 1994).

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para a promoção do bem estar de uma sociedade. A água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas. O crescimento demográfico brasileiro, associado às transformações pelas quais passou o perfil da economia, refletiu de maneira notável sobre o uso dos recursos hídricos na segunda metade do século XX. A migração da população do campo para a cidade e industrialização, além de exercerem significativa demanda dos mananciais de água, também exigiram o crescimento do parque gerador de energia elétrica que, por sua vez, exigiu a necessidade de aproveitamentos hidrelétricos (Galvêncio e Sousa, 2002).

O ciclo hidrológico e, por conseguinte, os sistemas de recursos hídricos, são fortemente influenciados por variáveis meteorológicas tais como: precipitação, evaporação, umidade relativa do ar e radiação solar, entre outros. O aproveitamento pelo homem, dos recursos hídricos no Nordeste Brasileiro se dá principalmente de duas formas.

- Os recursos hídricos localizados, que consistem nas águas oriundas diretamente da precipitação pluvial, retidas nas camadas superficiais dos solos e que são utilizadas para a agricultura de sequeiro ou a formação de pastagens para a pecuária;

- Os recursos hídricos móveis, formados pelas águas escoadas nos leitos do rio durante a estação úmida, após armazenadas em reservatórios superficiais que são usadas para fins de irrigação, abastecimento humano e animal, piscicultura, etc (Campos et al, 1994).

O nível de um rio é um indicador de duas de suas características mais importantes: vazão e tamanho do seu leito, incluindo as áreas alagadas. Existem registros antigos de níveis de rios e estes fornecem também preciosos dados sobre as variações climáticas e fenômenos geofísicos associados no passado. Uma análise matemática adequada pode também, dentro de certas hipóteses e de certos limites, ser usada para uma previsão do futuro próximo (Nordermann, 1995).

A figura 10 representa a variação espacial da média de precipitação anual sobre o estado. Destaca-se a ocorrência de períodos secos prolongados, principalmente na região oeste, que representa o sertão do estado (NMRH, 1994).

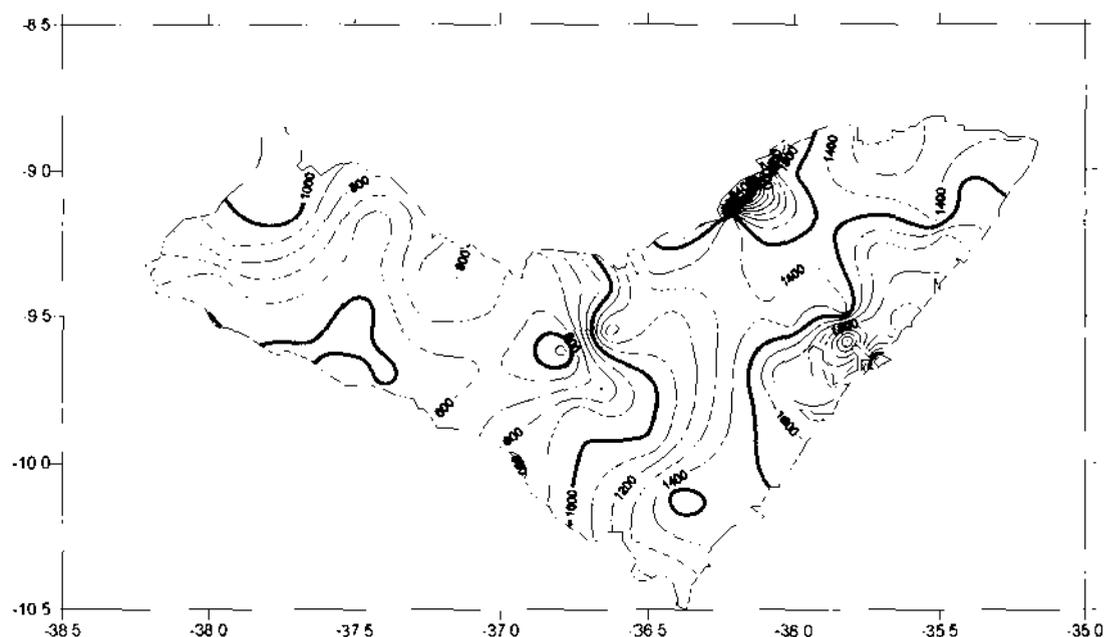


Figura 10 – Isolinhas da precipitação média anual para o estado de Alagoas – Séries Históricas (Fonte: DHM, 2002).

É considerado que as chuvas no extremo ocidental se concentram nos meses de abril a julho, chegando a valores próximos a 100 mm por mês. No restante do ano, prevalecem baixas precipitações (Figura 11). No litoral, as chuvas são, de maneira geral, muito maiores ao longo de todo o ano, mas se destacam os meses de abril a julho como os mais chuvosos. Neste período, as precipitações médias mensais chegam a ficar próximas de 250 mm (Centeno e Kishi, 1994).

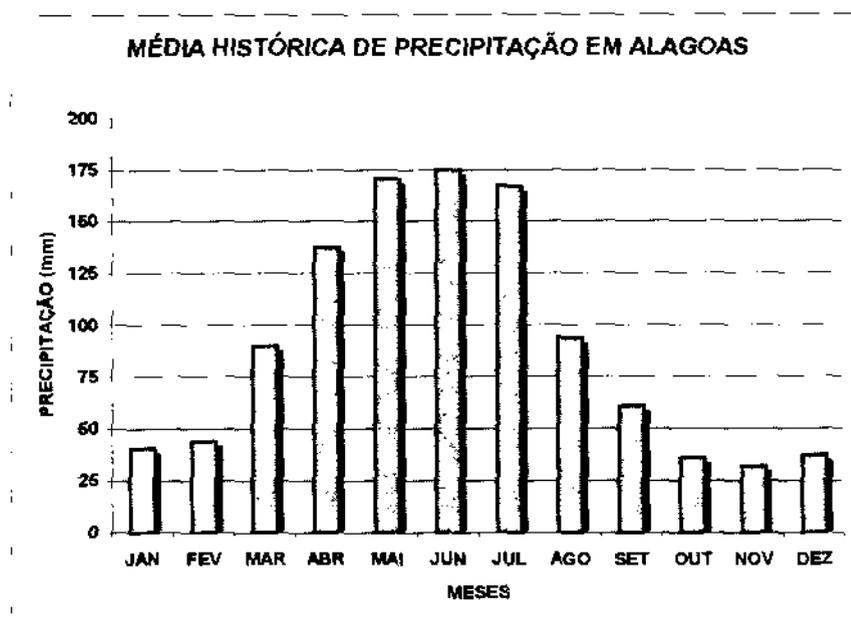


Figura 11 - Precipitação média para o estado de Alagoas (DHM, 2002).

Quando existe a superação das vazões dos rios sobre sua capacidade de descarga da calha do curso d'água, a água extravasa para áreas marginais, acontecendo assim as inundações. As principais causas naturais das inundações são chuvas prolongadas, solos saturados, escoamento superficial e fatores fisiográficos locais. O homem tem poder de atuação à medida que ele muda os uso e cobertura do solo e interfere na infiltração das chuvas. Uma bacia coberta por vegetação natural densa tem boa parte da água precipitada retida nas folhas e troncos e infiltrada no solo. O escoamento superficial é dificultado pela vegetação, que provoca maior infiltração e retardando sua chegada ao curso d'água. Em oposição, numa bacia com solo nu, sem a resistência da vegetação, o escoamento superficial atingirá mais rapidamente e com maior volume o exutório.

As bacias hidrográficas do estado de Alagoas, principalmente as localizadas na Zona-da-mata, sofreram transformações em seus cursos d'água e vazões, a partir de 1930, com a implantação da monocultura da cana-de-açúcar, havendo grandes áreas desmatadas e conseqüentemente, cheias. O Estado enfrenta problemas de inundações especialmente nas margens do rio São Francisco, Mundaú e Paraíba. Este trabalho de pesquisa procurou estabelecer possíveis correlações, simultâneas e com atrasos, entre ENOS e as vazões de três bacias hidrográficas do estado de Alagoas, com o objetivo de gerar algoritmos que possam se tornar parte de um sistema de previsão de vazões

3 – METODOLOGIA

A principal dificuldade encontrada para a realização deste trabalho de pesquisa foi a obtenção de séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos das três bacias em estudo: *bacia do rio Mundaú, bacia do rio Paraíba e bacia do rio Coruripe. Existem muitas falhas de observação e em equipamentos, que causaram dificuldades na escolha dos dados utilizados. Foram levantadas as informações pluviométricas e fluviométricas das bacias disponíveis no antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), hoje Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Existe entre as bacias dos rios Mundaú e Paraíba, uma semelhança, podendo servir para comparações, preenchimento de falhas e outras análises importantes numa região com escassez de dados hidrológicos. Ambas bacias têm áreas na mesma ordem de grandeza, regimes pluviométricos semelhantes, vegetação, atividade agrícola, tipo de solo, etc. A partir dos anos 30, a vegetação da região das duas bacias sofreu intenso desmatamento devido a expansão da cultura da cana-de-açúcar, contribuindo para o aumento de déficit hídrico da região em períodos secos e aumento de vazões em períodos de chuvas intensas. Depois dos anos 70, houve uma diminuição do desmatamento, mantendo-se estável até os dias de hoje.*

Após o levantamento dos dados existentes, foram utilizadas séries mensais de vazão com preenchimento de falhas através de vários métodos, encontrados na literatura. As séries utilizadas foram: para a bacia do rio Mundaú, a maior série encontrada, de 1935 a 1985; para a bacia do rio Paraíba, de 1977 a 1996; e para a bacia do rio Coruripe, de 1963 a 1991.

Foi feita uma consistência dos dados, partindo dos dados reais, e os resultados obtidos não foram satisfatórios. Optou-se, então, pela utilização das séries sem seus preenchimentos para tentar conseguir resultados mais homogêneos. Apesar das séries terem tido seus períodos reduzidos, o resultado encontrado foi muito mais satisfatório. Para a bacia do rio Mundaú, foi utilizada uma série de 25 anos, de 1974 a 1998, do posto Boa Fortuna, sendo a maior série das bacias em estudo.

Tabela 3 - Vazões médias mensais (m³/s) do posto Boa Fortuna – bacia do rio Mundaú.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1974	6.08	16.36	17.18	25.88	29.14	46.11	76.80	29.07	15.87	8.66	12.14	7.00
1975	5.83	4.32	5.90	7.29	89.23	86.49	147.13	58.20	44.85	18.79	11.21	13.59
1976	9.43	15.23	19.05	28.98	17.85	25.92	33.72	17.58	10.66	33.73	8.02	8.60
1977	7.81	8.36	7.31	41.93	90.56	148.96	169.25	53.27	41.40	28.48	15.05	14.56
1978	11.19	18.57	57.47	25.84	76.18	81.92	89.00	58.18	56.66	32.07	19.79	22.12
1979	16.44	14.32	20.56	19.12	67.70	59.42	60.11	34.57	32.60	17.72	13.96	8.86
1980	10.01	22.83	35.01	15.02	12.85	53.09	27.83	17.10	12.18	14.14	8.60	6.00
1981	6.44	6.88	35.66	20.98	12.70	14.84	20.79	16.99	11.66	5.87	4.80	10.43
1982	6.16	11.45	4.45	53.01	103.38	67.31	53.77	56.27	35.81	15.90	10.81	9.97
1983	8.06	14.76	21.72	13.00	13.41	22.14	16.54	24.28	9.08	7.90	4.83	3.68
1984	3.74	3.02	9.71	36.27	65.03	42.70	107.65	60.95	65.21	18.91	11.69	7.55
1985	8.69	23.15	18.19	59.65	21.20	38.26	89.45	101.96	31.97	15.95	11.48	11.00
1986	9.56	12.41	22.63	38.29	46.34	86.72	90.55	52.17	60.10	28.92	24.25	22.70
1987	17.31	16.92	23.87	36.99	15.48	37.16	57.20	29.82	16.38	10.26	6.57	5.46
1988	5.03	5.67	15.74	26.14	21.28	37.58	210.68	60.47	41.73	21.85	14.28	28.86
1989	14.69	11.09	11.50	56.60	100.46	81.01	298.77	79.05	46.02	32.94	26.74	33.57
1990	21.78	19.92	15.83	23.14	24.65	36.05	61.91	54.00	26.59	24.62	13.37	9.93
1991	8.61	7.70	13.52	11.19	44.65	35.59	34.49	108.10	37.74	19.82	14.73	9.34
1992	14.83	50.16	72.80	73.74	21.92	46.36	52.81	43.80	50.54	21.68	15.37	11.75
1993	9.60	8.20	6.51	6.18	10.03	19.61	19.98	20.85	8.37	13.66	34.25	4.89
1994	3.81	3.32	9.10	7.65	33.91	106.14	81.24	48.42	34.91	15.94	10.41	7.38
1995	6.52	9.81	5.31	15.27	27.55	44.80	62.78	24.07	17.16	8.74	8.45	5.50
1996	5.39	4.68	5.72	32.45	28.00	56.63	66.41	90.51	31.85	18.33	15.56	9.03
1997	14.64	17.21	26.72	56.82	87.15	33.24	66.84	60.66	22.68	13.64	9.85	9.21
1998	10.37	7.41	6.46	10.18	13.40	15.84	29.40	30.40	12.50	6.56	3.52	2.72
Média	9.63	13.35	19.52	29.66	42.96	62.96	81.00	49.23	30.98	18.20	13.19	11.35

A figura 12 mostra a vazão média em m³/s para a bacia do rio Mundaú, para todos os meses do ano.

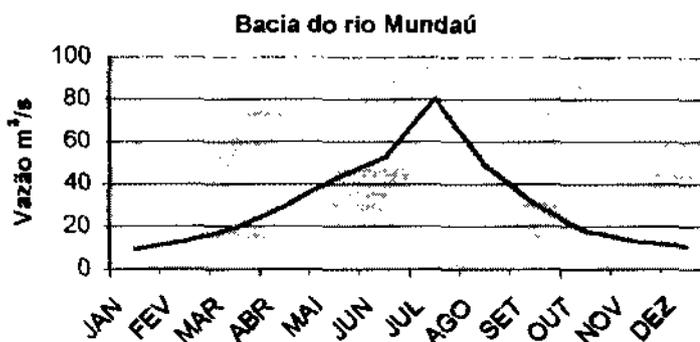


Figura 12 – Vazão média para a bacia do rio Mundaú

Para as bacias dos rios Paraíba e Coruripe, foram utilizadas séries de 21 anos, de 1978 a 1998, com os postos Atalaia e Camaçari, respectivamente.

Tabela 4 - Vazões médias mensais (m^3/s) do posto Atalaia - bacia do rio Paraíba

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1978	7.25	14.45	41.72	9.80	78.40	74.03	85.50	40.52	25.81	17.48	9.16	13.43
1979	10.87	7.41	10.33	13.38	43.82	41.96	39.78	22.52	16.63	8.40	6.47	4.09
1980	7.10	17.10	26.13	9.11	11.80	59.74	16.26	11.80	7.31	12.99	3.99	2.17
1981	3.38	4.39	73.97	19.52	18.64	8.36	14.55	10.96	10.35	2.18	3.54	6.16
1982	4.77	10.22	5.42	26.54	117.15	39.98	32.41	44.59	26.02	7.35	4.05	3.07
1983	2.62	19.65	14.89	15.36	15.89	18.50	15.34	22.45	9.06	12.20	4.49	1.02
1984	0.63	1.68	10.71	10.92	32.59	21.04	24.55	25.60	17.81	10.27	6.47	3.40
1985	2.49	32.32	11.72	11.09	16.78	27.57	49.67	83.35	22.70	9.58	3.57	6.19
1986	7.11	5.62	18.34	26.40	16.73	26.75	141.49	28.85	29.57	19.05	34.92	14.71
1987	4.12	7.64	21.08	16.27	12.03	18.95	43.01	29.69	11.13	5.49	3.54	2.33
1988	2.72	2.31	31.57	14.26	8.04	18.54	falha	falha	39.80	31.48	10.83	8.33
1989	22.27	9.18	3.75	6.95	54.74	101.20	57.54	falha	51.69	22.48	16.02	15.06
1990	14.61	10.11	7.50	6.49	13.52	11.66	18.16	32.15	32.98	19.10	11.59	4.59
1991	5.56	3.20	2.73	17.67	3.94	27.83	19.79	falha	falha	5.82	3.01	1.40
1992	23.73	62.48	31.54	falha	falha	falha	falha	falha	32.82	14.60	9.77	5.45
1993	4.77	3.93	3.28	4.32	7.84	20.74	21.03	18.17	4.18	12.06	19.62	1.89
1994	1.77	1.04	6.08	5.13	27.75	95.20	51.80	33.41	24.88	11.60	5.72	3.99
1995	2.58	3.20	2.05	8.05	19.39	37.28	53.34	16.41	10.30	4.75	4.19	2.31
1996	2.45	2.12	2.38	37.25	26.92	49.08	60.00	72.95	23.92	13.65	10.61	5.98
1997	7.28	9.78	20.97	28.83	49.75	27.55	56.98	44.29	13.08	8.03	6.01	4.34
1998	4.96	2.95	2.60	5.74	6.86	11.62	16.81	20.25	7.36	2.85	1.18	0.94
Média	6.81	10.99	16.61	14.65	29.12	36.88	43.05	32.82	20.87	11.97	8.51	5.28

A figura 13 mostra a vazão média em m^3/s para a bacia do rio Paraíba, para todos os meses do ano.

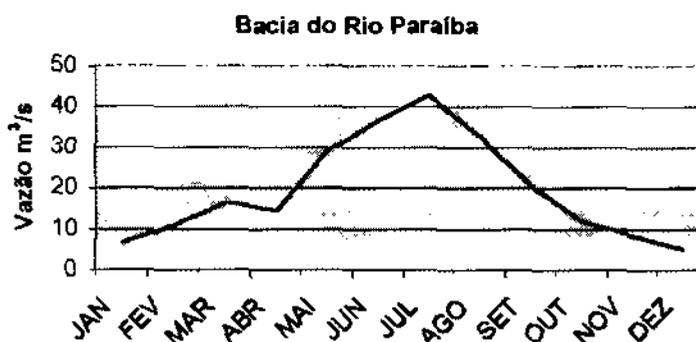


Figura 13 - Vazão Média para a bacia do rio Paraíba

Tabela 5 - Vazões médias mensais (m^3/s) do posto Camaçari - bacia do rio Coruripe

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1978	1.01	1.55	5.57	2.56	29.06	12.60	29.03	15.10	5.50	4.45	2.12	2.34
1979	2.09	2.15	2.46	3.24	16.63	12.88	14.91	7.45	6.07	4.78	4.42	4.22
1980	4.37	10.28	11.89	5.98	4.94	11.42	11.65	6.42	5.50	6.44	4.95	4.54
1981	4.55	4.93	64.21	5.42	1.91	1.85	1.37	1.28	1.18	0.39	0.63	1.08
1982	0.97	1.53	0.98	9.71	46.80	7.33	3.10	3.82	2.94	1.96	1.53	1.44
1983	1.50	1.88	1.87	1.54	3.76	3.45	2.27	3.40	2.47	2.47	2.35	2.49
1984	2.99	1.59	1.79	5.92	5.69	2.84	9.19	2.43	11.04	1.44	0.94	0.44
1985	2.66	5.88	4.95	28.08	12.98	27.33	38.19	31.35	5.95	2.49	1.76	1.67
1986	1.83	2.57	4.22	2.39	3.40	26.76	47.34	6.82	14.79	8.17	3.67	3.01
1987	3.74	3.76	3.99	6.36	3.73	7.51	23.51	8.74	5.22	3.41	2.77	2.26
1988	2.22	2.55	8.68	11.98	10.17	12.27	50.88	11.26	8.16	4.76	4.36	12.63
1989	3.45	3.24	3.95	12.15	58.63	27.77	72.87	10.26	8.20	6.48	4.84	6.04
1990	falha	falha	falha	falha	5.99	6.64	13.46	10.76	6.61	4.47	3.03	2.91
1991	2.81	2.86	3.40	3.00	6.59	7.35	6.18	23.42	7.01	3.16	2.97	falha
1992	13.18	14.56	14.52	4.48	6.33	16.73	11.86	8.77	4.23	3.82	3.57	falha
1993	3.44	2.84	2.72	2.76	3.68	4.99	4.25	4.15	2.83	3.99	3.33	1.64
1994	1.51	1.71	2.32	2.28	4.95	39.55	15.32	12.51	6.93	3.74	2.94	2.58
1995	2.32	2.83	2.80	6.70	14.24	10.11	21.02	6.42	5.56	3.47	3.27	1.90
1996	2.39	2.48	2.82	16.34	7.94	22.53	27.53	35.10	12.67	6.86	5.76	5.31
1997	5.42	4.10	12.47	16.80	25.72	12.52	17.29	15.15	6.11	4.00	2.25	2.03
1998	2.34	2.35	2.55	4.04	5.49	7.58	6.80	6.71	4.37	2.29	1.75	1.86
Média	3.24	3.78	7.90	7.58	13.26	13.42	20.38	11.01	6.34	3.95	3.01	3.17

A figura 14 mostra a vazão média em m^3/s para a bacia do rio Coruripe, para todos os meses do ano.

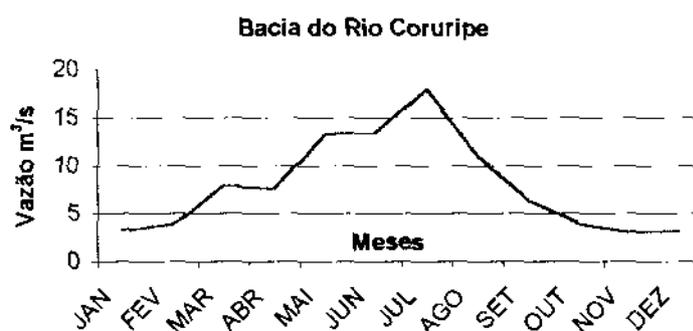


Figura 14 - Vazão Média para a bacia do rio Coruripe

Como o objetivo principal do trabalho foi estudar a influência do fenômeno ENOS nas vazões dos rios Coruripe, Mundaú e Paraíba, visando elaborar algoritmos que farão parte de um sistema de previsão de vazões, foram selecionadas séries históricas de índices de escala global: O primeiro utilizado foi ENOS. Após o agrupamento dos dados por mês e ano, foram feitas correlações, simultâneas e atrasadas.

A tabela 06 e a figura 15 mostram os dados extraídos do CDC/NOAA de IOS que foram utilizados neste trabalho de pesquisa.

Tabela 6 - Dados mensais de IOS (Fonte. www.cdc.noaa.gov)

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1974	2.7	2	2.2	0.8	0.9	0.1	1.2	0.5	1.3	0.8	-0.3	0
1975	-0.8	0.6	1.2	1.1	0.5	1.1	2.1	1.9	2.4	1.7	1.3	2.3
1976	1.5	1.6	1.3	0.1	0.2	-0.1	-1.2	-1.3	-1.4	0.2	0.7	-0.6
1977	-0.7	1.1	-1.3	-0.8	-0.9	-1.5	-1.5	-1.3	-1	-1.4	-1.6	-1.4
1978	-0.4	-3.5	-0.8	-0.6	1.3	0.3	0.4	0	0	-0.7	-0.1	-0.3
1979	-0.7	0.8	-0.5	-0.4	0.3	0.4	1.3	-0.6	0.1	-0.4	-0.6	-1
1980	0.3	0	-1.2	-1	-0.3	-0.4	-0.2	0	-0.6	-0.3	-0.5	-0.3
1981	0.2	-0.6	-2.1	-0.4	0.7	1	0.8	0.4	0.4	-0.7	0.1	0.5
1982	1.3	-0.1	0.1	-0.2	-0.7	-1.6	-1.9	-2.5	-2	-2.2	-3.2	-2.8
1983	-4.2	-4.6	-3.4	-1.3	0.5	-0.3	-0.8	-0.2	1	0.3	-0.2	-0.1
1984	0.1	0.6	-0.9	0.2	0	-0.8	0	0	0.1	-0.6	0.2	-0.4
1985	-0.5	1	0.2	1	0.2	-0.9	-0.3	0.7	0	-0.7	-0.3	0.1
1986	0.9	-1.6	0	0.1	-0.5	0.7	0.1	-1	-0.6	0.5	-1.5	-1.8
1987	-0.9	-1.9	-2	-1.9	-1.7	-1.7	-1.7	-1.5	-1.2	-0.7	-0.1	-0.7
1988	-0.2	-0.9	0.1	-0.1	0.8	-0.2	1.1	1.4	2.1	1.4	1.9	1.3
1989	1.7	1.1	0.6	1.6	1.2	0.5	0.8	-0.8	0.6	0.6	-0.4	-0.7
1990	-0.2	-2.4	-1.2	0	1.1	0	0.5	-0.6	-0.8	0.1	-0.7	-0.5
1991	0.6	-0.1	-1.4	-1	-1.5	-0.5	-0.2	-0.9	-1.8	-1.5	-0.8	-2.3
1992	-3.4	-1.4	-3	-1.4	0	-1.2	-0.8	0	0	-1.9	-0.9	-0.9
1993	-1.2	-1.3	-1.1	-1.6	-0.6	-1.4	-1.1	-1.5	-0.8	-1.5	-0.2	0
1994	-0.3	-0.1	-1.4	-1.8	-1	-0.9	-1.8	-1.8	-1.8	-1.6	-0.7	-1.6
1995	-0.6	-0.5	0.2	-1.1	-0.7	-0.2	0.3	-0.1	0.3	-0.3	0	-0.8
1996	1	-0.1	0.7	0.6	0.1	1	0.6	0.4	0.6	0.4	-0.2	0.8
1997	0.5	1.6	-1.1	-0.9	-1.8	-2	-1	-2.1	-1.6	-1.9	-1.4	-1.3
1998	-3.3	-2.7	-3.5	-1.9	0.1	0.7	1.3	1	1.2	1	1.1	1.4

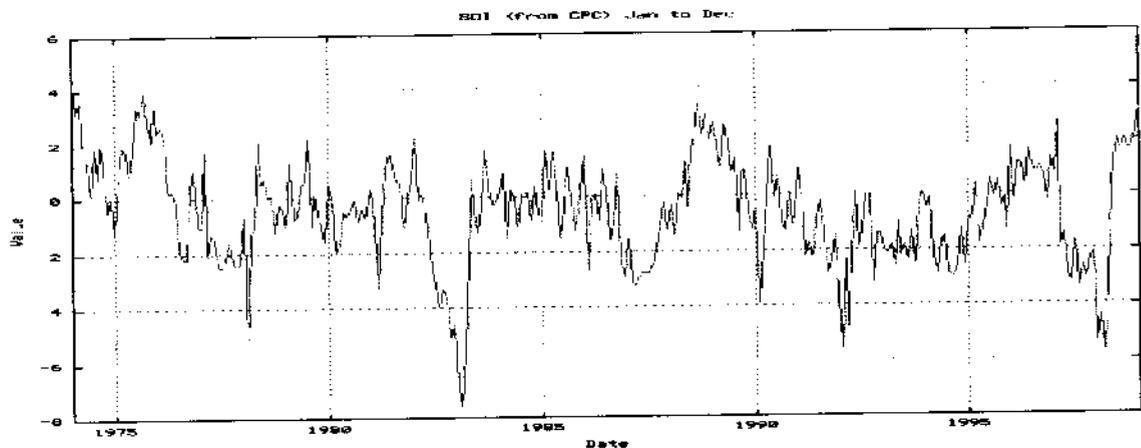


Figura 15 – Dados de IOS para o período 1974-1998

Para se processarem as correlações entre as séries temporais dos índices globais e as vazões, foi utilizado um Índice de Descarga de Rio (IDR) definido por:

$$IDR_{i,j} = \frac{D_{i,j} - \bar{D}_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

onde $D_{i,j}$ é a vazão de um mês (i) de um ano (j) em particular; \bar{D}_i é a média da vazão mensal para o período da série e σ_i seu desvio-padrão.

Foi utilizado um coeficiente de correlação para determinar a relação entre as duas propriedades, onde a Matriz 1 é um intervalo de células de valores (IOS) e a Matriz 2 é um segundo intervalo de células de valores (IDR).

A equação para o coeficiente de correlação utilizada é:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

onde:

$X = \text{Matriz 1}$

$Y = \text{Matriz 2}$

$$-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$$

e:

$$\text{Cov}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (3)$$

Foram feitas correlações utilizando as séries de IDR e Índices de Oscilação Sul (IOS), tanto simultâneas, para verificar possíveis influências da circulação de grande escala nas vazões correspondentes ao mês em questão, como correlações atrasadas (“lag”), para determinar possíveis algoritmos que permitam utilizar o IOS como previsor de variabilidade de vazão para esses rios. Foram feitas correlações simultâneas (IOS, x IDR_i) e correlações atrasadas (IOS, x IDR_{i+n}, onde n é o número de meses adiantados) para todos os meses do ano. Com o objetivo de eliminar sinais de frequências altas e reduzir a dispersão dos dados, particularmente a alta variabilidade do IOS, foi utilizado um filtro nas séries temporais e depois feitas novas correlações.

O filtro utilizado foi expresso por:

$$Z_i = 0.5Z_i + 0.25(Z_{i+1} + Z_{i-1}) \quad (4)$$

onde Z_i é a variável a ser filtrada.

Foram feitas, também, correlações utilizando dados de vazão e um novo índice, IME (Multivariate ENSO Index) (Tabela 7 e figura 16), proposto recentemente pelo Climatic Diagnostic Center (CDC/NCEP/NOAA). Esse índice é bimestral e é composto por seis variáveis: pressão, vento zonal (u), vento meridional (v), temperatura da superfície do mar, temperatura do ar na superfície e cobertura de núvens. Como esse índice é bimestral, foi feita uma média bimestral também dos dados de vazão para se obterem as correlações, tanto as simultâneas (IME_i x IDR_i) como atrasadas (IME_i x IDR_{i+n}) para todos os meses (i) do ano. O filtro utilizado para os valores de IME foi o mesmo.

Tabela 7 - Dados bimestrais de IME (Fonte: www.cdc.noaa.gov)

ANO	DEZJAN	JANFEV	FEVMAR	MARABR	ABRMAI	MALJUN	JUNJUL	JULAGO	AGOSET	SETOUT	OUTNOV	NOVDEZ
1974	-1.915	-1.792	-1.685	-1.579	-1.001	-0.654	-0.781	-0.7	-0.617	-1	-1.212	-0.883
1975	-0.506	-0.545	-0.856	-0.905	-0.865	-1.186	-1.499	-1.675	-1.813	-1.929	-1.75	-1.782
1976	-1.601	-1.354	-1.235	-1.167	-0.476	0.273	0.623	0.727	1.027	0.916	0.434	0.561
1977	0.496	0.28	0.192	0.561	0.382	0.494	0.848	0.69	0.777	0.987	0.99	0.899
1978	0.767	0.871	0.937	0.179	-0.359	-0.535	-0.368	-0.221	-0.355	-0.005	0.231	0.421
1979	0.634	0.403	0.043	0.319	0.435	0.479	0.359	0.631	0.806	0.698	0.754	1.042
1980	0.645	0.508	0.664	0.858	0.891	0.877	0.787	0.371	0.27	0.197	0.247	0.09
1981	-0.327	-0.237	0.411	0.628	0.057	-0.029	-0.046	-0.158	0.123	0.119	-0.009	-0.147
1982	-0.291	-0.212	0.062	-0.101	0.433	0.99	1.595	1.741	1.789	2.03	2.456	2.443
1983	2.736	2.981	3.171	3.055	2.602	2.235	1.793	1.24	0.529	0.085	-0.123	-0.181
1984	-0.358	-0.505	0.206	0.46	0.095	-0.13	-0.207	-0.233	-0.096	0.018	-0.308	-0.575
1985	-0.553	-0.596	-0.708	-0.47	-0.766	-0.135	-0.21	-0.429	-0.55	-0.129	-0.051	-0.278
1986	-0.312	-0.254	0.029	-0.112	0.291	0.305	0.381	0.702	1.089	1.01	0.85	1.191
1987	1.25	1.189	1.686	1.862	2.124	1.938	1.82	2.022	1.893	1.646	1.238	1.281
1988	1.122	0.693	0.5	0.332	0.06	-0.652	-1.224	-1.315	-1.527	-1.369	-1.485	-1.334
1989	-1.094	-1.186	-0.965	-0.696	-0.52	-0.319	-0.494	-0.567	-0.279	-0.355	-0.073	0.155
1990	0.218	0.564	0.869	0.4	0.531	0.432	0.078	0.082	0.405	0.312	0.359	0.347
1991	0.303	0.261	0.342	0.311	0.677	1.029	1.013	1.025	0.733	0.998	1.16	1.252
1992	1.72	1.842	2.004	2.245	2.092	1.788	1.014	0.585	0.469	0.588	0.521	0.626
1993	0.65	0.921	0.958	1.348	1.964	1.563	1.111	1.049	1.005	1.043	0.836	0.576
1994	0.377	0.192	0.128	0.422	0.601	0.612	0.796	0.586	0.653	1.327	1.226	1.173
1995	1.155	0.847	0.768	0.305	0.428	0.475	0.271	0.048	-0.355	-0.431	-0.482	-0.499
1996	-0.617	-0.636	-0.27	-0.5	-0.302	-0.018	-0.179	-0.265	-0.317	-0.382	-0.122	-0.358
1997	-0.441	-0.509	-0.174	0.434	1.068	2.304	2.623	2.863	2.84	2.205	2.333	2.209
1998	2.415	2.708	2.745	2.644	1.997	1.143	0.341	-0.176	-0.563	-0.811	-1.082	-0.954

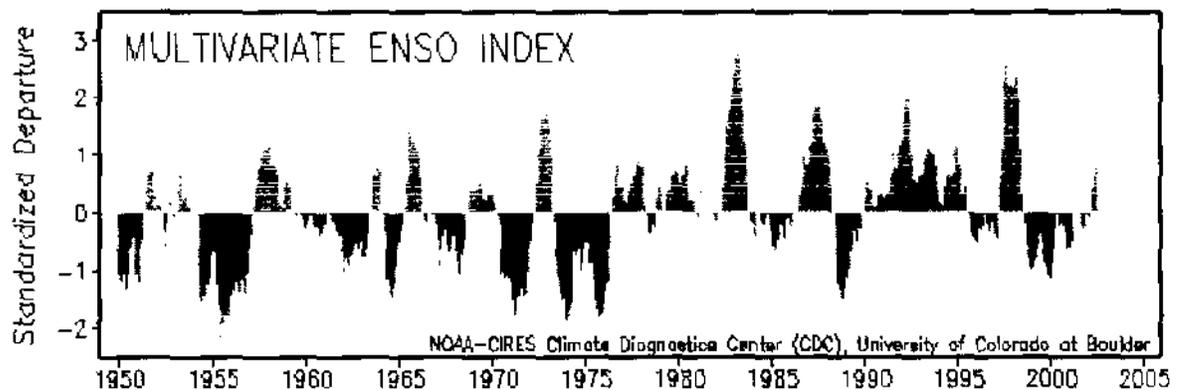


Figura 16 - Dados de IME de 1950 a 2002 (Fonte: www.cdc.noaa.gov)

Foram testados regressões lineares, quadráticas, exponenciais e multivariadas, mas os resultados não sofreram variações, escolhendo-se a utilização da regressão linear entre os Índices de escala global e IDR, resultando na equação $Y = ax + b$, onde o x é o índice de escala global. Foram calculados também, os erros quadráticos médios (diferença entre os IDR observados e previstos, divididos pelo número de anos utilizados), mostrando a eficiência do algoritmo para o prognóstico.

4 – RESULTADOS

Com as correlações feitas com IOS x IDR, para a bacia do rio Mundaú, o melhor resultado obtido com as correlações foi 0,56, com a correlação dos resultados de IOS dos meses de abril e as vazões dos meses de julho, sugerindo uma predictabilidade de 03 meses de antecedência

A tabela 8 indica os resultados de correlação para a bacia do rio Mundaú, onde foram feitas correlações simultâneas e atrasadas para todos os meses do ano. Foram encontradas algumas correlações negativas, havendo uma variação grande nos resultados obtidos.

Tabela 8 - Coeficientes de correlação para a bacia do rio Mundaú (IOS-IDR)

Mês	C.C										
Jan-jan	-0,16	fev-fev	-0,13	mar-mar	-0,35	abr-abr	0,29	mai-mai	-0,04	jun-jun	-0,03
Jan-fev	-0,29	fev-mar	-0,29	mar-abr	0,07	abr-mai	0,38	mai-jun	-0,08	jun-jul	0,13
Jan-mar	-0,26	fev-abr	0,27	mar-mai	0,30	abr-jun	0,17	mai-jul	0,30	jun-ago	-0,00
Jan-abr	0,14	fev-mai	0,36	mar-jun	0,23	abr-jul	0,56	mai-ago	-0,04	jun-set	0,07
Jan-mai	0,32	fev-jun	0,23	mar-jul	0,39	abr-ago	0,45	mai-set	0,13	jun-out	0,10
Jan-jun	0,19	fev-jul	0,31	mar-ago	0,23	abr-set	0,36	mai-out	0,25	jun-nov	-0,01
Jan-jul	0,28	fev-ago	0,22	mar-set	0,16	abr-out	0,41	mai-nov	0,10	jun-dez	0,26
Jan-ago	0,25	fev-set	0,06	mar-out	0,33	abr-nov	0,23	mai-dez	0,40	*	*
Jan-set	0,13	fev-out	0,14	mar-nov	0,26	abr-dez	0,52	*	*	*	*
Jan-out	0,31	fev-nov	0,03	mar-dez	0,33	*	*	*	*	*	*
Jan-nov	0,22	fev-dez	0,07	*	*	*	*	*	*	*	*
Jan-dez	0,31	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mês	C.C										
Jul-jul	0,27	ago-ago	0,06	set-set	0,05	out-out	0,06	nov-nov	-0,17	dez-dez	0,02
Jul-ago	0,08	ago-set	0,08	set-out	-0,17	out-nov	-0,08	nov-dez	0,07	*	*
Jul-set	0,13	ago-out	-0,16	set-nov	-0,07	out-dez	0,28	*	*	*	*
Jul-out	-0,04	ago-nov	-0,20	set-dez	0,25	*	*	*	*	*	*
Jul-nov	0,01	ago-dez	0,13	*	*	*	*	*	*	*	*
Jul-dez	0,28	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A figura 17 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) encontrado para a bacia do rio Mundaú e a linha de tendência

Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C
Jul-Jul	0,04	ago-ago	0,05	set-set	0,15	out-out	0,46	Nov-nov	-0,15	dez-dez	-0,01
Jul-ago	-0,12	ago-set	0,05	set-out	0,36	out-nov	0,24	Nov-dez	-0,02	*	*
Jul-set	0,20	ago-out	0,22	set-nov	0,02	out-dez	0,31	*	*	*	*
Jul-out	0,24	ago-nov	-0,15	set-dez	0,22	*	*	*	*	*	*
Jul-nov	0,09	ago-dez	0,10	*	*	*	*	*	*	*	*
Jul-dez	0,33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A figura 18 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) encontrado para a bacia do rio Paraíba e a linha de tendência.

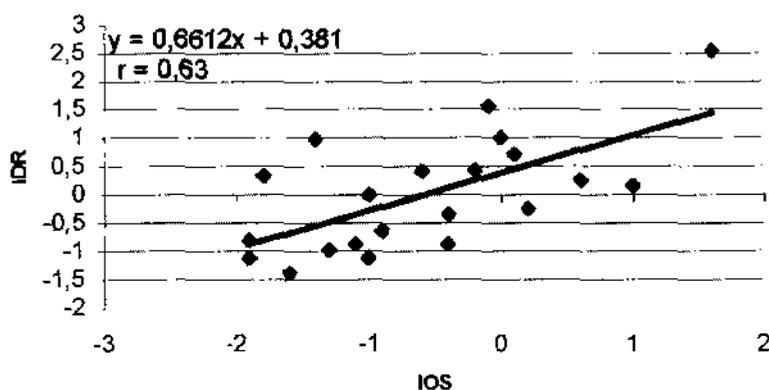


Figura 18 – Correlação IOS abr x IDR set – 0,63 – bacia do rio Paraíba

O melhor resultado apresentado para a bacia do rio Coruripe foi de 0,63, para a correlação dos IOS do mês de abril e as vazões do mês de julho, uma predictabilidade potencial de 03 meses de antecedência.

A tabela 10 mostra os melhores valores de correlação para a bacia do rio Coruripe. Nota-se que esta bacia, foi a que apresentou os melhores resultados das três em estudo.

Tabela 10 – Coeficientes de correlação para a bacia do rio Coruripe (IOS/IDR)

Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C
jan-jan	0,31	fev-fev	0,09	mar-mar	-0,23	abr-abr	0,60	mai-mai	0,19	jun-jun	0,10
jan-fev	-0,26	fev-mar	0,05	mar-abr	0,50	abr-mai	0,49	mai-jun	-0,01	jun-jul	0,27
jan-mar	0,06	fev-abr	0,54	mar-mai	0,48	abr-jun	0,30	mai-jul	0,31	jun-ago	0,08
jan-abr	0,33	fev-mai	0,33	mar-jun	0,40	abr-jul	0,63	mai-ago	-0,05	jun-set	0,31
jan-mai	0,45	fev-jun	0,33	mar-jul	0,61	abr-ago	0,36	mai-set	-0,01	jun-out	0,30
jan-jun	0,27	fev-jul	0,22	mar-ago	0,39	abr-set	0,49	mai-out	0,08	jun-nov	0,25
jan-jul	0,41	fev-ago	0,27	mar-set	0,54	abr-out	0,29	mai-nov	0,08	jun-dez	0,25
jan-ago	0,26	fev-set	0,25	mar-out	0,46	abr-nov	0,19	mai-dez	0,33	*	*
jan-set	0,47	fev-out	0,08	mar-nov	0,40	abr-dez	0,28	*	*	*	*
jan-out	0,35	fev-nov	0,16	mar-dez	0,36	*	*	*	*	*	*
jan-nov	0,20	fev-dez	0,08	*	*	*	*	*	*	*	*
jan-dez	0,18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C	Mês	C.C
Jul-jul	0,35	ago-ago	0,18	set-set	0,07	out-out	0,36	nov-nov	0,08	dez-dez	0,36
Jul-ago	0,10	ago-set	0,08	set-out	0,04	out-nov	0,35	nov-dez	0,44	*	*
Jul-set	0,27	ago-out	-0,04	set-nov	0,18	out-dez	0,60	*	*	*	*
Jul-out	0,19	ago-nov	0,08	set-dez	0,52	*	*	*	*	*	*
Jul-nov	0,20	ago-dez	0,38	*	*	*	*	*	*	*	*
Jul-dez	0,40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A figura 19 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) encontrado para a bacia do rio Coruripe e a linha de tendência.

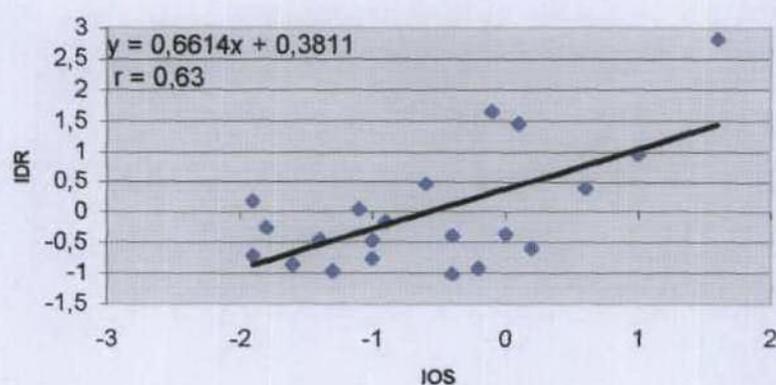


Figura 19 - Correlação IOS abr x IDR jul – 0,63 – bacia do rio Coruripe

Como em geral não foram encontrados coeficientes superiores a 0,7 com os dados brutos de IOS x IDR, possivelmente devido aos valores utilizados de IOS e IDR possuírem uma variabilidade mensal muito grande, foi utilizado um filtro simples para ambas as séries.

Os resultados encontrados com a utilização do filtro apresentaram uma pequena melhora. Para a bacia do rio Coruripe, a correlação do IOS de março com a vazão de julho apresentou um coeficiente de 0,75 (figura 20).

A bacia do rio Coruripe foi a que apresentou um maior número de correlações acima de 0,5. Os melhores valores encontrados foram as correlações feitas com os IOS do mês de março.

Uma das grandes preocupações, para efeito de planejamento, é prever no final do ano anterior/início do ano vigente, a qualidade do inverno e respectivas vazões. Nesse aspecto, a aplicação do filtro melhorou consideravelmente, principalmente os resultados para o rio Coruripe, aparecendo janeiro como um bom previsor, para abril e julho, por exemplo.

A tabela 11 mostra os coeficientes de correlação com filtro para a bacia do rio Coruripe, onde foram encontrados vários resultados acima de 0,5.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação para a bacia do rio Coruripe (IOS/IDR)

Mês	C.C.	C.C.									
	s/ filtro	c/ filtro									
Jan-jan	0,31	-0,36	fev-fev	0,09	0,15	mar-mar	-0,23	-0,23	Abr-abr	0,60	0,69
Jan-fev	-0,26	-0,00	fev-mar	0,05	0,19	Mar-abr	0,50	0,60	Abr-mai	0,49	0,53
Jan-mar	0,06	0,30	fev-abr	0,55	0,58	Mar-mai	0,48	0,36	abr-jun	0,30	0,08
Jan-abr	0,33	0,50	fev-mai	0,33	0,01	Mar-jun	0,40	0,68	abr-jul	0,63	0,60
Jan-mai	0,45	0,43	fev-jun	0,33	0,20	Mar-jul	0,61	0,75	abr-ago	0,36	0,26
Jan-jun	0,28	0,29	fev-jul	0,22	0,19	mar-ago	0,39	0,49	abr-set	0,49	0,50
Jan-jul	0,41	0,57	fev-ago	0,28	0,49	Mar-set	0,54	0,69	abr-out	0,29	0,18
Jan-ago	0,26	0,29	fev-set	0,26	0,31	mar-out	0,47	0,49	abr-nov	0,19	-0,01
Jan-set	0,47	0,39	fev-out	0,08	0,31	mar-nov	0,40	0,48	abr-dez	0,29	0,30
Jan-out	0,35	0,49	fev-nov	0,16	0,32	mar-dez	0,36	0,46	*	*	
Jan-nov	0,20	0,29	fev-dez	0,08	0,10	*	*		*	*	
Jan-dez	0,19	0,47	*	*		*	*		*	*	
Mês	C.C.	C.C.									
	s/ filtro	c/ filtro									
mai-mai	0,19	0,21	jun-jun	0,10	0,01	jul-jul	0,35	0,48	ago-ago	0,18	0,22
mai-jun	-0,01	-0,26	jun-jul	0,27	0,30	jul-ago	0,10	0,33	ago-set	0,08	0,36
mai-jul	0,31	0,28	jun-ago	0,08	0,14	jul-set	0,27	0,34	ago-out	-0,04	0,14
mai-ago	-0,05	-0,29	jun-set	0,31	0,18	jul-out	0,19	0,45	ago-nov	0,08	0,03
mai-set	-0,01	-0,11	jun-out	0,29	0,41	jul-nov	0,20	0,40	ago-dez	0,38	0,32
mai-out	0,08	0,02	jun-nov	0,25	0,36	jul-dez	0,40	0,50	*	*	*
mai-nov	0,08	0,04	jun-dez	0,25	0,31						
mai-dez	0,33	0,36	*	*							

Mês	C.C.	C.C.									
	s/ filtro	c/ filtro									
set-set	0,07	0,30	out-out	0,36	0,45	nov-nov	0,08	0,39	dez-dez	0,36	0,35
set-out	0,04	0,05	out-nov	0,35	0,28	nov-dez	0,44	0,61	*	*	*
set-nov	0,18	0,16	out-dez	0,60	0,64	*	*	*	*	*	*
set-dez	0,52	0,43	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A figura 20 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) com filtro encontrado para a bacia do rio Coruripe e a linha de tendência.

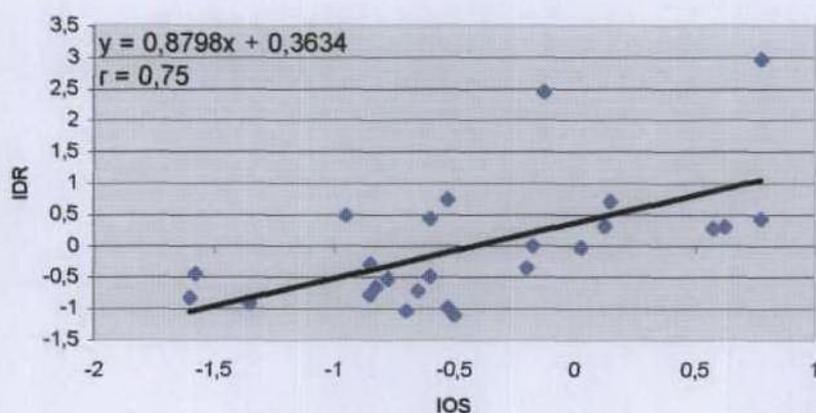


Figura 20 – Correlação com filtro IOS mar x IDR jul – 0,75 – bacia do rio Coruripe

Os melhores valores de coeficiente de correlação encontrados para a bacia do rio Paraíba, foram com os IOS de abril. Apesar de utilizar o filtro, os resultados encontrados não melhoram significativamente. O melhor valor encontrado foi de 0,63, utilizando os IOS de abril e as vazões de setembro, com um prognóstico de 05 meses de antecedência.

A tabela 12 mostra os melhores coeficientes de correlação encontrados para a bacia do rio Paraíba, onde apresentam coeficientes de correlação superiores a 0,5 também para os meses de outubro, diferentemente para os coeficientes de correlação sem filtro para a mesma bacia.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação para a bacia do rio Paraíba (IOS/IDR)

Mês	C.C.	C.C									
	s/filtro	c/filtro									
jan-jan	-0,04	0,07	fev-fev	-0,11	-0,241	mar-mar	-0,25	-0,17	abr-abr	0,24	0,12
Jan-fev	-0,46	-0,55	fev-mar	-0,16	0,03	mar-abr	0,27	0,11	abr-mai	0,27	0,12
Jan-mar	-0,03	0,19	fev-abr	0,19	0,12	mar-mai	0,35	-0,03	abr-jun	0,21	-0,08
Jan-abr	0,38	0,38	fev-mai	0,17	-0,19	mar-jun	0,39	0,44	abr-jul	0,30	0,20
Jan-mai	0,38	0,03	fev-jun	0,27	0,28	mar-jul	0,51	0,62	abr-ago	0,61	0,48
Jan-jun	0,39	0,25	fev-jul	0,02	0,12	mar-ago	0,53	0,49	abr-set	0,63	0,56
Jan-jul	0,37	0,3	fev-ago	0,29	0,30	mar-set	0,46	0,43	abr-out	0,43	-0,08
Jan-ago	0,31	0,19	fev-set	0,17	-0,06	mar-out	0,37	0,45	abr-nov	0,30	0,18
Jan-set	0,38	0,40	fev-out	-0,10	-0,09	mar-nov	0,35	0,37	abr-dez	0,62	0,63
Jan-out	0,18	0,31	fev-nov	-0,08	-0,09	mar-dez	0,48	0,66	*	*	*
Jan-nov	0,25	0,43	fev-dez	0,04	0,09	*	*	*	*	*	*
Jan-dez	0,43	0,60	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mês	C.C.	C.C									
	s/filtro	c/filtro									
mai-mai	0,09	0,42	jun-jun	0,09	0,34	jul-jul	0,04	0,00	ago-ago	0,05	0,20
mai-jun	0,12	0,29	jun-jul	0,20	0,09	jul-ago	-0,12	0,04	ago-set	0,05	0,14
mai-jul	-0,03	-0,25	jun-ago	-0,11	-0,05	jul-set	0,20	0,33	ago-out	0,22	0,20
mai-ago	0,01	-0,19	jun-set	0,18	0,17	jul-out	0,24	0,32	ago-nov	-0,15	-0,14
mai-set	0,46	0,5	jun-out	0,17	0,12	jul-nov	0,09	0,09	ago-dez	0,10	0,30
mai-out	0,51	0,50	jun-nov	0,23	-0,17	jul-dez	0,33	0,46	*	*	*
mai-nov	0,13	-0,08	jun-dez	0,42	0,41	*	*	*	*	*	*
mai-dez	0,48	0,48	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mês	C.C.	C.C									
	s/filtro	c/filtro									
set-set	0,15	0,25	out-out	0,45	0,54	nov-nov	-0,15	0,11	dez-dez	-0,01	0,21
set-out	0,36	0,45	out-nov	0,23	0,20	nov-dez	-0,02	0,26	*	*	*
set-nov	0,02	-0,07	out-dez	0,31	0,59	*	*	*	*	*	*
set-dez	0,22	0,39	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A figura 21 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) com filtro encontrado para a bacia do rio Paraíba e a linha de tendência.

Mês	C.C.	C.C									
	s/ filtro	c/ filtro									
mai-mai	-0,04	0,06	jun-jun	-0,03	0,19	jul-jul	0,27	0,38	ago-ago	0,06	0,05
mai-jun	-0,08	0,22	jun-jul	0,13	0,27	jul-ago	0,08	0,03	ago-set	0,08	0,08
mai-jul	0,30	0,53	jun-ago	-0,00	-0,07	jul-set	0,13	-0,09	ago-out	-0,16	-0,04
mai-ago	-0,04	0,02	jun-set	0,07	-0,14	jul-out	-0,04	-0,01	ago-nov	-0,20	-0,25
mai-set	0,12	0,26	jun-out	0,10	0,09	jul-nov	0,01	-0,21	ago-dez	0,13	*
mai-out	0,25	0,39	jun-nov	-0,01	-0,28	jul-dez	0,28	0,29	*	*	*
mai-nov	0,10	0,03	jun-dez	0,26	0,21	*	*	*	*	*	*
mai-dez	0,40	0,50	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mês	C.C.	C.C									
	s/ filtro	c/ filtro									
set-set	0,05	-0,00	out-out	0,05	0,19	nov-nov	-0,17	-0,01	dez-dez	0,02	0,02
set-out	-0,17	-0,07	out-nov	-0,08	-0,20	nov-dez	0,07	0,24	*	*	*
set-nov	-0,07	-0,21	out-dez	0,28	0,44	*	*	*	*	*	*
set-dez	0,25	0,25	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A figura 22 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) com filtro encontrado para a bacia do rio Paraíba e a linha de tendência.

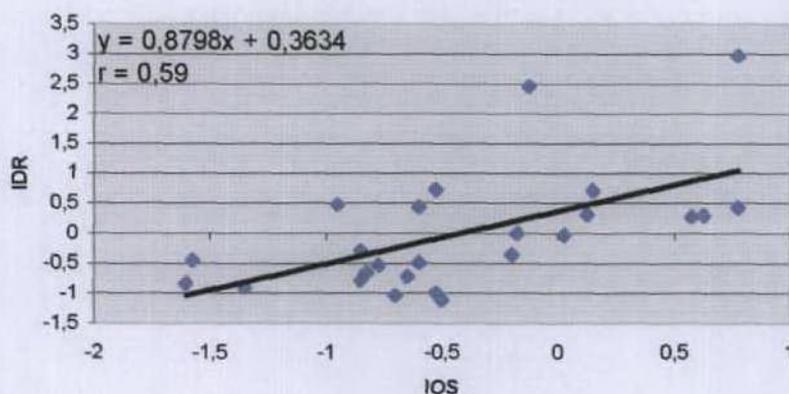


Figura 22 – Correlação com filtro IOS abr x IDR jul – 0,59 – bacia do rio Mundaú

Os resultados encontrados para as correlações dos Índices de Oscilação Sul (IOS) x IDR foram, em geral, inferiores a 0,7. Após a utilização do filtro, os resultados encontrados melhoraram, mas explicaram entre 25% e 55% da variância das vazões. Foi utilizado um novo índice, MEI (Multivariate ENSO Index), proposto recentemente pelo CDC.NOAA (Climatic Diagnostic Center). Esse índice é bimestral e é composto por seis (06) variáveis: pressão, vento

zonal (u), vento meridional (v), temperatura da superfície do mar, temperatura do ar na superfície e cobertura de núvens. Como esse índice é bimestral, foi feita uma média bimestral também dos dados de vazão para se obterem as correlações. Foi utilizado o mesmo filtro das correlações IOS x IDR pois o MEI também possui uma variação muito grande.

Os dados obtidos com as correlações IME - IDR foram melhores, pois apresentaram maior número de correlações acima de 0,5, porém inferiores a 0,8. Para a bacia do rio Coruripe, o melhor valor encontrado foi de $-0,7$. O sinal negativo significa dizer que a variação das séries é oposta, ou seja, quando o valor de IME aumenta, a vazão diminui e vice-versa. Isso porque o IME é, na realidade, um índice de El Niño, ou seja, a fase quente implica em secas no NEB. Os melhores resultados encontrados foram com a utilização dos índices de escala global dos meses de março e abril, devido à mudança de TSM nesses meses.

A tabela 14 indica os coeficientes de correlação para a bacia do rio Coruripe, onde foram encontrados vários coeficientes de correlação superiores a $-0,5$.

Tabela 14 – Coeficiente de correlação para a bacia do rio Coruripe (IME/IDR)

Bimestre	C.C	Bimestre	C.C	Bimestre	C.C	Bimestre	C.C
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
dez-jan/dez-jan	0,08	dez-jan/jan-fev	0,17	jan-fev/fev-mar	-0,13	fev-mar/mar-abr	-0,34
jan-fev/jan-fev	0,24	dez-jan/fev-mar	-0,18	jan-fev/mar-abr	-0,51	fev-mar/abr-mai	-0,52
fev-mar/fev-mar	-0,02	dez-jan/mar-abr	-0,55	jan-fev/abr-mai	-0,57	fev-mar/mai-jun	-0,66
mar-abr/mar-abr	-0,24	dez-jan/abr-mai	-0,57	jan-fev/mai-jun	-0,57	fev-mar/jun-jul	-0,65
abr-mai/abr-mai	-0,58	dez-jan/mai-jun	-0,51	jan-fev/jun-jul	-0,58	fev-mar/jul-ago	-0,66
mai-jun/mai-jun	-0,57	dez-jan/jun-jul	-0,47	jan-fev/jul-ago	-0,61	fev-mar/ago-set	-0,56
jun-jul/jun-jul	-0,66	dez-jan/jul-ago	-0,52	jan-fev/ago-set	-0,53	fev-mar/set-out	-0,6
jul-ago/jul-ago	-0,53	dez-jan/ago-set	-0,49	jan-fev/set-out	-0,56	fev-mar/out-nov	-0,49
ago-set/ago-set	-0,16	dez-jan/set-out	-0,46	jan-fev/out-nov	-0,35	fev-mar/nov-dez	-0,37
set-out/set-out	-0,28	dez-jan/out-nov	-0,23	jan-fev/nov-dez	-0,27	*	*
out-nov/out-nov	-0,15	dez-jan/nov-dez	-0,13	*	*	*	*
nov-dez/nov-dez	-0,23	*	*	*	*	*	*
Bimestre	C.C	Bimestre	C.C	Bimestre	C.C	Bimestre	C.C
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
mar-abr/abr-mai	-0,52	abr-mai/mai-jun	-0,59	mai-jun/jun-jul	-0,05	jun-jul/jul-ago	-0,65
mar-abr/mai-jun	-0,70	abr-mai/jun-jul	-0,50	mai-jun/jul-ago	-0,55	jun-jul/ago-set	-0,25
mar-abr/jun-jul	-0,64	abr-mai/jul-ago	-0,54	mai-jun/ago-set	-0,20	jun-jul/set-out	-0,44
mar-abr/jul-ago	-0,67	abr-mai/ago-set	-0,39	mai-jun/set-out	-0,37	jun-jul/out-nov	-0,39
mar-abr/ago-set	-0,56	abr-mai/set-out	-0,42	mai-jun/out-nov	-0,28	jun-jul/nov-dez	-0,52
mar-abr/set-out	-0,60	abr-mai/out-nov	-0,25	mai-jun/nov-dez	-0,37	*	*
mar-abr/out-nov	-0,48	abr-mai/nov-dez	-0,24	*	*	*	*
mar-abr/nov-dez	-0,38	*	*	*	*	*	*

Bimestre	C.C	Bimestre	C.C	Bimestre	C.C	Bimestre	C.C
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
jul-ago/ago-set	-0,17	ago-set/set-out	-0,24	set-out/out-nov	-0,20	out-nov/nov-dez	-0,38
jul-ago/set-out	-0,31	ago-set/out-nov	-0,19	set-out/nov-dez	-0,43	*	*
jul-ago/out-nov	-0,28	ago-set/nov-dez	-0,39	*	*	*	*
jul-ago/nov-dez	-0,45	*	*	*	*	*	*

A figura 23 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) com filtro encontrado para a bacia do rio Coruripe e a linha de tendência.

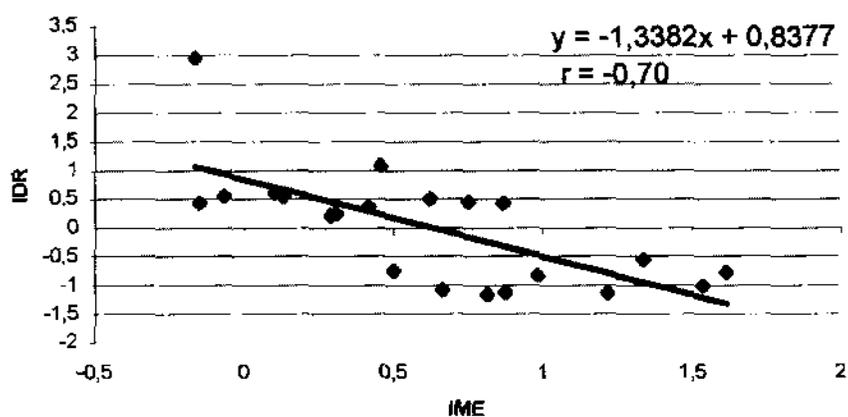


Figura 23 – Correlação com filtro IME mar/abr x IDR jul/ago - 0,70 – bacia do rio Coruripe

Para a bacia do rio Paraíba, o melhor resultado obtido foi de $-0,66$, com a correlação do índice IME de junho-julho com o IDR de setembro-outubro, com uma predictabilidade de dois meses.

Tabela 15 – Coeficientes de correlação para a bacia do rio Paraíba (IME/IDR)

Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
dez-jan/dez-jan	0,18	dez-jan/jan-fev	0,12	jan-fev/fev-mar	0,08	fev-mar/mar-abr	-0,04
jan-fev/jan-fev	0,29	dez-jan/fev-mar	0,12	jan-fev/mar-abr	-0,13	fev-mar/abr-mai	-0,07
fev-mar/fev-mar	0,12	dez-jan/mar-abr	0,02	jan-fev/abr-mai	-0,03	fevmar/mai-jun	-0,24
mar-abr/mar-abr	0,02	dez-jan/abr-mai	-0,17	jan-fev/mai-jun	-0,07	fevmar/jun-jul	-0,41
abr-mai/abr-mai	-0,17	dez-jan/mai-jun	-0,35	jan-fev/jun-jul	-0,38	fev-mar/jul-ago	-0,49
mai-jun/mai-jun	-0,35	dez-jan/jun-jul	-0,44	jan-fev/jul-ago	-0,52	fev-mar/ago-set	-0,45
jun-jul/jun-jul	-0,45	dez-jan/jul-ago	-0,23	jan-fev/ago-set	-0,53	fev-mar/set-out	-0,28
jul-ago/jul-ago	-0,24	dez-jan/ago-set	-0,33	jan-fev/set-out	-0,29	fev-mar/out-nov	-0,25
ago-set/ago-set	-0,34	dez-jan/set-out	-0,44	jan-fev/out-nov	-0,25	fev-mar/nov-dez	-0,33
set-out/set-out	-0,45	dez-jan/out-nov	-0,28	jan-fev/nov-dez	-0,38	*	*
out-nov/out-nov	-0,28	dez-jan/nov-dez	0,00	*	*	*	*
nov-dez/nov-dez	0,00	*	*	*	*	*	*
Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
mar-abr/abr-mai	-0,04	abr-mai/mai-jun	-0,35	mai-jun/jun-jul	-0,49	jun-jul/jul-ago	-0,65
mar-abr/mai-jun	-0,29	abr-mai/jun-jul	-0,48	mai-jun/jul-ago	-0,65	jun-jul/ago-set	-0,46
mar-abr/jun-jul	-0,60	abr-mai/jul-ago	-0,65	mai-jun/ago-set	-0,39	jun-jul/set-out	-0,66
mar-abr/jul-ago	-0,65	abr-mai/ago-set	-0,47	mai-jun/set-out	-0,50	jun-jul/out-nov	-0,54
mar-abr/ago-set	-0,56	abr-mai/set-out	-0,34	mai-jun/out-nov	-0,39	jun-jul/nov-dez	-0,50
mar-abr/set-out	-0,41	abr-mai/out-nov	-0,21	mai-jun/nov-dez	-0,42	*	*
mar-abr/out-nov	-0,33	abr-mai/nov-dez	-0,31	*	*	*	*
mar-abr/nov-dez	-0,43	*	*	*	*	*	*
Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
jul-ago/ago-set	-0,37	ago-set/set-out	-0,51	set-out/out-nov	-0,32	out-nov/nov-dez	-0,15
jul-ago/set-out	-0,59	ago-set/out-nov	-0,32	set-out/nov-dez	-0,10	*	*
jul-ago/out-nov	-0,43	ago-set/nov-dez	-0,19	*	*	*	*
jul-ago/nov-dez	-0,34	*	*	*	*	*	*

A figura 24 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) com filtro encontrado para a bacia do rio Paraíba e a linha de tendência.

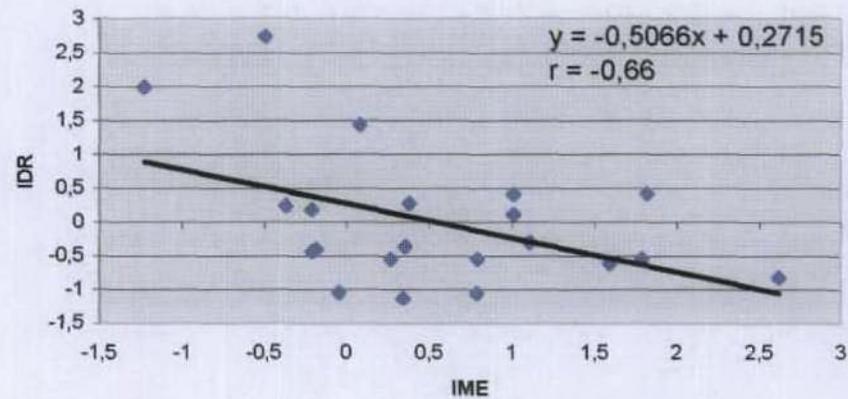


Figura 24 – Correlação com filtro IME jun/jul x IDR set/out – 0,66
Bacia do rio Paraíba

Para a bacia do rio Mundaú, o melhor resultado encontrado foi de $-0,66$, com a correlação IME de maio-junho com o IDR de junho-julho.

A tabela 16 mostra os coeficientes de correlação para a bacia do rio Mundaú. O melhor resultado encontrado, assim como os outros, sugerem uma previsão de um mês de antecedência, ou nenhum mês, com os coeficientes de correlação simultâneos.

Tabela 16 – Coeficientes de correlação para a bacia do rio Mundaú (IME/IDR)

Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
dez-jan/dez-jan	-0,06	dez-jan/jan-fev	0,25	jan-fev/fev-mar	0,26	fev-mar/mar-abr	0,30
jan-fev/jan-fev	0,33	dez-jan/fev-mar	0,32	jan-fev/mar-abr	0,10	fev-mar/abr-mai	0,22
fev-mar/fev-mar	0,35	dez-jan/mar-abr	0,17	jan-fev/abr-mai	-0,26	fev-mar/mai-jun	0,47
mar-abr/mar-abr	0,33	dez-jan/abr-mai	-0,29	jan-fev/mai-jun	-0,29	fev-mar/jun-jul	0,50
abr-mai/abr-mai	-0,38	dez-jan/mai-jun	-0,33	jan-fev/jun-jul	-0,33	fev-mar/jul-ago	0,37
mai-jun/mai-jun	-0,56	dez-jan/jun-jul	-0,34	jan-fev/jul-ago	-0,30	fev-mar/ago-set	0,06
jun-jul/jun-jul	-0,66	dez-jan/jul-ago	-0,30	jan-fev/ago-set	-0,15	fev-mar/set-out	0,20
jul-ago/jul-ago	-0,52	dez-jan/ago-set	-0,12	jan-fev/set-out	-0,15	fev-mar/out-nov	0,23
ago-set/ago-set	-0,11	dez-jan/set-out	-0,14	jan-fev/out-nov	-0,15	fev-mar/nov-dez	0,15
set-out/set-out	-0,04	dez-jan/out-nov	-0,15	jan-fev/nov-dez	-0,14	*	
out-nov/out-nov	0,03	dez-jan/nov-dez	-0,09			*	
nov-dez/nov-dez	0,05	*		*		*	

Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro	
mar-abr/abr-mai	-0,22	abr-mai/mai-jun	-0,60	mai-jun/jun-jul	-0,66	jun-jul/jul-ago	-0,59
mar-abr/mai-jun	-0,03	abr-mai/jun-jul	-0,57	mai-jun/jul-ago	-0,51	jun-jul/ago-set	-0,19
mar-abr/jun-jul	-0,01	abr-mai/jul-ago	-0,44	mai-jun/ago-set	-0,12	jun-jul/set-out	-0,35
mar-abr/jul-ago	0,12	abr-mai/ago-set	-0,15	mai-jun/set-out	-0,35	jun-jul/out-nov	-0,30
mar-abr/ago-set	0,45	abr-mai/set-out	-0,30	mai-jun/out-nov	-0,27	jun-jul/nov-dez	-0,38
mar-abr/set-out	0,48	abr-mai/out-nov	-0,20	mai-jun/nov-dez	-0,29	*	*
mar-abr/out-nov	0,34	abr-mai/nov-dez	-0,15	*	*	*	*
mar-abr/nov-dez	0,38	*	*	*	*	*	*
Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.	Bimestre	C.C.
c/ filtro		c/ filtro		c/ filtro		C/ filtro	
jul-ago/ago-set	-0,13	ago-set/set-out	-0,17	set-out/out-nov	0,02	out-nov/nov-dez	-0,06
jul-ago/set-out	-0,26	ago-set/out-nov	-0,11	set-out/nov-dez	-0,07	*	*
jul-ago/out-nov	-0,23	ago-set/nov-dez	-0,19	*	*	*	*
jul-ago/nov-dez	-0,30	*	*	*	*	*	*

A figura 25 mostra o melhor resultado de coeficiente de correlação (r) com filtro encontrado para a bacia do rio Mundaú e a linha de tendência.

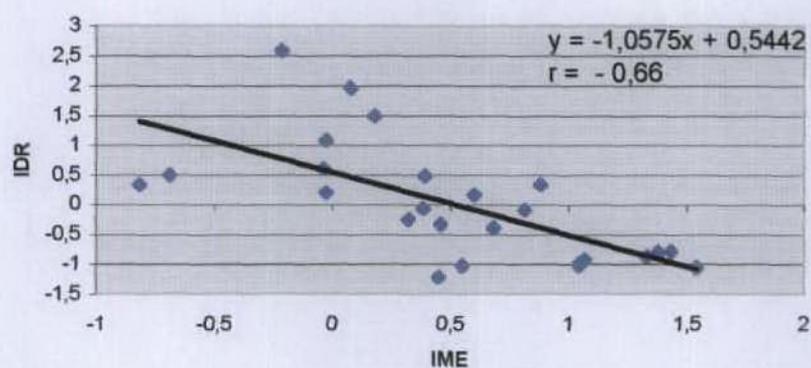


Figura 25 – Correlação com filtro IME mai/jun X IDR jun/jul -0,66 – bacia do rio Mundaú

Após os cálculos de todas as correlações simultâneas e atrasadas, foram selecionados os melhores resultados e, depois gerados os prognósticos, com dados observados de 1978 a 1993, para as bacias dos rios Coruripe e Paraíba, e de 1974 a 1993, para a bacia do rio Mundaú, e

testados nos anos de 1994 a 1998. A melhor correlação encontrada, de 0,75 para a bacia do rio Coruripe não apresentou um prognóstico satisfatório, e foi descartada, por não ter apresentado um significado físico.

Os melhores resultados encontrados foram com correlações entre 0,6 e 0,65. Apesar dos coeficientes não serem altos, se comparados aos demais, os números chegam a ser excelentes pois a maioria das correlações apresenta números muito próximos de zero. De acordo com os prognósticos, a maioria apresentou uma previsão qualitativa coerente com os dados reais. Apesar de os dados de vazão para o período de 1998 a 2002 encontrarem-se ainda indisponíveis, os prognósticos foram bons qualitativamente a julgar pelos dados de precipitação das bacias e pelos relatos de observadores.

Entre as série em estudo dos rios Coruripe, Paraíba e Mundaú, ocorreram vários eventos considerados de El Niño, que foram os eventos de 1982/1983, 1986/1987, 1990 a 1994 e 1997/1998, ocasionando perdas irreparáveis para a agricultura nordestina como um todo. Para os eventos de La Niña, citam-se os eventos de 1988/1989 e 1995/1996. Nos anos de El Niño de 1982/1983, por exemplo, as médias mensais das vazões do mês de julho para a bacia do rio Coruripe ficaram em 3,1 e 2,27 m³/s, respectivamente. Para os anos de La Niña de 1988/1989, as vazões médias mensais para o mesmo mes ficaram em 50,88 e 72,00 m³/s, quando a média mensal da série histórica é de 20 m³/s.

Nos anos de 1997/1998, ocorreu um forte efeito El Niño e, como consequência, o Norte e Nordeste do Brasil sofreram com severas secas, o oposto do Sul do Brasil, com recordes de severas chuvas. Durante os anos de 1999/2000, o oposto foi registrado, agora com um evento La Niña, ocasionando chuvas acima da média histórica para a região Nordeste havendo, assim, um aumento acentuado nas vazões dos rios, que provocou enchentes e destruiu pontes e casas. Um caso típico foi o evento de 31 de julho/01 de agosto de 2000, quando a precipitação foi superior a 250 mm em um período de 24 horas, totais este considerados chuvas de tempestades tropicais.

A seguir, serão analisados os principais resultados por bacias e por índices utilizados separadamente.

Primeiramente, foram gerados gráficos com o algoritmo de prognóstico, de 1978 a 1998, e comparados com os valores reais. Foram geradas também, curvas com os dados reais juntamente com os dados com preenchimento de falhas de anos anteriores, mas verificou-se que os resultados não apresentaram melhorias significativa (Figura 26). Após a análise desses resultados, decidiu-se que seria melhor, gerar as equações de 1978 a 1993 e testá-los, para o período de 1994 a 1998,

para as bacias dos rios Coruripe e Paraíba. Para a bacia do rio Mundaú, os algoritmos foram gerados com os dados de 1974 a 1993 e os prognósticos feitos para 1994 a 1998 e comparados com os IDR observados.

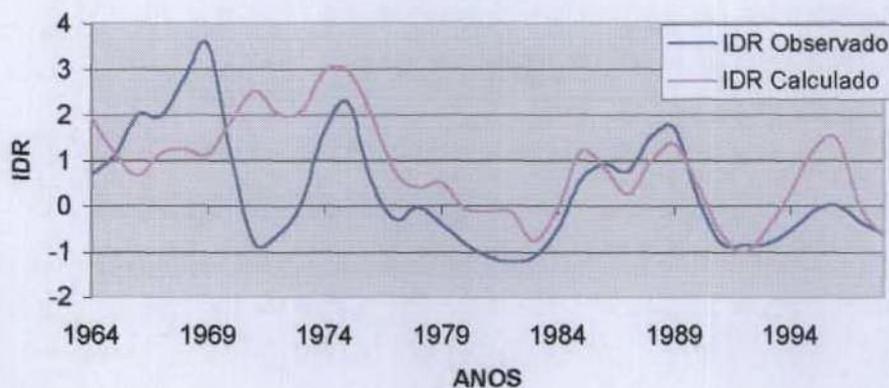


Figura 26 - Curva gerado com falhas preenchidas de 1964 a 1978 e dados observados de 1978 a 1998 – bacia do rio Coruripe

Aparentemente, o preenchimento de falhas não melhorou o prognóstico conforme pode ser apreciado na figura 26 para o rio Coruripe, no período de 1964 a 1974. Esse período antecede o PROÁLCOOL, quando a bacia apresentava uma porção maior de sua área coberta com vegetação natural que, posteriormente foi ocupada com o cultivo extensivo da cana-de-açúcar. Assim, dificilmente seria conseguido um bom ajuste (“fitting”) se tratasse a série temporal como sendo uniforme. Portanto, o período pré-alcool teve que ser descartado devido à mudança de uso dos solos ter modificado a resposta da bacia hidrográfica.

Os primeiros resultados apresentados foram as correlações feitas com IOS x IDR. O resultado escolhido para análise para a bacia do rio Paraíba foi a correlação das médias mensais do IOS do mês de março com as médias mensais de IDR do mês de julho, sugerindo uma previsão de 04 meses de antecedência. A correlação encontrada foi de 0,63. Nota-se pela figura 27 que a curva prognosticada acompanhou quase todo a série dos dados reais, apresentando falha no ano de 1986, quando a vazão foi significativamente alta. Neste ano, porém, o IOS foi negativo, características de anos de El Niño (Figura 27).



Figura 27 – Resultado da correlação (0,63) do IOS de março x IDR de julho
Bacia do rio Paraíba

O mês de julho é o mês que apresenta os índices de maiores vazões para a bacia do rio Paraíba, com média mensal de $43,05 \text{ m}^3/\text{s}$ para a série em estudo. O mês com IDR mais baixo é o mês de dezembro, cuja vazão média mensal é $5,28 \text{ m}^3/\text{s}$. O mês de março é considerado como pré-estação e foi responsável pelos melhores resultados de correlações, juntamente com os índices de abril.

O algoritmo gerado com os dados de 1978 a 1993, foi usado para prognosticar os anos de 1994 a 1998. Nota-se que, nos anos de 1994 a 1997, os IDR ficaram acima da média (figura 28). Apenas entre 1997/1998, os valores ficaram negativos, demonstrando claramente os anos desse El Niño, considerado um dos mais fortes do século. Nos anos de 1995/1996, os valores ficaram acima da média, anos esses que compreenderam anos de La Niña considerados forte e moderado, respectivamente. O coeficiente de correlação foi de 0,63 e o erro quadrático médio encontrado foi de 0,12, sugerindo um índice de acerto de 40%, um erro de 12% no prognóstico.

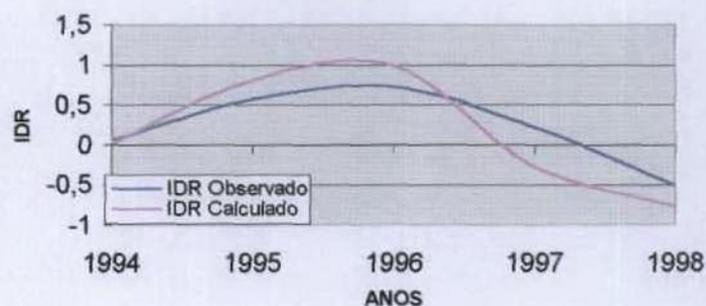


Figura 28 - Resultado da correlação (0,63) com margem de erro (0,12) do IOS de março x IDR julho - bacia do rio Paraíba

Para a bacia do rio Mundaú (Figura 29), o melhor resultado de correlação foi de 0,59. As vazões para esse rio para o ano de 1986 ficaram em torno da média que, para o mês de julho, é de $81 \text{ m}^3/\text{s}$. A curva de prognóstico não apresentou um bom ajuste nos anos de 1979 a 1983 sugerindo que o algoritmo de prognóstico não respondeu bem aos anos de IOS próximos de zero ou que apresentaram grande variabilidade. Para o evento El Niño de 1982/83, o algoritmo representou qualitativamente o IDR observado.

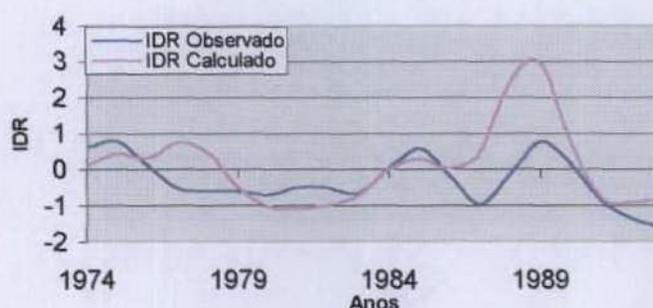


Figura 29 – Resultado da correlação (0,59) do IOS de abril x IDR de julho
Bacia do rio Mundaú

Com relação aos IDR observados, a curva de prognóstico (Figura 30) apresentou um ajuste muito bom a partir do final de 1996, particularmente para 1997 e 1998, anos de ocorrência do evento El Niño. Apesar de os resultados quantitativos não terem sido satisfatórios, é possível afirmar se a vazão estará acima, abaixo ou na média, de acordo com os dados históricos. O coeficiente de correlação foi 0,59 e o erro quadrático médio 0,17, significando que o algoritmo apresentou um índice de acerto de 34%, com um erro de 17%.

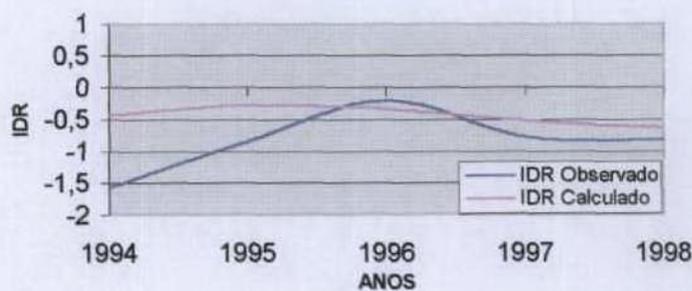


Figura 30 - Resultado da correlação (0,59) com margem de erro (0,17) do IOS de abril x
IDR julho – bacia do rio Mundaú

Nota-se que em todo o período citado, de 1994 a 1998, os valores de IDR ficaram abaixo da média (Figura 30). A curva de prognósticos apresentou IDR acima da média apenas para o ano de 1996, mesmo assim os IDR previstos não desviaram significativamente dos observados. Os resultados da bacia do rio Mundaú foram diferentes dos resultados da bacia do Rio Paraíba, embora estejam inseridos dentro do mesmo mesoclima. No período de 1994 a 1997, os valores de IDR ficaram acima da média, sofrendo queda apenas no ano de 1998. Isso pode ter ocorrido em parte porque o impacto do fenômeno El Niño seja mais pronunciado face a sua maior área de drenagem e talvez por essa bacia ter sofrido uma mudança mais drástica quanto ao uso do seu solo, ou seja, a bacia do rio Mundaú sofreu um grau mais acentuado de ação antrópica.

A bacia do rio Coruripe apresentou os melhores resultados das três bacias em questão. Uma possível explicação seria o fato dessa bacia drenar uma área que já foi ocupada já há muito tempo com atividades agropecuárias.

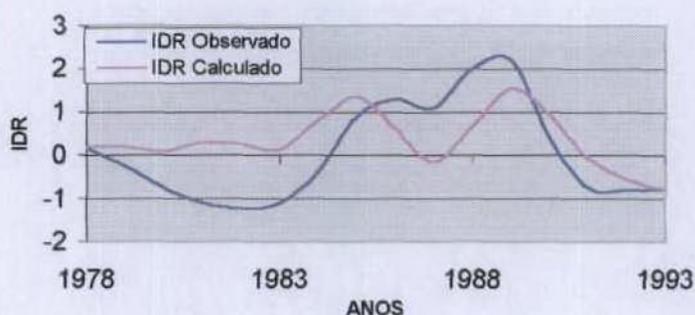


Figura 31 – Resultado da correlação (0,61) do IOS de abril x IDR de julho
Bacia do rio Coruripe

Para a previsão, de 1994 a 1998 os dados foram bastante satisfatórios, com um excelente ajuste a partir de 1995. O coeficiente de correlação foi 0,61, com um erro igual a 0,14.

A curva de prognóstico apresentou um ajuste muito bom com relação aos dados observados. Os maiores desvios ocorreram para os El Niño de 1982/83 e 1987. O algoritmo produziu valores de IDR em torno das médias observadas de maneira geral.

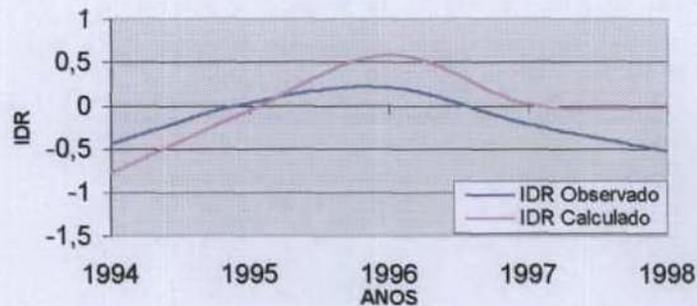


Figura 32 - Resultado da correlação (0,61) com margem de erro (0,14) do IOS de abril x IDR de julho – bacia do rio Coruripe

As correlações com IOS demonstram que é possível gerar um sistema de previsões principalmente para o mês de julho, término da quadra chuvosa para o estado de Alagoas, e mês dos maiores índices de vazão para as três bacias.

Os resultados de correlação dos IDR com os IME (Índice Multivariado de ENOS) foram mais estáveis que os resultados das correlações com IOS. Os resultados, na sua maioria, ficaram acima de 0,5, talvez devido ao fato de o IME ser composto de seis variáveis diferentes, demonstrando melhor as condições atmosféricas locais, e ser bimestral o que atenua a variabilidade mensal.

Como o IME é um índice bimestral, foram feitas médias bimestrais também de IDR para posteriormente serem feitas as correlações. Para a bacia do rio Paraíba (Figura 33), a melhor correlação encontrada foi de $-0,66$, com o IME de jun/jul e o IDR de set/out. As correlações dos IME são negativas devido ao fato do IME ser um índice de ENOS.

A figura 33 mostra o impacto do evento La Niña nos anos de 1988 e 1989, quando os índices ficaram bastante acima da média. A média para os meses de setembro/outubro para a série em estudo é de $16 \text{ m}^3/\text{s}$. No ano de 1988, a média foi de $35,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e no ano de 1989 a média foi de $36,5 \text{ m}^3/\text{s}$. A curva de prognóstico apresentou maiores desvios entre 1980 e 1982, talvez pelos valores do IME estarem próximos à normalidade conforme pode ser visto na figura 33. As vazões calculadas ficaram com médias consideravelmente abaixo das médias históricas. O desvio

para o ano de 1987, ano de El Niño forte, também foi notório. As vazões ficaram um pouco acima da média, contrariando as previsões de estiagem para o período. Porém, os valores previstos e observados estiveram dentro de um desvio-padrão.

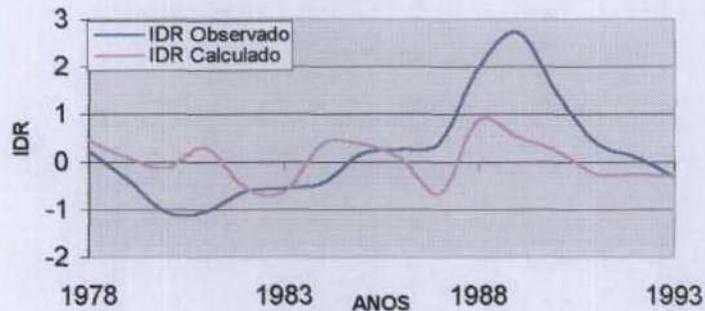


Figura 33 – Resultado da correlação (-0,66) do IME de junho/julho x IDR de setembro/outubro – bacia do rio Paraíba

Os resultados analisados foram os IME de mar/abr com o IDR de jun/jul, com um coeficiente de correlação igual a -0,61 (Figura 34). Os resultados para o rio Paraíba foram os que apresentaram os maiores desvios das 3 bacias. A curva de prognóstico apresentou desvios maiores para o período 1980-82 e muito bons resultados para o resto do período. Novamente, convém lembrar que os índices estavam próximos da normalidade durante esse período.

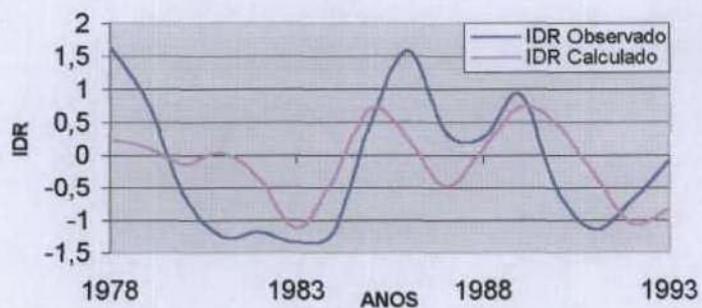


Figura 34 – Resultado da correlação (-0,61) do IME de março/abril x IDR de junho/julho – bacia do rio Paraíba

O erro quadrático médio encontrado para a série de 1994 a 1998 foi de 0,42 (Figura 35). Apesar de o erro ser considerado alto, os valores prognosticados apresentaram acerto qualitativo.

Quando, porém, quebra-se o período em duas partes notou-se que o erro foi de 67% para a primeira parte (1994-96) enquanto esse erro caiu para 3% entre 1996 a 1998 sugerindo que o algoritmo respondeu bem aos valores altos do IME.



Figura 35 - Resultado da correlação (-0,61) com margem de erro (0,42) do IME de mar/abr x IDR de jun/jul

Para a bacia do rio Mundaú (Figura 36), o melhor resultado de correlação encontrado foi de -0,66 com as correlações do IME dos meses de maio/junho e o IDR de junho/julho. O prognóstico apresentou um ajuste bom com os dados observados, com um lag de um mês de antecedência.

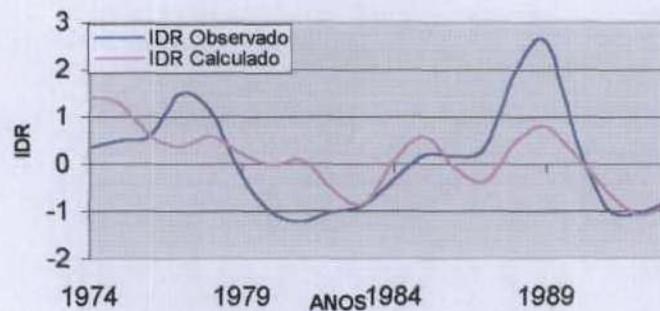


Figura 36- Resultado da correlação (-0,66) do IME de maio/junho x IDR de junho/julho – bacia do rio Mundaú

A curva de prognósticos (Figura 37), apresentou um bom ajuste de maneira geral, principalmente a partir de 1984. Novamente, o algoritmo apresentou maiores desvios entre 1980-82 quando os índices estiveram próximos da neutralidade.

O coeficiente de correlação foi igual a $-0,66$ e o erro encontrado para os anos de 1994 a 1998 foi de $0,07$, sugerindo um acerto de 43% na previsão, com um erro de 7% . O IDR de todos esses anos ficou abaixo da média para o bimestre junho/julho.



Figura 37- Resultado da correlação ($-0,66$) com margem de erro ($0,07$) do IME de mai/jun X IDR de jun/jul – bacia do rio Mundaú

O melhor resultado encontrado de todas as correlações feitas de IDR com IOS e IME, foi encontrado na bacia do rio Coruripe (Figura 38). Apesar de não ter sido o melhor valor de correlação, o lag foi de 06 meses, com a correlação do IME dos meses de janeiro/fevereiro com o IDR de julho/agosto.

A curva calculada apresentou maiores desvios para os anos de 1979 a 1982, pelos motivos discutidos anteriormente, sugerindo que o algoritmo é menos preciso para valores de IME próximos de zero.

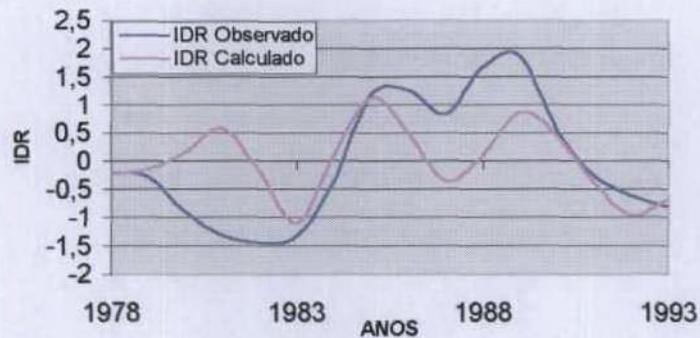


Figura 38- Resultado da correlação (-0,61) do IME de janeiro/fevereiro x IDR de julho/agosto – bacia do rio Coruripe

O erro quadrático médio encontrado foi de apenas 0,03, o menor erro encontrado em todas as correlações (Figura 39). Essa previsão será a mais indicada, tanto para o valor do erro, quanto para o seu lag, pois no início do ano, em janeiro/fevereiro pode-se antecipar se os valores de IDR de julho/agosto poderão estar abaixo da média indicando seca ou acima da média, indicando possíveis cheias.

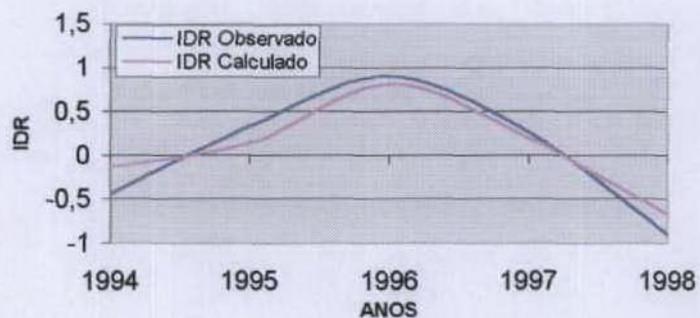


Figura 39 - Resultado da correlação (-0,61) com margem de erro (0,03) do IME de jan/fev x IDR de jul/ago – bacia do rio Coruripe

A figura 40 mostra uma extrapolação para o período 1998 a 2002, gerados de acordo com esse algoritmo. A figura mostra nitidamente uma grande cheia ocorrida nos meses de julho/agosto de 2000, onde choveu em média cerca de 250 mm nos dias 31 de julho/01 de agosto, num espaço de tempo inferior a 24 horas. O prejuízo foi estimado em cerca de R\$ 700 milhões e

acarretou 58 mortes e mais de 80 mil desabrigados.. A região mais afetada foi o norte do Estado, mas a bacia do rio Coruripe também apresentou o IDR acima da média.



Figura 40 – Tendência do IDR calculado para os anos de 1998 a 2002
Bacia do rio Coruripe

Os dados de vazão para os rios Mundaú, Coruripe e Paraíba para o período de 1998 a 2002 ainda não estão disponíveis, mas, de acordo com as cotas instantâneas para o rio Mundaú (fonte ANEEL), o hidrograma de nível e ietograma de precipitação acima mostraram que a resposta de máxima vazão no rio ocorreu 24 horas após ter ocorrido o pico máximo de precipitação na bacia, gerando uma das maiores descargas. Apesar de os dados terem sido gerados para a bacia do rio Mundaú, pode-se afirmar que existiram altos valores de IDR também para as bacias dos rios Paraíba e Coruripe. Dessa forma, os algoritmos construídos com IOS e IME mostraram que são previsores de vazões em potencial com antecedência de 3 meses na maior parte dos casos, e que, portanto, podem ser úteis para o gerenciamento dos recursos hídricos na região.

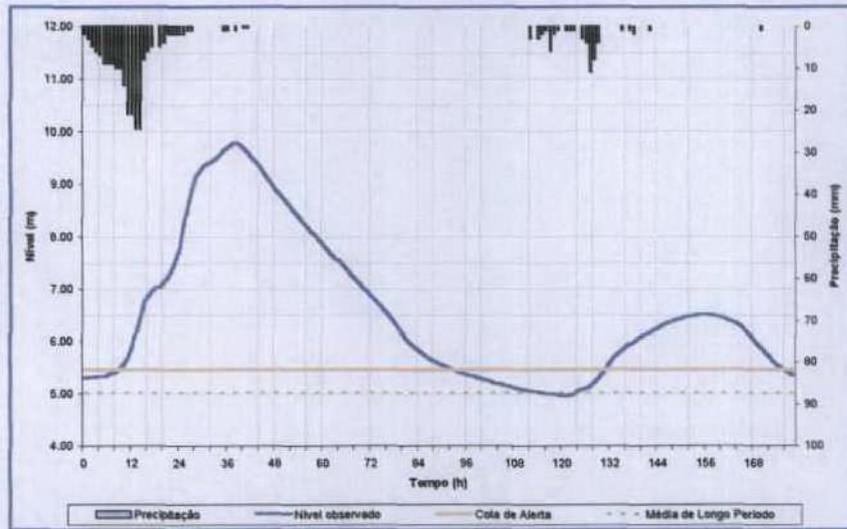


Figura 41 – Hidrograma de nível e ietograma para o dia 31 de julho de 2000
(Reis e Pedrosa, 2000)

As equações obtidas para as previsões de secas e enchentes são as seguintes:

Para dados de IOS:

$$\text{Bacia do Rio Paraíba: } y = 0,9146x + 0,8786 \quad (5)$$

onde x = IOS de março, para previsão de IDR de julho;

$$\text{Bacia do Rio Mundaú: } y = 0,9269x + 0,3936 \quad (6)$$

onde x = IOS de abril, para previsão do IDR de julho;

$$\text{Bacia do Rio Coruripe: } y = 0,9887x + 0,7833 \quad (7)$$

onde x = IOS de abril, para previsão do IDR de julho.

Para dados de IME

$$\text{Bacia do Rio Paraíba: } y = 0,3108x - 0,0841 \quad (8)$$

onde x = IME de mar/abr, para previsão do IDR de jun/jul;

$$\text{Bacia do Rio Mundaú: } y = -0,0545x + 0,563 \quad (9)$$

onde x = IME de mai/jun, para previsão do IDR de jun/jul/

$$\text{Bacia do Rio Coruripe: } y = -1,2311x + 0,5228 \quad (10)$$

onde x = IME de jan/fev, para previsão do IDR de jul/ago.

5 - CONCLUSÕES

Para a bacia do rio Mundaú, o melhor coeficiente de correlação IOS x IDR encontrada foi de 0,56, utilizando os valores de IOS dos meses de abril (de 1974 a 1998) e os valores de IDR dos meses de julho para o mesmo período. Após a utilização do filtro, a melhor correlação encontrada foi de 0,59, para os mesmos meses citados acima. A predictabilidade para o rio Mundaú foi de 03 meses de antecedência tanto para os dados normais como para os dados com filtro.

Para a bacia do rio Paraíba, o melhor coeficiente de correlação encontrada foi de 0,64, utilizando os valores de IOS dos meses de março (de 1978 a 1998) e os valores de IDR dos meses de setembro para o mesmo período. Após a utilização do filtro, a melhor correlação encontrada foi de 0,63, encontrada com a correlação dos valores de IOS dos meses de março e IDR dos meses de julho. A predictabilidade para a bacia do rio Paraíba foi de 05 meses de antecedência para os dados normais, com um erro maior, e 04 meses para os dados filtrados.

Para a bacia do rio Coruripe, o melhor resultado encontrado foi de 0,63, com os valores de IOS dos meses de abril e os valores de IDR de julho. Após a utilização do filtro, foi encontrado um bom resultado, de 0,75, para a correlação dos valores de IOS dos meses de março e os valores de IDR para os meses de julho.

Foram feitas também correlações com o índice IME x IDR. O IME, como é um índice composto de 06 variáveis, parece representar melhor as condições físicas que caracterizam a variabilidade climática. Os resultados obtidos melhoraram significativamente.

Para a bacia do rio Mundaú, o melhor coeficiente de correlação IME x IDR encontrada foi de -0,66, utilizando os valores de IME dos meses de maio-junho e os valores de IDR dos meses de junho - julho havendo assim uma previsão antecipada de um mês.

Para a bacia do rio Paraíba, o melhor coeficiente de correlação IME x IDR encontrada foi de -0,66, utilizando os valores de IME de junho-julho e os valores de IDR dos meses de setembro - outubro, com uma predictabilidade de 03 meses de antecedência, e erro de 0,83.

Para a bacia do rio Coruripe, o melhor coeficiente de correlação IME x IDR encontrada foi de -0,7, utilizando os valores de IME dos meses de março - abril e os valores de IDR dos meses de junho- julho, com uma predictabilidade de 03 meses de antecedência e erro quadrático médio de 0,07.

De acordo com os melhores resultados de correlação, foram geradas equações de previsão, para as três bacias em questão. Mas observou-se que os melhores resultados, comparados com os dados reais, não foram os das melhores correlações.

Para uma ação de planejamento a nível de previsão de cheias e secas para o Estado de Alagoas, tendo como os dados de entrada o IOS, utilizaremos para a bacia do rio Paraíba o IOS de março x IDR de julho, com correlação de 0,63 e erro quadrático médio de 0,12, sugerindo uma previsão de 04 meses de antecedência.

Para a bacia do rio Mundaú, utilizaremos o IOS de abril x IDR de julho, com correlação de 0,59 e erro quadrático médio de 0,17, com uma previsão de 03 meses de antecedência.

Para a bacia do rio Coruripe utilizaremos o IOS de abril x IDR de julho, correlação de 0,61 e erro quadrático médio de 0,14

Utilizando o IME como dado de entrada, a melhor previsão encontrada foi com um lag de 06 meses, com o IME de jan/fev x IDR de jul/ago, com uma correlação de $-0,61$ e erro mínimo de 0.03.

Para a bacia do rio Mundaú, o lag foi de apenas um mês de antecedência, com o IME de mai/jun x IDR de jun/jul, com uma correlação de $-0,66$ e erro quadrático médio de 0,07

Para a bacia do rio Paraíba, foi encontrado o maior erro de todas as previsões, de 0,42, com os dados de IME de mar/abr x IDR jun/jul, correlação de $-0,66$ e lag de 03 meses de antecedência.

6 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ACEITUNO, P. On, the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. **Mon. Wea Rev. Ver.**, 116, 505-524. 1988.
- ARAGÃO, J.O.R. A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño. **University of Miami**, 1986.
- ARAGÃO, J.O.R. Fatos sobre o Fenômeno de El Niño e sua Relação com as Secas no Nordeste do Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia - SBMET** - vol. 14, nº 1, 1990.
- ARAGÃO, J. O . R. de, A Previsão da Precipitação no Norte do Nordeste do Brasil para o Período Chuvoso de Fevereiro a Maio: Os Anos 1997/98. **X Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 1998, BRASÍLIA- DF.
- CAMPOS, J. N. B., STUDART, T. M. C., LIMA, H. C. Secas no Nordeste Brasileiro diante de um cenário de mudanças climáticas. **VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 1994, Belo Horizonte – MG.
- CENTENO, J. A. S. e KISHI, R. T. **Os Recursos Hídricos do Estado de Alagoas**. Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos de Alagoas-CDCT-SEPLAN. 1994, Maceió, AL.
- CHAN, S.C. Analysis of the easterly wave disturbances over South Atlantic Ocean. **Available from Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 1990, São José dos Campos – SP.
- COELHO, C. A. S., DRUMOND, A. R. M., AMBRIZZI, T. Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos de Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol. 14, nº01, 1999.
- CPTEC. Centro de Previsão do Tempo de Estudos Climáticos. Disponível na INTERNET via <http://www.cptec.inpe.br/>. Arquivo consultado em 2002.

- DCA. Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba. Disponível na INTERNET via www_dca.ufpb.br.
- DESSAY, N. et al. Uma Análise das diferenças de comportamentos da vegetação na América do Sul durante os dois eventos El Niño de 1982-1983 e 1997-1998. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002, Foz de Iguaçu-PR.
- DNAEE. **Inventário das Estações Fluviométricas**. 1996, Brasília-DF.
- DNAEE. **Inventário das Estações Pluviométricas**. 1996, Brasília-DF.
- GRIMM, A.M., et al. *Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events*. **Journal Climate**, 13, 35-58, 2000.
- GUERRA, J.R., CARAMONI, P.H. Influência dos fenômenos EL Niño e LA Niña sobre a produtividade da cultura de milho no estado do Paraná. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002, Foz de Iguaçu-PR.
- GOUVEIA, A. P., SANTOS, R.C., TOMASELLA, J. Balanço hídrico na região Nordeste durante episódio ENSO 1982-1983. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002, Foz de Iguaçu-PR.
- HASTENRATH, S, HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quart J. R. Met. Soc.* 1033, 77-92, 1977
- HASTENRATH, S. *Climate and Circulation in the Tropics*. **D. Reidel**, 253-329. 1985.
- HASTENRATH, S. *Tropical Climate prediction: A progress report, 1985-1990*. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** 75, 819-825, 1990.

- KANE, R.P., PAULA, E.R. Rainfall Characteristics in Different Parts of Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.11(1), 1993.
- KOUSKY, V. E., CHU, P.S. Fluctuation in annual rainfall for northeast Brazil. **J. Meteor. Soc. Japan**, 57, 457-465, 1978.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences in northeast Brazil. **Mon. Wea. Rev.** 107, 1140-1153. 1979.
- KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variations in Northeast Brazil. **Mon. Wea. Ver.** 108, 488-498. 1980.
- KOUSKY, V. E., GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, 33, 538-551, 1981.
- KOUSKY, V. E., KAGANO, M., CAVALCANTI, I.F.A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies, **Tellus**, 36A, 490-504. 1984.
- LIMA, M. C., RAO, V.,B. Estudo de casos extremos (secas, enchentes) no Leste da região Nordeste do Brasil. **VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 1994, Belo Horizonte - MG.
- MARENGO, J.A., Interannual variability of surface climate in the Amazon basin, **Int J. Climatol.**, 12, 853-863, 1992.
- MARENGO, J. Variations and Change in South American Streamflow. **Clim. Change**, 31, 99-117, 1995.
- MARENGO, J.A. , OLIVEIRA, G.S. de, *Impactos do Fenômeno La Niña no Tempo e Clima do Brasil: Desenvolvimento e Intensificação do La Niña 1998/99. X Congresso Brasileiro de Meteorologia*. 1998, Brasília, DF.

- MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e regionais : Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol 16 nº01 2001.
- MOLION, L.C.B, TOLEDO FILHO, M.R. Seca de 1992/93 em Alagoas . **VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1994, Belo Horizonte – MG**.
- MOLION, L.C.B., MORAES, J.C. Oscilação Sul e descarga de rios na América do Sul tropical. **Rev. Bras. Eng., Caderno de Hidrologia**, 5(1), 53-63, 1987.
- MOLION, L.C.B., BERNARDO, S. O. Uma revisão da Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol. 17, nº 01, 2002.
- MOURA, A.D., SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal Atmos. Sci.** 38, 2653-2675, 1981.
- NORDERMANN, D.J.R. Periodicidade e tendências nas médias mensais do nível do Rio Paraguai em Corumbá de 1900 a 1995. Avaliado por **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 1995, São José dos Campos – SP.
- PRÓ-ÁGUA-AL. **Estudos preliminares para elaboração do Plano Diretor da Bacia do Rio Coruripe**. 2000, Maceió-AL.
- QUINN, W.H., NEAL, V.T. El Niño Occurrences Over Past Four and a Half Centuries. **Journal of Geophysical Research**, vol.92 no C13, 14,449-14,461. 1987.
- RAO, V.B, LIMA, M.C, FRANCHITO, S.H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, Vol.6, nº 09, september 1993.
- REIS, L.G.M., JUNIOR, O.B.S., PEDROSA, V.A. Análise da cheia de Agosto de 2000 no rio Mundaú em Alagoas. **V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2000, Natal-RN.

- REPELLI, C.A., ALVES, J.M.B., A Variabilidade Pluviométrica no setor Norte do Nordeste e os Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002, Foz de Iguaçu-PR.
- RESCHKE, G. A. , MENEZES, R.H.N., LEITE, A. C. Influência do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) nos regimes pluviométrico e térmico na Ilha de São Luis, MA. **X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**. 1998, BRASÍLIA- DF.
- RICHEY, J., Nobre, C., DESER, C. Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985 , *Science*, 246, 101-103, 1989.
- ROPELEWSKI, C.F., HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon Wea. Rev.* 115, 1606-1626, 1987.
- SEMA/SUDENE/SEPLAN/CMA/AL – **Estudo, enquadramento e classificação de Bacias Hidrográficas de Alagoas**. 1979, Maceió-AL.
- SERHI-AL. **Elaboração da Base Cartográfica Digital e do Zoneamento do Estado de Alagoas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2002, Maceió-AL.
- SILVA, J.F. **El Niño – O Fenômeno Climático do Século**. 2000, Brasília – DF.
- SOUZA,E.B., ALVES, J.M.,REPELLI,C.A. Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na estação chuvosa do Semi-Árido Nordestino. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, V.06, n.2, p.277-283, 1998.
- STOECKENIUS, T. Interannual variations of tropical precipitation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 1233-1247, 1981.
- STRANG, D. M.G.D. Climatological Analysis of rainfall normals in Northeast Brasil. Available from **Centro Tecnológico Aeroespacial**. 1972, São José dos Campos – SP.

SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**, série pluviométrica, Vol 05. Paraíba, 1990, Recife-PE.

SUDENE. **As precipitações anuais da região Paraibana - Homogeneização e análise regional**. 1982, Recife-PE.

SUDENE. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú**. 1999, Recife-PE.

SUDENE. **Estudo das Características Físicas e Socio-Econômicas da Bacia do Rio Paraíba**. 1999, Maceió,AL.

UVO, C.B.,NOBRE, C.A. The Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and the precipitation over north-northet Brazil. Part I: ITCZ's position over Equatorial Atlantic. **Climanálise** 4, 7, 34-40, 1989, São José dos Campos - SP.

UVO, C.B., REPELLI, C.A.,KUSHNIR, Y. The influence of Tropical Pacific and Atlantic SST on Northeast Brazil Monthly Precipitation. **Journal of Climate**, 1994.

UVO, C., REPELLI, C., ZEBIAK, S., KUSHINIR, Y. The influence of Tropical Pacific and Atlantic SST on Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**,1996

YAMAZAKI, Y, RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **J. Meteor. Soc. Japan**. 55, 205-207. 1977.