

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

Variabilidade da precipitação ocasionada por fatores climáticos – Influência de eventos El Niño e La Niña na bacia do rio Mundaú em Pernambuco e Alagoas

Denis Duda Costa¹; Carlos Ruberto Fragoso Junior²

RESUMO --- Os eventos El Niño (La Niña) podem afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento e afetando os regimes de chuva em regiões tropicais de latitude média. Assim a análise de como esse fenômeno pode afetar regiões em escalas das bacias hidrográficas permitem uma melhor compreensão dos efeitos provocados como possíveis mudanças na distribuição das precipitações. A bacia do rio Mundaú tem registrado ao longo das séries históricas eventos extremos de secas e chuvas. Criar relações desses eventos com os anos de El Niño (La Niña) pode possibilitar, através do tratamento estatístico - como Análise de Componentes Principais, Cluster e Correlações entre os dados monitorados da precipitação e dos índices de Niño – um entendimento do processo de variabilidade da chuva. Assim, este artigo apresenta como resultados os possíveis motivos da variabilidade da chuva na bacia do rio Mundaú e o quanto esta variação é influenciada por fenômenos climáticos como o El Niño/La Niña.

ABSTRACT --- The events El niño (La Niña) can affect the regional and global climate, changing wind patterns and affecting rainfall patterns over the tropical mid-latitude. Thus the analysis of how this phenomenon can affect regions in the watersheds's scales allows a better understanding of the effects and possible changes in the rainfall distribution. The basin of the river Mundaú have recorded along the time series extremes events of drought and rain. Create relationships between these events and the years of El Niño (La Niña) may allow, through the statistical treatment - such as Principal Component Analysis, Cluster and correlations between the monitored data of precipitation and indices of Niño - understand the process variability of rain. Thus, this paper presents results and possible reasons for variability of rainfall in the river basin Mundaú and how this variation is influenced by climatic phenomena like El Niño / La Niña.

Palavras-chave: Fenômenos Climáticos; El Niño/La Niña; Mundaú; Análise de Componentes Principais e Cluster.

1) Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas. E-mail: denisdudacosta@gmail.com

2) Professor do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. E-mail: crubertofj@hotmail.com

1 - INTRODUÇÃO

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical e que pode afetar o regime de chuva em regiões tropicais, já o La Niña se dá pelo efeito contrário ao El Niño, provocando um resfriamento nas águas do oceano Pacífico (LOPES, 2006). A intensidade do Niño pode ser estimada pelo Índice El Niño Oscilação Sul (ENOS) onde relaciona as anomalias no padrão de temperatura do Pacífico junto às anomalias no padrão de pressão atmosférica, os valores dos índices podem ser positivos ou negativos e estão relacionados ao El Niño e La Niña respectivamente. Na estimativa do La Niña outro índice pode ser utilizado, o Índice de Oscilação do Atlântico Norte (NOA), bastante significativo para o inverno europeu (TRIGO et al, 2002). Segundo Marin et al (2000) um evento El Niño/La Niña causam mudanças diversas na precipitação do Nordeste do Brasil, já Grimm (1998) mostra como em um evento ENOS as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil sofrem mudanças no regime de precipitação, afetando áreas populosas e importantes para a agricultura e hidroeletricidade.

2 – OBJETIVO

O objetivo do trabalho é analisar se há influência dos eventos climáticos (El Niño/La Niña) na distribuição das precipitações na bacia do rio Mundaú em Pernambuco e Alagoas, investigando os principais fatores que influenciam na variabilidade da precipitação e identificar na bacia as regiões que estão mais propícias à ocorrência desses eventos climáticos.

3 – ÁREA DE ESTUDO

As informações aqui contidas referentes à área de estudo do trabalho foram obtidas do Plano Diretor de Recursos Hídricos do rio Mundaú (COTEC Consultoria Técnica LTDA, 1999).

A bacia do rio Mundaú possui uma área de 4.126 km², situada parte no Estado de Pernambuco (2,155 km²) onde nasce o rio, e o restante em Alagoas (1,971 km²) onde desemboca na laguna Mundaú. Na parte pernambucana, a bacia se encontra na Mesoregião do Agreste Pernambucano, estando inserido 15 municípios com 8 sedes municipais na bacia. Na parte alagoana estão inseridos também 15 municípios com 10 sedes na bacia e se encontra na Mesoregião do Leste Alagoano (Ver Figura 1).

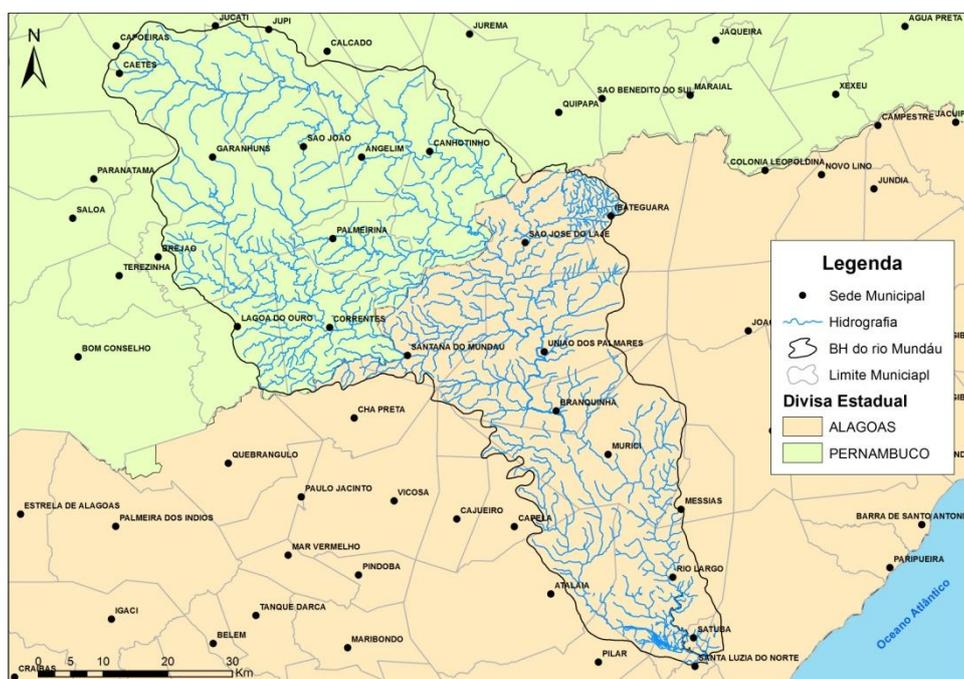


Figura 1 – Localização da Bacia do rio Mundáu

Nos estudos climatológicos da bacia o plano diretor utilizou os dados das estações climatológicas de Garanhuns, Maceió e Palmeira dos Índios, ambas operadas pelo Departamento Nacional de Meteorologia (INMET), (ver Tabela 1). Segundo Koppen o clima predominante na bacia é do tipo Bsh, caracterizando-se por apresentar precipitação média anual de 800mm e temperatura média anual superior a 18° C.

Tabela 1 – Estações meteorológicas selecionadas (Adaptado COTEC CONSULTORIA TÉCNICA LTDA, 1999)

Nº Estação	Nome	Estado	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período
82.893	Garanhuns	PE	8° 53'	36° 31'	823	1964/1989
82.994	Maceió	AL	9° 40'	35° 42'	65	1961/1990
82.992	Palmeira dos Índios	AL	9° 27'	36° 42'	275	1975/1990

A análise das precipitações realizadas a partir dos dados das três estações meteorológicas apresentaram uma forte variação do total das médias acumuladas anualmente entre Garanhuns e Maceió, ou seja, 870 mm contra 2166 mm, com o trimestre mais chuvoso tanto em Garanhuns quanto em Maceió de maio à julho e o de menores precipitações entre outubro à dezembro.

Assim, o plano diretor identificou através da geração de isoietas 3 (três) zonas diferentes na bacia. Uma zona que compreende o litoral até o início do agreste com isoietas média anual superior a 1000 mm, zona de extensão reduzida situada no agreste com isoietas média anual entre 1000 mm e

800 mm e por fim uma zona de transição entre o agreste e o sertão com isoietas média anual menor ou igual a 800 mm.

4 – PROPOSTA METODOLÓGICA

A análise da distribuição da precipitação foi realizada a partir das séries históricas dos postos pluviométricos para o período de 1992 a 2010 sendo utilizadas 29 estações para a bacia do rio Mundaú. Para estabelecer os fatores de força que possam explicar as possíveis causas da variabilidade da precipitação foi aplicada uma análise de componente principal (PCA). Os índices obtidos na PCA foram aplicados na geração de cluster para a formação de grupos das estações pluviométricas na bacia. Por fim também foi realizada uma correlação simples para identificar quais sofrem influências de eventos climatológicos. Assim, o trabalho foi desenvolvido seguindo as etapas:

- Levantamento e seleção dos postos pluviométricos;
- Preenchimento dos postos pluviométricos;
- Aplicação da PCA – identificação das principais causas da variabilidade;
- Análise Cluster – formação dos postos pluviométricos;
- Correlação de Pearson – identificação da influência de eventos climatológicos (El Niño/La Niña) na precipitação.

4.1 – Levantamento e Seleção dos Postos Pluviométricos

As estações pluviométricas estão localizadas tanto internamente quanto no entorno da bacia do rio Mundaú. As fontes para a obtenção dos postos foram Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL, 2011), Agência Nacional de Águas (ANA, 2005) e o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP, 2011).

No total foram catalogadas 108 estações pluviométricas, no entanto apenas 29 estações atenderam aos requisitos de dados suficientes, compreendendo o período de 1992 a 2010. A Tabela 2 apresenta um resumo quantitativo dos postos monitorados, já a Figura 2 traz sua localização na região.

Tabela 2 – Resumo do quantitativo de postos de monitoramento disponibilizados no banco de dados da ANA, do ITEP e da SEMARH/AL, para a bacia e o entorno.

Bacia	Tipo de monitoramento	ANA	ITEP	SEMARH/AL	Total
Mundaú	Pluviométrico	38 (63*)	28	42	108

* Total de postos inventariados pela ANA que não possuíam dados de monitoramento, ou não foi possível o acesso.

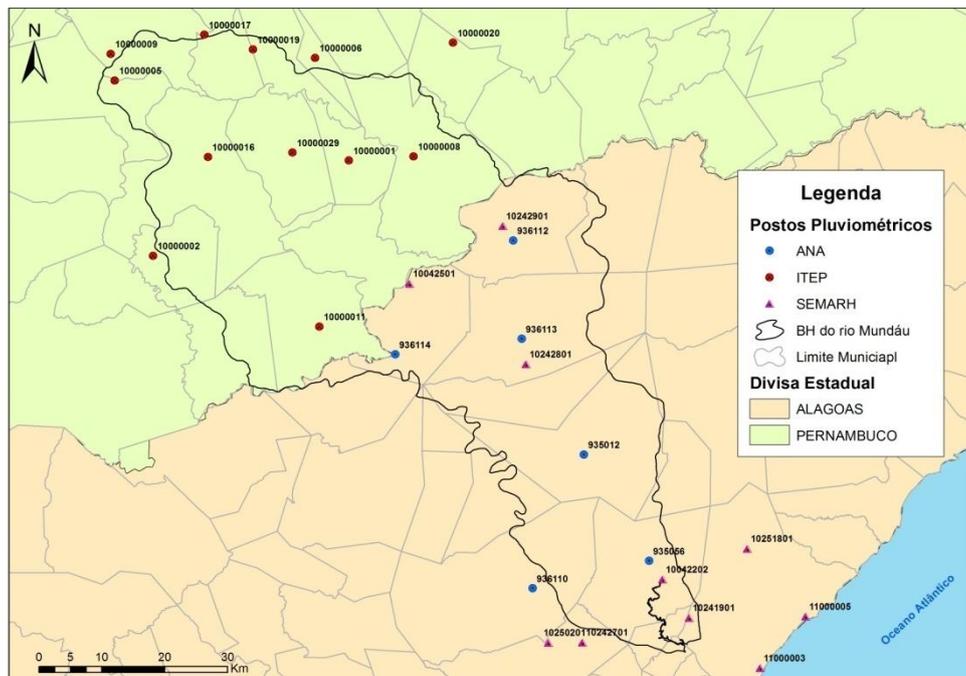


Figura 2 – Localização das Estações Pluviométricas na Bacia.

4.2 – Preenchimento de Falhas

Para se obter uma série contínua dos dados utilizou-se a técnica de preenchimento de falhas através do INTERPLU. O INTERPLU possui duas opções para o preenchimento das falhas: Thiessen e inverso da distância ao quadrado (COLLISCHON, 2001), aqui utilizamos a segunda opção.

O INTERPLU, para realizar o processo de preenchimento de falha, utiliza como dados de entrada as séries de dados observados nos postos, as coordenadas dos postos e o arquivo de numeração e localização das células de um modelo hidrológico. Como saída o INTERPLU gera um arquivo contendo a sequência de planos de informação com a precipitação em cada dia em cada célula. (COLLISCHONN, 2001).

Após a realização do preenchimento das falhas, foi possível através do programa EXCEL® fazer o acumulado total anual para a bacia do rio Mundaú, para o período de 1992 a 2010.

4.3 – Análise da Componente Principal (PCA)

Quando se pretende trabalhar com grupos de variáveis é bastante comum utilizar análises multivariadas com o intuito de reduzir o máximo às variáveis envolvidas. Logo a idéia básica de uma PCA é reduzir de forma eficiente um conjunto com muitas variáveis para um com menos, mas que represente substancialmente uma grande fração da variância contida nos dados originais, esta técnica foi introduzida por Lorenz (1956) e nomeado de Funções Ortogonais Empíricas (FOE). Para este trabalho iremos apenas investigar o primeiro e o segundo índice da PCA que explicam em média 70% da variância (UVO, 2003).

A aplicação da PCA foi realizada através do software PAST®, tendo como entrada os acumulados das precipitações anuais para cada posto. Para uma compreensão visual os dados foram

levados a um ambiente de geoprocessamento e gerado imagens que representam o comportamento da variação da precipitação.

4.4 – Análise de Cluster

A Análise de Cluster ou Agrupamento é uma técnica estatística primitiva, pois não assume algum pressuposto quanto ao número de grupos ou a sua estruturação. O agrupamento é realizado a partir da similaridade ou distâncias entre seus componentes, sendo o único pré-requisito medidas de similaridade ou dados que possibilitem o cálculo de similaridades. No entanto este método possibilita uma grande ajuda na compreensão das relações multivariadas já que através da plotagem dos dados é possível, por meio da visualização, identificar exclusões grupais e sugerir hipóteses referentes à associação dos grupos formados.

A análise de Cluster também foi realizada através do programa PAST[®], tendo como dados de entrada os índices gerados na PCA. A partir desses índices o programa desenvolve diagramas hierárquicos mostrando quais estações pluviométricas são linearmente relacionadas através da formação de subconjuntos. O método utilizado na análise de Cluster foi o da distância Euclidiana¹, pois não se tinha um conhecimento prévio dos grupos distintos. O critério de separação adotado para a formação dos grupos foi assumir um valor máximo de 0,6 para a distância Euclidiana.

4.5 – Correlação de Pearson

Uma correlação de Pearson foi realizada para cada posto pluviométrico correspondente ao período de análise. Esta correlação foi utilizada no intuito de identificar sobre quais postos pluviométricos a influência dos eventos El Niño/La Niña são significativos. Esta análise teve como entrada os dados de precipitação mensal das estações pluviométricas e os índices mensais de ENOS e NAO; onde, de acordo com UVO (2003) correlações iguais ou acima de 0.6 são consideradas 99% estatisticamente significativas.

Os índices ENOS e NAO foram obtidos da The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/>.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – Análise da Componente Principal (PCA)

Para identificarmos os principais padrões de variabilidade da precipitação na região da bacia do rio Mundaú foram considerados apenas o primeiro e o segundo eixo (autovetores) da PCA. Vale destacar que os índices da PCA para o 1º eixo é formado de valores positivos enquanto os do 2º eixo e adiante possuem valores tanto positivos quanto negativos.

¹ Distância Euclidiana é baseada em uma medida entre os objetos em um sistema de coordenadas cartesianas, facilmente visualizada em um gráfico bidimensional. Nesse caso a distância euclidiana pode ser descrita como a distância entre as parcelas medidas por unidade de indivíduos diferentes.

A explicação de cada eixo da PCA para o período de 1992 a 2010 estão apresentados em resumo na Tabela 3. Com os autovetores da PCA foi possível através do ARCGIS® gerar mapas que representa melhor os resultados obtidos.

Tabela 3 –Explicação de cada eixo da PCA para o período de 1992-2010

Período de Análise	Intervalo de Análise	% explicação do Eixo 1	% explicação do Eixo 2	Total Explicado
1992-2010	Anual	64,47%	12,30%	76,77%

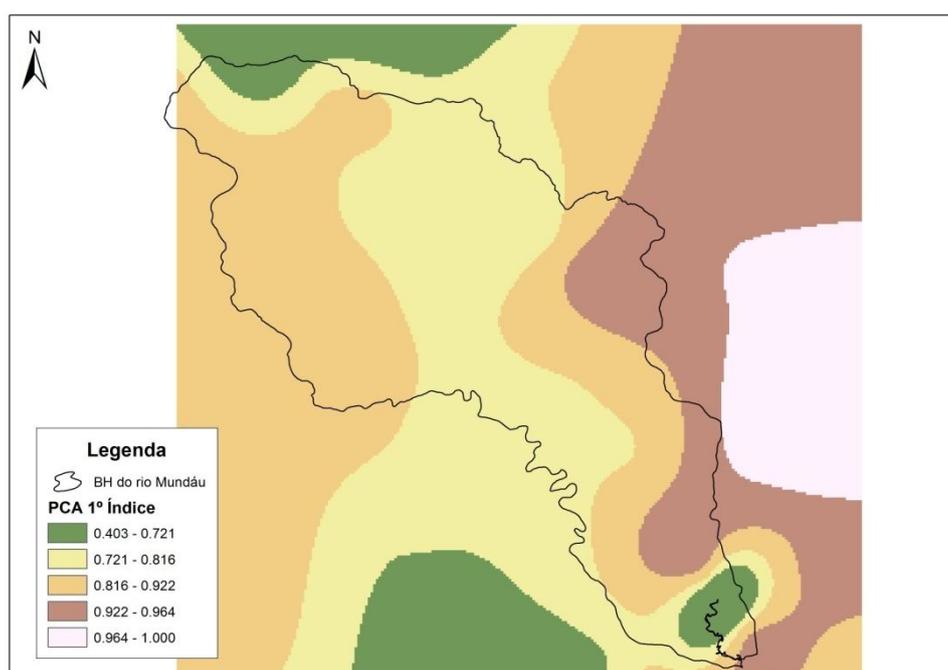


Figura 3 - Variabilidade dos autovetores do 1º eixo da PCA.

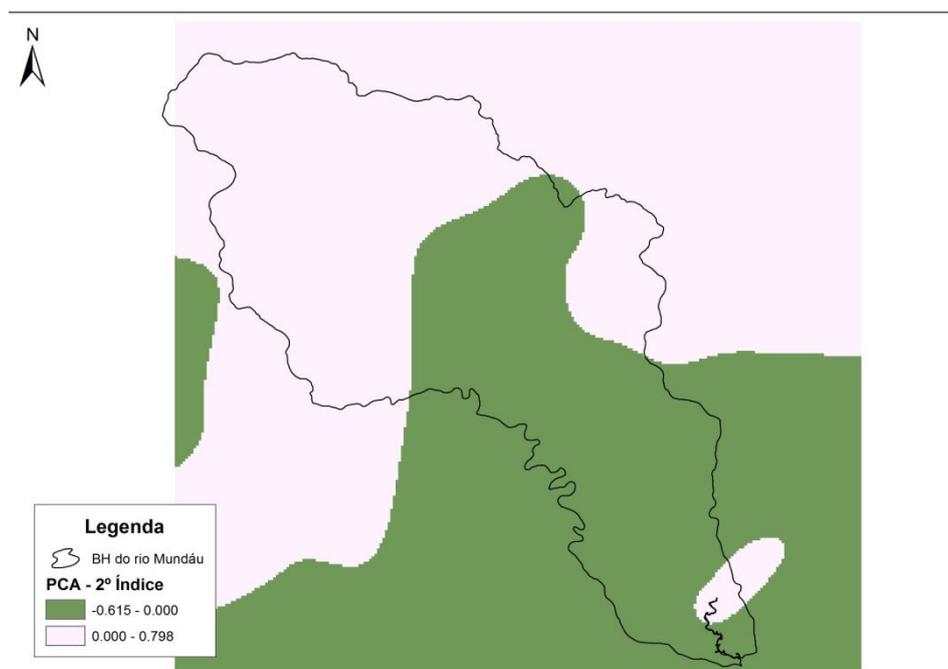


Figura 4 – Variabilidade dos autovetores do 2º eixo da PCA

Para os autovetores obtidos no 1º da PCA (Figura 3) é possível observar um padrão no comportamento, onde os postos de uma forma geral apresentam índices de correlação elevados, com predominância de valores entre 0,7 a 0,9. Logo há uma forte evidência devido a um padrão comum dos postos que a principal causa da variação da precipitação na bacia do rio Mundaú é explicada pelas condições climáticas distintas que a região possui, onde a parte baixa da bacia está em uma região de mata atlântica no litoral, a parte alta compreende uma região de semi-árido e sua parte média uma área de transição dita agreste. Assim a PCA sugere que a maior parte da variação na precipitação está sujeita as condições naturais das diferentes sub-regiões da bacia.

Os autovetores do 2º eixo (Figura 4) os índices se comportam de uma forma bem distinta criando duas áreas na bacia, uma na parte alta (autovetores positivos) e outra na parte baixa (autovetores negativos). Essa distinção pode ser devido a diferente forma que eventos como ENOS influencie a bacia, mudando padrões de vento na região, provocando mudanças na precipitação. Portanto o segundo índice da PCA sugere a influência de eventos climáticos, mas também pode haver interferência da topografia que ocasionaria chuvas orográficas, no entanto, vale salientar que o 2º eixo explica uma parcela de 12,3% o que pode não ser determinante para alterar fortemente padrões de precipitação.

5.2 – Análise de Cluster

A análise de cluster foi realizada utilizando os cinco primeiros índices principais obtidos da PCA, onde a explicação da variabilidade passa a ser 90,22%.

O programa PAST[®] gera os dendogramas (Ver Figura 5) com base nos autovetores da PCA

e correlaciona os postos que possuem as mesmas características possibilitando a geração de grupos das estações pluviométricas que estão sobre a mesma condição de variabilidade na região.

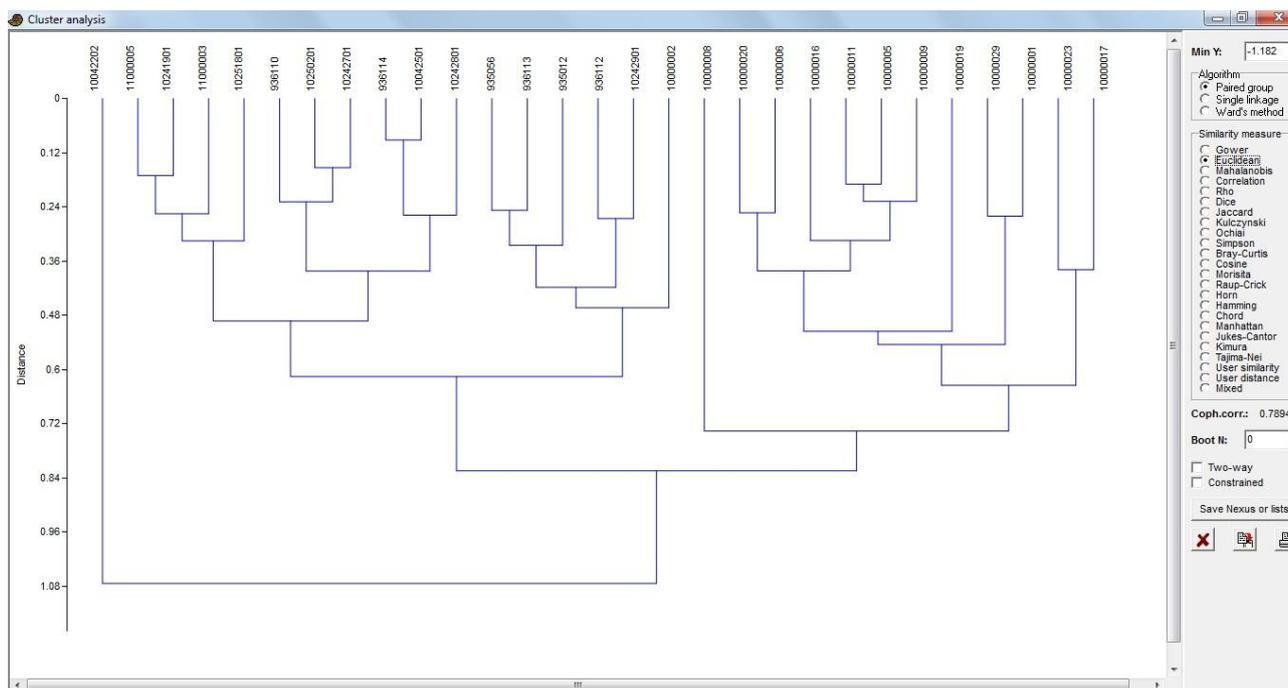


Figura 5 – Dendrograma de correlação dos postos pluviométricos para geração dos grupos.

Para o período de análise de 1992 a 2010, os grupos gerados foram 8 (oito) e podem ser vistos na Figura 6. Os grupos gerados mais uma vez distinguem as regiões existentes na bacia, onde grupos distintos atuam na parte baixa (bolas verdes claras e azuis) e alta da bacia (bolas marrons pretas), mas no meio da bacia há uma concentração de vários grupos (4 grupos agindo ao longo de toda parte média da bacia do rio Mundaú), possivelmente por se tratar de uma região de transição onde as características não são tão bem definidas como as outras duas partes da bacia (parte alta uma área de caatinga e a parte baixa uma área litorânea e também de mata atlântica - zona da mata), o que mais uma vez sugere uma forte influência natural das diferentes sub-regiões de climas diferentes que a bacia possui.

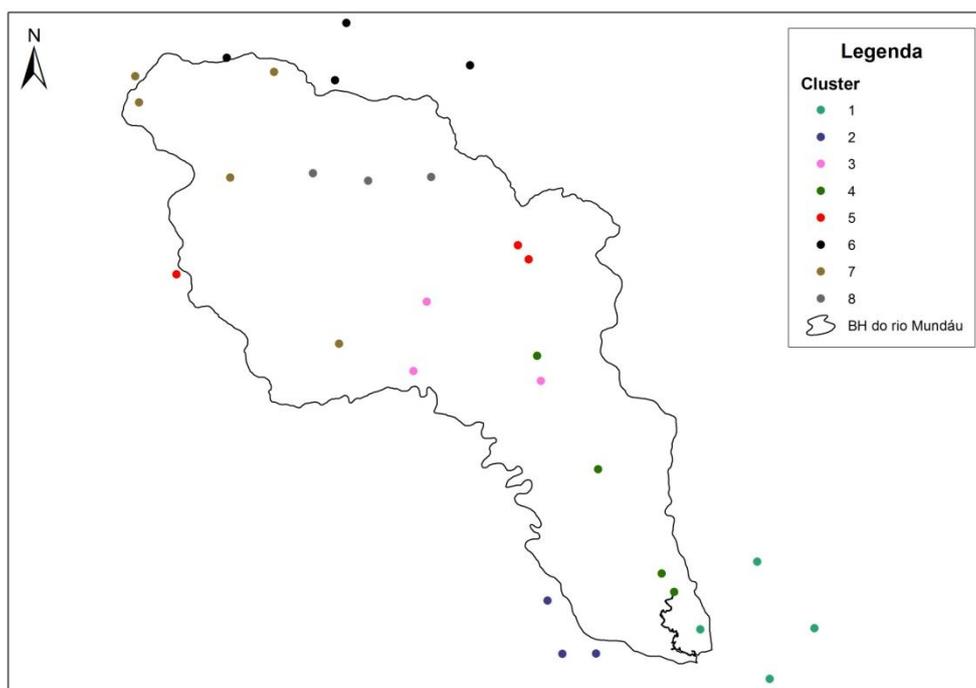


Figura 6 – Resultado da Análise de Cluster.

5.3 – Correlação

A correlação foi realizada para os eventos de ENOS e NAO para o período de 1992 a 2010 utilizando os dados mensais para correlacionar com as chuvas mensais para cada estação pluviométrica individualmente.

Para a correlação de Perason, os valores encontrados não sugeriram muita influência para o ENOS e NAO. A Figura 7 e a Figura 8 trazem as correlações com os índices ENOS e NAO respectivamente plotados para os postos distribuídos na região.

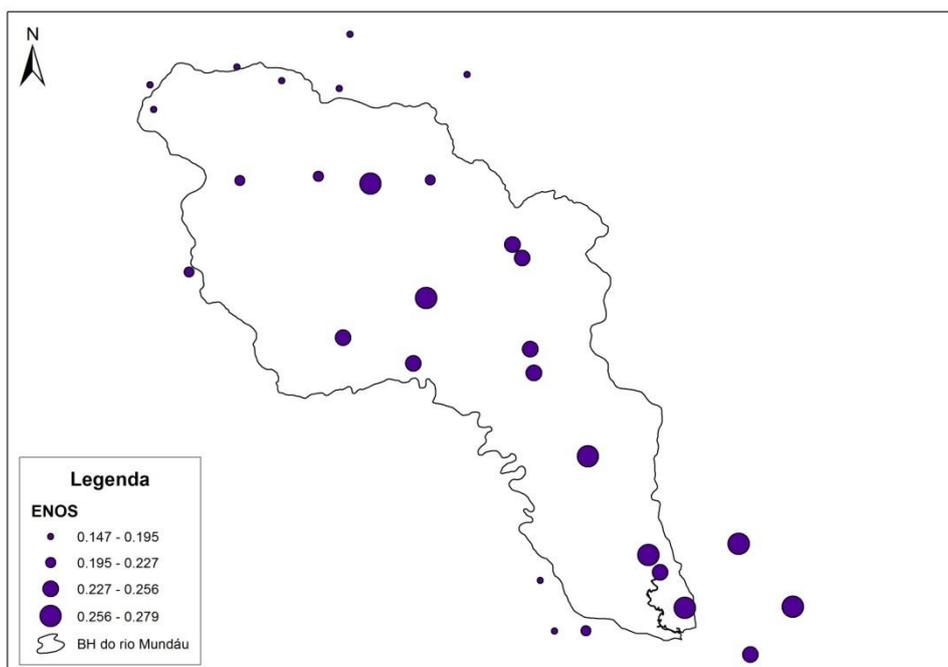


Figura 7 - Correlação da precipitação com os índices ENOS

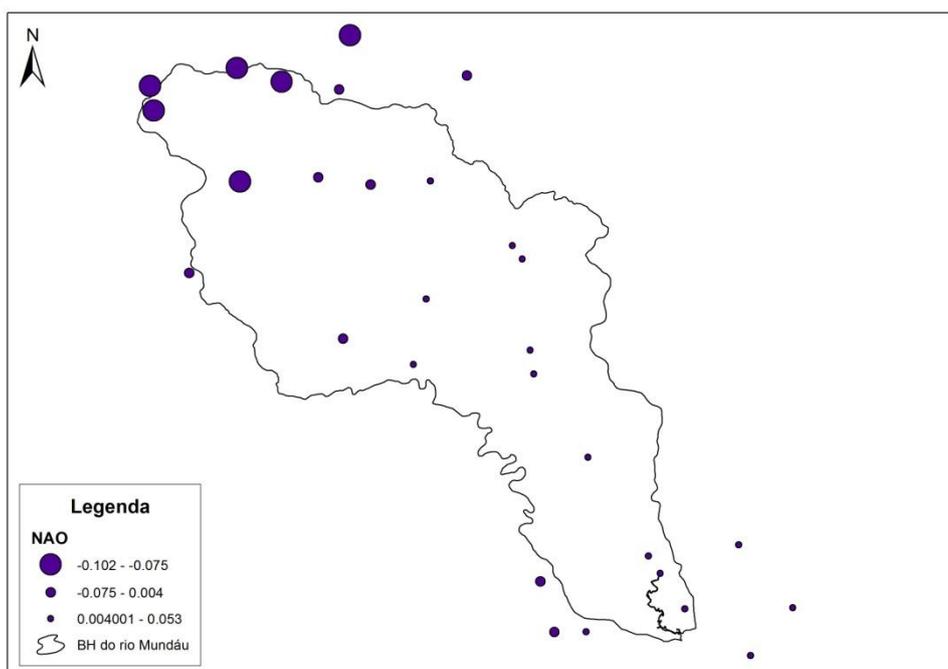


Figura 8 - Correlação da precipitação com os índices NAO

As correlações encontradas para o ENOS apresentaram os maiores índices na ordem de 0,28 que não são estatisticamente bem representativos, os valores maiores da correlação se concentraram nas estações pluviométricas da parte baixa da bacia sugerindo que esta região é quem está mais propícia as mudanças oriundas deste fenômeno, as demais regiões os índices estiveram entre 0,21 para a parte média da bacia e os menores índices se concentraram quase que totalmente no alto da região. Já a NAO não apresentou dados bem correlacionados, sugerindo que não influem sobre a região, seus maiores índices de -0,11 se concentraram totalmente na parte alta da bacia mas pouco ou nada dizem se realmente atuam nesta região.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisar a influência de eventos climáticos em uma determinada região pode nos dar respostas sobre o comportamento da precipitação, entendendo melhor as questões de variabilidade através de métodos estatísticos que possibilitem uma relação dos dados de chuvas com fenômenos que possivelmente interferem no regime de precipitação, como o El Niño (La Niña).

Para a bacia do rio Mundaú, as análises estatísticas de PCA, Cluster e Correlação de Pearson aplicadas na precipitação, sugeriram um possível comportamento desses fenômenos climáticos na área de estudo.

A PCA realizada entre os postos pluviométricos da região nos sugeriu através da explicação dos seus eixos principais quais as possíveis questões mais relevantes que contribuem na variabilidade da chuva. Esta análise indicou que possivelmente a diferença climática que existe na região (zona da mata, semi-árido) e a topografia (cabeceira dos rios acima de 800 de altitude) possam ser os fatores principais da variabilidade de chuva na bacia. A correlação das séries temporais entre os postos e os eventos climáticos nos mostrou que eles atuam na região, principalmente na variabilidade do segundo eixo principal, no entanto, o segundo eixo explica apenas 12,3% da variabilidade total, deixando a incerteza de que se o El Niño/La Niña é realmente importante para alterar os padrões de chuva na região do rio Mundaú.

O Cluster formado a partir dos índices obtidos na PCA, utilizando seus cinco eixos principais, foi importante para nos mostrar visualmente como as estações pluviométricas estão agrupadas na região de estudo, destacando assim as áreas que possuem os mesmos padrões de precipitação. O Cluster definiu bem que de forma geral a bacia do rio Mundaú possui três grandes áreas homogêneas, uma a parte baixa da bacia que é bastante úmida e que apresenta os maiores valores de precipitação, a segunda é a região alta da bacia que já é bem seca e sofre influência do semi-árido e por fim a outra área que é a parte média da bacia onde os grupos estavam mais dispersos, diferente dos outros dois casos que se destacavam mais, já que a parte média é dita uma área de transição e nela está contida a região do Agreste. O cluster nos mostrou através destas três áreas bem distintas o porquê da PCA para o segundo eixo ser alternada.

Por fim, a Correlação de Pearson entre os dados de chuva mensal para cada posto pluviométrico e os índices de ENOS e NAO também mensais foi realizada. A NAO que está relacionada com os padrões de mudanças na Europa não apresentou correlação significativa. A razão de utilizar o índice NAO foi porque geralmente este índice está bem relacionada ao evento La Niña, no entanto, nosso estudo não apontou que o La Niña não atue na área de estudo. Já os índices

ENOS apresentaram uma correlação, no entanto, de intensidade baixa, onde seu maior índice foi de 0,30, apesar de uma correlação baixa o resultado não nos permite concluir que na região não existe influência deste evento climático interferindo nos padrões de chuva.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Séries Históricas. HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas, 2005. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: Maio de 2011.

COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica de grandes bacias. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 270. 2001. Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

COTEC CONSULTORIA TÉCNICA LTDA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú. Governo do Estado de Pernambuco - Secretaria de Recursos Hídricos. [S.l.]. 1999.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T. e GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v.11, p.2863-2880, 1998.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP. Banco de dados pluviométrico. Disponível em: <<http://www.itep.br/LAMEPE.asp>>. Acesso em: Agosto 2011.

LOPES, F. Z. Relação entre o MEI (Multivariate Enso Index) e a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 2006.

Lorentz, E.N. 1956. Empirical orthogonal function and statistical weather prediction, Science Report 1. Statistical Forecast Project, Department of Meteorology, MIT (NTIS AD 110268).

MARIN, F. R. ; SENTELHAS, Paulo Cesar ; NOVA, Nilson Augusto Villa. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña no clima de Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 15, n. 1, p. 123-129, 2000.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS - SEMARH/AL. Dados diários de chuva. Banco de Dados Hidrometeorológicos - BDHM Diretoria de Meteorologia – DMET. Maceió. 2011.

THE NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA – Índices ENOS para a região de Niño 3.4 e índices NAO. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/>>. Acessado em Junho de 2011.

TRIGO, R.M.; OSBORN. T.J.; CORTE-REAL, J. (2002) – The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. Finisterra, XXXVII, p. 5-31, 2002.

UVO, B.C. Analysis and regionalization of northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic Oscillation. International Journal of Climatology 23: 1185-1194 (2003).