



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICES CLIMÁTICOS NAS BACIAS DO RIO MUNDAÚ E PARAÍBA

Thiago Alberto da Silva Pereira¹; Denis Duda Costa²; Carlos Ruberto Fragoso Júnior³ & Suzana Maria Gico Lima Montenegro⁴

RESUMO – A variabilidade no comportamento da interação global oceano-atmosfera pode provocar mudanças em variáveis climáticas (e.g. temperatura e precipitação) em diferentes regiões. Tais alterações climáticas podem desencadear eventos extremos em escala regional. Uma maneira de registrar variações climáticas globais é através de índices climáticos, que tem o objetivo de quantificar as anomalias no processo de interação oceano-atmosfera. As estiagens, por sua vez, podem ser caracterizadas a partir de indicadores chamados índices de seca. Assim, este trabalho tem o objetivo de avaliar teleconexões existentes entre índices climáticos e a estiagem em bacias do semiárido brasileiro, bacias do rio Mundaú e do rio Paraíba, através de correlações de Pearson e de Spearman. Logo, foram utilizados quatro índices climáticos (NAO, AMO, PDO e IOS) e o índice padronizado de precipitação (SPI) para o trimestre mais seco na região de estudo. Os resultados indicaram que região mais seca das bacias possui forte correlação com anomalias de grande escala do oceano Pacífico e a região mais úmida com as anomalias do oceano Atlântico.

ABSTRACT– The variability in the behavior of the global ocean-atmosphere interaction may cause changes on climatic variables that will cause extreme events. These variations can be monitored using climate indices, which aims to quantify the anomalies in the ocean-atmosphere interactions. Drought may be featured as indicators called indexes of dry. This study aims to evaluate the teleconnections between indexes of drought and climate indices through correlations Pearson and Spearman. Soon, four climate indices (NAO, AMO, PDO and SOI) and the standardized precipitation index (SPI) for the driest quarter in the study were used. The results indicate that the driest region has strong correlation with anomalies of large-scale of Pacific ocean and wetter region with anomalies in the Atlantic Ocean.

Palavras-Chave – teleconexões, índices climáticos e índice de seca.

1) Universidade Federal de Alagoas – UFAL/ Campus Sertão, Rod. AL 145, Km 3, D. Gouveia – AL, (82) 3214-1918, thiago_alb@hotmail.com;

2) Lund University, Mollevangsvagen 6d, Cep 22240, Lund, Suécia, 46 0722805154, denisdudacosta@gmail.com;

3) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Maceió – AL, (82) 3214-1718, crubertfj@hotmail.com

4) Universidade Federal de Pernambuco- UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife – PE, suzanam@ufpe.br

1 - INTRODUÇÃO

A variabilidade interanual do clima gerada pelas mudanças no comportamento da interação oceano-atmosfera (Rasanen & Kummu, 2013; Martin-Vide, 2004) de modo global podem alterar os padrões de componentes climáticas como temperatura e/ou precipitação, acarretando prejuízos a diferentes setores da sociedade. Estas variações de padrão, também chamadas de anomalias, são monitoradas através de diversos indicadores denominados índices climáticos, uma vez que eles possibilitam uma melhor compreensão das relações físicas envolvidas entre sistemas atmosféricos de grande escala e variáveis hidroclimatológicas (Paz *et al.*, 2011).

Os índices climáticos são elementos simples de compreensão da variabilidade do clima, que relacionam diversas componentes climáticas como a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a Pressão Atmosférica, destacando-se os seguintes índices (Costa, 2014): Oscilação do Atlântico Norte (NAO), Modo Anular do Norte (NAM), Modo Anular do Sul (SAM), Oscilação Multidecenal do Atlântico (AMO), Oscilação Decenal do Pacífico (PDO) e Índice de Oscilação Sul (IOS).

As mudanças nos regimes de precipitação podem ser avaliadas através dos índices de seca, que são indicadores que caracterizam a magnitude, a duração, a severidade e a extensão espacial da seca. Consistem em equações que incluem variáveis meteorológicas e hidrológicas que, em conjunto com procedimentos estatísticos, expressam numericamente a seca (Barra *et al.*, 2002).

O estudo da correlação estatística na verificação das teleconexões (i.e anomalias climáticas em parte do globo que podem levar a outras anomalias no clima em diferentes regiões) (Siverman e Dracup, 2000) entre os indicadores de seca e índices climáticos pode ser uma ferramenta útil no entendimento da afinidade entre o comportamento global do sistema oceano-atmosfera sobre a ocorrência de secas severas em escala regional, podendo ser estabelecida uma relação possível de obter previsões. Desta forma, este trabalho tem o objetivo de avaliar as teleconexões existentes entre a estiagem e índices climáticos nas bacias do rio Paraíba do Meio e Mundaú.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Área de estudo e dados utilizados

A área estudada compreende duas bacias hidrográficas, bacia do rio Mundaú e bacia do rio Paraíba, ambas localizadas no Nordeste do Brasil. A área total compreende aproximadamente 7.283 km², compartilhadas entre os estados de Pernambuco e Alagoas. As bacias possuem características climato-fisiográficas semelhantes, com a presença do bioma Caatinga na parte alta da região, de aspecto climático semiárido e o bioma Mata Atlântica na parte baixa estendendo-se até a foz com clima tropical quente e úmido.

A região é caracterizada por uma forte variação no total da precipitação média anual, onde a parte alta da bacia tem uma média de 870 mm/ano e a parte baixa tem uma média de 2100 mm/ano (COTEC, 1999). A área é marcada também por dois períodos distintos no regime pluviométrico: um período seco de setembro a fevereiro e um período úmido de março a agosto, com concentração de 70% do regime pluviométrico anual. Destaca-se que apenas 8% do total precipitado anual distribuído entre Outubro e Dezembro.

Dados de precipitações diárias foram obtidos de três diferentes fontes: Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) e Secretária Estadual de Recursos Hídricos e Meio Ambiente de Alagoas (SEMARH - AL). No total foram utilizadas 48 estações pluviométricas, sendo 27 ANA, 17 ITEP e 4 SEMARH (Costa, 2014). A Figura 1 traz a localização da área de estudo, bem como a distribuição dos postos pluviométricos utilizados.

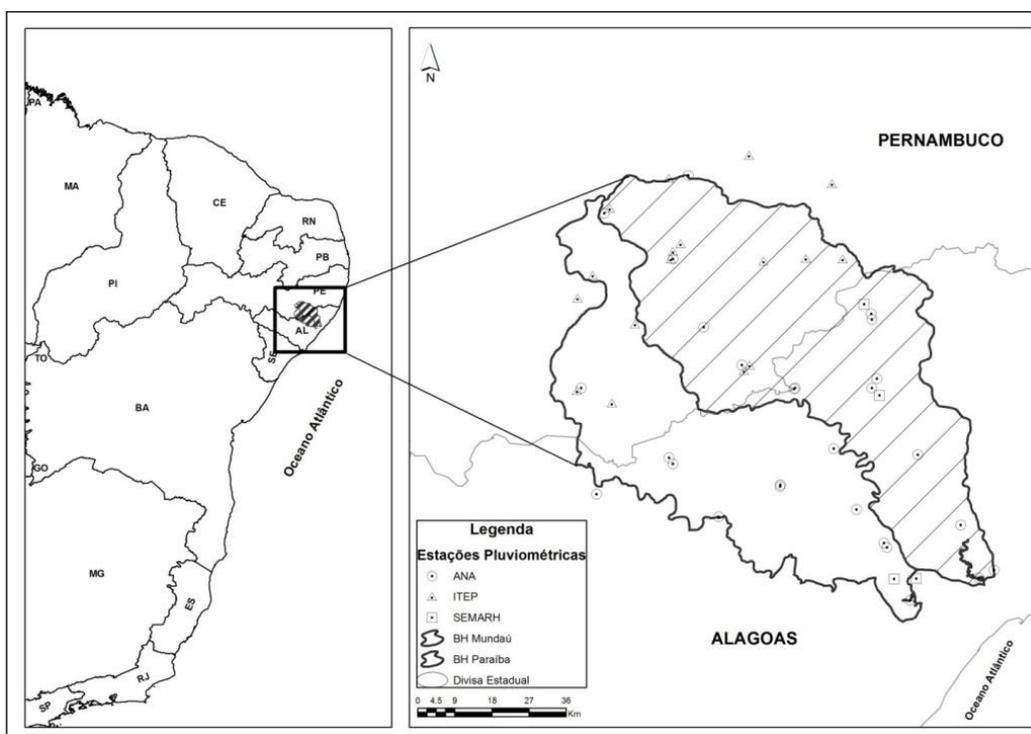


Figura 1—Área de Estudo e Estações Pluviométricas Utilizadas

As séries mensais de precipitações foram obtidas a partir das séries diárias e posteriormente foram realizados testes de consistências. Na sequência, um preenchimento de falhas foi realizado nas séries mensais através do *software* INTERPLU. Desta forma, foram obtidas as séries do trimestre mais seco da região, compreendido entre outubro e dezembro (OND) entre os anos de 1938 a 2008.

Foram selecionados quatro índices climáticos para este estudo, conforme recomendado por Costa (2014): NAO⁵, SOI⁶, PDO⁷ e AMO⁸. As séries históricas mensais referentes aos índices

⁵ NAO (Oscilação do Atlântico Norte) representa um fenômeno de redistribuição da massa atmosférica no atlântico medido pela diferença de pressão na superfície do mar entre Açores e a Islândia;

climáticos foram obtidas junto ao *The National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para o mesmo período dos dados de precipitação.

2.2 – Métodos

2.2.1 – Índice Padronizado de Precipitação

O índice padronizado de precipitação (IPP ou SPI) é um índice de seca que quantifica o excesso ou déficit de precipitações, acumulados para qualquer escala de tempo. O cálculo do SPI para cada localidade é baseado em uma série longa de dados de precipitação (no mínimo 30 anos), leva em consideração dados de precipitação que é ajustada por meio da distribuição Gama e, posteriormente transformada em uma distribuição Normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária (Heinemann *et al.*, 2010). O Quadro 1 apresenta os valores de SPI com suas respectivas categorias de seca.

Quadro 1 - Valores do SPI e as Categorias de Seca (Adaptado por Albuquerque, 2010).

Valores do SPI	Categorias de Seca
$\geq 2,00$	Extremamente Úmido
1,5 a 1,99	Muito Úmido
1,0 a 1,49	Moderadamente Úmido
-0,99 a 0,99	Próximo do Normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente Seco
-1,50 a -1,99	Severamente Seco
$\leq - 2,00$	Extremamente Seco

As escalas de tempo definidas para o cálculo do SPI refletem os diversos usos da água. A seguir, são apresentadas as interpretações do SPI nas várias escalas de tempo, de acordo com o NDMC (2002): a) SPI de 1 mês: resultados bastante similares aos da percentagem da precipitação normal mensal, reflete circunstâncias de curto prazo; b) SPI de 3 meses: fornece uma comparação entre a precipitação ao longo de três meses consecutivos de um determinado ano. Os valores do SPI de três meses refletem condições de curto em médio prazo de água no solo, tendo grande aplicação na análise de umidade disponível no solo; c) SPI de 6 meses: faz uma comparação entre a precipitação para um período específico de seis meses com o mesmo período na série histórica em análise, pode ser muito eficaz na detecção do excesso de precipitação ao longo das diferentes estações do ano e d) SPI de 12 meses: o SPI nesta escala de tempo reflete testes padrões de

⁶ SOI (Índice de Oscilação Sul) relaciona a variação da TSM e a diferença de pressão ao nível do mar no Pacífico central no Taiti e Pacífico oeste na Austrália;

⁷ PDO (Oscilação Decenal do Pacífico) se baseia na variação dos padrões de temperatura e pressão na superfície do mar no Pacífico Norte;

⁸ AMO (Oscilação Multidecenal do Atlântico) é definido a partir dos padrões de variabilidade da TSM no Atlântico norte.

precipitação em longo prazo. Este índice efetua uma comparação da precipitação de doze meses consecutivos com os mesmos doze meses consecutivos de todos os anos precedentes da série histórica de dados. O SPI 12 meses é associado às vazões, níveis de água de reservatórios, níveis de água subterrânea, os quais correspondem a escalas de tempo longas.

Então foram calculados os SPI para as diferentes escalas de tempo, para os meses de outubro, novembro e dezembro para área de estudo. O SPI foi calculado para as áreas homogêneas das bacias estudadas, a partir do método de agrupamento *k-means*, obtendo-se duas regiões que condiz a caracterização da área, ou seja, uma região mais semiárida (Rh2), na parte alta e outra com clima tropical úmido na parte baixa junto ao litoral (Rh1).

2.2.2– Correlação de Pearson e de Spearman

Para analisar a existência de correlação dos índices climáticos com o índice padronizado de precipitação, utilizou-se a função do coeficiente de correlação de Pearson ou simplesmente "r de Pearson" e o coeficiente de correlação de Spearman (ρ). A aplicação da função estatística de Pearson permite calcular o grau da correlação, que possui variabilidade entre -1 (correlação negativa perfeita) e +1 (correlação positiva perfeita) e trata-se de uma análise correlacional, que indica a correspondência linear de duas variáveis quantitativas, definida como:

$$r = \frac{C(X,Y)}{S_x \cdot S_y} \quad (1)$$

Onde: $C(X,Y) \rightarrow$ Covariância entre as séries das variáveis X e Y; S_x e S_y representam respectivamente a variância da variável X e Y.

A correlação de Spearman é mais apropriada quando visa identificar uma relação crescente ou decrescente em formato de curva das séries analisadas, é dada pela seguinte expressão:

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{(n^3 - n)} \quad (2)$$

Onde: $d_i = x_i - y_i$ a diferença de postos dos escores das duas séries e n o número de dados das séries.

Para ambas as correlações consideraram-se significativo os limites correspondentes ao grau de confiança de 95% calculado pelo teste de *t-student*.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras a seguir trazem os resultados das correlações entre o índice SPI e os índices climáticos, considerando diferentes regiões homogêneas (Rh1 e Rh2) na área de estudo. As figuras também apresentam os limites dos valores significativos de correlação (linha tracejada).

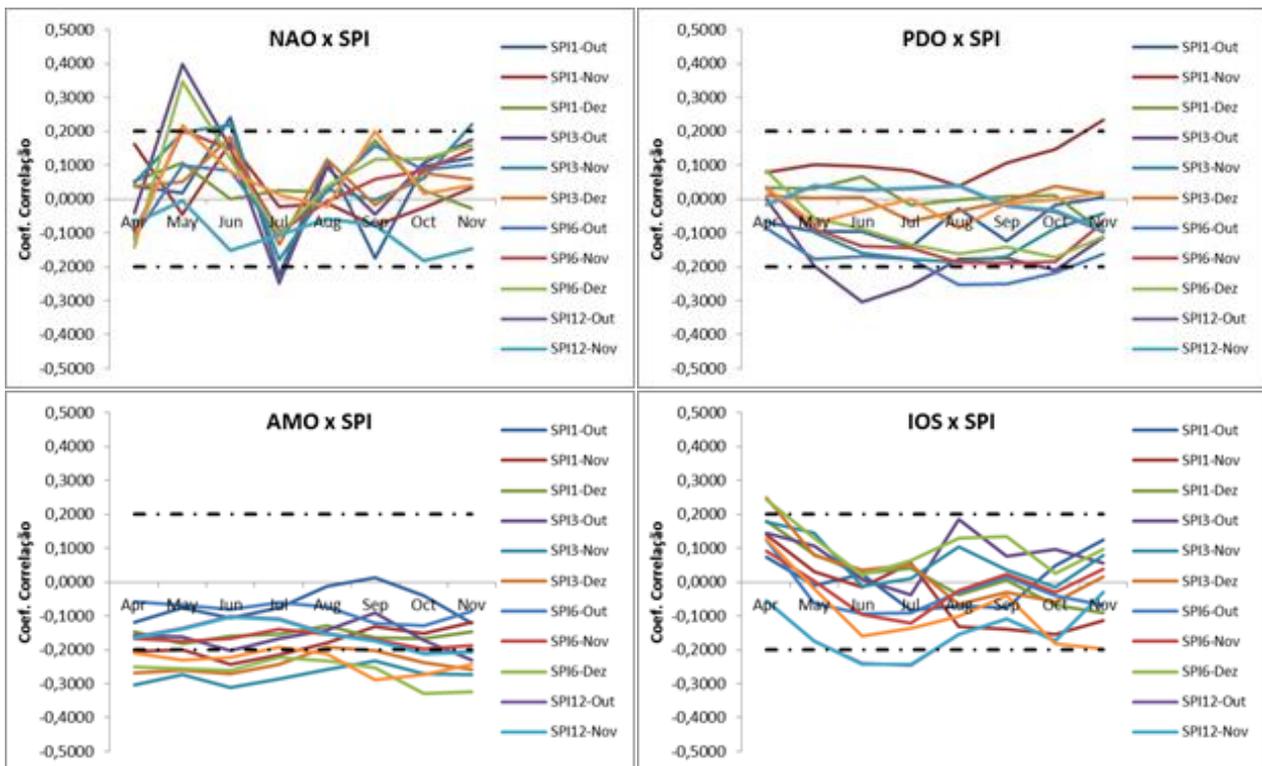


Figura 2 – Coeficiente de Correlação Linear para Rh1

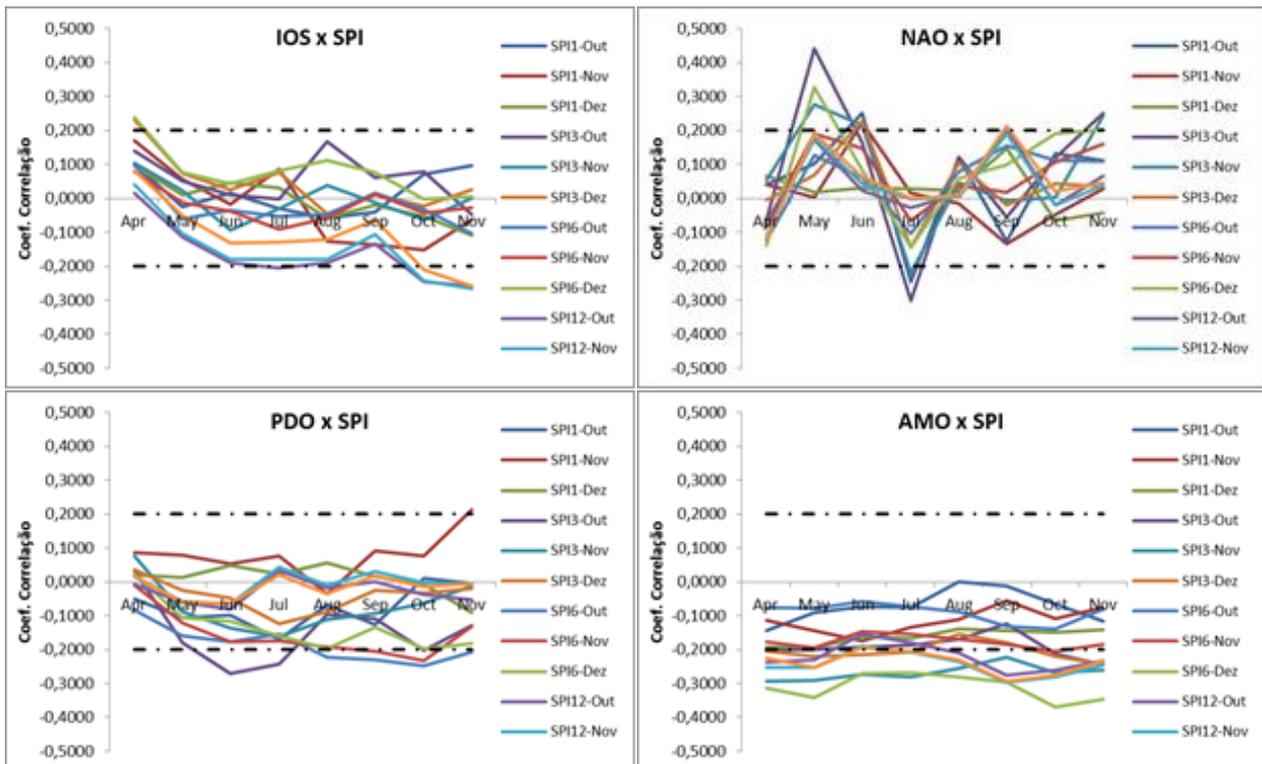


Figura 3 – Coeficiente de Correlação de Spearman para Rh1

Analisando as Figuras 2 e 3 podem-se destacar os seguintes pontos: o NAO de maio, junho e julho apresenta boa correlação com SPI1 e SPI3 de outubro; o PDO de junho e julho apresenta correlação significativa apenas para o SPI3 de outubro; o IOS de abril apresentou boa correlação com SPI3 e SPI6 de dezembro. Por fim, a precipitação da região 1 possui uma correlação negativa e significativa com o AMO de qualquer mês. Isto mostra que os fenômenos de escalas temporais

decadais parecem exercer importante influência nas estiagens na região como evidenciado por Knight *et al.* (2006), que mostrou que o AMO interfere nos padrões da Zona de Convergência Intertropical em escalas multidecenais com consequentes diminuições nas precipitações médias do Nordeste do Brasil. As Figuras 4 e 5 trazem as análises de correlação feitas para a área de estudo localizada no semiárido.

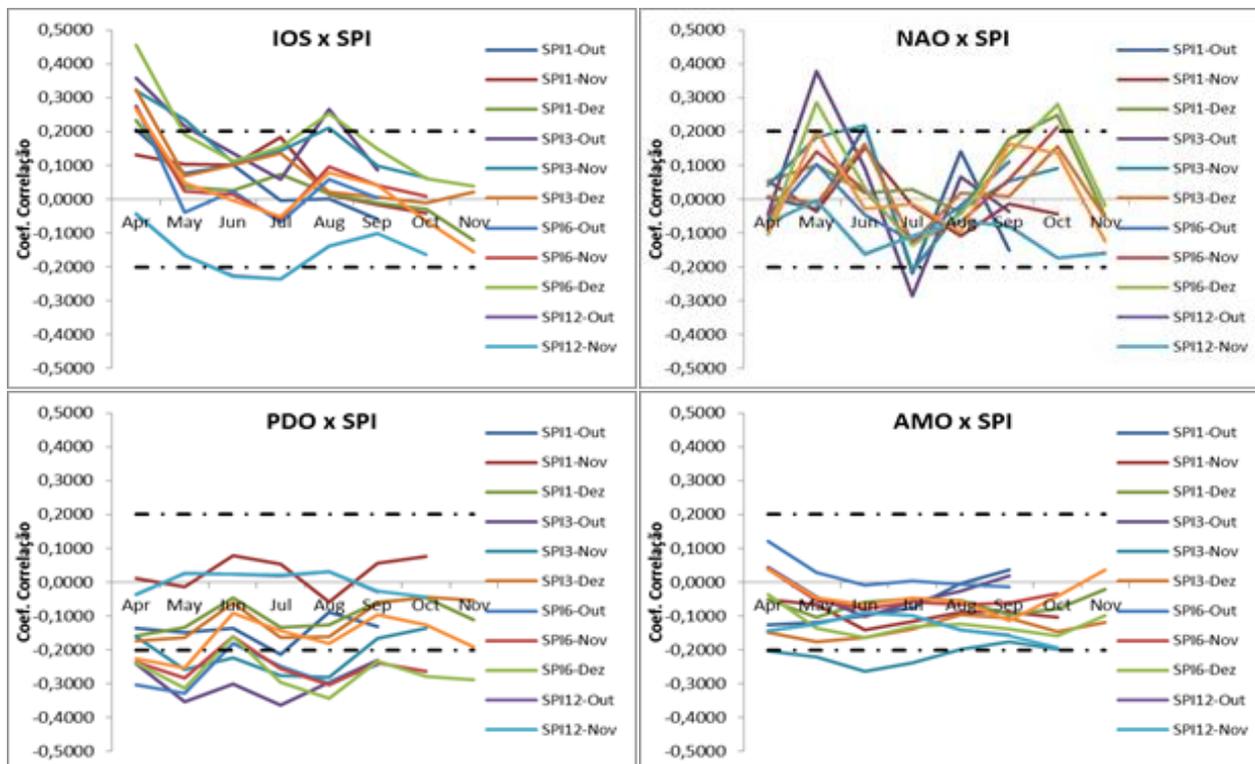


Figura 4 - Coeficiente de Correlação de Linear para Rh2

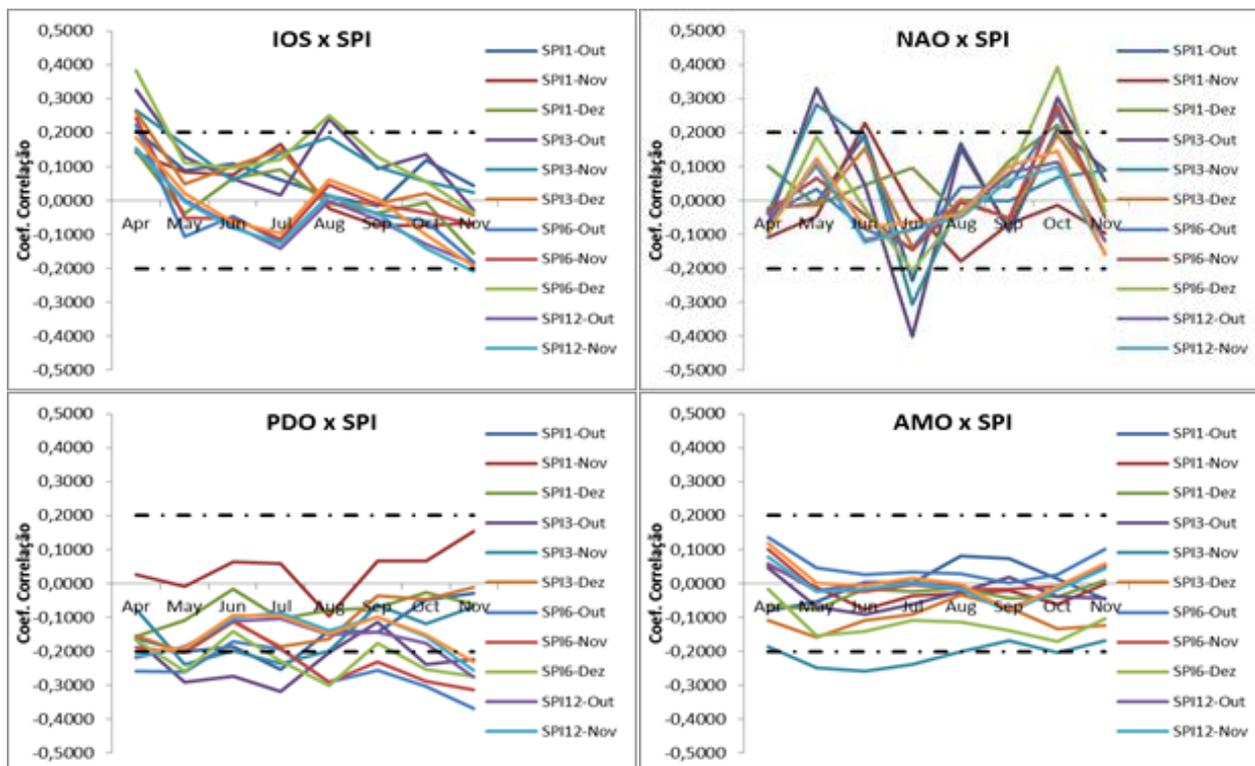


Figura 5 – Coeficiente de Correlação de Spearman para Rh2

Observando-se as Figuras 4 e 5 identificam-se as seguintes características para o regime de precipitação de Rh2: o NAO de maio, junho e julho apresenta boa correlação com SPI1 e SPI3 de outubro e novembro; os meses de maio a agosto do AMO se corresponde com o SPI3 de novembro; para o IOS destaca-se que o mês de abril possui boa correspondência com quase todos valores de SPI e os índices PDO de quase todos os meses apresentam correlação significativa (negativa), sobretudo com SPI3 e SPI6. Portanto, esta região parece ser influenciada em sua maior parte pelas condições de longa escala do Pacífico, visto as fortes correlações com o PDO, conforme Labat (2010) sugere que o PDO pode influenciar significativamente as variabilidades de precipitação no hemisfério sul. Um padrão de repetição foi observado, para toda região, o IOS, com correlações positivas ao mês de Abril em ambas as partes da bacia, indicando a influência interanual de eventos El Niño (La Niña) como sugerido em trabalhos anteriores por Uvo *et al.* (1994), Molion e Bernardo (2002).

4 – CONCLUSÕES

Na região em estudo destacou-se a boa correlação, de larga escala, do índice PDO para a porção semiárida e o AMO para a porção mais úmida e litorânea. Estes resultados podem ser corroborados a partir do conhecimento das interações oceano-atmosfera que regulam o clima na região, dado que a precipitação da região litorânea é regida pela Zona de Convergência Intertropical e os ventos alísios oriundos do oceano Atlântico. Por outro lado, a região semiárida certamente é influenciada por massas úmidas oriundas do Pacífico que ganham força quando passa pela Floresta Amazônica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq por concessão de bolsa PQ ao terceiro e quarto autor e a ANA, ITEP e SEMARH- AL pela disponibilização dos dados.

BIBLIOGRAFIA

a) Capítulo de livro

PAZ, A.R., UVO, B.C., BRAVO, J.M., COLLISCHONN, W., DA ROCHA, H.R. (2011). “Seasonal Precipitation Forecast Based on Artificial Neural Networks”, in PRADO, H.A., CHAIB FILHO, H., LUIZ, A.J.B. *Computation Methods for Agricultural Research: Advances and Applications*. New York: Hershey, 2011. Cap. 16, p.326-354.

b) Artigo em revista

BARRA T. S.; COSTA, J. N. M. da; RAO, T. V. R.; SEYDIAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M. & NETO, F. S. D. (2002). “*Caracterização Climatológica da Severidade das Secas do Estado do Ceará – Brasil*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, n. 2, v. 6, p. 266 – 272.

KNIGHT, J. R.; C. K. FOLLAND, AND A. A. SCAIFE (2006). “*Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation*”. Geophys. Res. Lett. 33: doi:10.1029/2006GL026242.

LABAT, D. (2010). “*Cross wavelet analysis of annual continental freshwater discharge and selected climate indices*”. Journal of Hydrology. pp 269-278. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.02.029.

MARTIN-VIDE, J. “*Spatial Distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain*”. International Journal of Climatology 24: 959-971 (2004), DOI: 10.1002/joc.1030.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S.O. (2002). “*Uma Revisão das chuvas no Nordeste brasileiro*”. Revista Brasileira de Meteorologia- SBMET, v.17, nº01.

RASANEN, L.A., KUMMU, M. “*Spatiotemporal influences of ENSO on precipitation and flood pulse in the Mekong River Basin*”. Journal of Hydrology (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.028>.

SILVERMAN, D., & DRACUP, J. A. (2000). “*Artificial Neural Networks and long-range precipitation prediction in California*”. Journal of Applied Meteorology, 39, 57–66. doi:10.1175/1520-0450(2000)039<0057:ANNALR>2.0.CO;2

UVO, C. R. B., REPELLI, C. A., S. ZEBIACK AND KUSHINIR, Y. (1994). “*A Study on the influence of the Pacific and Atlantic on the Northeast Brazil Monthly Precipitation Using Singular Value Decomposition (SVD)*”. To be submitted to Journal of Climate.

c) Artigo em anais de congresso

HEINEMANN, A. B.; FERNANDES, D. S.; Paz, R. L. F. & AMORIM, A. de O. (2010). “*Desempenho de índices quantificadores de seca*” in ICID+18 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions, Fortaleza, Ceará, Brazil, August 16 – 20.

c) Teses

ALBUQUERQUE, T. M. A. (2010). “*Estudo dos Processos de Gestão de Seca: Aplicação no Estado do Rio Grande do Sul*”. Tese Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

d) Dissertações

COSTA, D.D. (2014). “*Previsão Hidrológica de Longo-Prazo baseada em Componentes Climáticas em Bacias Hidrográficas Semiáridas/Tropicais*”. Dissertação Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS da Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

e) Outros

COTEC CONSULTORIA TÉCNICA LTDA (1999). “*Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú. Governo do Estado de Pernambuco*” - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas – SEMARH-AL.

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER – NDMC (2002). “*What’s Drought?– Understanding and Defining Drought*”. Disponível em: <<http://www.drought.unl.edu.whats>>. Acesso em: maio de 2014.