

de Souza Guedes, Roni Valter; de Assis Salviano de Sousa, Francisco; dos Santos Silva,
Fabrício Daniel; Rodrigues da Silva, Vicente de Paulo

Identificação e classificação espaço-temporal de eventos críticos chuvosos ou secos
ocorridos em Pernambuco

Ciência e Natura, vol. 38, núm. 1, enero-abril, 2016, pp. 413-428

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546196038>

Identificação e classificação espaço-temporal de eventos críticos chuvosos ou secos ocorridos em Pernambuco

*Identification and classification spatiotemporal of rainy or dry critical events
in Pernambuco state*

Roni Valter de Souza Guedes¹, Francisco de Assis Salviano de Sousa², Fabrício Daniel dos Santos Silva³, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva²

¹Doutorando em Meteorologia, Agência Pernambucana de Águas e Clima, Recife-PE, Brasil.
roniguedes84@yahoo.com.br

²Doutor Professor Assistente, Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil.
fabrício.silva@inmet.gov.br; vicente@dca.ufcg.edu.br

³Doutor em Meteorologia, Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília-DF, Brasil.
fassis@dca.ufcg.edu.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar os eventos secos e chuvosos historicamente ocorridos no estado de Pernambuco e diagnosticar suas intensidades e durações. A identificação e classificação de áreas suscetível a ocorrência de eventos críticos tornou-se uma necessidade frequente no contexto atual das mudanças climáticas, que vem provocando catástrofes no mundo. O diagnóstico com base nos impactos meteorológicos, agrícola e hidrológico pode ser aferido com a aplicação da metodologia do Índice de Precipitação Padronizado (em inglês SPI) para diferentes escalas temporais. O SPI foi capaz de identificar os eventos críticos ocorridos no estado de Pernambuco e destacar os principais através de suas intensidades e durações. Foram analisadas escalas desde trimestrais até bienais o que indicou o início, tendência, duração e intensidade dos eventos. Nos resultados se identificou anos com eventos chuvosos nas categorias moderada e severa, mas também eventos secos nas categorias de moderada a extrema. Observou-se que os valores das correlações entre as escalas do SPI são melhores à medida que se aproximam no tempo. A análise de agrupamento do SPI mostrou áreas bem definidas, até quatro grupos, em todas as escalas de tempo, isto indica que esses grupos têm comportamentos similares durante a ocorrência de eventos críticos.

Palavras-chave: Índice de precipitação padronizado. Eventos críticos. Agrupamento.

Abstract

The objective of this study was to analyze the dry and wet events historically occurred in the Pernambuco state and diagnose their intensities and durations. The identification and classification of areas susceptible to critical events has become a frequent need in the current context of climate change, which has caused disasters in the world. The diagnosis based on meteorological, agricultural and hydrological impacts can be measured with the application of the methodology of the Standardized Precipitation Index (SPI) for different time scales. The SPI was able to identify critical events in the state of Pernambuco and highlight the main through their intensities and durations. Scales were analyzed from quarterly to biennial which indicated the beginning, trend, duration and intensity of events. The results identified years with rainfall events in the moderate and severe categories, but also dry events in moderate to extreme categories. It was observed that the values of correlations between SPI scales are better as they approach in time. The cluster analysis of the SPIs showed well-defined areas, up to four groups, at all scales of time, this indicates that these groups have similar behavior during critical events.

Keywords: Standardized precipitation index. Critical events. Grouping.

1 Introdução

No passado, cerca de 90% da água utilizada era destinada à agricultura. Devido à expansão industrial, a partir de 1940, e o crescimento urbano e populacional, o uso da água se tornou mais significativo em outros os setores, exigindo demandas para além da sobrevivência humana, ou seja, também, para o desenvolvimento econômico e em consequência para a melhoria do padrão de vida da sociedade (BISWAS, 1997).

A identificação e classificação de áreas susceptíveis a ocorrência de eventos extremos tornou-se uma necessidade frequente no contexto atual das mudanças climáticas. Por conta de sua frequência esses eventos extremos vêm provocando catástrofes em diversos países. Esses fenômenos podem ter curta ou longa durações, com efeitos imediatos sobre a agricultura, o abastecimento de água e a situação sócio-econômica de uma região.

Em todo o Planeta, entre 1967 e 1992, as secas afetaram 50% de 2,8 bilhões de pessoas que sofreram todos os tipos de catástrofes naturais. Por causa de impactos diretos e indiretos da seca, 1,3 milhões de vidas humanas foram perdidas, de um total de 3,5 milhões de pessoas mortas por catástrofes (OBASI, 1994). Quase 50% das áreas mais populosas do mundo são altamente vulneráveis à seca. No Nordeste do Brasil, sua ocorrência é comum, principalmente na região semiárida (USDA, 1994).

Vários tipos de índices são capazes de diagnosticar a deficiência ou excesso hídrico de uma região, mas nem todos têm viabilidade de aplicação devido à escassez de dados históricos e de outras variáveis, além da precipitação. O SPI merece destaque por conta de uma metodologia que facilita a sua utilização haja vista que este índice depende apenas da precipitação pluviométrica e pode ser aplicado em muito mais pontos, e com uma base de comparação histórica maior. Além disto, ele permite classificar de forma pontual a situação hídrica de uma área e também avaliar-la em diferentes escalas temporais e, classificar em cada escala, situações de eventos extremos, severos,

moderados e fracos nas faixas de déficit ou de excesso hídrico.

O diagnóstico da intensidade da precipitação pode contribuir para o conhecimento de eventos extremos chuvosos e seus efeitos na recomposição dos níveis de reservatórios para diversos fins, além das ocorrências de enchentes e alagamentos nos centros urbanos. Já foi comprovada a eficiência do SPI na detecção das intensidades e durações dos eventos extremos para regiões de diferentes características climáticas, inclusive em partes do Nordeste Brasileiro (MACEDO, et. al. 2010 e GUEDES, et. al. 2012) e também comparações com outros índices climáticos (BLAIN & BRUNINI, 2007; ZHANG & JIA, 2013; QIN, et. al. 2014; MASUD, et. al. 2015), além da capacidade do SPI em se associar com outras metodologias (HAO, et. al. 2013, BELAYNEH, et. al. 2014, GOCIC, et. al. 2014).

Avaliações podem ser direcionadas para regiões específicas através do agrupamento hierárquico dos índices de chuva, identificando subáreas com diferentes características, que sofrem efeitos semelhantes quando sob ocorrência de eventos extremos. Para o estado de Pernambuco é importante observar esta divisão uma vez que existem áreas de planície litorânea com até 200 metros de altitude e que sofrem interferência da proximidade oceânica e áreas montanhosas com até 1000 metros que alteram os padrões de chuva. Além disto, o Estado possui tantos 88% do território em região semiárida.

O objetivo deste estudo foi identificar e analisar os eventos secos e chuvosos historicamente ocorridos no estado de Pernambuco e diagnosticar suas intensidades e durações em várias escalas temporais do SPI.

2 Materiais e métodos

2.1 Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

Aqui será utilizado o Índice de Precipitação Padronizado (em inglês *SPI*) nas escalas

temporais de 3, 6, 12 e 24 meses para identificar e analisar os eventos secos ou chuvosos. McKee et al. (1993) desenvolveu o *SPI* para quantificar déficits de precipitação em múltiplas escalas temporais. Este índice é computado pelo ajuste de uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação na escala temporal de interesse. Essa tarefa é realizada separadamente para cada mês (seja qual for a base temporal da precipitação) e para cada local. Os valores das probabilidades acumuladas são transformados pelo uso de uma distribuição normal padronizada. A distribuição gama é definida pela sua frequência ou função densidade de probabilidade como:

$$g(x) = \frac{1}{B^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/b} \quad [1]$$

em que $a > 0$ é o parâmetro de forma; $b > 0$ é o parâmetro de escala e $x > 0$ é a quantidade de chuva precipitada. A função Gama é dada por:

$$\Gamma(a) = \int_0^\infty y^{a-1} e^{-y} dy \quad [2]$$

Os parâmetros a e b da função densidade de probabilidade Gama são estimados para cada

estaçao e escala de tempo de interesse. Para estimativa dos parâmetros a e b , utilizam-se as soluções de Máxima Verossimilhança, estimados pela aproximação de Thom (1958). Os parâmetros resultantes serão utilizados para obtenção da probabilidade de chuva para um determinado mês e para o período de tempo desejado para o posto em estudo. Logo, a função acumulada de probabilidade Gama é:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{a})} \int_0^x t^{\hat{a}-1} e^{-t} dt \quad [3]$$

A função Gama $\Gamma(a)$ não é definida para $x = 0$, mas como a amostra dos dados de precipitação pode conter zeros, a probabilidade acumulada é dada da seguinte forma:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad [4]$$

em que q é a probabilidade de ter um zero. Se m for o número de zeros numa série de precipitação. A probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada na variável aleatória normalizada (Z) com média 0 e desvio padrão 1, que corresponderá ao valor de SPI. As equações de 5 a 8 completam o cálculo do índice.

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad [5]$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad [6]$$

Em que, $c_0 = 2,515$; $c_1 = 0,803$; $c_2 = 0,010$; $d_1 = 1,433$; $d_2 = 0,189$; $d_3 = 0,001$;

$$\text{em que } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad [7]$$

$$\text{e } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad [8]$$

Como o SPI é normalizado, climas úmidos e secos podem ser representados. Desse modo, esse índice pode monitorar tanto os períodos úmidos quanto os secos (TSAKIRIS & VANGELIS, 2004). Análises pontuais ou regionais de valores do índice SPI em diversos postos fornecem informações locais dos impactos de diferentes tipos de seca. De acordo com Pires (2003), os primeiros efeitos são oriundos da seca meteorológica, que aponta déficits da precipitação em relação a valores normais, mostrando um desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação. Depois ocorre a seca agrícola que reduz a disponibilidade hídrica no solo, prejudicando as culturas existentes. Quando a duração aumenta surge a seca hidrológica, que se relaciona com os níveis médios de água nos reservatórios superficiais, subterrâneos e depleção de água no solo.

A Tabela 1 apresenta a classificação para períodos secos ou chuvosos do índice SPI com a respectiva probabilidade de ocorrência.

Tabela 1. Classificação do índice SPI e sua probabilidade de ocorrência

Valor do SPI	Categoría	Probabilidad e %
≥ 2,00	Chuva extrema	2,3
1,99 a 1,50	Chuva severa	4,4
1,49 a 1,00	Chuva moderada	9,2
0,99 a 0,50	Chuva fraca	15,0
0,49 a - 0,49	Normal	38,0
-0,50 a - 0,99	Seca fraca	15,0
-1,00 a - 1,49	Seca moderada	9,2
-1,50 a - 1,99	Seca severa	4,4
≤ -2,00	Seca extrema	2,3

Fonte: McKee (1993), Hughes & Saunders (2002)

O SPI até 3 meses reflete as condições de água no solo em curto e médio prazos e fornece a estimativa da precipitação sazonal e é sensível às grandes variações na magnitude da chuva (DOMINGOS, 2006). A informação do SPI-6 meses está associada às anomalias das reservas de água e às vazões dos rios. O SPI-9 meses fornece indicação de padrões de precipitação, uma vez que as secas podem demorar uma estação do ano ou mais para ocorrerem. O SPI-12 meses está diretamente associado à escassez de água em forma de vazão, e aos níveis de água dos lençóis subterrâneos. É interessante observar que as escalas maiores do SPI tendem a esconder algumas ocorrências de precipitação, pois valores positivos ficam inseridos na precipitação acumulada de cada período.

2.2 Análise de Agrupamento (Cluster Analysis)

A técnica de Análise de Agrupamento escolhida foi à hierárquica, em que são produzidas sequências de partições em classes cada vez maiores, e a união de dois grupos numa determinada etapa produz um dos agrupamentos da etapa superior o que caracteriza o processo hierárquico. Na análise de agrupamento, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação da função de agrupamento. De acordo com Wilks (2006) esta função é usada como critério para medir a distância entre dois pontos x_i e x_j ou para estabelecer o quanto eles são parecidos. Aqui, para medir a dissimilaridade entre dois indivíduos x_i e x_j utilizou-se a distância euclidiana, expressada na equação 9, em que $x_{j,k}$ representa os valores mensais dos locais x_i e x_j e P_i é o peso associado a cada indivíduo.

O método de Ward (1963) procura por partições que minimizem a perda associada a cada agrupamento (EVERITT, 1974). Essa perda é quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que está contido. A soma dos quadrados dos desvios de p indivíduos organizados em k grupos conforme a equação 10, em que n é o número total de elementos do agrupamento e y_i é o n -ésimo elemento do agrupamento.

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{k=1}^n P_i (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad [9]$$

$$SQD = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \quad [10]$$

Nos métodos hierárquicos, o dendrograma que é a representação gráfica de uma árvore de classificação, representa a ordem em que os dados foram agrupados. A obtenção dos grupos pode ser feita pelo dendrograma a partir do critério da inércia e conhecimento prévio da região em estudo.

Neste estudo utilizaram-se os dados mensais de precipitação pluvial, no período de 1963 a 2013, cedidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Foram selecionados 57 postos pluviométricos com séries longas (maiores do que 50 anos) consistentes e espacialmente bem distribuídas no estado de Pernambuco, conforme a Figura 1.

Os valores acumulados anuais de precipitação são maiores na faixa leste entre o Litoral e a Zona da Mata, acima dos 1000 mm, conforme mostra a Figura 2. Na Região do Agreste adjacente à Zona da Mata, a faixa é de 600 a 800 mm, com pequenas áreas com valores acumulados menores na parte Agreste Central e outra faixa com valor acumulado acima dos 800 mm na parte do Agreste Meridional. O Sertão compreende toda a parte oeste e central do Estado. É a região com maior variabilidade pluviométrica com valores acima dos 400 mm na parte sul, o Sertão do São Francisco, e valores acumulados acima dos 600 mm na parte norte, no Sertão do Araripe e do Pajeú.

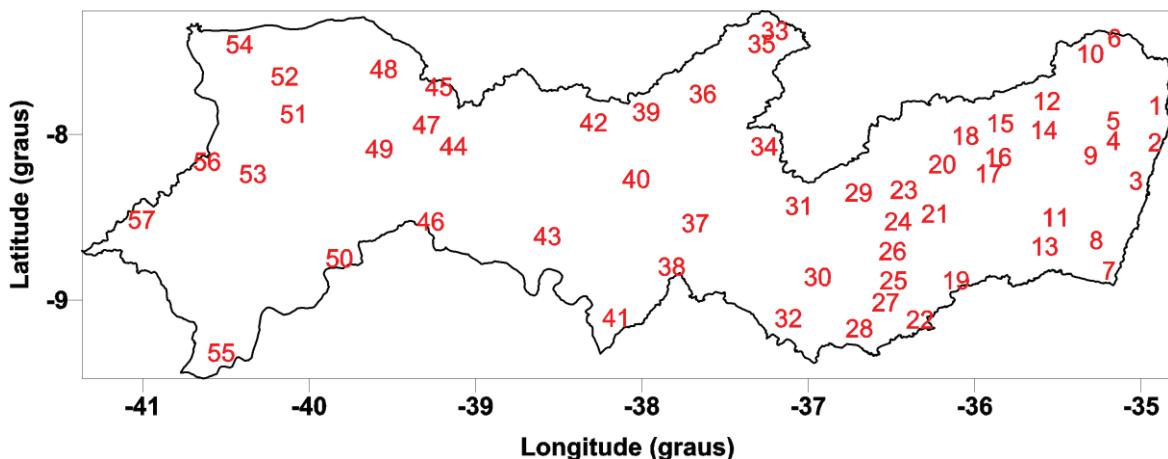


Figura 1. Distribuição espacial dos postos pluviométricos selecionados

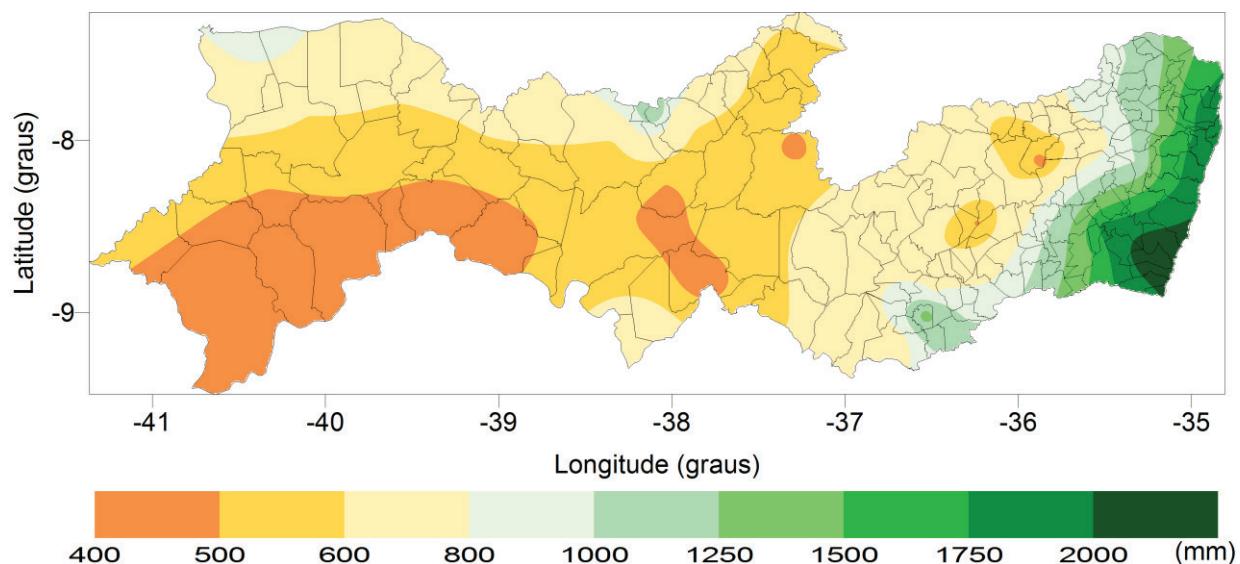


Figura 1. Distribuição espacial da precipitação pluvial anual.

3 Resultados e discussão

3.1 SPI Médios para cada escala

Cada estação apresenta sua peculiaridade e sua alternância entre períodos chuvosos ou secos, varia suas intensidades e durações, mas quando um evento é intenso sempre atinge áreas adjacentes e se for de caráter climático ela é identificada em toda região e em qualquer escala temporal. Assim, o SPI identificou os eventos chuvosos e secos nas escalas temporais de 3, de 6, de 9, de 12 e de 24 meses, para cada um dos pontos selecionados no estudo.

Verificou-se que o SPI na escala de 3 meses varia rapidamente devido a característica natural das chuvas de alta variabilidade temporal, mas essa escala pode identificar com maior exatidão o início e o fim dos eventos. Os valores médios do SPI de 3 meses, de todos os postos, apesar de suavizar eventos pontuais extremos facilitam a indicação dos eventos mais significativos ocorridos de forma generalizada.

Os valores médios dos SPIs de 3 meses podem ser visto na Figura 3, na qual observa-se a variabilidade trimestral, com picos positivos e negativos de curta duração, também alguns com maior duração, mesmo nessa escala temporal, que implicam em períodos consecutivos de déficit hídrico e indicam o início de eventos mais intensos. Observa-se que nos finais dos anos de 1963, 1973 e em 1984 houve valores positivos sequenciais próximos à categoria de chuva severa, enquanto que no final de 2003 ocorreu o maior pico positivo, com SPI próximo de 2,0, porém, com duração rápida. Os efeitos dos eventos sequenciais serão destacados em escalas maiores do SPI, enquanto os de curta duração serão atenuados.

Pelos valores negativos do SPI podem-se identificar várias secas curtas, mas os principais déficits iniciaram no início de 1993, 1998 e 2012 e 2013 se entendidos para os meses seguintes. Observa-se que a seca de 1993 apresentou o maior pico negativo, mas com duração menor do que as outras, ou seja, de impacto menos prolongado.

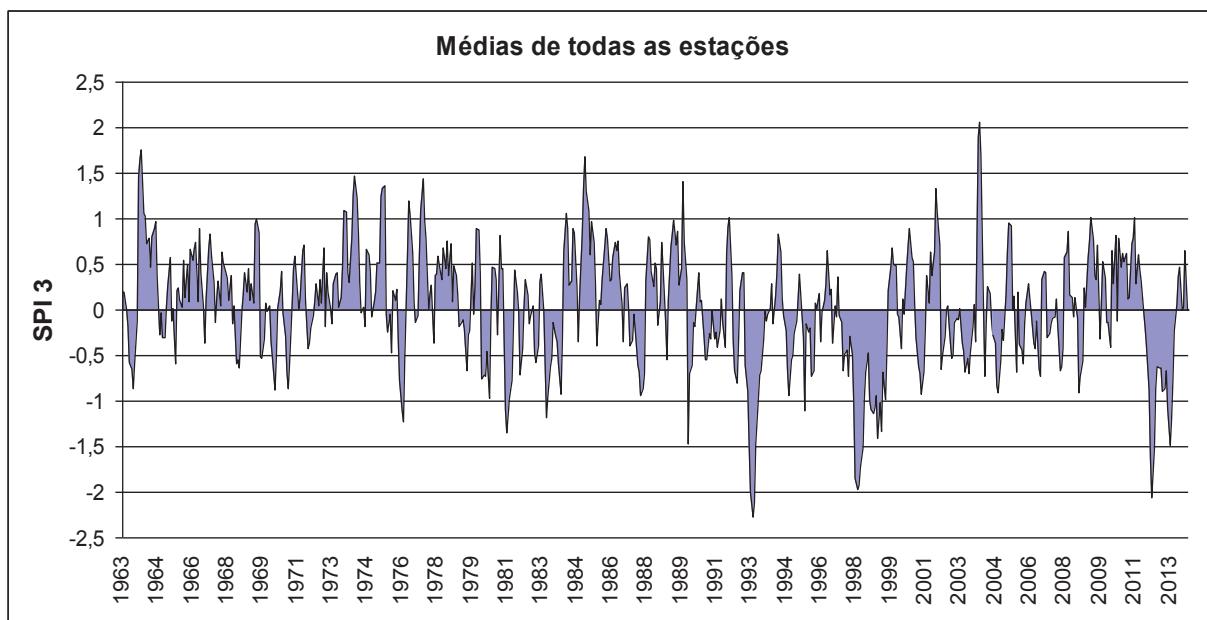


Figura 3. Distribuição dos valores médios dos SPIs de 3 meses para todos os postos.

Na análise do SPI de 6 meses pode diagnosticar a quadra chuvosa e sua transição. A permanência de um evento crítico nessa escala temporal garante a informação da qualidade hídrica, pois valores significativos indicam comprometimento ou favorecimento do regime pluviométrico. A Figura 4 mostra atenuação de alguns eventos detectados na escala menor devido à aleatoriedade das chuvas. Os principais eventos destacados na escala trimestral permaneceram e mantiveram sua intensidade,

portanto, esses eventos podem ser considerados críticos. Foi possível verificar no SPI-6 que alguns eventos considerados moderados pela escala trimestral passaram para a categoria fraca na escala semestral, reduzindo seu efeito sobre a região; mas nos anos 1977, 1989 e 2002 ainda atingiram a categoria de chuva moderada. Já em 1981 foi identificada uma seca de categoria moderada de forma mais definida do que em 1983.

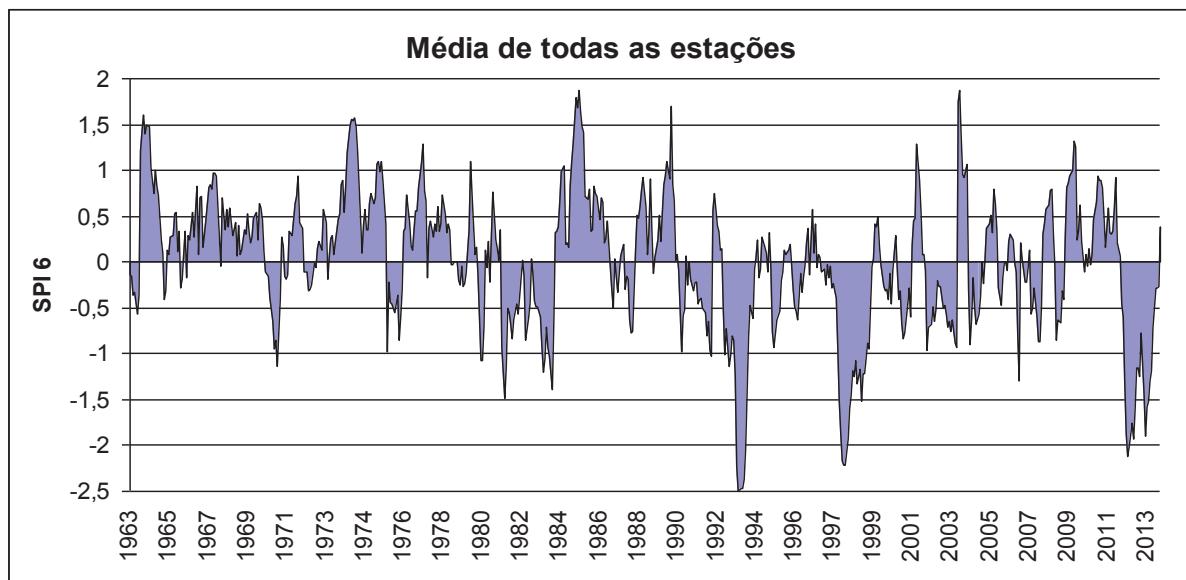


Figura 4. Distribuição dos valores médios dos SPIs de 6 meses para todos os postos.

A escala anual indicada pelo SPI de 12 meses é a mais completa por conter todo o regime pluviométrico de todos os postos. Além dos eventos indicados aqui terem durações maiores, seus efeitos têm impactos mais marcantes sobre as áreas atingidas. Eventos críticos nessa escala a partir da categoria moderada já condicionam o potencial agrícola e hídrico.

Na Figura 5 observou-se um pequeno atraso temporal no início dos eventos. Por essa escala representar os valores acumulados de 12 meses, se identificou eventos de chuvas moderadas em 1964 e 1974, iniciados em 1963 e 1973. Esses

Também foram detectados nos SPIs de escalas menores. O maior valor médio do SPI para evento de chuva foi identificado em 1985, na categoria de chuva severa e com intensidade de 1,518. Pelo lado dos valores negativos do índice, as secas moderadas permaneceram e foram diagnosticadas nos inícios de 1982 e 1984 devido aos valores acumulados nessa escala. Os destaques foram para os anos de 1993 e 1998, com vários meses na categoria de seca extrema; e também o ano de 2012 que foi detectada a categoria de seca extrema durante 2 meses.

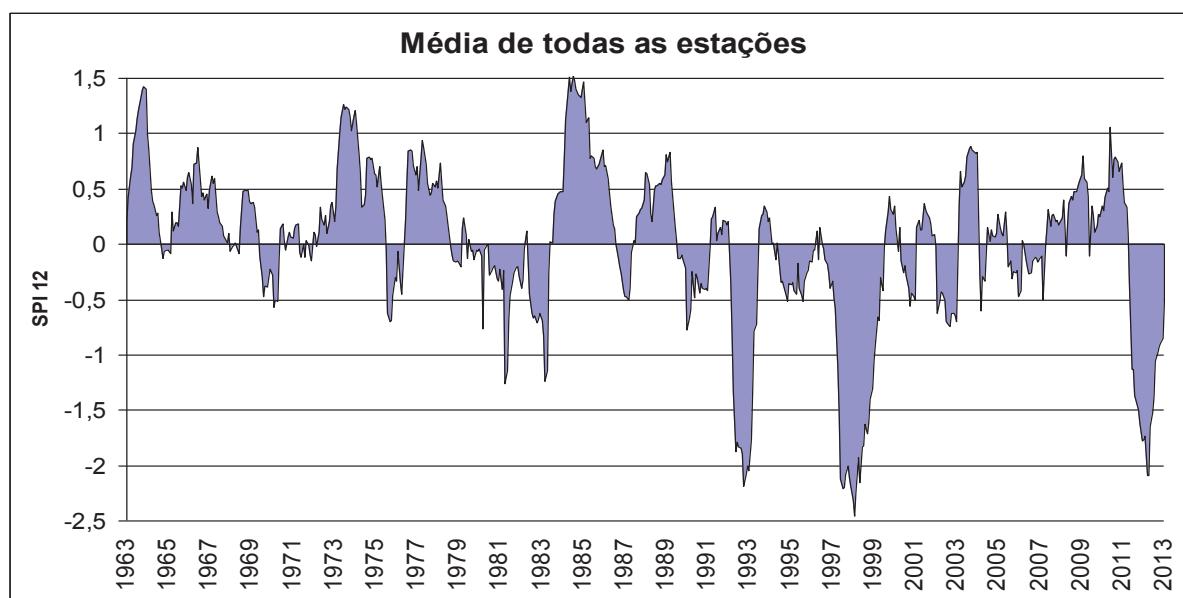


Figura 5. Distribuição dos valores médios dos SPIs de 12 meses para todos os postos.

A escala bienal representada pelo SPI de 24 meses identificou déficits ou excessos prolongados. A sua base de comparação considera duas estações chuvosas e duas estações secas. A Figura 6 mostra dois eventos positivos de categoria chuva moderada em 1975 e outro mais forte em 1985/1986. Enquanto que pelo lado negativo foram identificados três

eventos, um em 1994 de categoria severa e duração curta, outro em 1999 na categoria extrema e prolongada e o último em 2013 na categoria severa e persistente. Observa-se que todos os eventos foram identificados com um ano de atraso de sua ocorrência. Por esse motivo é necessário ter cuidado com esta escala, haja vista que o valor encontrado se refere aos 24 meses anteriores.

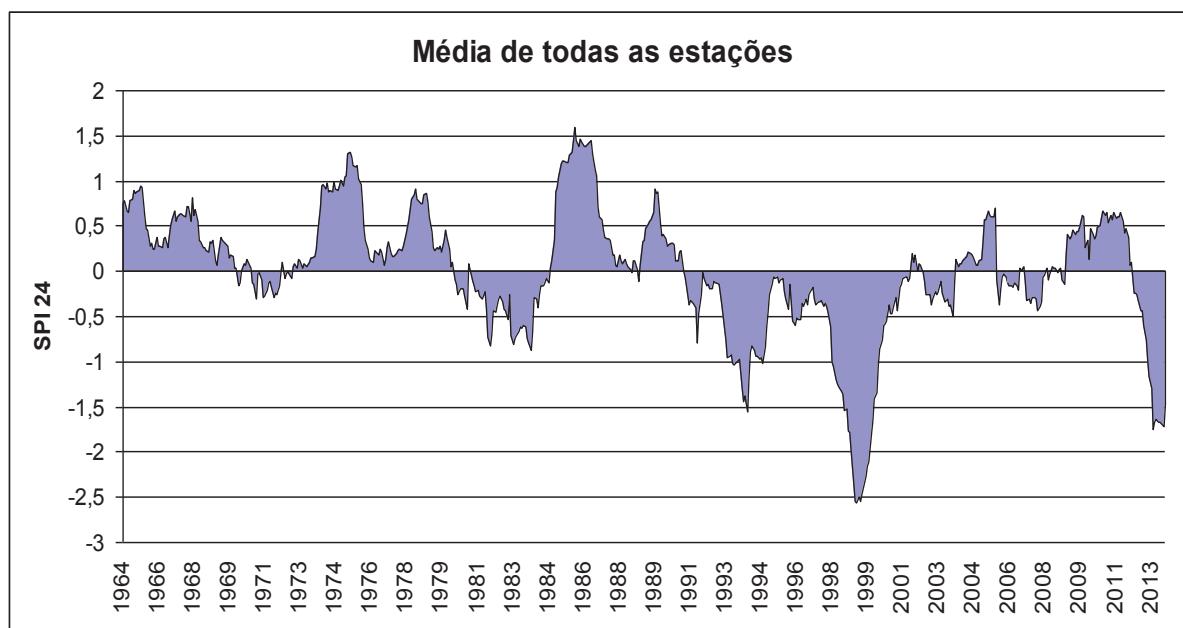


Figura 6. Distribuição dos valores médios dos SPIs de 24 meses para todos os postos.

3.2 Distribuição do SPI de forma pontual

Na avaliação de índices de eventos extremos em uma região é imprescindível que se tenha uma boa rede de observação, isto fica evidente na análise de pontos individuais. As características isoladas interferem diretamente na qualidade das chuvas. Neste estudo o SPI se mostrou vantajoso por fornecer as variações de cada um dos postos pluviométricos, mostrando suas peculiaridades e determinando os pontos onde os índices foram mais intensos e as maiores durações.

De maneira geral, todos os postos apresentaram comportamento semelhante com o valor médio da região, mas eventualmente alguns não apresentaram eventos críticos identificados nos demais postos. Por essa razão, no momento da tomada de decisão para o

gerenciamento dos recursos hídricos é importante que se avalie detalhadamente cada um dos valores pontuais. Para mostrar esses deslocamentos do valor médio, foram selecionados três postos com diferenças mais significativas do valor médio do SPI de 12 meses, conforme a Figura 7, o posto de Recife apresentou secas extremas nos anos de 1968 e 1987, não comuns aos demais postos, o posto de Garanhuns com um período muito longo de déficit iniciado por uma seca moderada em 1995 que se transformou em uma seca extrema em 1998 e o posto de Petrolina que também apresentou um déficit prolongado a partir de 1995, mas se destacou por detectar em 2012 uma seca extrema, muito maior em intensidade e duração do que as demais da sua série.

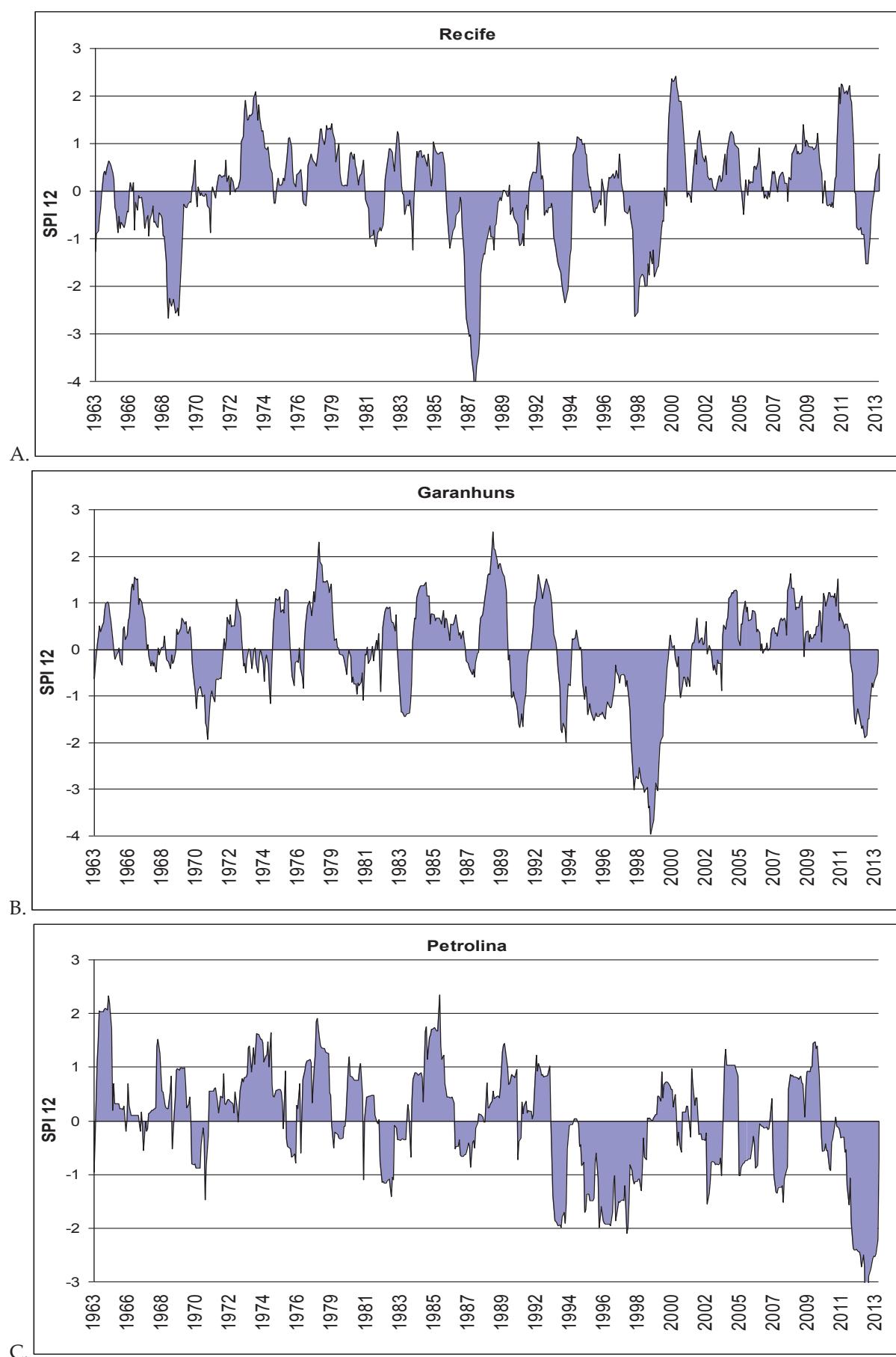


Figura 7. Distribuição dos valores médios dos SPIs de 12 meses para alguns postos específicos: A – Recife, B – Garanhuns e C – Petrolina.

3.3 Correlações entre os valores médios dos SPIs

Como discutido nas análises anteriores, a identificação do evento crítico é adiado nas escalas maiores do SPI. Assim, é natural que haja uma correlação menor entre escalas pequena e grande. Na Tabela 2 verifica-se que a média do SPI-1 tem uma relação melhor com o SPI-3 e muito ruim com o SPI-24. Observa-se que a melhor correlação é sempre com a escala mais

próxima. As melhores correlações encontradas foram entre os SPIs de 9 e 12 meses, depois entre SPIs de 6 e 9 meses. Já as correlações entre os SPIs de 3 e 6 meses foram próximas das verificadas entre os SPIs de 6 e 12 meses. Destaca-se que a escala de 24 meses teve sua melhor correlação com a escala de 12 meses, porém, com valor menor do que as demais, haja vista a distância entre as escalas no tempo.

Tabela 2. Correlação entre diferentes escalas temporais do SPIs.

		Coeficientes de correlação				
		1 com 3	1 com 6	1 com 9	1 com 12	1 com 24
Escalas do SPI	R	0,675	0,531	0,447	0,384	0,262
	R	0,799	0,686	0,610	0,419	
Escalas do SPI		3 com 6	3 com 9	3 com 12	3 com 24	
	R	0,881	0,797	0,572		
Escalas do SPI		6 com 9	6 com 12	6 com 24		
	R	0,921	0,687			
Escalas do SPI		9 com 12	9 com 24			
	R	0,776				
Escalas do SPI		12 com 24				
	R					

3.4 Análise de agrupamento para as escalas do SPI

Para entender melhor o comportamento dos efeitos dos eventos extremos sobre o estado de Pernambuco e visualizar quais postos apresentam efeitos semelhantes em cada escala temporal, foi efetuado o agrupamento dos postos pela métrica de Ward, com as escalas temporais de 1, 3, 6, 12 e 24 meses. Foi possível identificar quais postos têm comportamentos similares através da construção de dendrogramas. Quanto mais perto da base do dendrograma, maior o número de grupos, mais estreita é a associação entre os postos pertencente ao mesmo grupo. Assim, os primeiros grupos formados indicam uma relação direta entre os postos com o mesmo padrão de variação e intensidade dos efeitos climáticos de um evento crítico.

Verificou-se nos dendrogramas de todas as escalas temporais que as divisões até quatro grupos definiram áreas semelhantes em todas as escalas, com poucos postos diferentes de cada escala. A Figura 8 mostra a divisão em dois grupos do SPI de 3 meses. O grupo 2 a oeste (postos do Sertão) e o grupo 1 a leste (postos do Agreste e Litoral). As demais escalas apresentaram dois grupos muito similares e apenas o SPI de 24 meses apresentou postos do litoral inseridos no grupo do Sertão. Foi observado que à medida que a escala temporal aumenta, o grupo 2 passa a incorporar alguns postos do Agreste, ou seja, nas escalas maiores o efeito do evento crítico é um pouco mais generalizado.

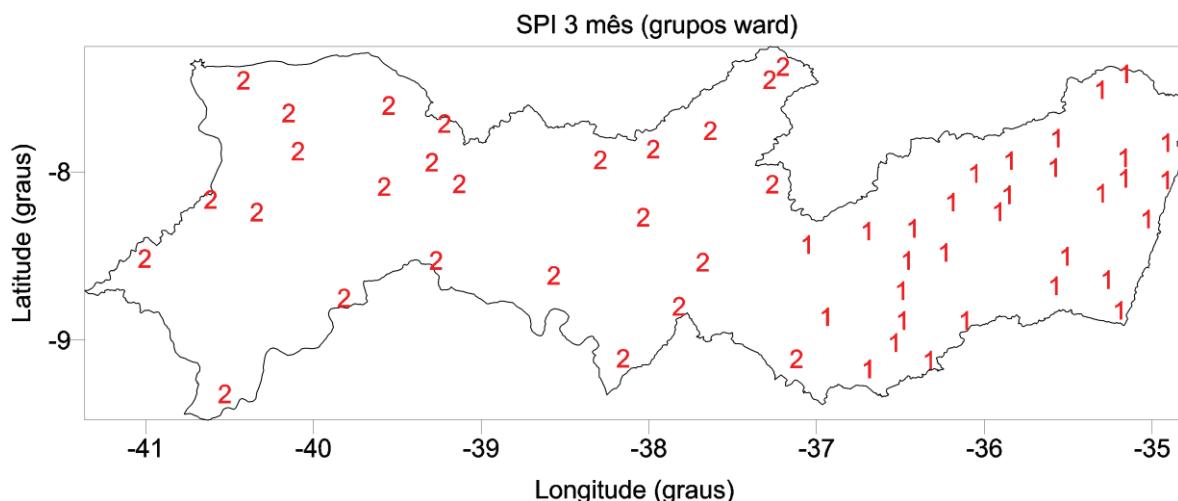


Figura 2. Distribuição espacial para dois grupos do SPI de 3 meses

Com essa divisão verificou-se que os principais eventos críticos foram identificados em todos os grupos e em todas as escalas dos SPIs, mas se podem observar variações. Fazendo-se uma comparação anual da evolução das três maiores secas ocorridas em Pernambuco para esses dois grupos pelo SPI de 12 meses,

constatou-se que no Grupo 1 ocorreu a pior seca em 1998 e foi maior do que as secas ocorridas no Grupo 2. Porém, as secas de 1993 e 2012 foram mais intensas no Grupo 2, haja vista que nesses dois anos ocorreu seca severa no Grupo 1. A Tabela 3 exibe as durações e as máximas intensidades ocorridas em cada ano.

Tabela 3. Duração e intensidade das piores secas de acordo com SPI-12.

Grupo 1 – SPI 12	
1993	7 meses na categoria severa, com pico -1,95 e 4 meses na categoria moderada
1998	15 meses na categoria extrema, com pico -2,54 e 6 meses na categoria severa
2012	3 meses na categoria severa, com pico -1,89 e 9 meses na categoria moderada
Grupo 2 – SPI 12	
1993	9 meses na categoria extrema, com pico -2,71 e 4 meses na categoria severa
1998	5 meses na categoria extrema, com pico -2,54 e 9 meses na categoria severa
2012	5 meses na categoria extrema, com pico -2,30 e 9 meses na categoria severa

As associações mais diretas e os possíveis grupos entre todos os postos utilizados neste trabalho podem ser observados na Figura 9. Em todas as escalas os agrupamentos apresentaram áreas definidas para até quatro grupos. Apenas o SPI de 24 meses mostrou postos com uma configuração de grupos mais

confusa. As quatro sub-regiões delimitadas estão representadas na Figura 10, na qual os Grupos 3 e 4 representam o leste e o oeste do estado, respectivamente, enquanto que os Grupos 1 e 2 representam a área de transição entre o Litoral e o Sertão.

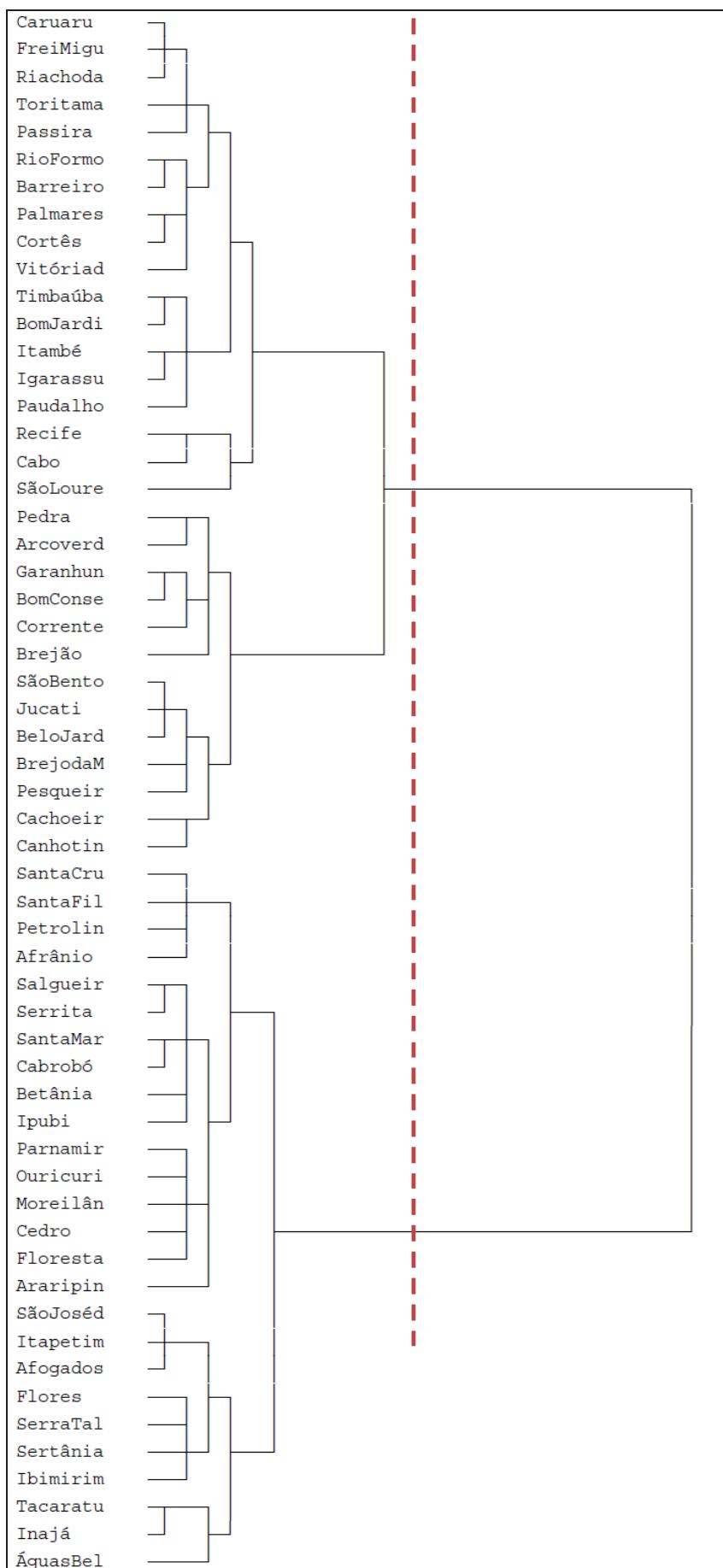


Figura 9. Dendrograma para o SPI de 3 meses para todos os postos.

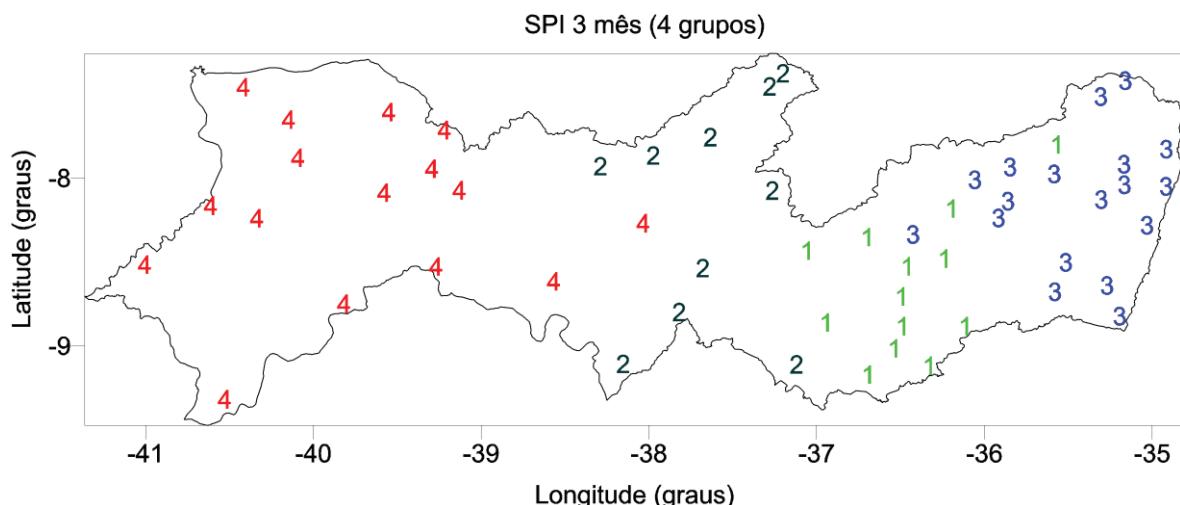


Figura 10. Distribuição espacial para quatro grupos do SPI de 3 meses

4 Conclusões

A metodologia do SPI foi capaz de identificar todos os eventos críticos ocorridos no estado de Pernambuco e destacou os principais eventos através das suas intensidades e durações. A variação das escalas do índice do SPI auxiliou no diagnóstico do início de um evento, de sua intensificação e da sua duração. Essa informação é importante porque é possível se avaliar os efeitos do evento sobre uma determinada área. O valor médio do SPI de vários postos de uma área, não muito extensa, assimilou todos os eventos significativos que ocorreram nessa área.

O SPI de 3 meses reduziu a variabilidade mensal da precipitação e indicou o início e tendência dos eventos, mas não definiu o evento como significativo do ponto de vista dos recursos hídricos.

O SPI de 6 meses definiu as persistências dos eventos positivos e negativos e mostrou que valores maiores nessa escala não cessam rapidamente e induz efeitos sobre a região.

O SPI de 12 meses retirou a variabilidade de curto prazo, suavizando algumas oscilações pequenas e assim consolidou os eventos críticos, indicando suas intensidades e durações de forma melhor definida, haja vista que nessa escala estão contidos os períodos de chuva e estiagem.

O SPI de 24 aglomerou os eventos e amenizou os eventos curtos, mas mostrou os períodos de excesso e déficit mais prolongados sobre a área.

Os principais eventos críticos que ocorreram no estado de Pernambuco entre os anos de 1963 e 2013 foram diagnosticados como eventos

chuvosos de categoria moderada nos anos de 1963 a 1973 e de chuva severa em 1984. Enquanto que os eventos secos ocorreram nas categorias extrema em 1993, 1998 e 2012. Já os eventos com intensidades de secas moderadas ocorreram em 1981 e 1983.

Alguns municípios apresentaram eventos isolados indicando interferência de outros sistemas meteorológicos e das características físicas da área, por isto, em alguns casos é necessária uma avaliação mais pontual a depender de cada área.

Os valores dos coeficientes de correlação são sempre melhores quando as escalas do SPI estão mais próximas no tempo e maiores no tamanho.

A Análise de Agrupamento possibilitou a identificação de postos com maior aproximação quanto aos efeitos dos eventos críticos, para cada escala temporal. Assim, as divisões em dois e quatro grupos foram consistentes em quase todas as escalas do SPI, e mostraram que o estado de Pernambuco apresenta impactos diferentes durante a ocorrência de eventos anômalos, principalmente entre a parte oeste e a parte leste, mas também é possível destacar as sub-regiões: Leste (Litoral e Zona da Mata), Agreste, Central (Sertão do Moxotó e do Pajeú) e Oeste (Sertão de São Francisco e Alto Sertão).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo e a

Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelo fornecimento dos dados utilizados.

Referências

APAC. (2014) Agência Pernambucana de Águas e Clima. Acessado em junho de 2014. URL <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monit/oramento-pluvio.php>>.

BELAYNEH, A.; ADAMOWSKI, J.; KHALIL, B.; OZGA-ZIELINSKI, B. (2014) Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, 508, p. 418–429.

BISWAS, A. K. (1997) **Water Development and Environment em Water Resources – Environmental Planning, Management and Development** (Biswas, A. (ed)), McGraw-Hill, EUA, ISBN 0-07-005483-5, p. 1-35.

BLAIN, G. C; BRUNINI, O. (2007) Análise Comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer Adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.1, p.105-111.

DOMINGOS, S. I. S. (2006) **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. Tese de licenciatura (Meteorologia) – Universidade de Lisboa, Lisboa.

EVERITT, B. S. (1974) **Cluster analysis**. London, Heinemann Educational Books Ltd. 121p.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology*, 510, p. 110–123, 2014.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. (2012) Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 23, p. 55 – 65.

HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A. (2013) Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, 57, p. 12–18.

HUGHES, B.L.; SAUNDERS, M. A. (2002) A drought climatology for Europe. *Int. Journal of Climatology*, 22, 1571–1592.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUSA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. (2010) Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v.5, n.1, p.204-214.

MASUD, M.B.; KHALIQ, M.N. ; WHEATER, H.S. (2015) Analysis of meteorological droughts for the Saskatchewan River Basin using univariate and bivariate approaches. *Journal of Hydrology*, 522, p. 452–466.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLIEST, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology**, Anaheim, CA, January 17–22. American Meteorological Society, Boston, MA, USA, pp. 179–184.

OBASI, G. O. P. (1994) WMO's role in the international decade for natural disaster reduction. *Bulletin. American Meteorological Society*, 75 (1), p. 655–1661.

PIRES, V. (2003) **Frequência e Intensidade de Fenômenos meteorológicos extremos associados à precipitação**. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra, Lisboa, 98p.

QIN, Y.; YANG, D.; LEI, H.; XU, K.; XU, X. (2014) Comparative analysis of drought based on precipitation and soil moisture indices in Haihe basin of North China during the period of 1960–2010. Accepted in *Journal of Hydrology*.

THOM, H. C. S. (1958) A note on gamma distribution. *Monthly Weather Review*. 86, p. 117–122.

TSAKIRIS, G; VANGELIS, H. (2004) Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management*, v.18, p. 1-12.

USDA. (1994) Major world crop areas and climatic profiles, World Agricultural Outlook Board, US department of Agriculture, *Agricultural Handbook* No. 664, pp. 157–170.

WARD, J. H. (1963) Hierarchical grouping of data to optimize an objective function. *J. American Statistical Association*, 58, p. 236–244.

WILKS, D. S. (2006) **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. London, Academic

Press, 649p.

ZHANG, A.; JIA, G. (2013) Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, 134, p. 12–23.