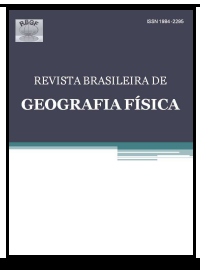
ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo Pluvial no Nordeste do Brasil Utilizando Análise Multivariada

Winícius dos Santos Araújo[1], Francisco de A. Saviano Souza[2], José Ivaldo Barbosa de Brito[3], Lourivaldo Mota Lima[4]

[1] Doutorando em Meteorologia; Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA; Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; E-mail: winicius@dca.ufcg.edu.br;
[2,3] Professores Drs., Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA; Universidade Federal de Campina Grande - UFCG;
[4] Professor Dr., Departamento de Física - DF/Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

Artigo recebido em 05/03/2012 e aceito em 13/04/2012

R E S U M O

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica de variabilidade climática espacial e temporal da pluviosidade nos nove estados do Nordeste Brasileiro, utilizando as técnicas multivariadas de Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamento (AA). Foram utilizadas médias mensais da precipitação pluvial e de mais 11 índices climáticos pluviais definidos pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) obtidas a partir de dados diários de 258 estações meteorológicas e/ou postos pluviométricos, fornecidos pela antiga rede de postos da SUDENE/DCA, referentes a um período de 47 anos (1960-2006). Com base nesses dados, foram aplicadas as técnicas de ACP e AA à média pluvial e aos 11 índices pluviais. Na ACP, nove índices climáticos e a média pluvial foram representados por três componentes principais e estas explicaram mais de 90% da variância original dos dados. Na AA, nove índices apresentaram quatro grupos homogêneos de atuação.

Palavras - chave: Componentes principais, agrupamento, índices pluviais.

Rain Study in Northeast Brazil Using Multivariate Analysis

A B S T R A C T

The aim of this work was to study the dynamics of spatial and temporal climatic variability in rainfall in the nine states of Northeast Brazil, using the multivariate techniques of Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA). We used monthly averages of rainfall and 11 climate indices over rain defined by WMO (World Meteorological Organization) obtained from daily data from 258 meteorological stations and/or climatic stations, supplied by the former service station network SUDENE/DCA, referring a period of 47 years (1960-2006). Based on these data, we applied the techniques the average PCA and CA rain and 11 rain indices. In ACP, nine climate indices and average rainfall were represented by three principal components and these accounted for more than 90% of the variance of the original data. In AA, nine indices showed four homogeneous groups of activity.

Keywords: Principal components; cluster; rain indices.

1. Introdução

A variabilidade climática tem exercido diferentes influências no desenvolvimento das civilizações ao longo dos séculos e a possibilidade ou indício de mudanças climáticas globais geradas pela ação antropogênica, juntamente com a variabilidade natural, tem estimulado a realização de pesquisas climáticas contemporâneas.

Dentre essas pesquisas, se destaca a identificação dos fenômenos atmosféricos

* E-mail para correspondência: winaraujo@hotmail.com (Araújo, W. S.).

associados aos ciclos da variabilidade natural, cuja importância reside no provimento de subsídios para formulação de modelos numéricos que descrevam a distribuição espaço-temporal de séries temporais de regiões climatologicamente homogêneas, em relação a variável precipitação, cuja variabilidade afeta diretamente a socioeconomia no Nordeste brasileiro (NEB).

Visando delimitar regiões homogêneas quanto a uma determinada variável, a Análise de Agrupamento (AA) tem se consolidado como uma das maneiras mais úteis no processo de filtrar dados para descobrir grupos homogêneos e identificar padrões ocultos nos dados (HALKIDI et al., 2001). A Análise de Agrupamento (AA) permite a exploração do comportamento de séries temporais onde as variáveis classificatórias são inicialmente separadas em grandes grupos utilizando para isso uma medida de similaridade ou distância, fornecendo assim a espacialização de regiões climaticamente homogêneas.

Outra forma, relativamente simples e rápida para identificar áreas homogêneas é tomar por base planos fatoriais (ACP - Análise de Componentes Principais).

A presente pesquisa tem o objetivo de avaliar e caracterizar as séries temporais de precipitação e 11 índices climáticos pluviais definidos pela Organização Meteorológica Mundial e examinar os processos responsáveis pela evolução desses parâmetros no NEB.

Como demonstração da robustez da técnica espaço-temporal, são apresentados os resultados do estudo da variação espacial e temporal da precipitação e índices climáticos pluviais utilizando Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento.

2. Material e Métodos

2.1 Descrição geral da área de estudo

A área de estudo abrange os nove estados da região Nordeste do Brasil: Alagoas (27.933 km2), Bahia (567.295 km2), Ceará (146.348 km2), Maranhão (333.366 km2), Paraíba (56.585 km2), Pernambuco (98.938 km2), Piauí (252.238 km2), Rio Grande do Norte (43.910 km2) e Sergipe (22.050 km2), totalizando 1.548.663 km2, aproximadamente 18% do território nacional, que concentra grande parcela do semiárido brasileiro. A Figura 1 exibe a região NEB, localizada entre longitudes 48,70°W e 34,81°W, e pelas latitudes 18,32°S e 1,11°S.

Dados - Foram utilizados dados diários de precipitação fornecidos pela UACA (Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas), provenientes da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) para os nove estados do NEB. Por haver falhas e insuficiência amostral, eles foram complementados com dados da ANA (Agência Nacional de Águas), DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

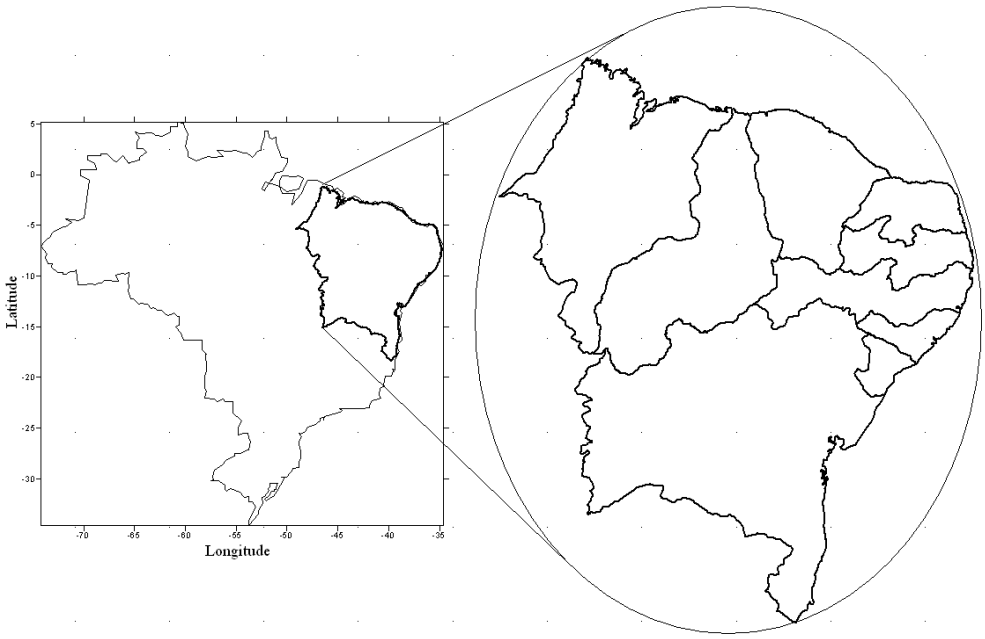


Figura 1. Área geográfica de estudo (em destaque).

Preliminarmente, foram analisados os dados diários de precipitação de 2284 postos pluviométricos de 648 municípios, entretanto muitos desses postos apresentaram dados com falhas ou duvidosos. Após estudo detalhado de verificação da homogeneidade e qualidade dos dados, foram escolhidos 258 postos de diferentes municípios a partir dos quais foram calculados 11 índices climáticos pluviais em escala mensal (Tabela 1). Os dados apresentam boa distribuição espacial na área de estudo e representam todas as mesorregiões do NEB.

A Figura 2 exibe a distribuição espacial dos postos e/ou estações meteorológicas e a Tabela 1 exibe os índices climáticos pluviais definidos pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) e disponível em http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/.

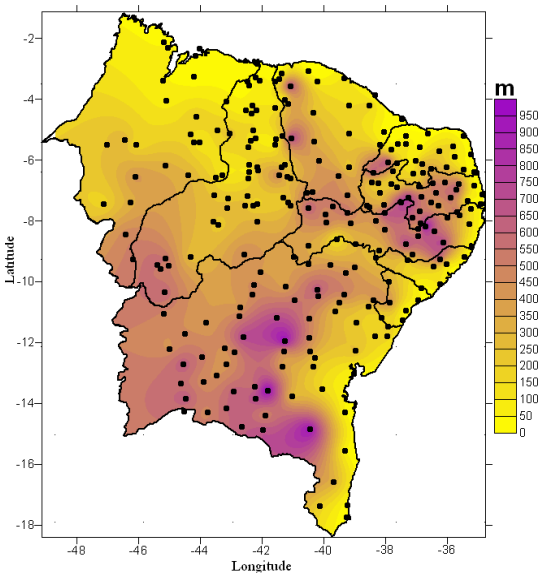


Figura 2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos na área de estudo, sendo ilustrado no eixo vertical a latitude, no eixo horizontal a longitude e em gradiente a altitude em metros.

Tabela 1. Índices de chuva com suas definições e respectivas unidades.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo mensal de precipitação em um dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo mensal de precipitação em cinco dias consecutivos	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total mensal dividida pelo número de dias úmidos	mm dia^{-1}
R10	Número de dias úmidos	Número de dias em um mês em que a precipitação $\geq 10mm$	dias
R20	Número de dias muito úmidos	Número de dias em um mês em que a precipitação $\geq 20mm$	dias
R50mm	Número de dias com precipitação acima de 50mm	Número de dias em um mês em que a precipitação $\geq 50mm$	dias
DSC	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos em um mês com $RR < 1mm$	dias
DUC	Dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos em um mês com $RR \geq 1mm$	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação mensal total em que $RR > 95°$ percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação mensal total em que $RR > 99°$ percentil	mm
PRECPTOT	Precipitação total mensal nos dias úmidos	Precipitação total mensal nos dias úmidos $(RR \geq 1mm)$	mm

Obs: RR é o valor da precipitação diária. Por convenção, um dia úmido ou chuvoso tem $RR \geq 1,0$ mm e um dia seco ou não chuvoso tem $RR < 1,0$ mm.

Análise de Componentes Principais (ACP) - A ACP é essencialmente o método de cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis (Preacher & Maccallan, 2003).

As Componentes Principais (CPs), $y_1, y_2, y_3, \ldots, y_q$, são definidas por combinações lineares das variáveis originais $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_q$ que são não-correlacionadas e quantificam as máximas proporções de variação nos dados originais, isto é, y_1 conta para o máximo de variância de todas as possíveis combinações lineares de $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_q$, y_2 conta para o máximo de variância não-explicada por y_1, e assim por diante.

Explicitamente, as componentes principais são obtidas a partir de $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_q$ assim:

$$y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1q}x_q$$
$$y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2q}x_q \quad (1)$$
$$\vdots$$
$$y_q = a_{q1}x_1 + a_{q2}x_2 + \cdots + a_{qq}x_q$$

em que os coeficientes $a_{ij}\ (i = 1, \ldots, q; j = 1, \ldots, q)$ sejam escolhidos de tal forma que retenham a máxima variância e sejam não-correlacionados.

Existem na literatura vários critérios para escolha do número adequado de CPs que representem fielmente a variância presente em dados originais. Os critérios de truncamento do número adequado de CPs para resumir o conjunto de dados utilizados nesta pesquisa foram: descartar as componentes principais (CPs) cujas cargas tenham variância explicada inferior a 5% (O'lenic & Livezey, 1998); excluir as CPs cujos autovalores associados são inferiores a um, de acordo com o critério de Kaiser ou critério mínimo (Garayalde et al., 1986); e, inspeção no "scree plot" (não exibido) para excluir as CPs cujos gráficos tem tendência de paralelismo com o eixo das abscissas, ou seja, ínfima influência (Pinto et al., 2002).

Quando as cargas das CPs são plotadas geograficamente, existe forte tendência de se associar interpretações físicas às correspondentes CPs. Quando isso se faz necessário é desejável rotacionar as CPs (Rogers & Mchugh, 2002) para obter uma representação mais precisa dos modos de domínio espacial. A técnica de rotação utilizada neste trabalho foi a VARIMAX que produz padrões concisos que podem ser usados para a regionalização, divisão de área em um número limitado de subáreas homogêneas (Von Storch & Zwiers, 1999). Uma descrição detalhada do Método Varimax pode ser encontrada em livros-texto de estatística por On-Kim (1970), Preisendorfer (1988) e Von Storch & Zwiers (1999).

Análise de Agrupamentos (AA) - A Análise de Agrupamentos (AA) é um método exploratório onde as variáveis classificatórias são inicialmente separadas em grandes grupos utilizando para isso uma medida de similaridade ou distância (Everitt, 1993). Como as variáveis classificatórias escolhidas são variáveis reais e, portanto, são mensuradas em uma escala temporal, é conveniente adotar uma medida de distância com propriedades métricas, sendo usual a métrica euclidiana (Mimmack et al., 2002):

$$d_e = \left[\sum_{j=1}^{n}\left(P_{p,j} - P_{k,j}\right)^2\right]^{0,5} \quad (2)$$

em que d_e é a distância euclidiana; e $P_{p,j}$ e $P_{k,j}$ são as variáveis quantitativas j dos indivíduos p e k, respectivamente.

Ao tentar agrupar observações pluviométricas e fluviométricas, não é possível estabelecer a priori o número ideal de grupos a serem formados. Por isso, os métodos não-hierárquicos não são adequados, já que sua aplicação exigiria um número grande de tentativas para encontrar o número exato de agrupamentos. Assim, adotou-se o método hierárquico aglomerativo, um dos

mais recomendados na construção de agrupamentos (Kaufman & Rousseau, 1990). O método da variância mínima ou método de Ward (Ward, 1963) é recomendado por Edelbrock (1979), com base em vários estudos empíricos

Portanto, por haver uma grande concentração de estações em uma mesma região, optou-se pela utilização da análise tipológica Cluster (AA), técnica de análise de dados de caráter classificatório com objetivo de formação de grupos tão familiares entre si quanto possível, partindo de um conjunto de dados multivariado (Andrade et al., 1999). O critério de agrupamento utilizado foi o de Ward ou de inércia, o qual faz uso de uma análise de variância para avaliar a distância entre os grupos (Schunk-Silva, Nery, 2000), e a distância euclidiana foi utilizada para medir a similaridade entre as estações (Braga et al., 1998).

3. Resultados e Discussão

Aplicação da ACP aos dados pluviais e índices climáticos pluviais - Aqui são apresentados os resultados da aplicação da ACP à média pluvial e mais 11 índices climáticos pluviais, definidos pelo ETCCDMI (Expert Team Change Detection Monitoring and Indices) e espacialmente distribuídos em 258 postos e/ou estações pluviométricas. Foi utilizado um software de mapeamento para produzir os campos de isolinhas dos nove estados do NEB.

Ao aplicar o método de Análise de Componentes Principais, reteve-se as três primeiras Componentes Principais (CP) rotacionadas, para a média pluvial e para nove índices: PRECPTOT, DSC, DUC, R10, R20, R50, R95p, Rx1day e Rx5day. Para a maioria desses índices as três CPs explicaram mais de 90% da Variância Total do Sistema (VTS) (Tabela 2). Para a média pluvial e esses índices, a quarta CP foi excluída devido não atender aos critérios de truncamento de componentes.

A quarta CP dos índices R99p e SDII atendeu aos critérios. Esses foram representados por quatro componentes que explicaram menos de 70% da VTS (Tabela 2).

Tabela 2. Componentes e contribuição percentual da variância explicada da média pluvial e dos onze índices rotacionados.

a)	MÉDIA			b)	PRECPTOT		
CP	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**	**CP**	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**
1	4,52	37,67	37,67	1	4,52	37,69	37,69
2	3,61	30,11	67,78	2	3,61	30,10	67,79
3	3,30	27,47	95,26	3	3,30	27,49	95,28
4	0,14	1,16	96,42	4	0,14	1,15	96,43
...	...	...	...	...	...	...	...
12	0	0	100	12	0	0	100

continuação

c)	DSC			d)	DUC		
CP	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**	**CP**	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**
1	4,84	40,32	40,32	1	5,06	42,19	42,19
2	3,44	28,66	68,98	2	3,24	27,08	69,20
3	3,24	27,03	96,01	3	3,23	26,93	96,13
4	0,83	0,69	96,70	4	0,13	1,09	97,22
...	...	...	...	...	...	...	...
12	0	0	100	12	0	0	100
e)	**R10**			**f)**	**R20**		
CP	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**	**CP**	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**
1	4,46	37,17	37,17	1	3,91	32,58	32,57
2	3,58	29,84	67,01	2	3,69	30,77	63,34
3	3,41	28,40	95,41	3	3,59	29,90	93,25
4	0,15	1,24	96,65	4	0,37	3,11	96,36
...	...	...	...	...	...	...	...
12	0	0	100	12	0	0	100
g)	**R50**			**h)**	**SDII**		
CP	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**	**CP**	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**
1	3,73	31,05	31,05	1	3,19	26,61	26,61
2	3,57	29,76	60,81	2	2,76	23,02	49,64
3	2,95	24,58	85,40	3	1,13	9,42	59,06
4	0,53	4,40	89,80	4	1,11	9,28	68,33
...	...	...	...	...	...	...	...
12	0	0	100	12	0	0	100
i)	**R95p**			**j)**	**R99p**		
CP	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**	**CP**	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**
1	4,59	38,22	38,22	1	4,15	34,58	34,58
2	3,32	27,70	65,92	2	1,20	10,03	44,62
3	3,15	26,26	92,18	3	1,04	8,66	53,27
4	0,22	1,79	93,97	4	1,03	8,62	61,89
...	...	...	...	...	...	...	...
12	0	0	100	12	0	0	100
k)	**Rx1day**			**l)**	**Rx5day**		
CP	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**	**CP**	**Autovalor**	**VE (%)**	**VTS (%)**
1	4,27	35,60	35,60	1	4,47	37,27	37,27
2	3,44	28,65	64,24	2	3,43	28,62	65,89
3	3,40	28,37	92,61	3	3,40	28,34	94,23
4	0,20	1,66	94,27	4	0,18	1,5	95,77
...	...	...	...	...	...	...	...
12	0	0	100	12	0	0	100

Legenda: VE = variância explicada; VTS = Variância Total Explicada do Sistema.

As CPs da média pluvial e da PRECPTOT podem ser vistas nas Figuras 3 e 4. Nelas se notam semelhança nas configurações espaciais e temporais.

A explicação das três primeiras CPs para a média pluvial e PRECPTOT é superior a 95% da VTS (Variância Total Explicada do Sistema) (Tabela 2a,b, respectivamente). Nota-se forte componente sazonal com valores máximos no inverno (entre junho e agosto), e mínimos no verão (dezembro a fevereiro). A configuração espacial da CP1 mostra contraste entre o litoral e o restante do NEB (Figuras 3a e 4a). Essas variações estão possivelmente associadas à influência das Ondas de Leste e Brisas Marítimas.

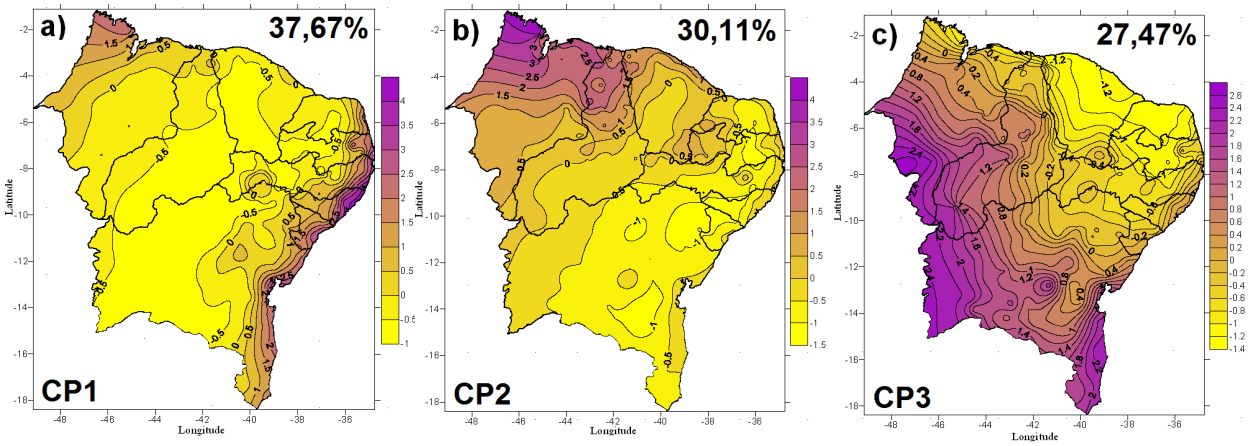


Figura 3. Distribuição das cargas das CPs da **média pluvial**: CP1 a) mai - set, CP2 b) jan - abr e CP3 c) out - dez.

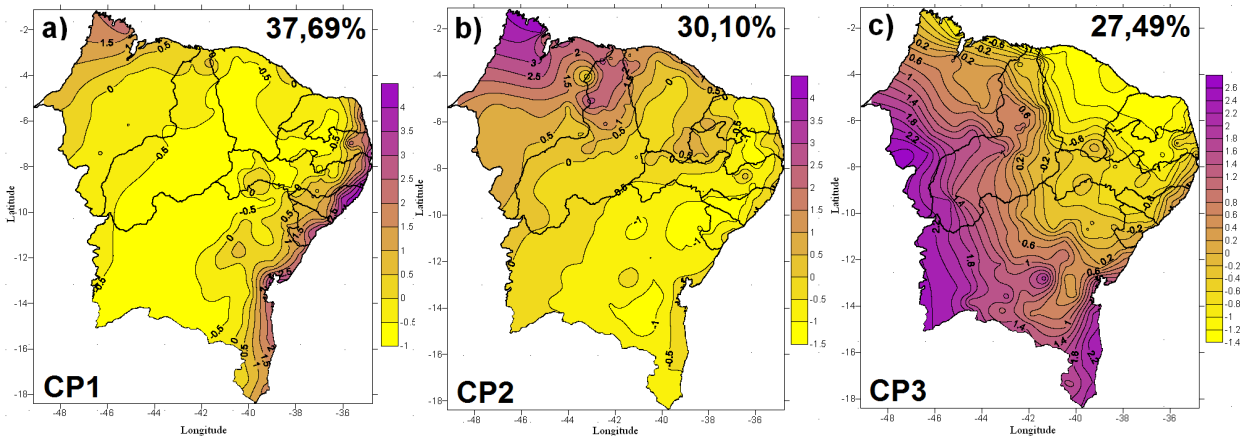


Figura 4. Distribuição das cargas das CPs do índice **PRECPTOT**: CP1 a) mai - set, CP2 b) jan - abr e CP3 c) out - dez.

A CP2 (Figuras 3b e 4b) apresenta comportamento sazonal regular, durante o primeiro quadrimestre (jan - abr) e mostra a atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) no norte do NEB. Essa CP2 evidencia dessemelhança dos regimes pluviais entre o extremo norte do Maranhão e Piauí e o restante do NEB, onde as chuvas são bem

mais escassas. Para a CP3 (Figuras 3c e 4c) há predominância de chuvas na primavera (outubro a dezembro) por todo o oeste do NEB. Pesquisas analisando o índice PRECPTOT identificaram padrões de aumento para PB e RN (Santos, 2006), para a BA (Araújo, 2011), América do Sul (Haylock et al., 2005), e globo terrestre (Alexander et al., 2006). Para o índice DSC (Figura 5), foram retidas três CPs que explicaram aproximadamente 96% da variância total (Tabela 2c). A CP1 apresenta forte componente sazonal com máximos no inverno, entre junho e agosto, e mínimos no verão, entre dezembro e fevereiro. A sua configuração espacial mostra contrastes zonais negativos em todo o litoral leste do NEB, centro-sul da BA e norte do MA, e positivos à nordeste e sudoeste da área de estudo (Figura 5a). A CP2 tem cargas positivas, sobretudo no CE, RN e PB e demonstra sazonalidade marcante, com máximos na primavera, outubro a dezembro (Figura 5b). A CP3 apresenta valores mínimos na parte mais ao norte e núcleos máximos, ao sul e norte da BA e agreste da PB e RN (Figura 5c).

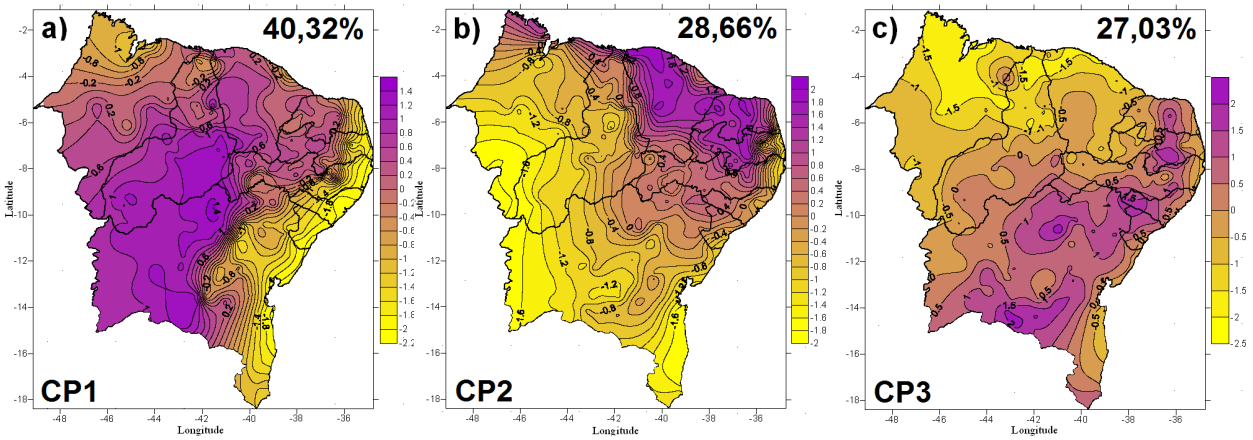


Figura 5. Distribuição das cargas das CPs do índice **DSC**: CP1 a) mai - set, CP2 b) out - dez e CP3 c) jan - abr.

A Figura 6 apresenta o comportamento das cargas do índice de dias úmidos consecutivos (DUC), e é bastante semelhante ao conjugado da Figura 5 (DSC). Foram retidas três CPs que explicaram mais de 96% da variância total (Tabela 2d). A configuração espacial da CP1 apresenta maiores valores na parte leste no outono e inverno (Figura 6a). A CP2 apresentou suas cargas positivas predominantemente na parte sul da área de estudo (Figura 6b) conforme identificaram aumento nas condições de umidade Haylock et al. (2005) em três estações do NEB e tendências de DUC Araujo (2009) na mesorregião do extremo oeste da Bahia. A CP3 domina negativamente todo o NEB com exceção do extremo norte do estado do Maranhão (Figura 6c).

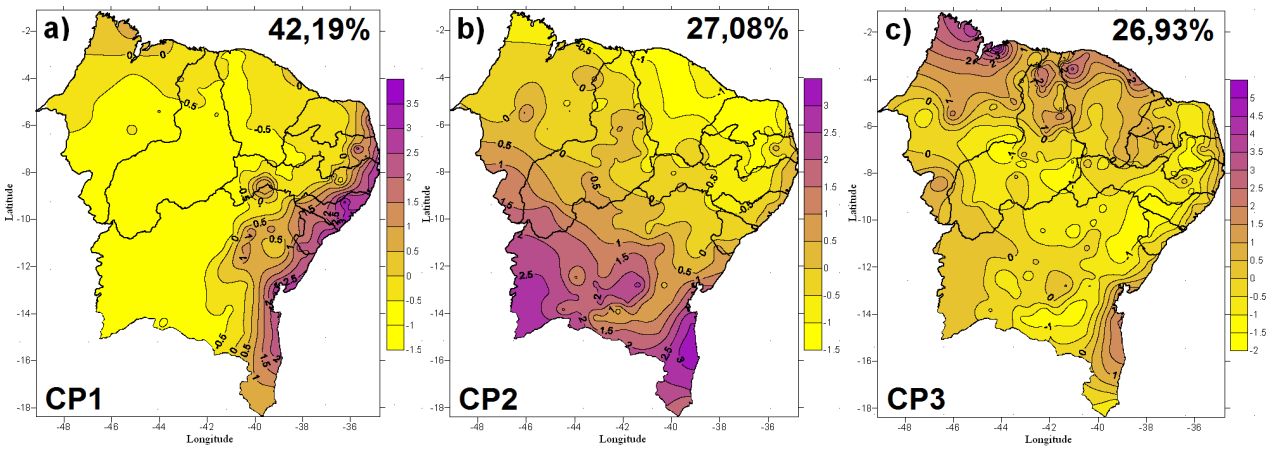


Figura 6. Distribuição das cargas das CPs do índice **DUC**: CP1 a) mai - set, CP2 b) out - dez e CP3 c) jan - abr.

Para os índices de chuva moderada (R10) e forte (R20), se observa nas Figuras 7 e 8, aspectos similares. As três primeiras componentes, explicaram mais de 93% da variância total (Tabela 2e,f, respectivamente). A distribuição espacial das cargas da CP1 (Figuras 7a e Figura 8a) mostra variabilidade decrescente da chuva do litoral para o interior e, pode estar associada ao ciclo anual bem definido na região, com altos valores de chuva durante a estação chuvosa. Na CP2 (Figuras 7b e 8b), se observa cargas máximas no litoral noroeste, e mínimas no restante da Região, onde chuvas superiores a 20 mm não são frequentes no período (out - dez). A CP3 (Figuras 7c e 8c) apresenta duas regiões distintas com relação à R10 e R20, uma no setor nordeste, com pouca variabilidade da precipitação no período de outono a dezembro, e outra crescente (modestamente para R20) para o oeste e sul da Região.

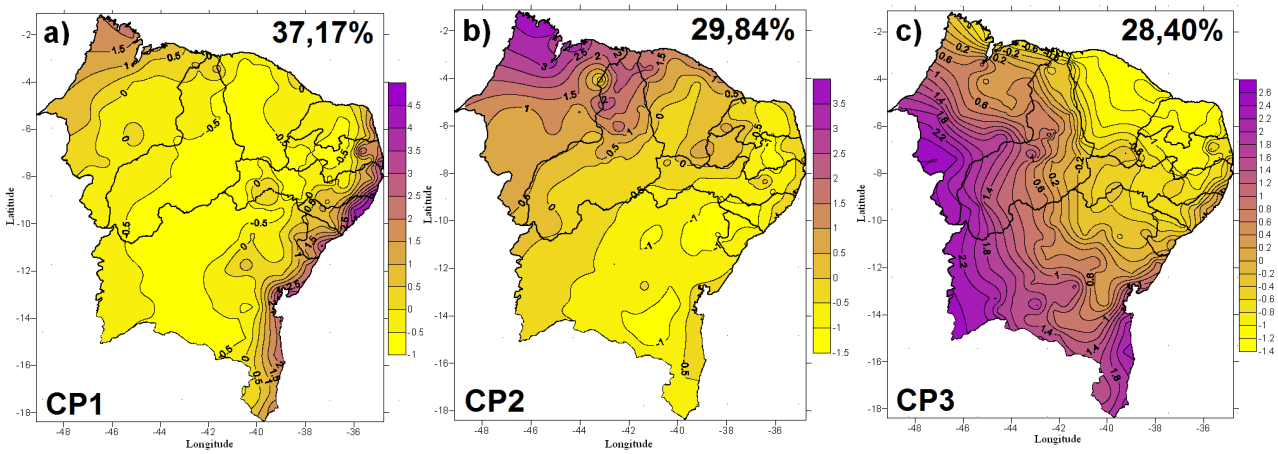


Figura 7. Distribuição das cargas das CPs do índice **R10**: CP1 a) mai - set, CP2 b) jan - abr e CP3 c) out - dez.

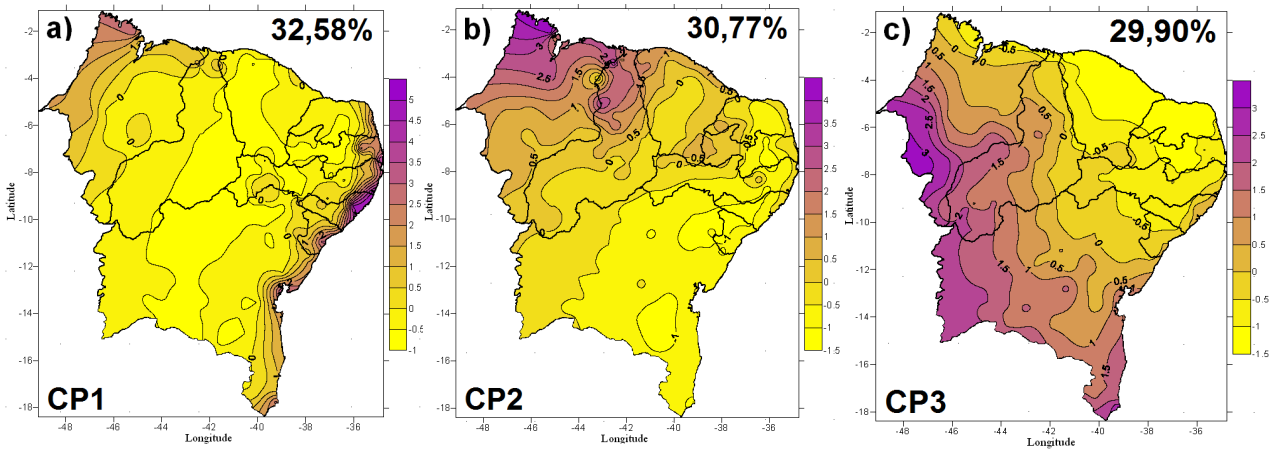


Figura 8. Distribuição das cargas das CPs do índice **R20**: CP1 a) mai - set, CP2 b) jan - abr e CP3 c) out - dez.

Para o índice de precipitação superior a 50 mm (R50), a variância explicada pelas três primeiras CPs foram 31,05%, 29,76% e 24,58%, respectivamente (Tabela 1g). Suas distribuições espaciais de cargas se encontram na Figura 9a,b,c, respectivamente. A CP1 exibe cargas praticamente nulas em quase todo o NEB e os setores do leste têm sinais contrários aos dos setores central e oeste, com exceção do extremo norte do Maranhão (Figura 9a). Essa configuração pode estar associada à passagem de Sistemas Frontais pelo litoral Nordestino. Na CP2 a região do extremo norte apresenta as maiores cargas positivas (Figura 9b). A CP3 mostra que as cargas entre o setor nordeste e o restante da Região têm sinais contrários (Figura 9c). Essa configuração pode estar associada às frentes frias e a fenômenos de escala global, como o ENOS com máxima variabilidade mais ao sul (características também identificadas em eventos de ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul) e extremo oeste da região.

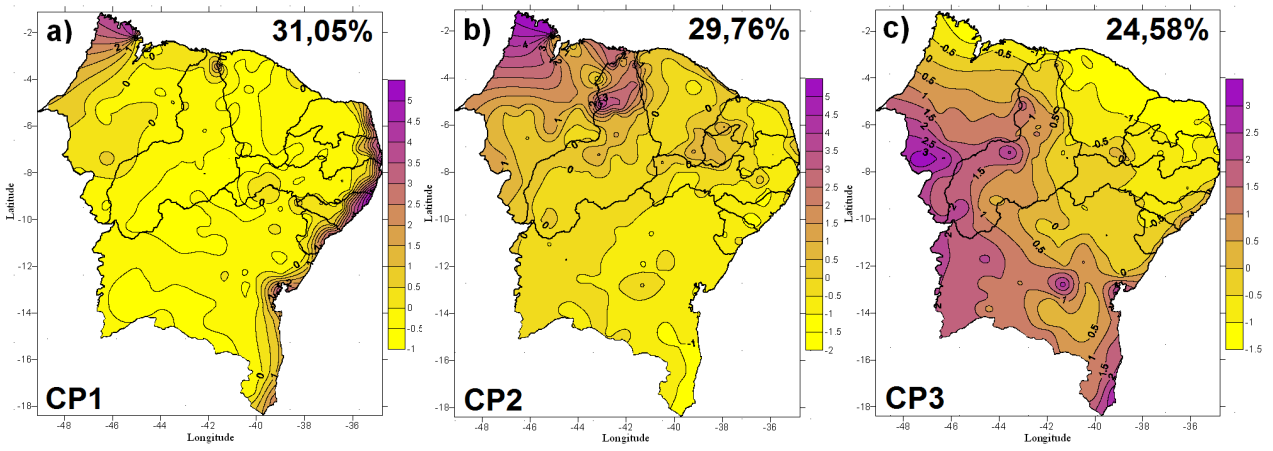


Figura 9. Distribuição das cargas das CPs do índice **R50**: CP1 a) mai - set, CP2 b) jan - abr e CP3 c) out - dez.

A Figura 10 apresenta as isolinhas das cargas do índice de intensidade diária (SDII). A CP1 explica 26,61% e pode ser notado que os maiores valores positivos se concentram na costa leste, na primavera e em quase todo o verão (Figura 10a). No caso da CP2, com 23,02% de explicação, apenas os estados do CE, RN e PB apresentam cargas negativas, principalmente durante o outono (Figura 10b). A CP3, com 9,42% de explicação, apenas para julho, teve suas configurações positivas em três núcleos isolados no norte do Maranhão, Piauí, e oeste da Paraíba (Figura 10c). A CP4, com 9,28%, apresenta, também, vários núcleos isolados durante o inverno, mas, a oeste da área de estudo (Figura 10d).

Na Tabela 2h pode se vista a explicação de suas componentes associadas.

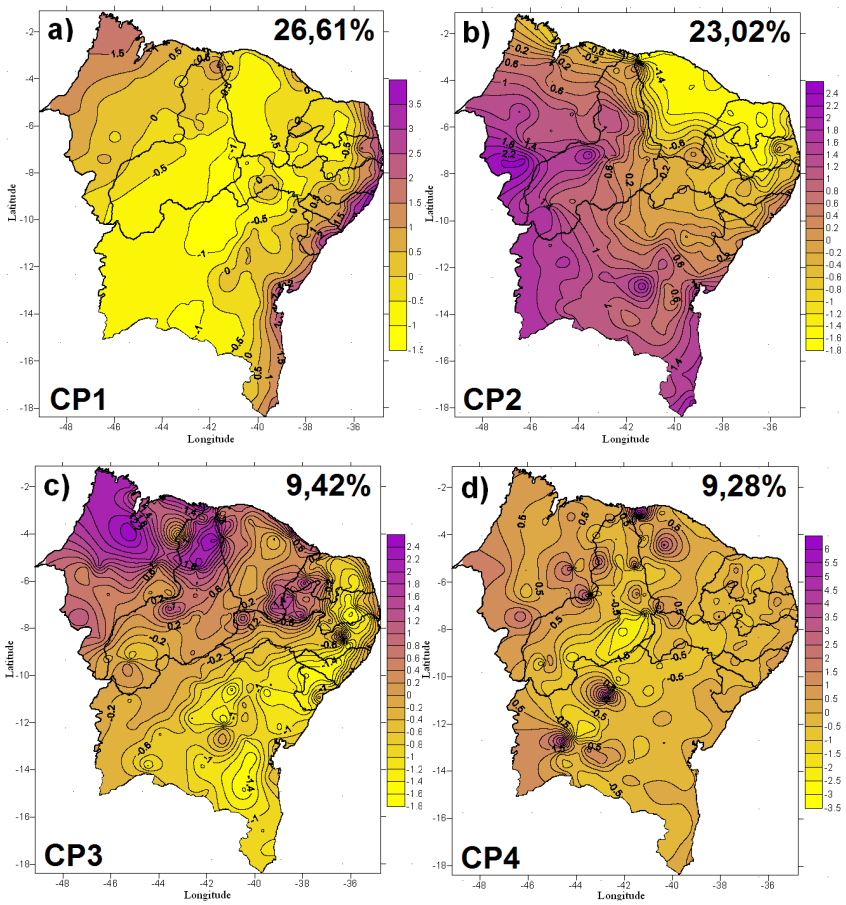


Figura 10. Distribuição das cargas das CPs do índice **SDII**: CP1 a) set - jan, CP2 b) fev - mai, CP3 c) jul e CP4 d) jun e ago.

Para o índice R95p, Figura 11, os resultados se apresentam com três CPs que explicaram mais de 92% de variância total (Tabela 2i). Já para o índice R99p, Figura 12, foram retidas quatro CPs que explicaram quase 62% da variância explicada (Tabela 2j). Esses índices são relacionados às chuvas de volume extremo e caracterizam a chuva concentrada que produz enchentes em rios e inundações em planícies. O R95p destaca regiões a leste, norte e oeste-sul. O R99p não apresenta uniformidade ou realce das áreas de

ocorrência destes eventos, talvez devido à escassez destes eventos durante os períodos analisados ou peculiaridades sazonais. Contudo, há nítida correspondência entre maio e setembro para R95p e R99p, haja vista que as áreas de atuação onde a CP1 se sobressai são mostradas em ambos os índices.

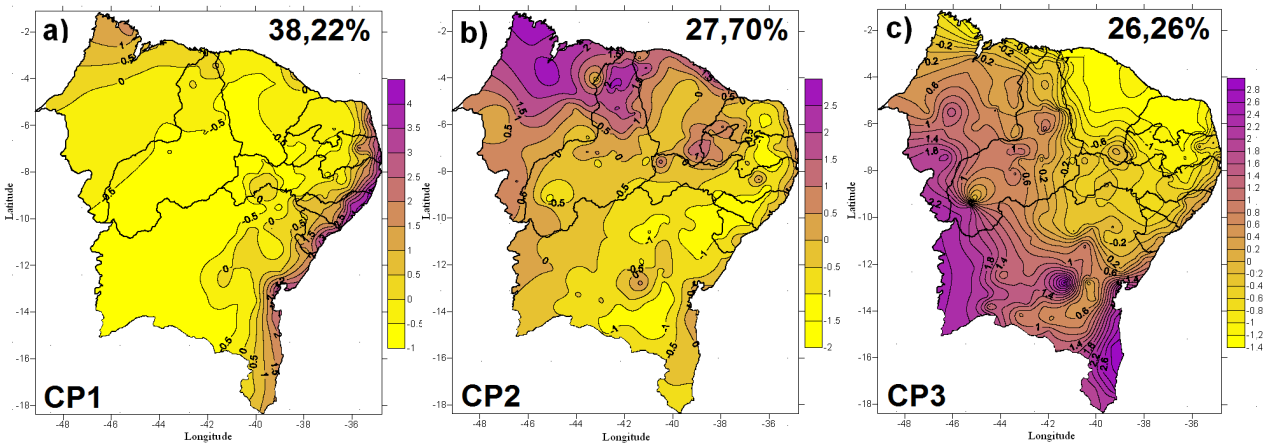


Figura 11. Distribuição das cargas das CPs do índice **R95p**: CP1 a) mai - set, CP2 b) jan - abr e CP3 c) out - dez.

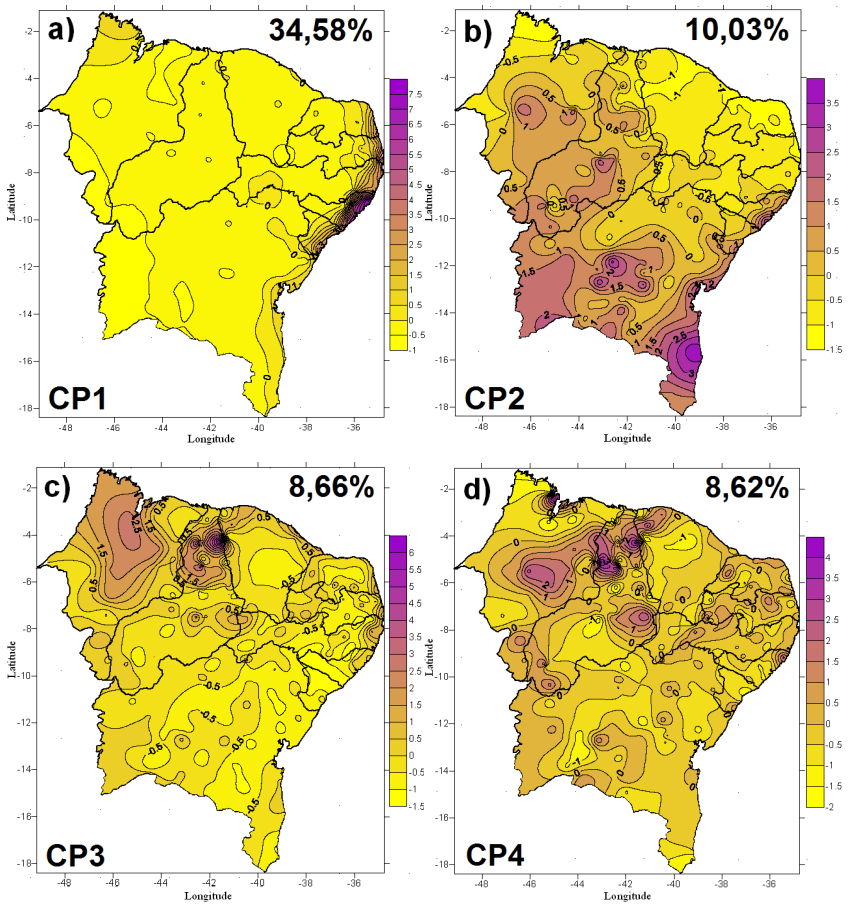


Figura 12. Distribuição das cargas das CPs do índice **R99p**: CP1 a) abr - set, CP2 b) out - dez, CP3 c) fev - mar e CP4 d) jan.

Não é possível afirmar categoricamente que as cargas de SDII (Figura 10) e R99p (Figura 12) representam fielmente tais eventos de chuva, descritos pelas CP3 e CP4, haja vista que os valores das variâncias explicadas dessas CPs são baixos quando comparados à variância total explicada (Tabela 2h,j, respectivamente) .

Os dois índices que exprimem a intensidade de evento máximo, Rx1day e Rx5day, em um dia (Figura 13) e em cinco dias (Figura 14) consecutivos, respectivamente, apresentaram coerência espacial entre si. A variância explicada por Rx1day foi superior a 92% (Tabela 1k), enquanto a do índice Rx5day foi superior a 94% (Tabela 1l). Os eventos explicados pela CP1 são caracterizados por se concentrarem no litoral durante maio a setembro (Figuras 13a e 14a); a CP2 (Figuras 13b e 14b) não apresenta cargas positivas no extremo nordeste durante a primavera e início do verão. A CP3 (Figuras 13c e 14c) apresenta núcleos isolados positivos ao norte do NEB, onde o índice Rx5day apresenta valores mais moderados nessa região durante o verão e outono.

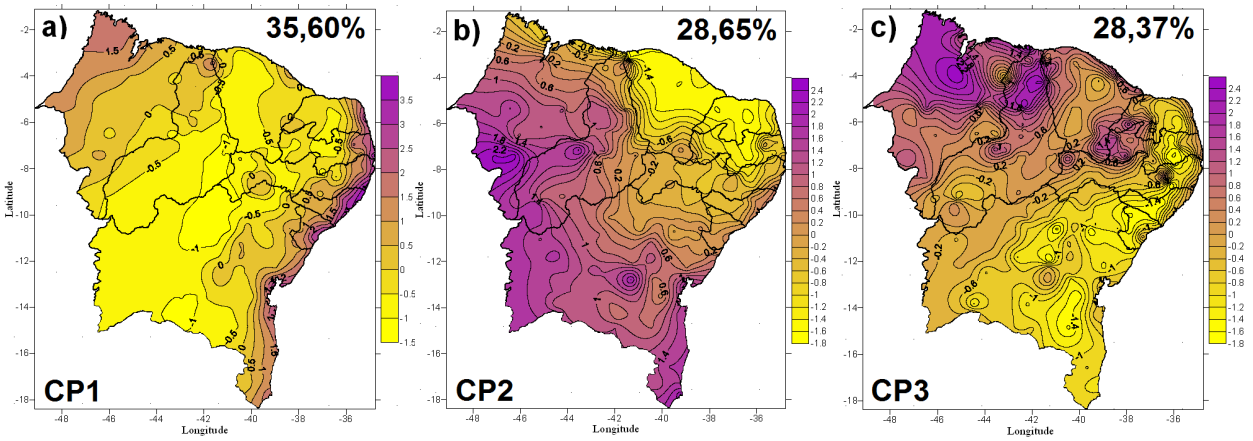


Figura 13. Distribuição das cargas das CPs do índice **Rx1day**: CP1 a) mai - set, CP2 b) out - dez e CP3 c) jan - abr.

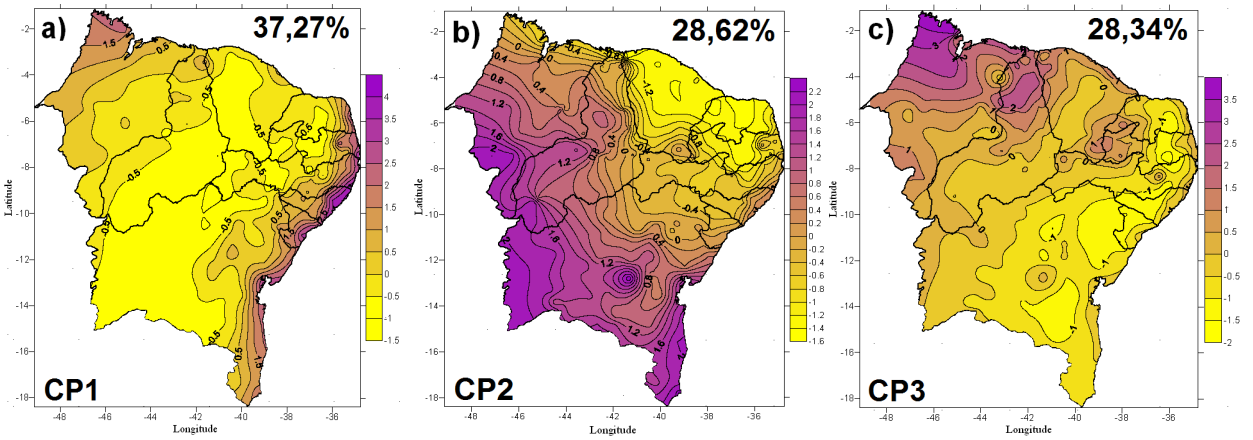


Figura 14. Distribuição das cargas das CPs do índice **Rx5day**: CP1 a) mai - set, CP2 b) out - dez, CP3 c) jan - abr.

Aplicação da AA aos dados pluviais e índices climáticos pluviais - São apresentados os resultados da aplicação da AA à média pluvial e aos 11 índices climáticos pluviais, espacialmente distribuídos em 258 postos pluviométricos.

A Figura 15a,b, exibe os quatro grupos distintos para a média pluvial e PRECPTOT, respectivamente: um grupo no extremo leste (G1); um grupo a oeste e centro-sul (G2); um grupo no nordeste (G3) e um grupo ao norte (G4), sendo este mais disperso para PRECPTOT. Comparando-se esses grupos com o mapa hipsométrico do NEB (Figura 1) nota-se certa similaridade entre as distribuições, confirmando a influência do relevo na distribuição da precipitação. Esse agrupamento aparece, também, nas isolinhas da ACP (Figuras 3 e 4, respectivamente).

A Figura 15c,d, ilustra as regiões homogêneas do NEB para os índices DSC (c) e DUC (d), respectivamente, com base nas localidades selecionadas e agrupadas pelo método de classificação hierárquica (Everitt, 1977).

Para DSC verifica-se que quatro grupos caracterizaram a área de estudo (Figura 15c). O grupo G1 cobre toda a costa leste e parte da região central da Bahia, o grupo G2 estende-se principalmente pelo agreste nordestino, G3 e G4 dominam parte do norte e oeste da região. Já na Figura 15d (DUC), dentre as sub-regiões, tem-se dois grupos distintos com características de dias úmidos consecutivos, ou seja, uma região seca no interior (destacadamente o semi-árido mais ao norte) e outra mais úmida na parte leste do NEB.

Com relação aos dados dos índices R10 e R20, a divisão também se deu em quatro grupos, ou seja, quatro áreas bem definidas (Figura 15e,f, respectivamente). A configuração mostrada por G1 (tom azul) e G4 (tom preto) indica que chuvas acima de 10 e 20 mm têm nessas áreas semelhança nos seus respectivos períodos chuvosos. Já para os grupos G3 e G4, as configurações espaciais para R10 e R20 foram bem distintas. Comparando-se o grupo G1 de R10 (Figura 15e) com o grupo G1 de R20 (Figura 15f), nota-se que a redução do número de postos pode estar associada às características locais.

Aplicando-se a AA à matriz das cargas de (R50) e (SDII), observa-se na Figura 15g, para R50, a divisão em dois grupos ou duas áreas homogêneas em relação à precipitação acima de 50 mm, uma com apenas nove estações/postos (a maioria no litoral norte) e outra abrangendo quase todo o NEB. No grupo de tom azul (G1) na Figura 15g, o principal período chuvoso ocorre de maio a setembro, e no outro grupo, tom vermelho (G2), o período chuvoso ocorre de outubro a dezembro associado à intensificação dos alísios. Já para o SDII obteve-se quatro grupos (Figura 15h). Nessa configuração há associações com características como: proximidade do litoral, posição latitudinal e topografia. O grupo G1 estende por quase todo o litoral norte e adentra para o interior

dos estados do CE, RN, PB, PE. Os grupos G2 e G3 não apresentam uniformidade na distribuição e se estendem por toda a área de estudo. Isso demonstra o perfil aleatório da intensidade diária de chuva quando o período analisado é mensal.

Na Figura 15 são exibidas as regiões homogêneas obtidas para R95p (i) e R99p (j). O NEB foi dividido em quatro regiões homogêneas para o índice R95p (Figura 15i): litoral (G1), semiárido (G2), sul e oeste (G3) e norte (G4). Para o índice R99p (Figura 15j) também foram obtidas quatro regiões homogêneas. Confrontando-se as configurações de R95p e R99p, nota-se que há concentração dos postos do grupo G1 (tom azul) no litoral, ao passo que nos grupos G2, G3, G4 observa-se eventos extremamente úmidos pontuais em praticamente todo o NEB. As informações obtidas através da análise objetiva de agrupamento sugerem a existência de quatro regiões genéricas e algumas mesorregiões para R95p. No entanto, há uma nítida indefinição (exceto para o litoral leste) do agrupamento real das localidades para o índice R99p devido à maioria dos estados apresentarem os três grupos arbitrariamente.

A alocação das estações/postos nos quatro grupos homogêneos, mostrada na Figura 15, concorda com as características fisiográficas e efeitos de continentalidade. Trata-se da regionalização dos índices Rx1day e Rx5day mostrada na Figura 15k,l, respectivamente. No grupo G1 todas as estações/postos estão no setor leste, em uma posição mais litorânea (no caso de Rx1day algumas estão localizadas mais para o interior, Figura 15k). O grupo G2 abrange estações/postos litorâneas ao sul da Bahia e oeste para Rx1day (Figura 15l), enquanto para Rx5day, a região do semiárido apresenta o maior número de estações/postos dentre os grupos (Figura 15l). Essa configuração obtida para G2 torna-se oposta ao grupo G3, haja vista que a área semiárida é preenchida por postos em tom verde para Rx1day (Figura 15k), e os postos do oeste e sul baiano, também são preenchidos em tom verde para Rx5day (Figura 15l). O grupo G4, entretanto, se aglutina no noroeste do NEB, sendo para Rx5day também se destacando no norte do CE, sertão da PB e RN, e extremo oeste de PE (Figura 15l).

É importante observar que os grupos para a precipitação máxima em um dia (Rx1day) estão mais claramente definidos do que os grupos para a precipação máxima em cinco dias (Rx5day) consecutivos. A razão física para isto é porque em geral as chuvas em um dia ocorrem dentro de único regime de precipitação, enquanto para cinco dias consecutivos, com exceção do litoral leste (chuvas de ondas de leste) e centro-sul (frentes frias), mais de um sistema de tempo são os responsáveis por fortes chuvas.

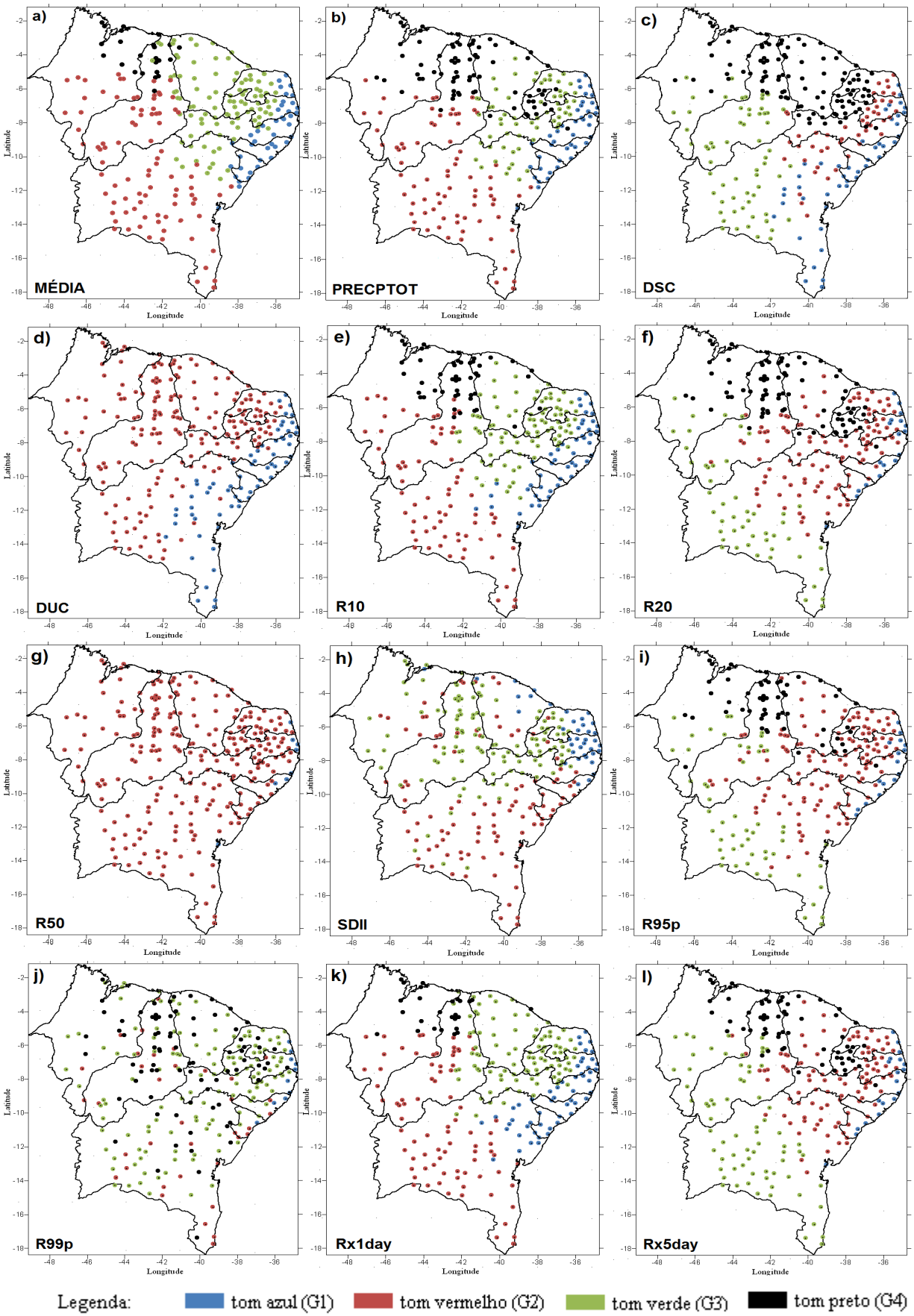


Figura 15. Distribuição das regiões pluviometricamente homogêneas para a **média pluvial** (a) e os índices **PRECPTOT** (b), **DSC** (c), **DUC** (d), **R10** (e), **R20** (f), **R50** (g), **SDII** (h), **R95p** (i), **R99p** (j), **Rx1day** (k) e **Rx5day** (l).

4. Conclusões

O método de ACP é uma alternativa às ferramentas tradicionais de AA para obter grupos homogêneos. As regiões da ACP são pouco nítidas em comparação com os resultados da AA. Por outro lado, os resultados da ACP são muito semelhantes quando comparados com as regiões estabelecidas pela AA.

A análise apresentada indica que há três regiões (grupos) de chuva sazonal sobre o NEB: a área norte devido ao deslocamento da ZCIT para latitudes mais ao sul principalmente de fevereiro a maio; a região costeira em que o máximo precipitado ocorre nos meses de maio a julho, devido a influência predominante de movimentos ascendentes, a circulação de brisas e a ação de frentes frias remanescentes que se propagam ao longo da Costa (Braga, 2000); a área sul pelas frentes frias oriundas das latitudes médias do Hemisfério Sul que alcançam latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro.

Para R99p e SDII, em particular foram obtidos quatro grupos. Para esses índices, os mecanismos locais e convectivos são mais importantes na geração de chuva e tornam estes eventos mais fortuitos em relação aos demais.

5. Agradecimentos

Gratidão à CAPES, pela ajuda financeira, e aos revisores anônimos pelo afinco nas correções.

6. Referências

Araújo, W. dos S.; Brito, J. I. B. (2011). Índices de Tendências de Mudanças Climáticas para os Estados da Bahia e Sergipe por meio de Índices pluviométricos diários e sua Relação com TSM do Pacífico e Atlântico. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.4, 541-554.

Braga, C. C. (2000). Inter-relações entre padrões de índice de vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, UFPB (Universidade Federal da Paraíba), Campina Grande, PB.

Everitt, B. S.; Der, G. A. (1977). Handbook of statistical analyses using SAS. London: Chapman & Hall.

Garayalde, E. J. G.; Da Silva, M. G. A.; Tavares, A. de Sá. (1986). Classificação meso-climática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1., CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1986, Brasília. Anais...,Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 1. p. 119-124.

Haylock, M. R.; Peterson, T.; Abreu de Sousa, J. R.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T. (2005). Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate, v.19, p.1490-1512.

Halkidi, M.; Batistakis, Y. and Vazirgiannis, M. (2001). On clustering validation techniques, Journal of Intelligent Information Systems, 17:2/3, 107–145.

O'lenic, E. A. and Livezey, R. E. (1998). Practical considerations in the use of rotated principal component analysis (RPCA) in diagnostic studies of upper-air height fields, Mon. Weather Rev., 116, 1682–1689.

On-Kim, J. (1970). Factor analysis, edited by Nie, N. H., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K., Bent, D. H., Statistical package for social sciences (spss), 468–514, McGraw-Hill, New York.

Pinto, S. S.; Krusche, N.; Humberto, C.P. (2002). Análise de Componentes Principais de Observações Meteorológicas de superfície em Rio Grande, RS, em 1998.

Preacher, K. J. and MacCallum, R. C. (2003). Repairing Tom Swift's Electric Factor Analysis. Understanding Statistics, 2, 13–44.

Preisendorfer, R. W. (1988). Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography, edited by Mobley, C. D., Elsevier, Amsterdam.

Rogers, J. C. and McHugh, M. J. (2002). On the separability of the North Atlantic oscillation and Artic oscillation, Clim. Dyn., 19, 599-608.

Santos, C. A. C. (2006). Estimativas e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba. Dissertação de mestrado em Meteorologia, UFCG (Universidade Federal de Campina Grande), Campina Grande, PB.

Von Storch, H. and Zwiers, F. W. (1999). Statistical analysis in climateresearch, Cambrigde University Press, Cambridge.