Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

# DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DO PARANÁ POR MEIO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA E GEOESTATÍSTICA

GEBERT, Deyse Márcia Pacheco – dmpgebert@uepg.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa / UEPG

KIST, Airton – kist@uepg.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa / UEPG

VIRGENS FILHO, Jorim Sousa das – jvirgens@uepg.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa / UEPG

**RESUMO:** Os objetivos principais deste trabalho foram identificar os padrões pluviométricos e determinar regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no Estado do Paraná utilizando análise de componentes principais e de agrupamento e geoestatística. Para isso foram utilizadas séries mensais de 49 estações meteorológicas, no período de 1980 a 2009, distribuídas no Estado do Paraná. As duas primeiras componentes principais explicam 86, 74% da variância total dos dados. O primeiro componente apresenta correlações mais fortes com os meses de abril a novembro, período menos chuvoso, e o segundo componente, com os demais meses, período mais chuvoso no Estado. Foram identificadas três regiões homogêneas em relação à variabilidade de precipitação: região leste, região sudoeste e a outra região compreende o restante do Estado.

**PALAVRAS-CHAVE**: Análise de Componentes Principais, Análise de Agrupamento, Geoestatística.

*DETERMINATION OF HOMOGENEOUS REGIONS OF PLUVIOMETRIC PRECIPITATION IN THE STATE OF PARANA BY MULTIVARIATE AND GEOSTATISTICAL ANALYSIS TECHNIQUES*

**ABSTRACT:** The main objectives of this work were to identify pluviometric patterns and to determine homogeneous regions of rainfall in the State of Parana using principal component and clustering analysis and geostatistics. For this, monthly series of 49 meteorological stations were used, from 1980 to 2009, distributed in the State of Parana. The first two principal components explain 86.74% of the total variance of the data. The first component presents stronger correlations with the months from April to November, less rainy period, and the second component, with the other months, the more rainy period in the state. Three homogeneous regions were identified in relation to precipitation variability: eastern region, southwest region and the other region comprises the rest of the state.

**KEYWORDS:** Principal Component Analysis, Cluster Analysis, Geostatistics.

## INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais a precipitação pluviométrica é considerada a variável climática mais importante do ponto de vista local-regional, devido ao grande impacto que ela provoca nas principais atividades humanas. Por apresentar variabilidade tanto no aspecto temporal como numa perspectiva espacial, a análise do seu padrão e periodicidade tem sido objeto de várias pesquisas de temáticas ambientais. Segundo Pereira et al. (2008), a precipitação é o principal elemento climático que influencia diretamente a produtividade agrícola no Estado do Paraná, em decorrência do mesmo se localizar numa região de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

transição climática, que provoca bastante instabilidade pluvial, influenciando no estabelecimento de culturas agrícolas.

A ocorrência de precipitação, bem como a sua ausência, está relacionada com fenômenos meteorológicos que pertencem a várias escalas temporais e espaciais. Da mesma forma, outros elementos meteorológicos também estão associados a eventos de meso e grande escala (fenômenos como El Niño e La Niña), que por sua vez estão relacionados às alterações oceânicas e atmosféricas próximas à região equatorial do oceano Pacífico Tropical (RIBEIRO et al., 2014).

Segundo Silva e Nery (2001) o Paraná é um Estado que tem seu clima afetado por diferentes fatores, como maritimidade (Oceano Atlântico), continentalidade (região central e oeste do Estado), orografia (Serra Geral, ao sul e Serra do Mar, a leste) e o efeito do Trópico de Capricórnio que corta a região norte do Estado, com uma dinâmica da baixa térmica do Chaco e as bandas convectivas e/ou ZCAS na primavera e verão e os sistemas polares (principalmente no inverno e outono). Desta forma é extremamente importante entender todos esses fatores atuantes no Estado de maneira associada, como uma explicação da variabilidade das chuvas no Estado do Paraná.

Pesquisas abordando a climatologia de um local ou região, geralmente tratam de caracterizar o estado médio da atmosfera em um determinado espaço de tempo. Porém, as mudanças antropogênicas, quer sejam decorrentes do uso do solo ou da emissão de gases poluentes, vêm provocando consideráveis alterações na climatologia regional, e tem sido objeto de vários estudos sobre mudanças climáticas e cenários futuros por meio da aplicação de modelos de circulação geral de grande escala (NOBRE et al., 1991).

Técnicas de análise multivariada e geoestatística têm sido amplamente utilizadas na análise de séries climáticas com o intuito de reduzir a dimensão do conjunto de dados e facilitar a sua interpretação. Os estudos feitos por Melo Jr et al., (2006), Grimm, (2011), Nogueira et al., (2014), Cera e Ferraz, (2015), Santos et al., (2016) e Prado et al., (2016), utilizaram a análise de componentes principais (ACP), no entanto os trabalhos de Oliveira et al., (2014), Santos et al., (2014) e Nascimento et al., (2015) fizeram uso de análise fatorial em componentes principais. Já para a determinação de regiões homogêneas de precipitação, Melo Jr et al., (2006), Santos et al., (2014), Araújo et al., (2015) e Pansera et al., (2015) utilizaram a análise de agrupamento com o método hierárquico de Ward.

Grimm (2011), utilizando dados do período de 1961-2000, avaliou os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre o regime sazonal da precipitação pluviométrica, por meio da análise da variabilidade climática interanual na América do Sul. Cera e Ferraz (2015) também utilizaram a ACP e caracterizaram três modos de variabilidade que influenciam o regime de chuvas na região Sul do Brasil e que afetam de forma diferente as estações do ano na região. Já Santos et al. (2016) utilizaram essa técnica na análise da dinâmica temporal em múltiplas escalas de tempo dos eventos secos e chuvosos no sudeste do Brasil.

Para realizar uma avaliação sobre a alteração do bioma Cerrado do Estado do Maranhão decorrente de implantação do cultivo ostensivo da soja, Nogueira et al. (2014) utilizaram a ACP para investigação concernente à

alterações da razão de mistura (relação da umidade relativa e da pressão de vapor) com a mudança do uso da terra na cidade de Chapadinha - MA. A mesma técnica foi utilizada por Prado et al. (2016) para o estudo do comportamento climático da cidade de Uberlândia (MG), por meio da análise mensal dos elementos atmosféricos (temperatura, umidade relativa do ar, amplitude térmica, precipitação) no período de 2008 a 2012.

Por meio a análise fatorial em componentes principais, Nascimento et al. (2015) identificaram regiões e períodos com altos e baixos índices pluviométricos, bem como os sistemas atmosféricos que influenciam na variabilidade espaço-temporal da precipitação no Maranhão. Já Oliveira et al. (2014) aplicaram essa técnica para séries mensais de Evapotranspiração Potencial na região do Submédio do Vale do rio São Francisco.

Utilizando dados de precipitação da região hidrográfica do Atlântico, trecho Leste no Estado de Minas Gerais, Melo Jr et al. (2006) realizaram, via ACP, uma análise espacial do regime de chuvas. Além disso, os autores aplicaram análise de agrupamento para determinar grupos de estações pluviométricas com características regionais homogêneas. Araújo et al. (2015) também determinaram regiões homogêneas de precipitação porém, para o Estado do Rio Grande do Norte.

Santos et al. (2014) analisaram o comportamento espaço-temporal da precipitação pluviométrica sobre o Estado do Pará utilizando análise fatorial em componentes principais e determinaram regiões homogêneas de precipitação utilizando a técnica de análise de agrupamento. Segundo os autores, essas técnicas têm apresentado resultados promissores na regionalização das características locais da precipitação, possibilitando entender melhor os mecanismos físicos responsáveis pela maior parte dos padrões de variabilidade de chuva.

Diante do exposto, visto que é de grande importância a necessidade do mapeamento para identificação de padrões pluviométricos no âmbito regional, tanto em escala temporal como espacial, objetivou-se identificar e determinar regiões homogêneas dos padrões pluviométricos no Estado do Paraná. Para tanto, utilizou-se técnicas multivariadas de análise de componentes principais e análise de agrupamento, bem como métodos geoestatísticos para espacialização de séries pluviométricas georreferenciadas de 49 estações.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A região estudada foi o Estado do Paraná. Segundo Pansera et al. (2015), sua área é de aproximadamente 200.000 km2 e situa-se aproximadamente entre as latitudes 22º31' e 26º43'S e entre as longitudes 48º06' e 54º37'W. O clima do Paraná é subtropical (com temperaturas amenas), mas uma pequena parte do seu território tem um clima tropical. De acordo com a classificação de Köppen, predomina o clima tipo C (mesotérmico) e o clima tipo A (tropical chuvoso).

Esta pesquisa foi conduzida no Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada - LECA, pertencente ao Departamento de Matemática e Estatística da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Foram utilizados dados da precipitação de 49 estações/postos meteorológicos espalhadas pelo Estado

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

do Paraná, pertencentes à Agência Nacional das Águas (ANA), Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na Tabela 1 pode-se observar as coordenadas geográficas, cidade e o total médio anual de chuva de cada uma das estações utilizadas no estudo.

Considerou-se, para fins de análise, a chuva média mensal e anual de janeiro a dezembro de um período de trinta anos (1980 a 2009) para todas as estações. O tamanho da série histórica, integridade, consistência dos dados e cobertura espacial foram fatores relevantes na escolha das estações.

**Tabela 1** – Estações meteorológicas e postos pluviométricos usados no estudo.

| Nº | Estações/postos | Precipitação (mm por ano) | Latitude | Longitude |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Antonina | 2619,10 | -25,2167 | -48,8000 |
| 2 | Apucarana | 1688,70 | -23,5000 | -51,5333 |
| 3 | Bandeirantes | 1452,90 | -23,1000 | -50,3500 |
| 4 | Bela Vista do Paraíso | 1536,90 | -22,9500 | -51,2000 |
| 5 | Cambará | 1425,40 | -23,0000 | -50,0333 |
| 6 | Campo Mourão | 1643,30 | -24,0500 | -52,3700 |
| 7 | Campo do Tenente | 1526,22 | -25,9833 | -49,6833 |
| 8 | Cascavel | 2037,10 | -24,9333 | -53,4333 |
| 9 | Castro | 1480,60 | -24,7800 | -50,0000 |
| 10 | Cerro Azul | 1426,30 | -24,8167 | -49,2500 |
| 11 | Cianorte | 1676,70 | -23,6667 | -52,5833 |
| 12 | Clevelândia | 2052,80 | -26,4167 | -52,3500 |
| 13 | Cruzmaltina | 1499,20 | -24,1058 | -51,4822 |
| 14 | Curitiba | 1493,25 | -25,4333 | -49,2667 |
| 15 | Diamante do Sul | 1951,61 | -24,9472 | -52,5978 |
| 16 | Engenheiro Beltrão | 1623,60 | -23,6747 | -52,1172 |
| 17 | Fênix | 1576,05 | -23,9006 | -51,9525 |
| 18 | Fernandes Pinheiro | 1623,90 | -25,4500 | -50,5833 |

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 19 | Figueira | 1452,59 | -23,8503 | -50,3911 |
| 20 | Formosa do Oeste | 1431,11 | -24,2000 | -53,3333 |
| 21 | Francisco Beltrão | 2072,60 | -26,0833 | -53,0667 |
| 22 | Grandes Rios | 1516,95 | -24,3444 | -51,4239 |
| 23 | Guarapuava | 1956,00 | -25,3500 | -51,5000 |
| 24 | Guaraqueçaba | 2423,00 | -25,2667 | -48,5333 |
| 25 | Ibiporã | 1509,70 | -23,2667 | -51,0167 |
| 26 | Iratí | 1587,80 | -25,4700 | -50,6300 |
| 27 | Ivaí | 1692,15 | -25,0167 | -50,8500 |
| 28 | Jaguariaíva | 1591,09 | -24,2333 | -49,7000 |
| 29 | Joaquim Távora | 1446,20 | -23,5000 | -49,9500 |
| 30 | Lapa | 1598,10 | -25,7833 | -49,7667 |
| 31 | Laranjeiras do Sul | 2056,40 | -25,4167 | -52,4167 |
| 32 | Londrina | 1625,80 | -23,3667 | -51,1667 |
| 33 | Maringá | 1660,13 | -23,4167 | -51,9500 |
| 34 | Marmeleiro | 2054,38 | -26,1525 | -53,0183 |
| 35 | Morretes | 1997,40 | -25,5000 | -48,8167 |
| 36 | Nova Cantu | 1993,60 | -24,6667 | -52,5667 |
| 37 | Palmas | 2099,00 | -26,4833 | -51,9833 |
| 38 | Palotina | 1666,70 | -24,3000 | -53,9167 |
| 39 | Paranavaí | 1485,70 | -23,0833 | -52,4333 |
| 40 | Paranaguá | 2273,70 | -25,5200 | -48,5200 |
| 41 | Pato Branco | 2079,90 | -26,1167 | -52,6833 |
| 42 | Pinhais | 1469,10 | -25,4167 | -49,1333 |
| 43 | Planalto | 1960,90 | -25,7000 | -53,7833 |
| 44 | Ponta Grossa | 1636,00 | -25,2167 | -50,0167 |
| 45 | Quedas do Iguaçu | 2085,50 | -25,5167 | -53,0167 |

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 46 | Rio Negro | 1619,64 | -26,1000 | -49,8000 |
| 47 | São Miguel do Iguaçu | 1868,00 | -25,4333 | -54,3667 |
| 48 | Telêmaco Borba | 1621,80 | -24,3333 | -50,6167 |
| 49 | Umuarama | 1641,60 | -23,7333 | -53,2833 |

A distribuição espacial das 49 estações/postos (Tabela 1) estão apresentadas na Figura 1.

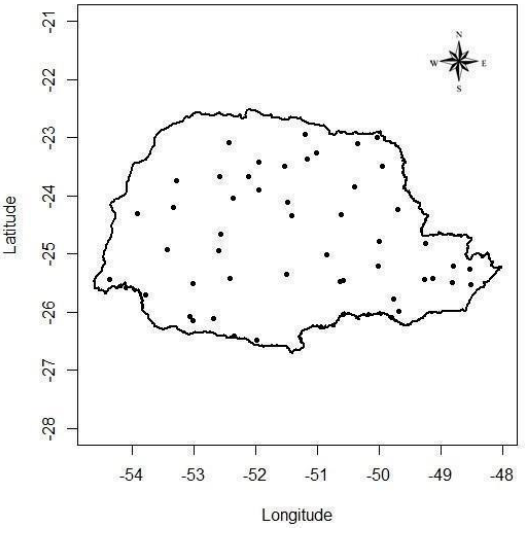



**Figura 1** - Cobertura espacial das estações meteorológicas e postos pluviométricos usados no estudo.

A análise estatística foi realizada em duas etapas: análise de componentes principais e análise de agrupamento.

Na primeira etapa os dados coletados das estações/postos foram analisados através da técnica de componentes principais, com o intuito de reduzir a dimensionalidade, da variável meses, para facilitar a interpretação do padrão de chuva no Estado do Paraná. Para isso, a partir da matriz de correlações (entre os 12 meses do período) calcularam-se os autovalores, os respectivos autovetores e a variância explicada para cada componente principal (CP). Os autovalores representam a variabilidade atribuída a cada CP, os autovetores são os pesos para cada variável (meses) na combinação linear, sendo assim, quanto maior o peso atribuído a uma variável, mais a mesma está sendo explicada nesse CP. Já a variância explicada por cada CP é determinada pela proporção de cada autovalor em relação a variabilidade total (soma de todos os autovalores).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O método utilizado para a determinação do número de componentes principais retidos foi a regra de Kaiser (KAISER, 1959), que recomenda somente a retenção dos componentes cujos autovalores são maiores do que um. Em seguida calcularam-se as correlações entre os componentes retidos e as variáveis originais para que assim a interpretação e o significado de cada CP seja melhor compreendido (FERREIRA, 2008).

Foram gerados mapas com a variabilidade espacial, do padrão de precipitação, utilizando o escore dos componentes principais retidos e também um mapa da variabilidade do total médio de chuva anual. Para isso empregaram-se técnicas geoestatísticas, onde o método de interpolação adotado foi a krigagem ordinária (MELLO et al., 2005). Em uma análise empírica o modelo que melhor ajustou-se aos semivariogramas foi o gaussiano, com distância máxima de aproximadamente 4, tanto para os escores dos dois CPs retidos como para os totais médios anuais da precipitação.

Na segunda etapa do presente trabalho empregou-se a análise de agrupamento com o intuito de verificar a similaridade das informações entre as estações e delimitar regiões com o mesmo padrão de precipitação. Utilizou-se o método de agrupamento hierárquico de Ward (WARD, 1963) para a construção do dendrograma. O número de grupos foi determinado a partir do critério proposto por Mojena (1977), que recomenda a escolha baseada na maior distância de junção entre os grupos formados. A validação do agrupamento foi realizada através da correlação cofenética (ROMESBURG, 2004).

Todas as análises foram realizadas no software estatístico R - The R Project for Statistical Computing (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017) utilizando, além das bibliotecas básicas, os pacotes SensoMineR e geoR.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 49 estações meteorológicas utilizadas no estudo apresentam uma boa distribuição espacial no Estado do Paraná (Figura 1), o que garante uma maior consistência na estimação e interpolação dos dados.

Aplicando técnicas geoestatísticas nos totais médios anuais da precipitação para o período de 1980 a 2009, foi elaborado o mapa apresentado na Figura 2. Neste mapa é possível observar que os maiores volumes médios anuais de chuva ocorreram nas regiões litorânea e sudoeste do Estado, sendo que os menores volumes foram encontrados nas áreas mais ao norte do Paraná. Estes resultados corroboram com Nogarolli (2007), no estudo da evolução climática do Estado do Paraná, e as cartas climáticas do Paraná (IAPAR, 2000).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

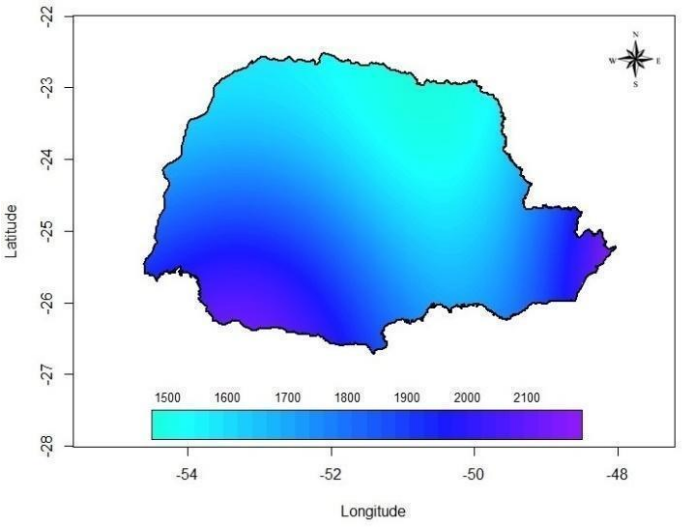



**Figura 2** - Espacialização dos totais médios anuais da precipitação no Estado do Paraná.

Na análise de componentes principais (ACP) aplicada nos dados médios mensais de precipitação produziram 12 componentes (CPs) e baseando-se na regra de Kaiser (KAISER, 1959) foram retidos apenas os dois primeiros que apresentaram autovalor maior que um. Os dois CPs retidos explicam 86,74% da variância total dos dados, sendo 54,39% atribuído ao CP 1 e 32,35% para o CP 2. Os demais componentes explicam uma variabilidade menor do que a variável em si e por isso não devem ser considerados. Essa mesma técnica de retenção de CPs foi utilizada por Santos et al. (2014), no estudo da variabilidade da precipitação no Estado do Pará, assim como Nascimento et al. (2015) na análise dos padrões espaciais e temporais da precipitação no Estado do Maranhão. Nesses dois trabalhos os autores retiveram três CPs, todos com autovalor maior que um e que explicaram 92,91% e 92,8% da variância total dos dados, respectivamente.

As correlações entre cada CP retido e as variáveis originais, podem ser observadas na Figura 3. O CP 1 apresenta as correlações mais fortes com os meses de abril a novembro, todas acima de 0,79. Já o CP 2 tem correlação mais forte com os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, correlações acima de 0,80. Devido a esses valores expressivos que ficaram bem definidos para cada CP, pode-se dizer que cada um representa um padrão de precipitação que coincide com os períodos de menor e maior precipitação do Estado. O CP 1 representa o período menos chuvoso e o CP 2 o mais chuvoso. Esse resultado corrobora com os dados históricos do clima do Estado, conforme boletins climáticos do SIMEPAR (SIMEPAR, 2017), o que da consistência à essa análise.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

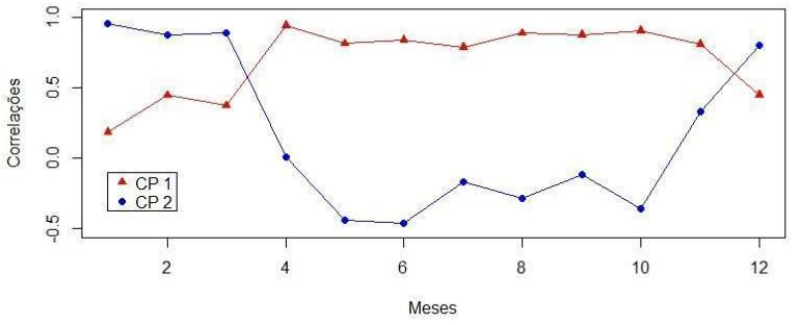



**Figura 3** - Correlações entre cada CP e a variável mês.

No estudo de Santos et al. (2014) feito no Pará, os autores retiveram 3 CPs e foi verificado que o primeiro CP estava relacionado aos meses de maio a agosto, o CP 2 com os meses de setembro a dezembro e o CP3 com os meses de janeiro a abril. Já para o Estado do Maranhão, Nascimento et al. (2015) que utilizou a mesma técnica, também reteve 3 CPs, porém os meses mais correlacionados com CP 1 e CP 2 ficaram invertidos, se comparados com os resultados de Santos et al. (2014), já o CP 3 permaneceu com os mesmos meses de maior correlação. Isso mostra que a análise de componentes principais tem se mostrado eficiente na verificação de diferentes padrões de precipitação, pois fica evidente a diferença no comportamento da variabilidade de precipitação no Estado do Paraná com relação ao Pará e Maranhão.

O padrão espacial de precipitação do CP 1 (Figura 4), que corresponde ao período menos chuvoso (abril a novembro), se assemelha ao padrão anual total de precipitação do Estado (Figura 2), o que era esperado, pois o CP 1 explica a maior parte da variabilidade total da precipitação (54,39%). Ainda observando o CP 1, percebe-se dois padrões de precipitação bem definidos: um compreende as regiões litoral e sudoeste e outro com as demais regiões do Estado. A transição de um padrão para o outro ocorre de maneira gradual, na direção sudoeste/nordeste. No CP 2 (Figura 4), que representa o período de dezembro a março (mais chuvoso), pode-se observar um padrão espacial que também se altera gradualmente na direção sudoeste/noroeste, porém em sentido contrário. Além disso, a região litorânea não se assemelha mais ao padrão da região sudoeste como ocorre no CP 1.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

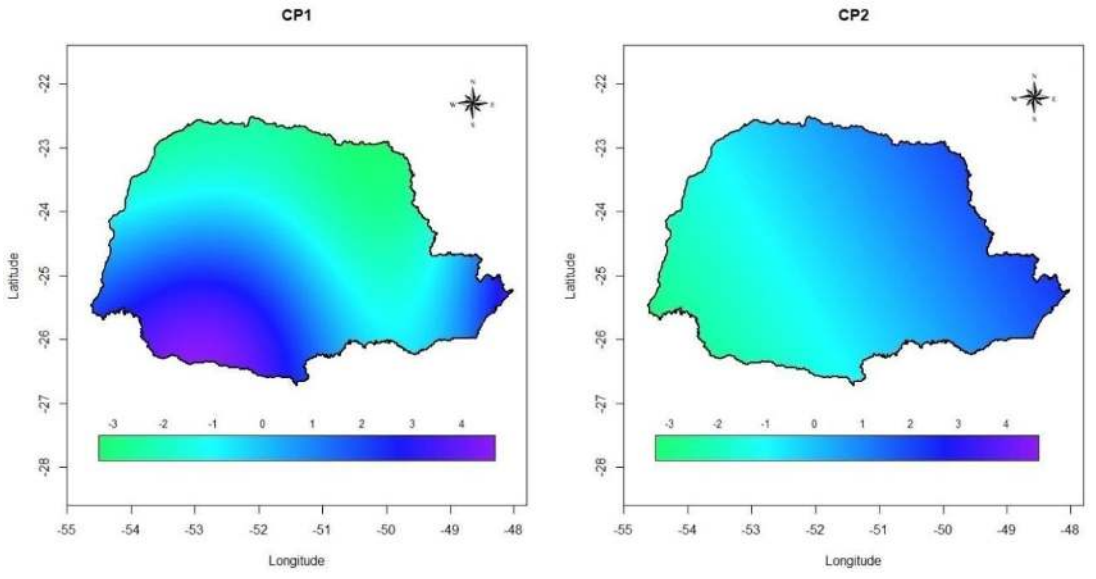



**Figura 4** - Padrão espacial da precipitação associado ao CP 1 e CP 2 no Estado do Paraná.

De uma maneira geral, no período mais chuvoso do ano, as regiões norte, nordeste e litorânea, apresentam padrão de chuva semelhante, o qual é diferente da região sudoeste. Já para o período menos chuvoso, a região litorânea se assemelha ao padrão da região sudoeste, sendo este padrão diferente das regiões norte e nordeste. Outra observação interessante é que o padrão de precipitação das regiões norte e nordeste, no período mais seco (CP 1), é semelhante ao padrão encontrado na região sudoeste para o período mais chuvoso (CP 2). Segundo Pereira et al. (2008) e Silva e Nery (2001) a variabilidade da precipitação no Estado do Paraná está explicada por diferentes fatores (dinâmicos e/ou estáticos). A região centro-sul do Estado do Paraná está dominada por uma serra (Serra Geral) que influencia muito na variabilidade da precipitação dessa região associado com outras dinâmicas de circulação como, por exemplo, a entrada de massas polares. A orografia (Serra Geral, ao sul e Serra do Mar, a leste), chove mais em maiores altitudes, certamente é um fator que influencia o clima no período mais seco, pois são regiões homogêneas na CP 1. O efeito do Trópico de Capricórnio associado a dinâmica da baixa térmica do Chaco e as bandas convectivas e/ou ZCAS na primavera e verão podem explicar as regiões homogêneas da CP 2.

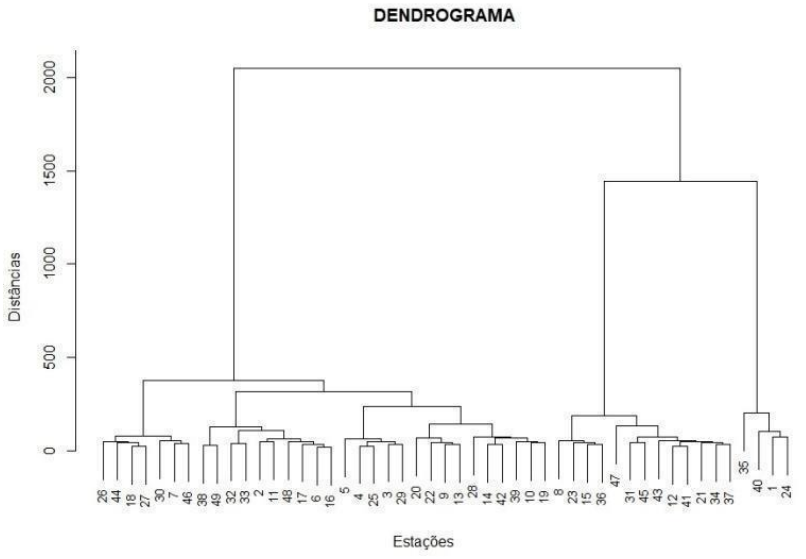



**Figura 5** - Dendrograma para o agrupamento de estações com dados semelhantes.

Na segunda etapa o intuito foi determinar quais dados de estações/postos apresentavam maior similaridade entre si. Para isso empregou-se a análise de agrupamento utilizando o método de Ward e por meio do dendrograma construído (Figura 5), verificou-se que a maior amplitude nas distâncias de junção dos grupos formados foi dada na migração de 3 para 2 grupos, sendo assim optou-se por utilizar 3 grupos. A validação do agrupamento foi verificada através da correlação cofenética e o valor encontrado foi de 0,7223, o que é considerado relativamente forte, indicando que o agrupamento é válido. Com isso o Estado do Paraná foi dividido em três regiões homogêneas de precipitação média mensal (Figura 6). A primeira região (R1) abrange as quatro estações meteorológicas da região leste (1, 24, 25 e 40), a segunda (R2) com treze estações/postos do sudoeste (8, 12, 15, 21, 23, 31, 34, 36, 37, 41, 43, 45 e 47) e as demais 32 estações/postos formam uma terceira região (R3). Na Tabela 1 é possível verificar a localização de cada uma delas.

De certa forma, a classificação em três regiões corrobora com as cartas climáticas do Paraná (IAPAR, 2000), os resultados encontrados por Nogarolli (2007), no estudo da evolução climática do Estado do Paraná, e também com os totais médios anuais da precipitação apresentados na Figura 2.

Nery et al. (1996), no estudo da caracterização da precipitação no Estado do Paraná, analisou 36 séries pluviométricas (período de 1958 a 1992) e através do método de agrupamento hierárquico de Ward classificou o Estado do Paraná em cinco regiões homogêneas, sendo uma delas formada pela região leste que é semelhante a R1 do presente estudo. Nas demais regiões não foi possível estabelecer uma relação. A diferença nos resultados pode ser devido a menor cobertura espacial, estações pluviométricas diferentes, período analisado diferente ou mesmo mudanças climáticas. Já Nery (2005), no estudo da dinâmica climática da região sul do Brasil, analisou 127 séries pluviométricas (período de 1972 a 1997) e classificou-a em quatro regiões homogêneas (grupos) aplicando o método de Ward. O Estado do Paraná faz parte de três

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

desses grupos, no entanto não é possível caracterizar três regiões homogêneas distintas. Como em Nery et al. (1996) essas diferenças podem ser atribuídas a diversos fatores, como por exemplo: região estudada mais abrangente, período diferente ou mudanças climáticas.

Pansera et al. (2015) no estudo de regionalização de valores de precipitação mensal no Estado do Paraná, utilizando técnicas de agrupamento: k-médias, hierárquico e híbrido, dividiu o Estado em seis regiões homogêneas de precipitação mensal. As regiões R1 e R2 são parecidas e a região R3 foi dividida em quatro sub-regiões no estudo de Pansera et al. (2015).

Analisando as regiões homogêneas apresentadas na Figura 6, observa-se que a R1 apresentou precipitação total média anual de 2328,30 mm. Nessa região, durante o período estudado, o mês mais chuvoso foi janeiro com uma média de 368,7 mm e o mês menos chuvoso foi agosto com 86,5 mm. Já para R2, que abrange treze estações/postos da região sudoeste, o total médio anual encontrado foi de 2020,6 mm, o mês mais chuvoso foi outubro com 240,8 mm e agosto foi considerado o mês com menor precipitação, 106,6 mm. Para a maior região homogênea (R3), que compreende as demais estações/postos, a precipitação média foi de 1560,2 mm por ano. Já o mês mais chuvoso foi janeiro com 201,1 mm enquanto o menos chuvoso, com 69,0 mm, foi também agosto.

De uma maneira geral, as três regiões identificadas no agrupamento apresentaram como mês mais seco, o mês de agosto. Em relação ao mês com maior volume médio de precipitação, para as regiões 1 e 3 foi o mês de janeiro, no entanto para a região sudoeste (R2) o mês mais chuvoso foi outubro.

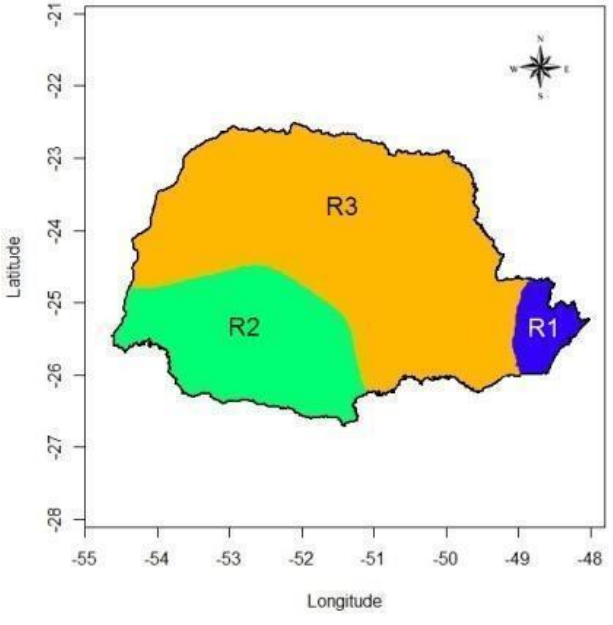



**Figura 6** - Regiões homogêneas de precipitação média mensal no Estado do Paraná.

Pansera et al. (2015) em um estudo de regionalização da precipitação mensal, também no Estado do Paraná, obteve seis regiões homogêneas, porém

empregando uma metodologia de agrupamento diferente (um método híbrido entre k-médias e Ward) e não calculando as médias mensais, apenas utilizando a própria série histórica. Já Santos at al. (2014) e Nascimento et al. (2015) empregaram a mesma metodologia de agrupamento do presente trabalho, no entanto para diferentes regiões, o primeiro para o Estado do Pará e o segundo no Estado do Maranhão. Araújo et al. (2015) que determinou regiões homogêneas no Estado do Rio Grande do Norte utilizou mais variáveis, além de médias mensais e anuais de precipitação também utilizou os índices PCD (Precipitation Concentration Degree) e PCP (Precipitation Concentration Period). Neste caso os autores empregaram duas técnicas de agrupamento, Ward e k-means.

De acordo com os resultados encontrados nesses trabalhos é possível confirmar que a técnica de agrupamento consegue detectar padrões diferentes de chuva para os Estados estudados, pois Santos et al. (2014) encontraram três regiões homogêneas no Pará, Nascimento et al. (2015) determinaram cinco sub-regiões no Estado do Maranhão e Araújo et al. (2015) dividiram o Rio Grande do Norte em quatro regiões.

## CONCLUSÕES

Na ACP foram retidos dois componentes principais, os quais representaram dois padrões bem definidos de precipitação, que coincidiram com os períodos mais e menos chuvosos do Estado. Outro resultado importante da ACP é relacionado às alterações do padrão de precipitação, que ocorreram na direção sudoeste/nordeste, demonstrando que essa análise foi capaz de capturar o padrão pluviométrico já conhecido do Paraná.

Pela análise de agrupamento das estações meteorológicas o Estado foi delimitado em três regiões: R1 - região leste, R2 - região sudoeste e R3 - o restante do Estado. A transição de R2 para R3 também ocorreu na direção sudoeste/nordeste. Sendo as regiões R1 e R2 com padrões mais parecidas, o que corrobora com os resultados da ACP.

As análises de componentes principais e de agrupamento, juntamente com as técnicas geoestatísticas, conseguiram representar de forma satisfatória o comportamento pluviométrico do Estado do Paraná.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. M. S.; MAIA, A. G.; NEVES, J. A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. Revista Brasileira de Climatologia, v.17, p.119-139, 2015.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. Revista Brasileira de Meteorologia, v.30, n.1, p.81-88, 2015.

FERREIRA, D. F. Estatística Multivariada. Lavras: Editora UFLA. 2008. 662p.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. Stoch Environ Res Risk Assess, v.25, p.537-554, 2011.

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. Cartas climáticas do Paraná. CAVIGLIONE, J. H; KIIHL, L. R. B; CARAMORI, P. H; OLIVEIRA, D. Londrina: IAPAR, 2000.

KAISER, H. F. Computer program for varimax rotation in factor analysis. Journal of Educational and Psychological Measuremente, Hillsdade, v. 19, p. 413-420, 1959.

MELLO, J. D.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. D. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de Eucalyptus grandis. Scientia Forestalis. Piracicaba, v.69, p.25-37, 2005.

MELO JUNIOR, J. C.F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B.G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.408–416, 2006.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. Computer Journal, London, v.20, p.359-363, 1977.

NASCIMENTO, F. C. A.; ARAÚJO, F. R. C. D.; BRAGA, C. C.; COSTA, E. V.S. Análise de Padrões Espaciais e Temporais da Precipitação no Estado do Maranhão – Brasil. Revista Brasileira de Geografia e Física, v.8, n.2, p.422-430, 2015.

NERY, J. T. Dinâmica climática da região sul do Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da precipitação no estado do Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 4, n. 2, p. 81-89, 1996.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. Journal of Climate, v.4, n.10, p.957-988, 1991.

NOGAROLLI, M. Evolução climática do Estado do Paraná: 1970 – 1999. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

NOGUEIRA, V. F. B.; NOGUEIRA, V. S.; CORREIA, M. F.; BRAGA, C. C. Variabilidade espaço-temporal da razão de mistura para estações do Estado do Maranhão através da análise multivariada. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, n.5 (Número Especial-VIWMCRHPE), p.978-989, 2014.

OLIVEIRA, N. F.; SILVA, M. T.; GONÇALVES, A. A. S.; ARAÚJO, R. M. S. Variabilidade espaço temporal da Evaporação Potencial no submédio do rio São Francisco utilizando a análise fatorial em componentes principais. Ciência e Natura, v.36 (Ed. Especial II), p.462–473, 2014.

PANSERA, W. L.; GOMES, B. M.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; MELO, E. L.; QUEIROZ, M. M. F. Regionalization of monthly precipitation values in the

state of Paraná (Brazil) by using multivariate clustering algorithms. Irriga, Botucatu, v.20, n.3, p.473-489, 2015.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; SILVA, D. A. B.; CAVIGLIONE, J. H. Determinação do início e término da estação chuvosa no Estado do Paraná. Revista Geografar, v.3, n.2, p.1-12, 2008.

PRADO, B. Q. M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; LAIA, G. A.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.21, n.2, p.407-413, abr/jun 2016.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

RIBEIRO, R. E. P.; ÁVILA, P .L. R.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, E. G.; SOUSA, L. F. Análise da Tendência Climática nas Séries Temporais de Temperatura e Precipitação de Tucuruí-Pará. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, n.5 (Número Especial- VIWMCRHPE), p. 798-807, 2014.

ROMESBRUG, H. C. Cluster analysis for researches. North Carolina: Lulu, 2004. 344p.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. L. O. B.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade da precipitação no Estado do Pará por meio de análise em componentes principais. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, n.3, p.615-627, 2014.

SANTOS, S. R. Q., SANSIGOLO, C. A., SANTOS, A. P. P. Dinâmica temporal em múltiplas escalas de tempo dos eventos secos e chuvosos no sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v.9, n.5, p.1292-1300, 2016.

SIMEPAR.Boletim Climático.Disponível em: www.simepar.br. Acesso em: 16 mar. 2017.

SILVA, E. S.; NERY, J. T. Distribuição Espacial e Temporal da Precipitação na Região Centro-Sul do Estado do Paraná. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA. Maringá Pr. 2001.

WARD, J. H. Hierarquical grouping to optmize an objective function. Journal of the American Statistical Association, New York, v. 58, p. 236-244, 1963.