

Utilização de Técnicas Multivariadas Para Análise da Influência do Fenômeno ENOS na Precipitação do Paraná

Deyse Márcia Pacheco Gebert¹, Airtton Kist²

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 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 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - IMPE, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado por anomalias, positivas (El Niño) ou negativas (La Niña), de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial, e sua caracterização é feita através de índices, como o Índice de Oscilação Sul (IOS – calculado através da diferença de pressão entre duas regiões distintas: Taiti e Darwin).

Diversos estudos têm investigado a relação do fenômeno ENOS com a variabilidade climática, principalmente a precipitação pluviométrica, em diversas regiões do planeta. FONTANA e BERLATO (1997) analisaram a influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. Usaram dados de 29 estações meteorológicas e o período compreendido entre 1913 e 1995, variando de 48 a 82 anos de observações de precipitação.

Teixeira e Martín-Vide (2013) estudaram a existência de correlação da precipitação do Paraná com o índice El Niño-Oscilação Sul 3.4 (ENOS), com base em séries pluviométricas (1976-2011) de 22 postos pluviométricos espalhados pelo estado. Os autores encontraram moderados e altos graus de correlações entre as precipitações e o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, e a ocorrência do El Niño produz chuvas mais altas que a normal três meses depois no estado, ou seja, no trimestre de março, abril e maio.

O objetivo principal desse trabalho é quantificar a influência do fenômeno ENOS sobre a precipitação pluvial mensal do estado do Paraná. Devido ao impacto econômico e social do fenômeno ENOS buscou-se caracterizar o padrão de distribuição de chuva no Paraná em escala mensal considerando a ocorrência de eventos ENOS e anos neutros, utilizando técnicas de

¹ DEMAT/UEPG. Email: dmpgeberty@uepg.br.

² DEMAT/UEPG. Email: kist@uepg.br.

Estatística Multivariada como análise de componentes principais, geoestatística e análise de agrupamento.

Material e métodos

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 climatológicos de 47 estações/postos meteorológicos, no período de 1980 a 2009, espalhadas pelo estado do Paraná, pertencentes a Agência Nacional das Águas (ANA), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a análise, as séries de cada estação foram separadas por mês e posteriormente os dados de cada mês foram organizados em três classes, conforme influência do fenômeno ENOS, baseando-se no Índice de Oscilação Sul (IOS) determinado pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e por fim foram calculadas a precipitação média mensal de cada classe. Sendo assim, foram organizados três grupos de dados, Grupo Neutro: séries dos meses, nos anos em que não houve influência do fenômeno ENOS; Grupo Nino: séries dos meses em que houve influência do El Niño e Grupo Nina: séries dos meses em que houve influência do La Niña. O tamanho da série histórica, integridade, consistência dos dados e cobertura espacial foram fatores relevantes na escolha das estações. Na Figura 3 pode-se observar a localização das estações meteorológicas utilizadas no estudo.

A análise estatística foi realizada, para cada um dos grupos de dados, em duas etapas: análise de componentes principais e análise de agrupamento. Na primeira etapa os dados coletados das estações foram analisados através da técnica de análise de componentes principais (ACP), com o intuito de reduzir a dimensionalidade, da variável meses, para facilitar a interpretação e comparação entre grupos de dados, do padrão de chuva no estado do Paraná. 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 com autovalores maiores que um. Em seguida calculou-se as correlações entre os componentes retidos e as variáveis originais para fins de interpretação de cada um desses componentes. Foram gerados mapas com a variabilidade espacial, do padrão de precipitação, utilizando o escore dos componentes principais retidos, para todos os grupos de dados. Para isso empregaram-se técnicas geoestatísticas.

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 para a construção do dendrograma. O número de grupos foi determinado a partir da maior distância de junção dos grupos formados e a validação foi realizada através da correlação cofenética.

Todas as análises foram realizadas no software estatístico R Core Team (2019).

Resultados e Discussão

As 47 estações meteorológicas, utilizadas no estudo, apresentam uma boa distribuição espacial no estado do Paraná (Figura 3), o que garante uma maior consistência na estimação e interpolação dos dados.

A ACP aplicada em cada um dos três grupos, utilizando os dados médios mensais de precipitação, produziram 12 componentes principais (CPs) em cada um dos grupos em estudo. No grupo Neutro, foram retidos dois CPs, apenas os que possuíam autovalor maior que 1. No grupo Nino ocorreu o mesmo, apenas dois CPs retidos, já para o grupo Nina foram retidos três CPs. O

percentual da variância total dos dados explicado pelos CPs retidos foram de 84,38% para o grupo Neutro (CP1 - 52,09% e CP2 - 32,29%), 77,22% para o grupo Nino (CP1 - 48,96 e CP2 - 28,26%) e no grupo Nina o percentual de explicação é de 80,01% (CP1 - 46,69%, CP2 - 23,78% e CP3 - 9,54%).

As correlações entre cada CP retido e as variáveis originais, referentes aos meses, podem ser observadas na Figura 1. Tanto para o grupo Neutro como Nino o comportamento das correlações são semelhantes, os CPs 1 apresentam altas correlações com os meses de abril a novembro, sendo todas maiores que 0,74 para o grupo Neutro e maiores que 0,76 para o grupo Nino. Já os CPs 2 apresentaram maiores correlações com os meses de dezembro a março, as quais são maiores que 0,79 e 0,73, respectivamente. Com essas altas correlações bem definidas nos dois grupos, pode-se dizer que cada CP representa um padrão de precipitação que coincide com os períodos de maior e menor precipitação do estado. O CP 1, de cada grupo, representa o período menos chuvoso e o CP 2 representa o mais chuvoso. Esse resultado corrobora com os dados históricos do clima do estado, conforme boletins climáticos do SIMEPAR (SIMEPAR, 2017), o que dá consistência à essa análise. Com isso, também é possível observar que o padrão da precipitação no Estado do Paraná é semelhante, sob influência do evento El Niño ou não.

Gebert, et al., (2018) em seu estudo da determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná encontrou resultados muito próximos, apesar de não ter considerado o efeito do evento ENOS no período, as correlações encontradas também mantiveram o padrão de: CP 1 representar período mais seco e CP 2 representar período mais chuvoso no Estado.

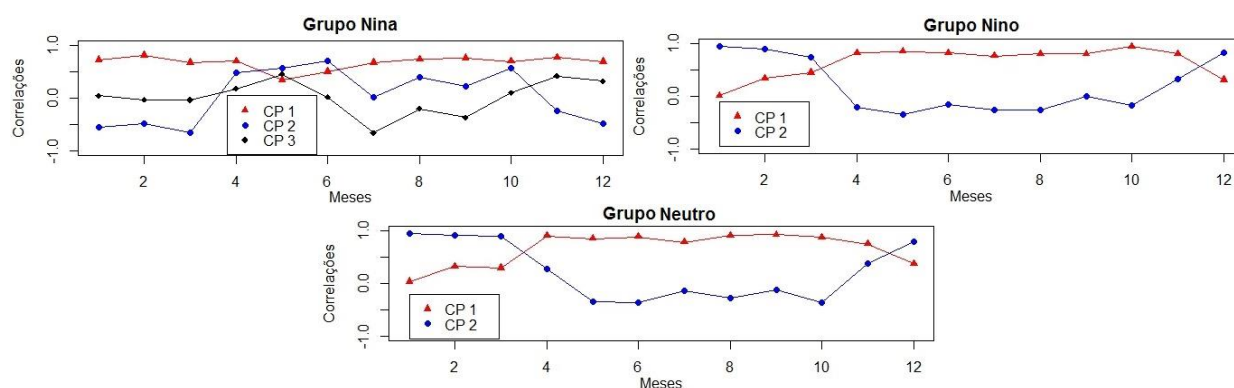


Figura 1: Correlações entre cada CP e a variável mês, para os dados dos três grupos.

A ACP no grupo de dados sob o efeito do evento La Niña não apresentou correlações bem definidas como nos outros dois grupos, no entanto, analisando os autovetores da ACP é possível verificar que existe um padrão semelhante ao dos outros grupos em estudo. Na Tabela 1 estão apresentados os autovetores das ACPs dos três grupos. É possível verificar que os sinais são contrários, considerando os CP 1 e CP 2, nos três grupos, para os meses de dezembro a março, exceto no mês de abril do CP2 no grupo Neutro. Sendo assim, pode-se dizer que existe um padrão semelhante para os três grupos.

Em relação ao padrão espacial da precipitação, nos grupos: sem influência do fenômeno ENOS (Neutro) e com influência do El Niño (Nino), apresentaram comportamento muito semelhante (Figura 2 (a)(b)(c)(d)). O CP 1, tanto do grupo Neutro como do grupo Nino, que representa o período menos chuvoso, se assemelha ao padrão anual total de precipitação do estado encontrado por Gebert et al. (2018). No CP 1, dos dois grupos, percebe-se que a região sudoeste apresenta um padrão diferente do restante do Estado. A transição desse comportamento ocorre de

maneira gradual na direção sudoeste/nordeste, exceto para o litoral. No CP 2, que representa o período de dezembro a março (mais chuvoso), observa-se um padrão espacial que também se altera gradualmente na direção sudoeste/noroeste, porém em sentido contrário (Figura 2 (a)(b)(c)(d)).

Tabela 1: Autovetores da análise de componentes principais para o grupo de dados Neutro, Nino e Nina.

		Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Normal	Aut.vet1	-0,02	-0,13	-0,12	-0,36	-0,34	-0,35	-0,31	-0,36	-0,37	-0,35	-0,30	-0,15
	Aut.vet2	-0,48	-0,46	-0,45	-0,14	0,17	0,19	0,07	0,14	0,06	0,19	-0,19	-0,40
Nino	Aut.vet1	-0,01	-0,14	-0,18	-0,34	-0,35	-0,34	-0,31	-0,33	-0,33	-0,39	-0,33	-0,13
	Aut.vet2	-0,52	-0,49	-0,40	0,11	0,19	0,09	0,14	0,14	0,00	0,10	-0,18	-0,45
Nina	Aut.vet1	-0,31	-0,34	-0,28	-0,30	-0,15	-0,21	-0,28	-0,31	-0,32	-0,29	-0,33	-0,29
	Aut.vet2	-0,33	-0,29	-0,38	0,29	0,34	0,42	0,01	0,23	0,13	0,33	-0,14	-0,29
	Aut.vet3	-0,04	0,03	0,03	-0,17	-0,42	-0,02	0,62	0,19	0,35	-0,09	-0,39	-0,30

De uma maneira geral, no período mais chuvoso do ano (CP 2), tanto no grupo Neutro como no Nino, as regiões norte, nordeste e litorânea, apresentam padrão de chuva semelhante, o qual é diferente da região sudoeste. Já para o período menos chuvoso (CP 1), a região litorânea se assemelha ao padrão da região central do estado, a região sudoeste apresenta padrão diferente das regiões norte e nordeste. Outra observação interessante é que no 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, tanto no grupo Neutro como no Nino.

Com relação aos dados do grupo com influência do fenômeno La Niña (Figura 2 (e)(f)(g)), o CP 1 expôs um padrão semelhante aos CPs 1 dos outros grupos, no entanto as regiões litorânea e sudoeste apresentaram padrões invertidos, ou seja, para o período menos chuvoso (CP 1), quando afetados pelo La Niña, a região litorânea apresenta o mesmo padrão encontrado na região sudoeste quando esta é afetada pelo El Niño ou sem a influência de nenhum fenômeno. Em relação ao CP 2, do grupo Nina, o padrão encontrado é semelhante, porém em sentido contrário, se comprado aos CPs 2 dos outros grupos. O CP 3 do grupo Nina apresentou um padrão de precipitação completamente diferente dos demais.

Na segunda etapa do trabalho, análise de agrupamento, o dendrograma sugeriu três grupos, para os dados sem influência do ENOS e para os dados com influência do La Niña, já para os dados com influência do El Niño, o dendrograma sugere dois grupos. A decisão do número de agrupamentos foi baseada na maior amplitude das distâncias de junção nos grupos formados pelo dendrograma. Na Figura 3 é possível observar as regiões formadas pelo agrupamento nos três grupos de dados. Para o grupo Neutro e Nina, as quatro estações da região litorânea formam o primeiro agrupamento, as doze estações da região sudoeste formam o segundo agrupamento e assim, as demais estações formam uma terceira região homogênea. É importante observar nesse agrupamento que as regiões homogêneas encontradas, são semelhantes ao padrão encontrado no CP 1, dos grupos Neutro e Nina. A causa disso pode ser o fato de o primeiro componente representar a maior parte da variabilidade das chuvas do estado.

O grupo de dados influenciados pelo fenômeno El Niño possui apenas duas regiões homogêneas, a primeira formada pelas 12 estações da região sudoeste do estado e o segundo agrupamento formado pelas demais estações. A diferença está no fato de que essa segunda região homogênea incluiu as quatro estações do litoral. Com isso acredita-se que o fenômeno El Niño, devido ao aumento do volume de chuvas, altera de forma mais significativa o padrão de chuvas no litoral. As validações dos três agrupamentos foram verificadas através da correlação cofenética. Os valores encontrados foram 0.7058, 0.6980 e 0.6410, para os grupos Neutro, Niño e Niña,

respectivamente, o que pode ser considerado moderado, indicando um bom agrupamento.

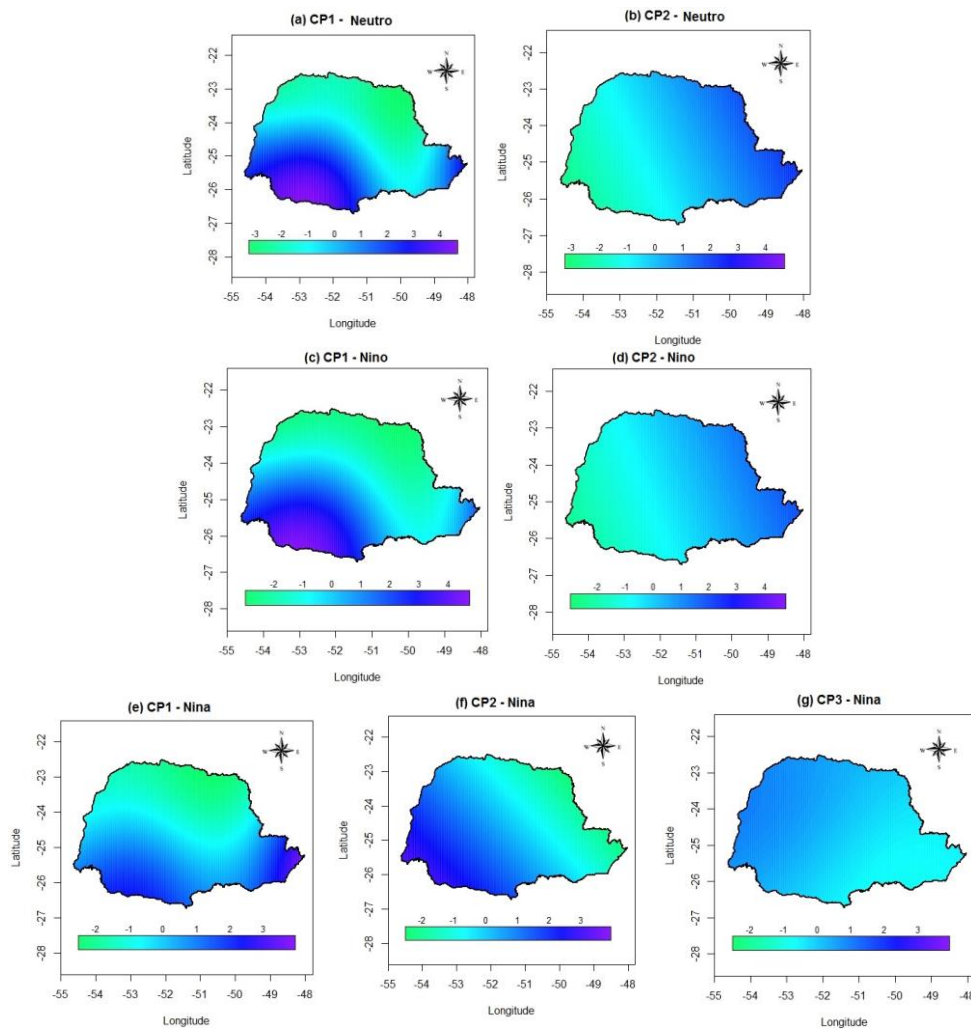


Figura 2: Padrão espacial da precipitação associado aos CPs nos grupos de dados Neutro, Nino e Nina.

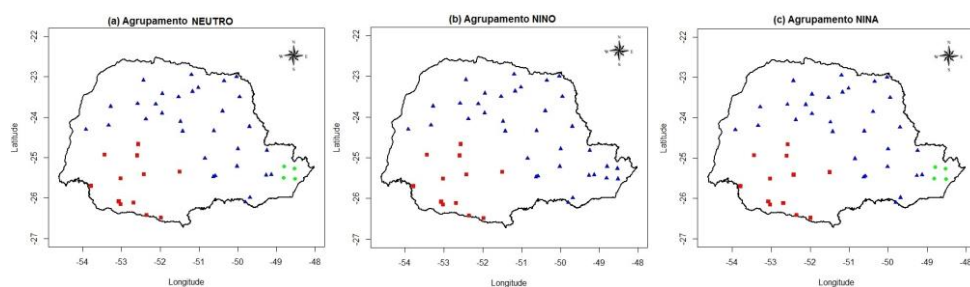


Figura 3: Localização e agrupamento das estações meteorológicas em cada grupo estudado.

Conclusões

A análise de componentes principais mostrou a existência de dois padrões bem definidos, para o grupo Neutro e Nino, que coincidiram com período mais chuvoso e menos chuvoso do estado. Verificou-se também que as alterações desse padrão ocorrem no sentido sudoeste/nordeste. Já para o grupo Nina, encontrou-se três CPs, os quais não apresentaram uma correlação bem definida.

com as suas variáveis originais, no entanto os valores dos autovetores sugerem um padrão semelhante nos dois primeiros CPs.

O padrão de chuva no estado, quando afetado pelo fenômeno El Niño e também quando não houve influência do evento ENOS, são semelhantes. No entanto quando foram estudados os meses afetados pelo La Niña, esse padrão é semelhante, porém invertido, exceto para a região norte que manteve o mesmo padrão. De uma forma geral, o evento El Niña afeta de forma mais significativa o padrão de chuvas no estado.

Na análise de agrupamento das estações meteorológicas, para o grupo Nino, foi possível delimitar duas regiões no estado com padrões de chuvas diferentes e a transição entre esses dois padrões também ocorreu no sentido sudoeste/nordeste. Já para os grupos Neutro e Nina, foram encontradas três regiões consideradas homogêneas, a terceira região se refere as quatro estações próximas ao litoral paranaense.

O presente estudo ainda não foi concluído, sendo necessário um aprofundamento nas análises e resultados encontrados, a fim de um maior entendimento sobre a interferência de tais fenômenos meteorológicos na precipitação do estado.

Referências Bibliográficas

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

GEBERT, D. M. P.; KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. Determinação De Regiões Homogêneas De Precipitação Pluviométrica No Estado Do Paraná Por Meio De Técnicas De Análise Multivariada e Geoestatística. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23, p. 374-388, 2018.

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

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.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

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

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.

TEIXEIRA, N. F.; MARTÍN-VIDE, J. Influência Do Enos Na Distribuição Das Precipitações No Estado Do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 12, n. 1, 2013.