ANO HIDROLÓGICO E REGIME SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL: IMPLICAÇÕES PARA MÁXIMAS ANUAIS

Daniele Feitoza Silva [1];Dirceu Silveira Reis Junior[2] & Carlos Henrique Ribeiro Lima[3]

Palavras-Chave – Regionalização, Análise de agrupamento, Precipitação.

INTRODUÇÃO

O ano hidrológico é uma referência em estudos de recursos hídricos e de eventos extremos, pois sua definição busca separar ciclos anuais sucessivos de armazenamento e precipitação. Em regiões com forte sazonalidade, a escolha do mês inicial tende a ser direta; contudo, em áreas com regime pluviométrico mais uniforme, a adoção de um único marco temporal pode ser pouco representativa.

No Rio Grande do Sul (RS), o clima não apresenta estação chuvosa ou seca bem definida, embora existam contrastes sazonais regionais na pluviosidade, com diferentes estações do ano predominando em cada sub-região do estado (Britto *et al.,* 2008; Nimer, 1989). Diversas produções anteriores adotam, na prática, o ano civil como ano hidrológico, assumindo comportamento médio relativamente uniforme da precipitação (e.g., Simon, Pickbrenner, Marcuzzo, 2013; Kich, Melatti, Marcuzzo, 2015). No entanto, essa questão é particularmente relevante quando se busca extrair séries de máximas anuais de precipitação, uma vez que a escolha inadequada pode fracionar estações chuvosas, deslocar eventos entre anos consecutivos, induzir dependência temporal (Naghettini, Pinto, 2007) e dificultar a interpretação da estrutura sazonal dos extremos.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo verificar o regime sazonal da precipitação no RS e definir regionalmente o ano hidrológico, visando subsidiar a obtenção de séries de máximas anuais e a avaliação de possível bimodalidade pluviométrica.

METODOLOGIA

Dados Utilizados

Foram utilizadas séries diárias de precipitação provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cobrindo o território do Rio Grande do Sul. Inicialmente foram inventariadas 657 estações da ANA e 60 do INMET. Considerou-se um ano completo aquele com menos de 20% de dias com falha, e estações contendo mais de 30 anos de completos, o que definiu um conjunto final de 208 séries pluviométricas (190 da ANA e 18 do INMET) (Figura 1).

Análise Regional

Para cada estação, calculou-se a climatologia mensal de precipitação a partir dos totais médios, caracterizando-se o ciclo anual local. As doze médias mensais de cada estação foram padronizadas pelo escore-z, preservando a forma do ciclo anual e removendo o efeito do volume total precipitado. Essa etapa garante que o agrupamento reflita principalmente diferenças na distribuição relativa da chuva ao longo do ano, e não apenas contrastes de magnitude entre regiões mais úmidas e mais secas.

A regionalização foi conduzida por técnicas de análise de clusterização não supervisionada. Aplicaram-se os métodos K-means e Fuzzy c-means às matrizes de médias mensais padronizadas. Testaram-se partições com três, quatro e cinco grupos, e a escolha do número de grupos baseou-se no

1) Universidade de Brasília. E-mail: pariconha@gmail.com
2) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. E-mail: dirceureis@unb.br
3) Universidade de Brasília. E-mail: chrlima@unb.br

Critério de Silhueta. Buscou-se conciliar desempenho estatístico e coerência espacial, evitando soluções com grupos muito fragmentados ou fisicamente pouco interpretáveis. Para a definição regional do ano hidrológico, o mês mais seco de cada grupo foi identificado a partir do perfil médio de precipitação mensal (centróide). O início do ano hidrológico de cada região foi então definido como o mês subsequente ao mês mais seco, partindo da premissa de que o mínimo pluviométrico representa a melhor fronteira entre dois ciclos anuais consecutivos de armazenamento e precipitação.

Todos os passos metodológicos descritos nessa seção foram desenvolvidos em ambiente RStudio.

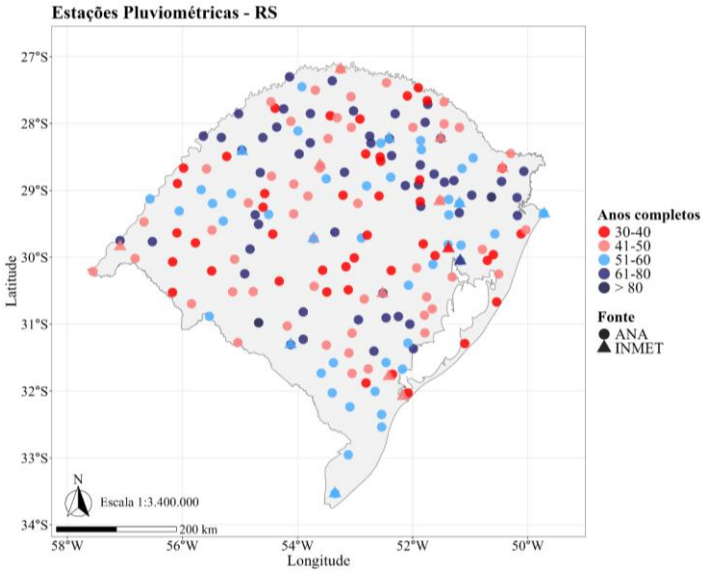


Figura 1. Estações de monitoramento de chuva – discretização diária.

RESULTADOS

A análise de agrupamento indicou que a partição em três grupos foi a mais adequada entre as partições testadas, tanto para o método K-means quanto para o Fuzzy c-means. Os resultados gerais são apresentados na Tabela 1. Os maiores valores dos índices de qualidade foram obtidos para k=3, enquanto as soluções com quatro e cinco grupos apresentaram redução do desempenho e menor interpretabilidade espacial. Além da consistência estatística, a solução de três grupos resultou em regiões espacialmente contíguas. A partição final revelou três regiões pluviometricamente homogêneas com relação à definição do ano hidrológico no Rio Grande do Sul, cada uma iniciada ao mês subsequente ao mês de menor precipitação.

Embora os três grupos tenham permitido uma separação visual no ano hidrológico (Figura 2), a nitidez do mês menos chuvoso variou espacialmente:

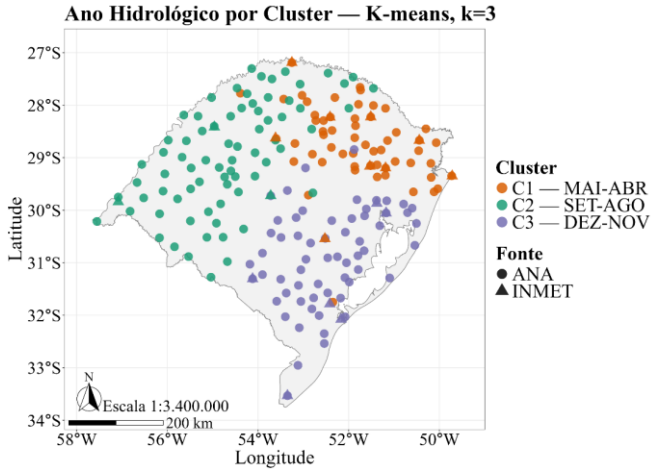
- No Nordeste, obteve-se o mínimo em abril quando do uso do K-means e o mínimo em março quando do uso do Fuzzy c-means, onde a diferença entre março e abril foi na ordem de 0,020 em escore-z;
- No Oeste, o mês de agosto apresentou menor precipitação total, indicando maior contraste sazonal. Esse comportamento foi verificado para ambos os métodos;
- No Sul houve pouca variação na precipitação mensal entre janeiro e junho, a partir de quando a chuva mensal aumenta, até outubro, diminuindo em novembro e dezembro, com variação quase nula (apenas 0,015) em escore-z, o que indica menor robustez na identificação de um único mês de separação entre ciclos anuais consecutivos.

Esses resultados indicam que a definição do ano hidrológico não é necessariamente uniforme no estado. Sob a perspectiva hidrológica, a adoção de um único ano hidrológico tende a simplificar a

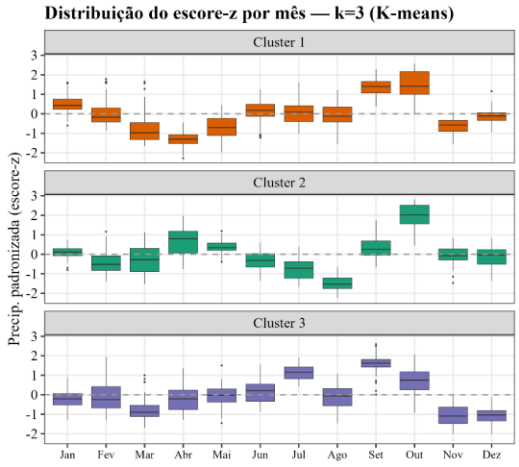
sazonalidade da precipitação no RS, e a existência de três janelas indica que o uso do ano civil pode não coincidir com a melhor separação entre ciclos anuais em todas as regiões. Em aplicações voltadas à extração de máximas anuais, isso é particularmente importante, pois uma janela anual pouco compatível pode fracionar períodos chuvosos relevantes ou deslocar eventos extremos entre anos consecutivos. Nesse sentido, a regionalização do ano hidrológico permite organizar as séries anuais de extremos de maneira mais aderente ao comportamento sazonal da precipitação.

Tabela 1 – Resultados da clusterização

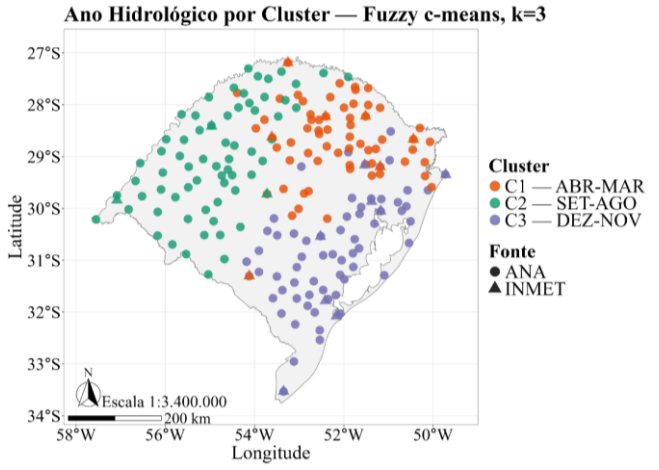
K-means (k=3), Silhueta = 0,271	Fuzzy C-means (k=3), Silhueta = 0,242
C1 MAI-ABR = 65 estações; 31,2%	C1 MAI-ABR = 69 estações; 33,2%
C2 SET-AGO = 76 estações; 36,5%	C2 SET-AGO = 68 estações; 32,7%
C3 DEZ-NOV = 67 estações; 32,2%	C3 DEZ-NOV = 71 estações; 34,1%



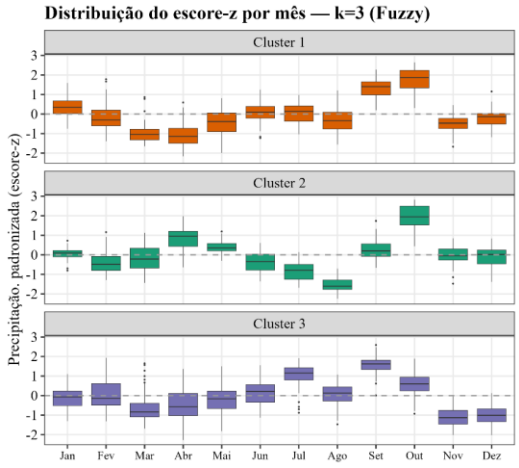
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. Resultados da clusterização. (a) Ano Hidrológico por K-means; (b) Escore-z por mês, por cluster, por K-means; (c) Ano Hidrológico por Fuzzy c-means; (d) Escore-z por mês, por cluster, por Fuzzy c-means.

Por outro lado, os resultados também sugerem diferenças regionais na estrutura do ciclo anual que podem ser indicativos de possível bimodalidade pluviométrica. Nas regiões em que o mínimo mensal é marcado, como no Oeste, o ciclo anual tende a apresentar separação mais nítida entre fase mais ou menos úmida. Em contraste, a reduzida variabilidade ao longo do ano na região Sul sugere um regime menos contrastado, potencialmente associado a menor dominância de um único pico anual.

Há de se considerar, no entanto, que na região Sul do Brasil, o regime pluviométrico resulta da atuação combinada de sistemas atmosféricos distintos, produzindo máximos sazonais em épocas distintas do ano. Britto, Barletta, Mendonça (2008) mostram que o inverno é mais chuvoso no litoral e centro-sul do RS devido à frequência de frentes, o outono no sudoeste sob bloqueios, a primavera no noroeste e o verão no nordeste em função de convecção associada à ZCAS. Cardoso, Quadro, Bonetti (2020) evidenciam que eventos extremos abrangentes dependem de forte convergência de umidade em baixos níveis, jatos em altos níveis e cavados em médios níveis, configurando ambientes favoráveis tanto a chuvas intensas quanto persistentes. Resultados do projeto CHUVA indicam que, no sul do Brasil, convecção associada a frentes, CCMs (Complexos Convectivos de Mesoescala) e tempestades fortemente eletrificadas apresenta modulação sazonal marcada e responde a padrões de grande escala como o El Niño (Machado *et al*., 2014). Esse conjunto de mecanismos sugere que diferentes períodos do ano podem concentrar extremos de precipitação, o que dá suporte teórico à hipótese de um ciclo anual não estritamente unimodal, com possível bimodalidade regional no RS total ou parcialmente.

CONCLUSÕES

A regionalização do regime sazonal de precipitação no Rio Grande do Sul indicou que o estado é mais bem representado por três regiões homogêneas, com anos hidrológicos distintos: setembro–agosto no Oeste, maio–abril no Nordeste e dezembro–novembro no Sul. A clusterização com três grupos apresentou melhor desempenho estatístico e coerência espacial, mostrando que a adoção de um único ano hidrológico estadual tende a simplificar a organização sazonal da chuva. A menor variação sazonal na região Sul indica menor robustez na definição de um único mês inicial e sugere cautela na interpretação do ciclo anual, inclusive quanto à possível bimodalidade. Futuros estudos avançarão no sentido de avaliar a bimodalidade e seus impactos na estimativa de eventos de máximas.

REFERÊNCIAS

BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. (2008). *"Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul*". Revista Brasileira de Climatologia, v. 3, p. 83–99.

CARDOSO, C. de S.; QUADRO, M. F. L.; BONETTI, C. (2020). *"Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: variabilidade espacial e padrões atmosféricos."* Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 2, p. 219–231, 2020. DOI: 10.1590/0102-7786352031.

KICH, E. M.; MELATTI, M. M.; MARCUZZO, F. F. N. (2015). "*Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial na sub-bacia 86 visando a determinação do seu ano hidrológico"* in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, pp. 1-8. https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=8809.

MACHADO, L. A. T. *et al.* (2014). *"The CHUVA Project: How Does Convection Vary across Brazil?"* Bulletin of the American Meteorological Society, v. 95, n. 9, p. 1365–1380, 2014. DOI: 10.1175/BAMS-D-13-00084.1

SIMON, F.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. (2013). "*Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial em bacia hidrográfica com precipitação homogênea"* in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, pp. 1-8. https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17428.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (2007). *Hidrologia Estatística*. Belo horizonte: CPRM. 552p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e à Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (FINATEC) pelo apoio institucional e financeiro que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho (Processo SEI 23106.017474/2024-93).