AVALIAÇÃO DE PADRÕES SAZONAIS EM PROCESSOS HIDROCLIMÁTICOS NAS BACIAS QUE INTEGRAM O SISTEMA PRODUTOR DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Mayara Marques Alves [1]; Veber Afonso Figueiredo Costa [2]; Francisco Eustáquio Oliveira e Silva [3]

Palavras-Chave – Sazonalidade, Estatística circular, Abastecimento público.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica não depende apenas dos volumes de precipitação e vazão, mas também do período do ano em que esses processos se concentram (Burn, 1997). Em regiões com alternância marcada entre estação chuvosa e estação seca, a caracterização do momento de ocorrência de indicadores do comportamento hidrológico auxilia a interpretação do regime sazonal e da relação temporal entre chuva acumulada e escoamento acumulado (Villarini, 2016; Chagas et al., 2022).

Nesse contexto, datas de ocorrência inseridas em um ciclo anual exigem tratamento específico (Dhakal et al., 2015). A estatística circular permite representar essas datas como ângulos, preservando a natureza cíclica dos fenômenos hidrológicos e possibilitando o cálculo de uma direção média circular e de uma medida de concentração sazonal (Berghuijs et al., 2025). Dessa forma, este resumo expandido apresenta a caracterização sazonal de variáveis hidrometeorológicas por meio de estatística circular, com ênfase na avaliação gráfica de indicadores associados à precipitação e à vazão em bacias produtoras de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

METODOLOGIA

Área de estudo e base de dados

A análise foi aplicada a três estações fluviométricas localizadas em bacias produtoras de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte: Alberto Flores, no rio Paraopeba, Jardim, no sistema Serra Azul, e Honório Bicalho Montante, no rio das Velhas (Figura 1 e Tabela 1).

As séries diárias de vazão foram obtidas no sistema ANA/HidroWeb. A precipitação foi representada por dados diários em grade da base *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD), desenvolvida por Xavier et al. (2022). A seleção dos pixels considerou a sobreposição da grade com as áreas de contribuição das bacias.

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados

Estação	Código	Curso d'água ou sistema	Período de observação
Alberto Flores	40740000	Rio Paraopeba	1964-2024
Jardim	40811100	Sistema Serra Azul	1979-2024
Honório Bicalho	41199998	Rio das Velhas	1972-2023

1) Graduanda em Engenheira Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: maymaralves@gmail.com
2) Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: veberc@ufmg.br
3) Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: fcoeustaquio@ufmg.br

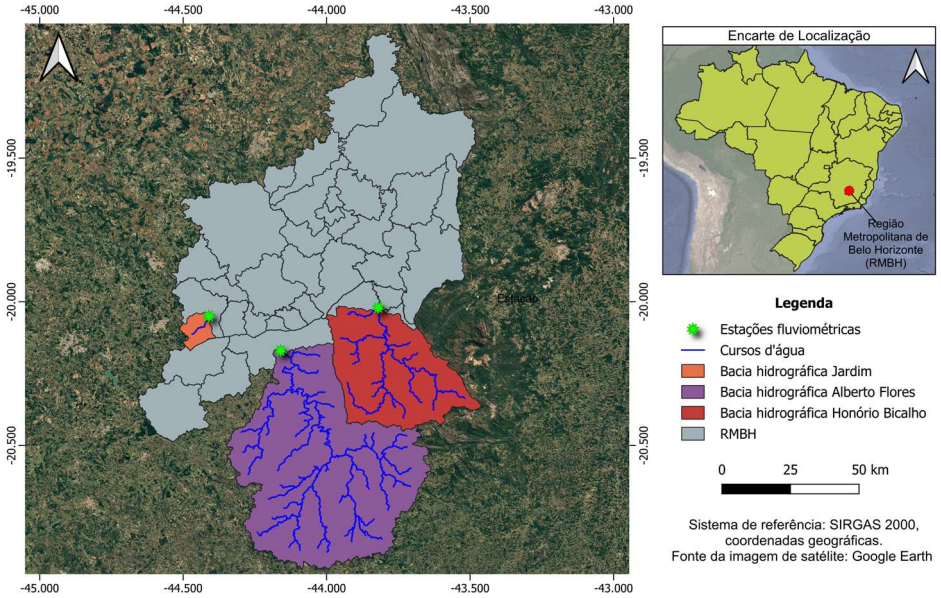


Figura 1. Localização da Região Metropolitana de Belo Horizonte, das bacias analisadas e das estações fluviométricas utilizadas. Fonte: autoria própria.

Variáveis hidrometeorológicas

Foram analisados quatro indicadores do comportamento hidrológico definidos a partir de datas de ocorrência. Para a Q7 foi considerada a data associada à menor média móvel de vazão em sete dias consecutivos, utilizada como referência para análise do período em que as menores vazões anuais são registradas. Para a Q50 foi considerada a data em que 50% do volume anual escoado acumulado é atingido. O seu correspondente em relação à chuva foi a P50, cuja data está associada ao alcance de 50% da precipitação anual acumulada. Adicionalmente, avaliou-se a diferença em dias entre a P50 e a Q50, sob o propósito de se verificar a regularidade desse ínterim.

A Q7 foi calculada com base no ano civil, por estar associada à identificação anual do período de menor vazão. A P50 e a Q50 foram calculadas com base no ano hidrológico, adotado de outubro a setembro, de modo a manter o período chuvoso dentro de um mesmo ciclo de análise.

Estatística circular

As datas associadas aos indicadores hidrometeorológicos foram convertidas em ângulos, de modo a representar sua posição no ciclo anual. A partir desses ângulos foram estimadas a direção média circular, utilizada para representar o momento médio de ocorrência do indicador em cada período analisado, e o comprimento médio resultante, aqui representado pelo símbolo R, que indica o grau de concentração sazonal. Valores de R próximos de 1 indicam maior concentração das datas em torno de um período do ano, enquanto valores menores indicam maior dispersão.

A análise foi realizada em janelas móveis de 10 anos, tomando-se como referência o valor médio na década. Essa abordagem permite suavizar oscilações anuais pontuais e observar a variação temporal dos indicadores, sem tratar anos isolados como representativos do comportamento geral da bacia.

RESULTADOS

A data de ocorrência da Q7 concentrou-se predominantemente entre setembro e outubro ao longo das janelas móveis de 10 anos. Esse resultado sugere que o período de menores vazões anuais permaneceu associado ao final da estação seca e ao início da transição para o período chuvoso. Em Alberto Flores e Jardim, foram observados valores elevados de R na maior parte das janelas, variando

aproximadamente entre 0,91 e 0,98 em Alberto Flores e entre 0,88 e 0,96 em Jardim. Em Honório Bicalho Montante, embora a data média também tenha permanecido em setembro, os valores de R variaram aproximadamente entre 0,73 e 0,97, sugerindo maior dispersão sazonal das datas associadas às menores vazões.

A data de ocorrência da Q50 concentrou-se em fevereiro nas três estações fluviométricas. Apesar de pequenas oscilações entre janelas, os valores de R permaneceram elevados, variando aproximadamente entre 0,92 e 0,99, o que sugere manutenção de uma sazonalidade bem definida para esse indicador.

A data de ocorrência da P50 manteve-se concentrada no início de janeiro nas três bacias analisadas, com valores de R geralmente elevados, variando aproximadamente entre 0,96 e 0,99. Esse comportamento sugere forte concentração sazonal da precipitação acumulada, indicando que metade do total anual precipitado tende a ser alcançada em uma faixa temporal bem definida do ano hidrológico. Entre os indicadores avaliados, a P50 apresentou o padrão gráfico mais concentrado e mais similar entre as bacias

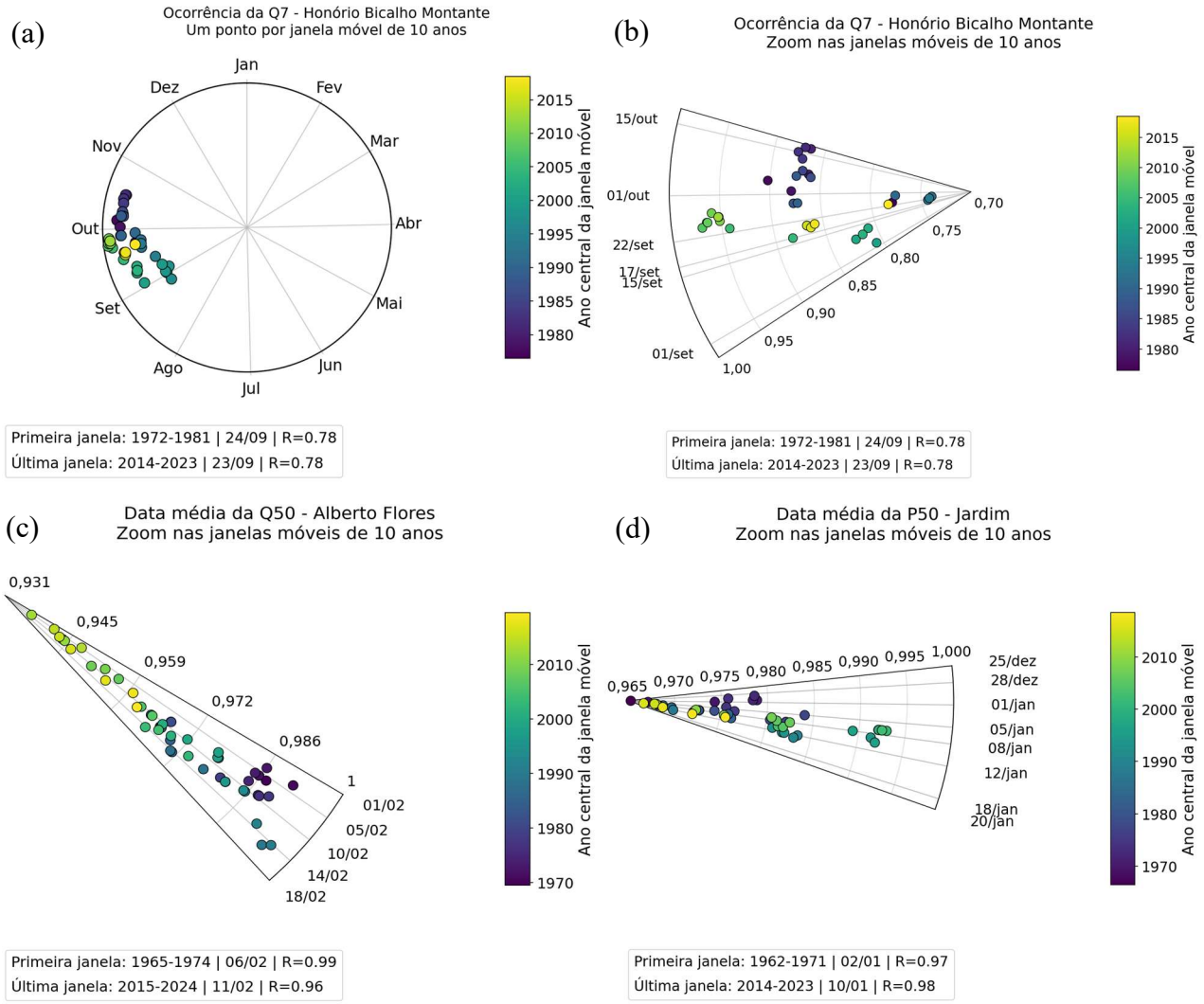


Figura 2. Representação circular do comportamento da Q7 (a), com zoom para Q7 (b), Q50 (c) e P50 (d), em janelas móveis de 10 anos. Fonte: autoria própria.

A estimativa da diferença média em dias entre P50 e Q50 permaneceu, em geral, concentrada entre o final de janeiro e o início de fevereiro nas janelas móveis de 10 anos. Alberto Flores apresentou

valores ligeiramente mais antecipados em parte da série, enquanto Honório Bicalho Montante e Jardim ficaram, em geral, em datas um pouco mais tardias. Apesar das oscilações entre janelas, não se observa deslocamento visual contínuo desse indicador ao longo do período analisado.

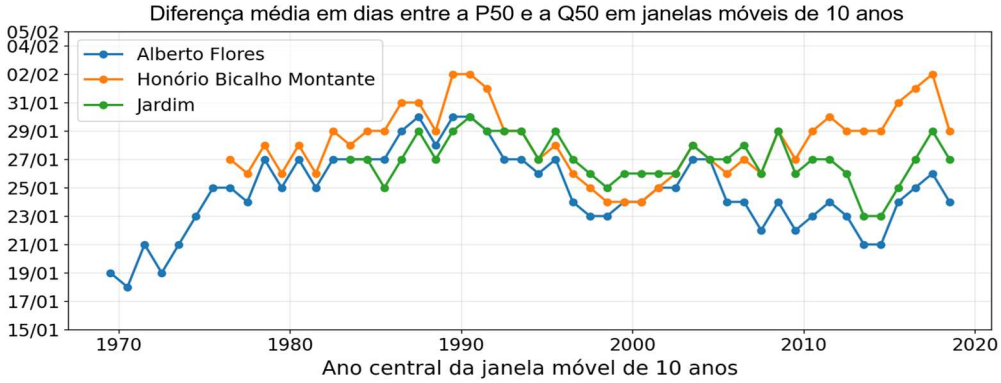


Figura 3. Diferença média em dias entre a P50 e Q50, ao longo de janelas decadais móveis. Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

- A data de ocorrência da Q7 concentrou-se entre setembro e outubro, com padrões médios decadais semelhantes entre as estações;
- A data de ocorrência da P50 apresentou concentração sazonal no início de janeiro, enquanto a Q50 concentrou-se em fevereiro. A defasagem entre a P50 e Q50 manteve-se da ordem de algumas semanas;
- Os valores de R foram elevados para P50 e Q50, sugerindo maior concentração sazonal desses indicadores. Para a Q7, observou-se maior dispersão em Honório Bicalho Montante;
- Como limitação, destaca-se que a análise se restringe ao momento de ocorrência, não contemplando alterações na magnitude da precipitação ou das vazões; e
- Como perspectiva de desenvolvimento, recomenda-se complementar o estudo com análises de tendência, avaliação da magnitude das variáveis hidrometeorológicas e investigação de fatores físicos que possam explicar diferenças de concentração sazonal entre as bacias.

REFERÊNCIAS

BERGHUIJS, Wouter R.; HALE, Kate; BERIA, Harsh. Technical note: **Streamflow seasonality using directional statistics**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 29, p. 2851–2862, 2025. DOI: https://doi.org/10.5194/hess-29-2851-2025.

BURN, Donald H. **Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures**. Journal of Hydrology, v. 202, p. 212–230, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00068-1.

CHAGAS, Vinícius B. P.; CHAFFE, Pedro L. B.; BLÖSCHL, Günter. **Process controls on flood seasonality in Brazil**. Geophysical Research Letters, v. 49, e2021GL096754, 2022. DOI: https://doi.org/10.1029/2021GL096754.

DHAKAL, Nirajan; JAIN, Shaleen; GRAY, Alexander; DANDY, Michael; STANCIOFF, Esperanza. **Nonstationarity in seasonality of extreme precipitation: a nonparametric circular statistical approach and its application**. Water Resources Research, v. 51, p. 4499–4515, 2015. DOI: https://doi.org/10.1002/2014WR016399.

VILLARINI, Gabriele. **On the seasonality of flooding across the continental United States**. Advances in Water Resources, v. 87, p. 80–91, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.11.009.

XAVIER, Alexandre C.; SCANLON, Bridget R.; KING, Carey W.; ALVES, Aline I. **New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)**. International Journal of Climatology, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7731.