

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

USO DE ASSINATURAS HIDROLÓGICAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO BRASIL

Paula Cunha David¹; Vinícius Bogo Portal Chagas² & Pedro Luiz Borges Chaffe³

RESUMO – Classificação de bacias pode ajudar na modelagem e monitoramento de processos hidrológicos, fornecendo orientação sobre as semelhanças e diferenças entre as bacias e sobre quais modelos são apropriados para cada sistema hidrológico. As assinaturas hidrológicas fornecem informações sobre o comportamento das bacias, como a identificação dos mecanismos dominantes, determinação da variabilidade do processo chuva-vazão, e representação de diferentes aspectos do hidrograma. O objetivo deste trabalho é entender como bacias localizadas no Brasil se agrupam de acordo com suas assinaturas hidrológicas e quais os principais controles neste agrupamento. Foram utilizadas seis assinaturas hidrológicas para o agrupamento. Foram ainda analisadas sete características físicas e climáticas. Foi possível separar as bacias em sete grupos diferentes. Bacias espacialmente próximas na maioria das vezes fazem parte do mesmo grupo, indicando que a proximidade é um fator importante para a similaridade hidrológica. Foi possível identificar algumas características dominantes em cada grupo e correlacioná-las com as características físicas e climáticas. Trabalhos como este podem ajudar a fornecer mais informações sobre similaridade hidrológica e quais os fatores determinantes.

ABSTRACT – Catchment classification can assist in the modeling and monitoring of hydrological processes, providing guidance on the similarities and differences between catchments and on which models are appropriate for each hydrological system. Hydrological signatures provide information on the behavior of the catchments, such as the identification of the dominant mechanisms, determination of the variability of the rainfall-flow process, and representation of different aspects of the hydrograph. The objective of this work is to understand how catchments located in Brazil are grouped according to their hydrological signatures and what are the main controls on the similarity. Six hydrological signatures were used for clustering. Seven physical and climatic characteristics were also analyzed. It was possible to separate the catchments into seven different groups. Spatially close catchments often belong to the same group, indicating that proximity is an important factor for hydrological similarity. It was possible to identify some dominant characteristics in each group and correlate them with the physical and climatic characteristics. Studies like this can help to provide more information about hydrological similarity and what the determining factors are.

Palavras-Chave – classificação, similaridade hidrológica

1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, paulacunhadavid@gmail.com

2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, vbchagas@gmail.com

3) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, pedro.chaffe@ufsc.br

INTRODUÇÃO

Classificação de bacias é uma forma de lidar com os problemas da hidrologia relacionados a identificação dos processos dominantes (McDonnell e Woods, 2004). Esta classificação deve considerar diferentes mecanismos, como fluxos, armazenamentos e tempos de resposta. Ela pode ajudar na modelagem e monitoramento, fornecendo orientação sobre as semelhanças e diferenças entre as bacias e sobre quais modelos são apropriados para cada sistema hidrológico (Wagener et al., 2007). Análises de similaridade com grande número de bacias têm sido feitas para a identificação de padrões e generalizações, e diferentes trabalhos a utilizaram para compreender a relação entre a estrutura da bacia e o funcionamento hidrológico na macroescala (e.g. Carrillo et al., 2011; Li et al., 2014; McMillan et al., 2014; Sawicz et al., 2011). Permitem, por exemplo, o desenvolvimento de hipóteses (através de estruturas de modelos) e a restrição do espaço de parâmetros viável (Hrachowitz e Clark, 2017).

As assinaturas hidrológicas fornecem informações sobre o comportamento das bacias, como a identificação dos mecanismos dominantes, determinação da variabilidade e velocidade espaço-temporal do processo chuva-vazão, e representação de diferentes aspectos do hidrograma (McMillan et al., 2017). Elas foram utilizadas para encontrar similaridades e assim classificar bacias que possuem comportamento semelhante (e.g. Sawicz et al., 2011, 2014); para calibração de modelos hidrológicos, calibrando também as assinaturas e não apenas a vazão (e.g. Fenicia et al., 2018; Sadegh e Vrugt, 2014; Vrugt e Sadegh, 2013), e como diagnóstico para avaliação de modelos hidrológicos, comparando a assinatura calculada com dados observados com a de dados simulados (e.g. Coxon et al., 2014; Euser et al., 2013; Gupta et al., 2008; Hrachowitz et al., 2014).

Ainda não existe um consenso sobre um sistema de classificação de bacias (Wagener et al., 2007), sendo o uso de características hidrológicas e climáticas a forma mais comum de classificação. O objetivo deste trabalho é entender como bacias localizadas no Brasil se agrupam de acordo com suas assinaturas e quais os principais controles neste agrupamento. Foram utilizadas seis assinaturas que buscam representar diferentes partes do hidrograma, a fim de caracterizar diferentes processos. Elas foram utilizadas para o agrupamento em *clusters*. Foram ainda analisadas nove características físicas e climáticas, a fim de avaliar quais delas mais influenciam na similaridade hidrológica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram analisadas bacias que possuem seus exutórios dentro do Brasil. A delimitação das bacias e os dados de vazão, precipitação e evapotranspiração potencial foram obtidos a partir do banco de dados construído por Chagas (2019). As bacias foram delimitadas a partir das estações fluviométricas e de dados altimétricos do STRM (USGS, 2006). Os dados de vazão foram

obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), consistindo em dados diários. Foram consideradas estações fluviométricas com no mínimo 25 anos de dados sem falhas, a partir de 1980. Os dados de precipitação foram obtidos de Xavier *et al.* (2016), no qual os dados da ANA, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) foram utilizados para desenvolver grids de alta resolução ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) de precipitação diária. Os dados de evapotranspiração potencial foram obtidos do *Global Land Evaporation Amsterdam Model* (GLEAM) (Martens *et al.*, 2017; Miralles *et al.*, 2011). Foram escolhidas apenas bacias com áreas entre 1.500 e 100.000 km², resultando em 413 bacias.

Para classificar as bacias foram utilizadas sete assinaturas, buscando-se representar diferentes processos hidrológicos, a partir dos dados de precipitação, vazão e evapotranspiração. Para o cálculo foi utilizado o período de dados de 1984 a 2004.

- i. A elasticidade da vazão (EQP [-]) mede a sensibilidade da vazão às mudanças na precipitação, em uma escala anual (Sankarasubramanian *et al.*, 2001),

$$E_{QP} = \text{mediana} \left(\frac{Q_i - \bar{Q}}{P_i - \bar{P}} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \right) \quad (1)$$

onde EQP é a elasticidade da vazão; Q_i é a vazão média no ano i ; P_i é a precipitação média no ano i ; \bar{P} é a precipitação média anual; e \bar{Q} é a vazão média anual.

- ii. O índice de aridez (AI [-]) é a razão a longo prazo entre a evapotranspiração potencial média e a precipitação média;
- iii. A taxa de escoamento (RR [-]) é a razão de longo prazo entre a vazão e precipitação média;
- iv. O índice de escoamento de base (BFI [-]) é a razão a longo prazo entre o escoamento de base e o escoamento total. Neste estudo foi usando o filtro de Eckhardt (2005).
- v. A inclinação da curva de permanência (SFDC [-]) é calculada entre os percentis 33 e 66 da vazão, que é um indicador de variabilidade;
- vi. Q_{10} [-], que é a vazão excedida 10% do tempo normalizada pela vazão média; é usada para analisar vazões altas.
- vii. Q_{90} [mm], que é a vazão excedida 90% do tempo; é usada para analisar vazões baixas. Diferente da Q_{10} , a Q_{90} não foi normalizada pela vazão média para reduzir a correlação entre ambas e, conseqüentemente, reduzir o efeito da multicolinearidade na classificação.

Ao notar que a SFDC possui correlações altas com outras assinaturas, esta não foi incluída na classificação para reduzir os efeitos da multicolinearidade. O agrupamento foi feito com o método *k-means*. Foram testados diferentes números de grupos, sendo 7 o escolhido por ter uma diferença significativa entre as médias dos grupos formados, verificada com a análise de variância (ANOVA). Foram ainda calculadas características físicas e climáticas das bacias (Tabela 1), a fim de verificar

quais características influenciam na similaridade hidrológica. Os dados de porcentagem de argila, areia foram obtidos com o *SoilGrids* (Hengl *et al.*, 2014 e 2017).

Tabela 1 – Características físicas e climáticas utilizadas.

Variável	Descrição	Mínimo	Máximo
Prec. média	Precipitação média anual (mm ano ⁻¹)	538	3155
DC	Número de dias com chuva por ano (dias)	76	338
PSI	Índice de sazonalidade da precipitação (-), definido por	0,003	0,77
	$PSI = \frac{1}{\bar{X}} \sum_{12}^{n=1} \left X_n - \frac{\bar{X}}{12} \right $, onde X_n é a precipitação mensal para o mês n		
Argila	Porcentagem de argila (%)	20	61
Areia	Porcentagem de areia (%)	14	66
Decl. média	Declividade média (%)	0,32	7,5
Área	Área de drenagem (km ²)	1500	95263

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível verificar que bacias próximas apresentam valores semelhantes das assinaturas hidrológicas (Figura 1). Este resultado corrobora com outros trabalhos (e.g., Sawicz *et al.*, 2011), nos quais a proximidade exerce uma importante função na similaridade das bacias. Ainda, é possível observar que em áreas de transição climática há normalmente uma mudança no valor das assinaturas.

A elasticidade da vazão (EQP) apresenta valores maiores no Sudeste e em parte do Nordeste. Ou seja, as vazões dessas bacias são mais sensíveis às mudanças na precipitação média anual. Esta assinatura não apresentou um padrão espacial tão claro quanto as demais. O índice de aridez (AI) é menor no Sul e no Norte do país, aumentando em direção ao Nordeste. É possível ver um padrão espacial bem definido para esta assinatura. Esta assinatura apresenta valores opostos aos de taxa de escoamento (RR), o que é um resultado esperado, uma vez que representam características opostas. Os maiores valores estão concentrados no Sul e Norte e os menores no Nordeste. Em bacias mais áridas, uma menor parcela da precipitação sai da bacia em forma de vazão.

O índice de escoamento de base (BFI) apresenta valores menores no Sul e Nordeste, e maiores nas outras regiões do país. Ou seja, nestas últimas a contribuição do escoamento de base é maior. Resultado oposto foi encontrado para a inclinação da curva de permanência (SFDC). A SFDC quantifica a variabilidade da vazão. Portanto, esta oposição já era esperada, uma vez que grandes inclinações estão relacionadas com baixos índices de escoamento de base – o que pode indicar bacias com resposta rápida.

A Q_{10} possui valores maiores no Sul e Nordeste. A Q_{10} apresenta um comportamento semelhante à SFDC, onde bacias com maiores vazões máximas possuem maiores variabilidades da

vazão. Por outro lado, a Q_{10} tem um comportamento inverso com o BFI; quanto maior a Q_{10} , menor o índice de escoamento de base. A Q_{90} , que quantifica as vazões mínimas, apresenta valores maiores no Sul e Sudeste, diminuindo em direção ao Norte e Nordeste.

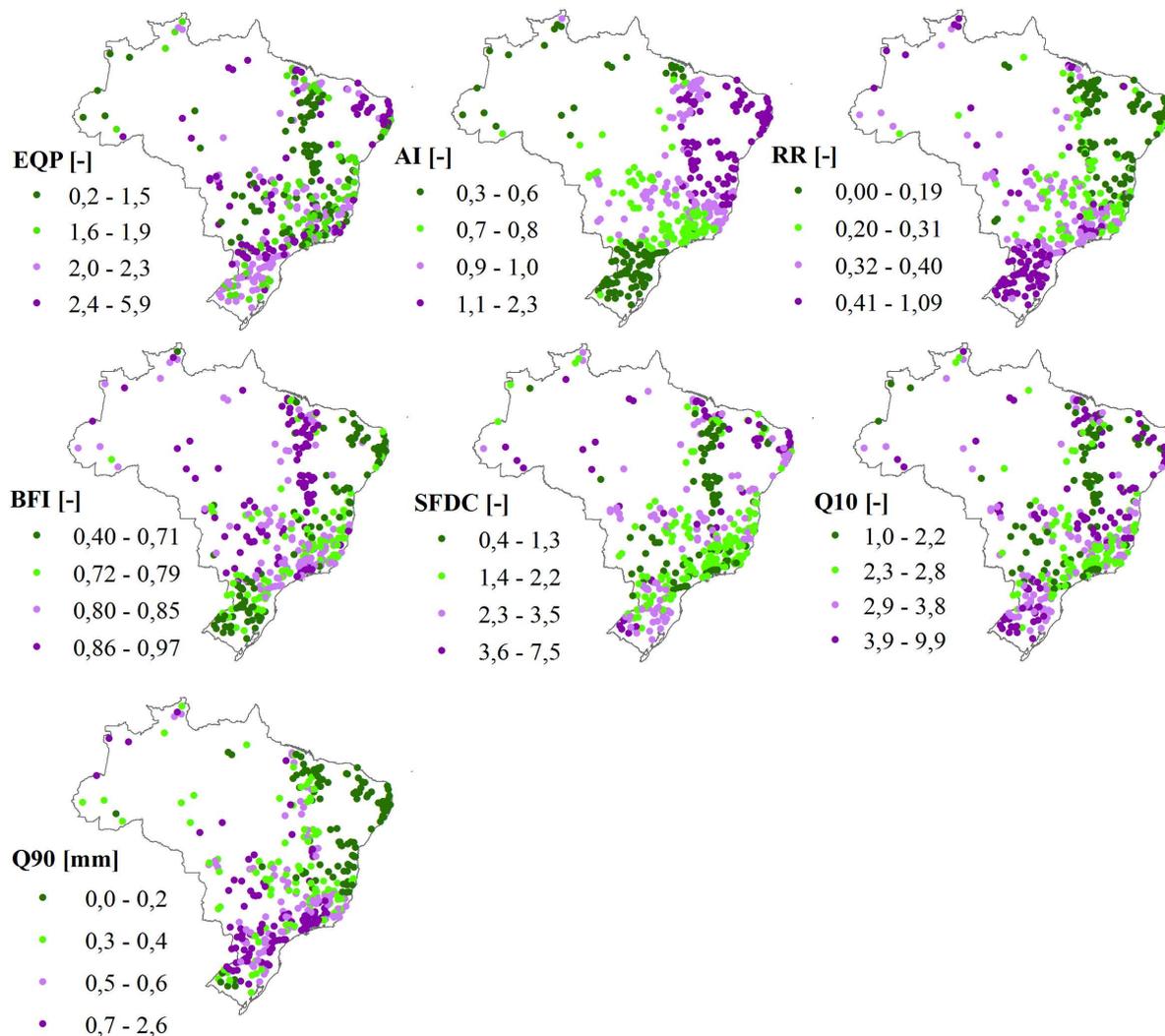


Figura 1 – Distribuição espacial das assinaturas hidrológicas consideradas deste trabalho.

Os sete grupos obtidos com o *cluster* estão na Figura 2a. Bacias próximas na maioria das vezes fazem parte do mesmo grupo, indicando que a proximidade é um fator importante para a similaridade hidrológica. Este é um resultado comum, uma vez que fatores climáticos e topográficos desempenham um papel importante nos processos hidrológicos. A Figura 2b apresenta a distribuição de cada assinatura em cada grupo. É possível observar novamente que algumas assinaturas possuem padrões opostos em cada grupo.

As bacias do grupo 1 estão localizadas pelo Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Elas possuem baixa aridez, um alto índice de escoamento de base e baixa variabilidade, de acordo com SFDC e Q_{10} baixos. Considerando as características físicas e climáticas (Figura 4), estas bacias possuem uma porcentagem maior de areia do que argila, o que pode estar relacionado com o BFI, e possui uma das menores sazonalidades de precipitação.

As bacias do grupo 2 estão localizadas no Nordeste. Estas bacias apresentam os maiores valores de EQP entre os grupos, o que significa que estas bacias são as mais sensíveis às mudanças na precipitação média anual. Elas também possuem os maiores valores de aridez, da inclinação da curva de permanência e de Q_{10} . Estas bacias são, portanto, as que apresentam maiores variações de vazão. O que pode ser confirmado também com os baixos valores de BFI. De acordo com as características, estas bacias são as com as maiores sazonalidades de precipitação, menor precipitação média e dias com chuva.

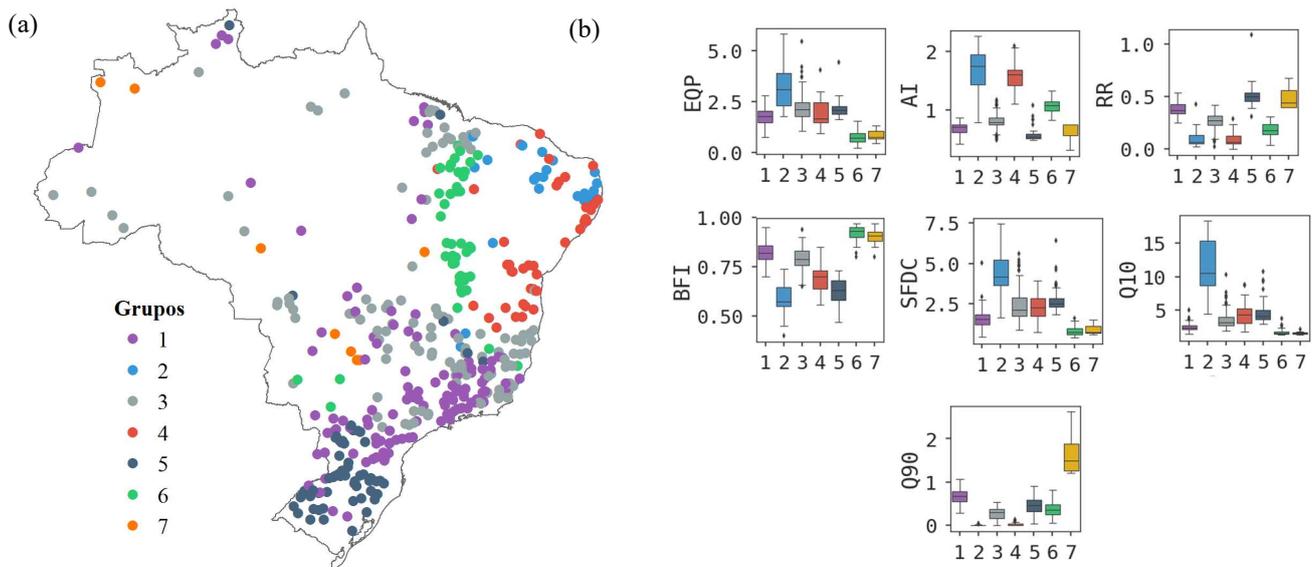


Figura 2 – (a) Grupos encontrados com o cluster e (b) a distribuição de cada assinatura para cada grupo.

As bacias do grupo 3 estão localizadas nas mesmas regiões do grupo 1. Elas possuem assinaturas semelhantes, sendo as do grupo 3 mais áridas e com menores vazões baixas. Elas também possuem um maior SFDC. Já as características físicas e climáticas são bastante semelhantes.

O grupo 4 é composto por bacias localizadas no Nordeste. Assim como as bacias do grupo 2, estas bacias são mais áridas e possuem uma das menores taxas de escoamento. A principal diferença entre estes grupos é que as bacias do grupo 4 apresentam menor variabilidade na vazão.

As bacias do grupo 5 estão localizadas na região Sul do país. Estas bacias são caracterizadas por ter o menor índice de aridez entre os grupos, e a maior taxa de escoamento. O índice de escoamento é baixo e a SFDC intermediária. Essas bacias apresentam a maior declividade média.

As bacias do grupo 6 estão localizadas no Nordeste, sendo metade delas na região hidrográfica do rio São Francisco. Estas bacias apresentam um índice de aridez alto. Elas possuem a menor SFDC e o maior BFI. As características físicas e climáticas destas bacias são muito semelhantes às do grupo 4. Entretanto, as bacias do grupo 6 apresentam os valores das assinaturas diferentes. Este resultado indica que outros fatores além dos considerados interferem na resposta hidrológica das bacias.

Por fim, o grupo 7 é o que possui o menor número de bacias, com 8. Os valores das assinaturas deste grupo são muito semelhantes com o grupo 6, sendo um pouco menos áridas e com maiores vazões mínimas. Estas bacias são as que apresentam a menor sazonalidade da precipitação.

A Figura 3 apresenta a distribuição de cada assinatura para cada grupo obtido com o *cluster* e o *scatterplot* de cada par de assinatura. Algumas assinaturas apresentaram relação entre si. Por exemplo, o índice de escoamento de base aumenta conforme a inclinação da curva de permanência é reduzida. Este comportamento também foi observado espacialmente. As assinaturas de vazões máximas e mínimas (Q_{10} e Q_{90}) também apresentaram relação com o BFI e SFDC. Bacias com maior BFI apresentam menores vazões máximas, e maiores vazões mínimas; além de apresentarem uma menor SFDC. Ou seja, bacias com menor variabilidade estão associadas com uma alta contribuição do escoamento de base.

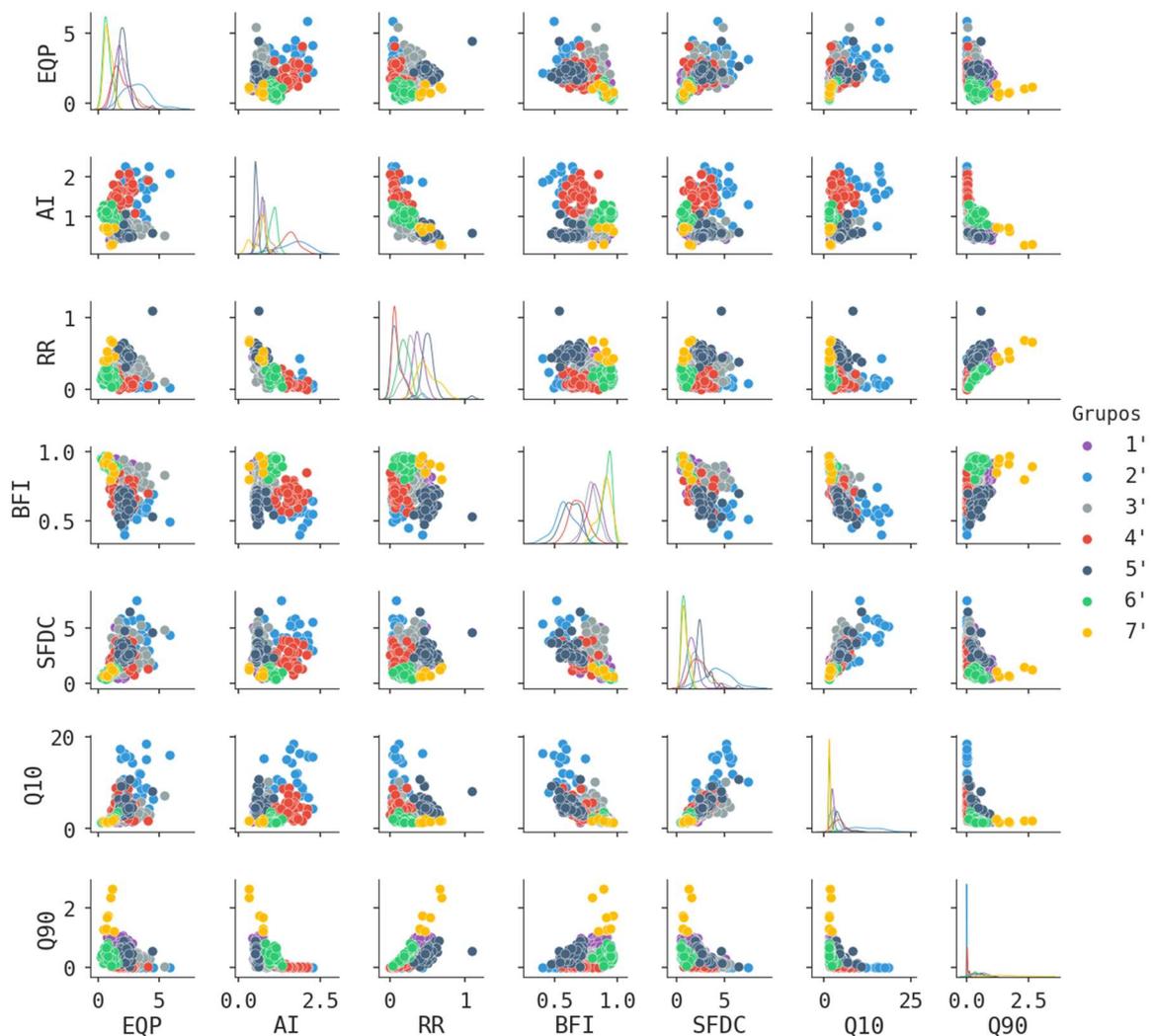


Figura 3 – *Scatterplot* e distribuição das assinaturas separadas pelos grupos.

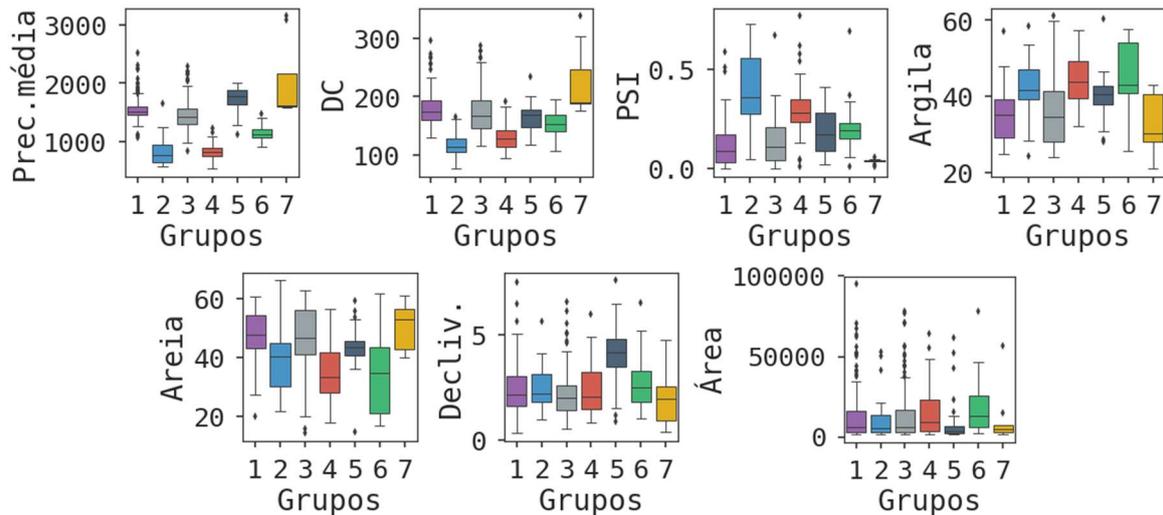


Figura 4 – Distribuição das características físicas e climáticas para cada grupo.

Foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman entre as assinaturas hidrológicas e as características físicas e climáticas (Figura 5). Os maiores coeficientes foram encontrados para o índice de aridez com a precipitação média anual (-0,94), com dias com chuva (-0,61), e sazonalidade da precipitação (0,46). A RR apresentou correlações altas com as mesmas características físicas e climáticas, porém com o sinal inverso, uma vez que a RR e o AI são opostos. A assinatura Q₉₀ também apresentou correlação significativa com estas características. Quanto maior a precipitação média e os dias com chuva, maiores as vazões mínimas.

As porcentagens de areia e argila apresentaram baixas correlações com as assinaturas. Esperava-se encontrar uma maior correlação com estas características, uma vez que as propriedades do solo influenciam a infiltração e a quantidade armazenada de água, e solos com maior quantidade de areia são mais permeáveis. As correlações entre a elasticidade da vazão e as características do solo também foram menores que as esperadas, tendo em vista que ela está relacionada com a capacidade do solo em amortecer a variabilidade da precipitação. Outra correlação com o tipo de solo que esperava-se ser significativa é com o índice de escoamento de base, uma vez que ele está relacionado com a água subterrânea.

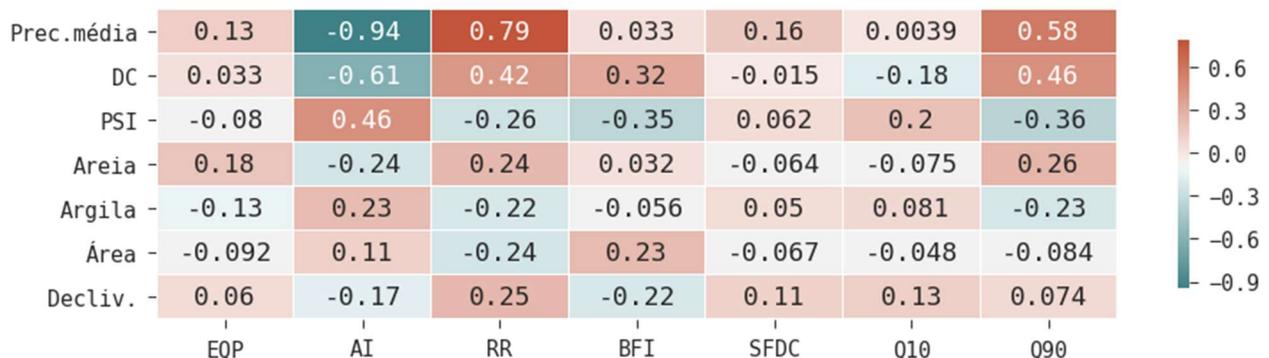


Figura 5 – Coeficientes de correlação de Spearman entre as assinaturas hidrológicas e as características físicas e climáticas. Todas as correlações com coeficiente acima de 0.30 são significativas (p -valor < 0,05).

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo entender como bacias localizadas no Brasil se agrupam de acordo com suas assinaturas hidrológicas e quais os principais controles físicos neste agrupamento. Foi possível separar as 413 bacias consideradas em sete grupos. Bacias espacialmente próximas na maioria das vezes fazem parte do mesmo grupo, indicando que a proximidade é um fator importante para a similaridade hidrológica. Este era um resultado esperado, uma vez que fatores climáticos e topográficos desempenham um papel importante nos processos hidrológicos.

Foram consideradas sete características físicas e climáticas, com o objetivo de encontrar os possíveis controles no agrupamento. As correlações entre as assinaturas hidrológicas e as características na maioria das vezes não foi significativa. Este resultado indica que outros fatores além dos considerados interferem na resposta hidrológica e no agrupamento.

Trabalhos como este podem ajudar a fornecer mais informações sobre similaridade hidrológica e quais os fatores determinantes. Recomenda-se utilizar outras características relacionadas ao tipo de solo e clima, a fim de encontrar relações mais fortes entre elas e as características hidrológicas e aprofundar nosso conhecimento sobre os processos hidrológicos.

AGRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 88881146046201701. O segundo autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- ADDOR, N. et al. (2017). *The CAMELS data set: Catchment attributes and meteorology for large-sample studies*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 21, n. 10, p. 5293–5313.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2017). HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.
- CARRILLO, G. et al. (2011) *Catchment classification: Hydrological analysis of catchment behavior through process-based modeling along a climate gradient*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, n. 11, p. 3411–3430.
- CHAGAS, V. B. P. (2019). Mudanças nos regimes de chuva e vazão no Brasil, de 1980 a 2015. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis.
- COXON, G. et al. (2011). *Diagnostic evaluation of multiple hypotheses of hydrological behaviour in a limits-of-acceptability framework for 24 UK catchments*. Hydrological Processes, v. 28, n. 25, p. 6135–6150, 2014.
- ECKHARDT, K. (2005). *How to construct recursive digital filters for baseflow separation*. Hydrological Processes, v. 19, n. 2, p. 507–515.
- EUSER, T. et al. (2013). *A framework to assess the realism of model structures using hydrological signatures*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 17, n. 5, p. 1893–1912.
- FENICIA, F. et al. (2018). *Signature-Domain Calibration of Hydrological Models Using Approximate Bayesian Computation: Empirical Analysis of Fundamental Properties*. Water Resources Research, n. 1, p. 1–44,
- GUPTA, H. V. et al. (2008). *Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling*. Journal of Hydrology, v. 377, n. 1–2, p. 80–91.

- HENGL, T., MENDES DE JESUS, J., HEUVELINK, G. B.M., RUIPEREZ GONZALEZ, M., KILIBARDA, M. et al. (2017) SoilGrids250m: global gridded soil information based on Machine Learning. PLoS ONE 12(2): e0169748.
- HENGL T, DE JESUS JM, MACMILLAN RA, BATJES NH, HEUVELINK GBM, et al. (2014) SoilGrids1km — Global Soil Information Based on Automated Mapping. PLoS ONE 9(8): e105992.
- HRACHOWITZ, M. et al. (2013). *What can flux tracking teach us about water age distribution patterns and their temporal dynamics?* Hydrology and Earth System Sciences, v. 17, n. 2, p. 533–564.
- HRACHOWITZ, M. et al. (2014). *Process consistency in models: The importance of system signatures, expert knowledge, and process complexity.* Water Resources Research, v. 50, n. 9, p. 7445–7469.
- HRACHOWITZ, M.; CLARK, M. P. (2017). *HESS Opinions: The complementary merits of competing modelling philosophies in hydrology.* Hydrology and Earth System Sciences, v. 21, n. 8, p. 3953–3973.
- LI, H. et al. (2014). *Functional approach to exploring climatic and landscape controls of runoff generation: I. Behavioral constraints on runoff volume.* Water Resources Research, v. 50, n. 12, p. 9300–9322.
- MARTENS, B. et al. (2017). *GLEAM v3: Satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture.* Geoscientific Model Development, v. 10, n. 5, p. 1903–1925.
- MCDONNELL, J. J.; WOODS, R. (2004). *On the need for catchment classification.* Journal of Hydrology, v. 299, n. 1–2, p. 2–3.
- MCMILLAN, H. et al. (2014). *Spatial variability of hydrological processes and model structure diagnostics in a 50km² catchment.* Hydrological Processes, v. 28, n. 18, p. 4896–4913.
- MCMILLAN, H.; WESTERBERG, I.; BRANGER, F. (2017). *Five guidelines for selecting hydrological signatures.* Hydrological Processes, v. 31, n. 26, p. 4757–4761.
- MIRALLES, D. G. et al. (2011). *Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations.* Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, n. 2, p. 453–469.
- NEWMAN, A. J. et al. (2015). *Development of a large-sample watershed-scale hydrometeorological data set for the contiguous USA: Data set characteristics and assessment of regional variability in hydrologic model performance.* Hydrology and Earth System Sciences, v. 19, n. 1, p. 209–223.
- ODDIN, L. et al. (2008). *Spatial proximity, physical similarity, regression and ungaged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments.* Water Resources Research, v. 44, n. 3, p. 1–15.
- SADEGH, M.; VRUGT, J. A. (2014). *Approximate Bayesian Computation using Markov Chain Monte Carlo simulation.* Water Resources Research, v. 10, n. 2, p. 6767–6787.
- SANKARASUBRAMANIAN, A.; VOGEL, R. M.; LIMBRUNNER, J. F. (2001). *Climate elasticity of streamflow in the United States.* Water Resources Research, v. 37, n. 6, p. 1771–1781.
- SAWICZ, K. et al. (2011). *Catchment classification: Empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA.* Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, n. 9, p. 2895–2911.
- SAWICZ, K. A. et al. (2014). *Characterizing hydrologic change through catchment classification.* Hydrology and Earth System Sciences, v. 18, n. 1, p. 273–285.
- SIVAPALAN, M. (2005). *Pattern, Process and Function: Elements of a Unified Theory of Hydrology at the Catchment Scale.* Encyclopedia of Hydrological Sciences, n. APRIL 2006, p. 193–219.
- USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc Second scene. Maryland, EUA: 2006. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- VRUGT, J. A.; SADEGH, M. (2013). *Toward diagnostic model calibration and evaluation: Approximate Bayesian computation.* Water Resources Research, v. 49, n. 7, p. 4335–4345.
- WAGENER, T. et al. (2007). *Catchment Classification and Hydrologic Similarity.* Geography Compass, v. 1, n. 4, p. 901–93.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. (2016). *Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013).* International Journal of Climatology, v. 36, n. 6, p. 2644–2659.