



IV-078 - ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-CLIMÁTICAS MAIS SIGNIFICANTES PARA A REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

Ana Paula Gomes Mendonça⁽¹⁾

Bacharelando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA/ITEC/UFPA).

Clara Cardoso Ferreira⁽²⁾

Bacharelando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA/ITEC/UFPA).

Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.⁽³⁾

Professor da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA/ITEC/UFPA).

Francisco Carlos Lira Pessoa⁽⁴⁾

Pós-Doutorando do Programa Nacional de Pós-Doutorado – PNPd/CAPES (PPGEC/ITEC/UFPA).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, nº 01. Bairro do Guamá – Belém – Pará – CEP: 66075-110 – Brasil. – Tel: +55 (91) 99907-6454 – e-mail: anapaulagomesmendonca03@gmail.com

RESUMO

A busca por conhecer o comportamento hidrológico em bacias não monitoradas ao redor do mundo é frequente para a elaboração de projetos como abastecimento de água, potencial energético, sistema de irrigação, e controle de cheias e secas. Tendo em vista essa necessidade, surge o método de regionalização hidrológica, que permite transferir informações hidrológicas de bacias monitoradas para bacias sem monitoramento ou com dados insuficientes. Este método é desenvolvido por meio de regressão múltipla entre as vazões observadas e as características físicas e climáticas das bacias. Em virtude da importância dessas características, o estudo tem como objetivo identificar as variáveis explicativas mais significativas na aplicação do método de regionalização de vazões, a fim de verificar sua frequência e desempenho, oferecendo subsídios para futuros estudos. Sendo assim, a partir da análise de 18 artigos técnicos, destacou-se 13 variáveis explicativas que influenciaram nos modelos regionais. Área de drenagem e precipitação média anual mostrou-se altamente significantes, devido aos seus elevados valores de frequência e desempenho. Apenas a variável comprimento do rio não obteve o resultado esperado, em virtude dos baixos índices de desempenho, fato este que não prejudicou os modelos regionais.

PALAVRAS-CHAVE: Regionalização, Regressões, Variáveis explicativas.

INTRODUÇÃO

Em busca de superar um dos maiores desafios da comunidade hidrológica, que se resume em indisponibilidade de dados em bacias hidrográficas não monitoradas, para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, surge o método de regionalização hidrológica. Essa técnica se baseia na transferência de informações hidrológicas de locais com série de dados satisfatórios para locais sem dados ou insuficientes, por intermédio, usualmente, de análise de regressão, que relacionam variável/parâmetro de interesse e características físicas e climáticas das bacias (Tucci et al.,1995; Ouarda et al.,2001). Para melhor aplicação dessa técnica se faz necessário que a área de estudo seja homogênea e não apresente grande variabilidade espacial.

Sua importância está na determinação do comportamento hidrológico de uma bacia e na agregação de uma série de projetos na área de recursos hídricos, tais como: disponibilidade hídrica, aproveitamento hidroenergético, sistema de irrigação, obras hidráulicas, controle de cheias, e de secas, em regiões com aridez. (Pinheiro; Naghettini, 2010).

A escolha das variáveis explicativas é de extrema importância para o melhor desempenho do modelo de regionalização. Segundo Tucci (2012), é necessário procurar a melhor combinação de variáveis explicativas, que represente a distribuição dos valores da variável dependente. Ressalta-se que, o menor número possível de variáveis independentes nos modelos regionais diminui o tempo e espaço na obtenção dos valores. Algumas

variáveis explicativas utilizadas são: área de drenagem, precipitação média anual, densidade de drenagem, declividade do rio, comprimento do rio, entre outras.

Na hidrologia, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos a cerca desse assunto. No estudo desenvolvido por Bart (2012), que discorre a técnica de regionalização de curvas de permanência para a região sul da Califórnia, as variáveis que melhor se ajustaram aos parâmetros do modelo foram: base-flow índice (BFI), precipitação média anual, índice de área foliar e a área de drenagem. Para Pessoa et. al. (2012), área de drenagem e precipitação média anual foram suficientes para a estimação dos parâmetros de curva de permanência de vazões para a Região da Calha Norte no Estado do Pará. Nos modelos de Costa et. al. (2012), a variável comprimento do rio não ofereceu ganho de qualidade ao modelo de regressão múltipla, sendo assim, retirada do modelo regional em questão. Outros estudos foram desenvolvidos por Atieh et. al.(2015), Li et. al. (2010), Zhang et. al. (2015) e Solans et. al. (2015) a respeito do assunto.

Tendo em vista isso, este estudo tem como objetivo identificar as variáveis explicativas mais significativas na aplicação do método de regionalização de vazões por intermédio de um levantamento bibliográfico de artigos científicos publicados entre os anos 2010 a 2015, a fim de verificar a frequência e o desempenho das mesmas oferecendo subsídios para futuros estudos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada baseia-se no levantamento bibliográfico de 18 artigos técnicos internacionais e nacionais (Tabela 1), no intervalo de tempo de 2010 a 2015, relacionados ao tema de regionalização de vazões, sendo sua grande maioria disponibilizada no periódico da CAPES.

Tabela 1 – Artigos técnicos utilizados no estudo.

AUTORES	DESCRIÇÃO DOS ARTIGOS
Li et.al (2010)	Propuseram um novo método de índice de vazões para previsão de curvas de permanência no Sudeste da Itália.
Longobardi; Villani (2013)	Simularam curvas de permanência adimensionais na região Sul da Itália, com características fisiografias peculiares.
Pessoa et.al. (2011)	Utilizaram o modelo cúbico e análise de regressão múltipla para estimar parâmetros das curvas de permanência de vazões. Foram utilizadas como variáveis explicativas da ocorrência da vazão: área de drenagem, precipitação média anual, desnível e comprimento do rio.
Castellarin (2014)	Prever curvas por meio de interpolação tree-dimensional kriging ao Norte da Itália.
Costa et.al. (2012)	Desenvolveram modelos regionais de curvas de permanência de vazões para bacias da Calha Norte e do Xingu – Estado do Pará, em função de área de drenagem, comprimento do rio, desnível do rio e precipitação média anual.
Hope; Bart (2012)	Baseia-se no teorema da probabilidade total, prevendo três variáveis de vazão em 141 bacias no Sul da Califórnia.
Atieh; Gharabaghi; Rudra (2015)	Propuseram um parâmetro de entrada ao modelo Artificial Neural Networks (ANN), chamado Apportionment Entropy Disorder Index (AEDI).
Hashimi; Shamseldin (2014)	Utilizaram a abordagem de curvas com a técnica Gene Expression Programming (GEP). Estabeleceu 26 características para 12 bacias.
Zhang et.al. (2015)	Faz-se uma comparação entre curvas de permanência e modelagem rainfall-runoff, para bacias no Sudeste australiano.
Snelder et.al. (2013)	Aplicaram modelos estatísticos para fluxo intermitente e características da bacia.
Masih et.al. (2010)	Analysaram 11 bacias homogêneas do rio Karkheh no Irã, para simulação de vazões diárias, usando o modelo HBV.
Solans; Díaz (2015)	Regionalização de seis tipos de regime natural de vazão na bacia do rio Ebro, através do processo de classificação Landscape-based.
Dodangeh et.al. (2014)	Aplicaram análise de agrupamento multivariado e método de momentos L, para vazão mínima no Irã.
Preeski et.al. (2012)	Apresentaram métodos de minimização de riscos relacionados com a extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas.
Mendicino; Senatore (2013)	Analysaram sete procedimentos de regionalização, sendo os paramétricos de melhor desempenho para as curvas de permanência.
Costa; Fernandes; Naghettini (2012)	Utilizaram a distribuição Bur XII estendida, na modelagem de curvas para rios perenes, intermitentes e efêmeros.
Luz; Fernandes; Reis (2013)	Empregaram o modelo para vazões mínimas (Q7,10) nas bacias do Alto São Francisco, utilizando OLS (Ordinary Least Square) e WLS (Weighted Least Square) como modelos de regressão.
Pinheiro; Naghettini (2010)	Descreveram a calibração do modelo de chuva-vazão para curvas de permanência sintéticas de longo período.

A seleção dos artigos fundamenta-se em publicações de jornais e revistas da área de recursos hídricos, em conformidade com o tema proposto.

Para a análise desses artigos utilizou-se uma abordagem quantitativa por intermédio da frequência relativa. A partir dessa análise foram destacadas as variáveis independentes com maior frequência de utilização nos modelos de regressão, método utilizado para a definição dos modelos regionais de vazão. Em decorrência disso, evidenciam-se aquelas que apresentaram melhor e pior desempenho na correlação com as variáveis dependentes. A representação da frequência e desempenho foi feita através de gráficos, contudo foram destacados no estudo apenas os que apresentaram resultados mais relevantes.

RESULTADOS

Frequência das variáveis independentes no estudo

Entre as 139 variáveis explicativas utilizadas nos artigos, apenas 13 delas foram significativas para o presente estudo.

A partir disso, é importante ressaltar que as variáveis independentes com pouca relevância, estão relacionadas às características próprias dos locais de estudo, por isso não foram levadas em consideração no referente trabalho.

De todas as variáveis, a área de drenagem destaca-se por sua utilização em 94,4% dos trabalhos analisados (Figura 1). Assim como a área de drenagem, a variável precipitação anual média (Figura 3) e comprimento do rio (Figura 5) merecem destaque, pois foram utilizadas, respectivamente, em 72,2% e 55,5% do total. Em sequência a elevação média da bacia com 44,4% e a inclinação média da bacia, 38,9%.

As menores porcentagens foram representadas por: elevação máxima da bacia (33,3%), densidade de drenagem, extensão de área florestada e elevação mínima da bacia, ambos com 22,2%, potencial de evapotranspiração anual médio (16,7%), desnível do rio, temperatura máxima e mínima do ar nas bacias hidrográficas, ambas com (11,1%). Na Tabela 2 são apresentadas as variáveis explicativas mais utilizadas nos modelos de regionalização de vazões.

Tabela 2 – Variáveis explicativas mais utilizadas nos modelos de regionalização de vazões.

VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	MEDIDAS
Área de drenagem	km ²
Precipitação média anual	mm
Elevação média da bacia	m
Inclinação média da bacia	% ou m/km
Extensão de área florestada	%
Comprimento do rio	km
Desnível do rio	m
Potencial de evapotranspiração anual médio	mm
Densidade de drenagem	km/km ²
Elevação mínima da bacia	m
Temperatura mínima do ar nas bacias hidrográficas	°C
Temperatura máxima do ar nas bacias hidrográficas	°C
Elevação máxima da bacia	m

Desempenho das variáveis independentes

Quanto ao desempenho das variáveis independentes na aplicação dos modelos de regressão, a precipitação anual média (84,6%) – figura 4, e a área de drenagem (58,8%) – figura 2, foram as que apresentaram maior significância para a simulação das vazões. Em 20% dos artigos analisados o comprimento do rio (figura 6) estava presente, contribuindo parcial nos modelos regionais, sempre combinado com a área de drenagem ou a precipitação média anual. As variáveis elevações média e mínima da bacia tiveram 50% de significância. As outras variáveis explicativas da ocorrência das vazões, mesmo apresentando elevadas frequências nos artigos, não ofereceram ganhos significativos para os modelos regionais. Sendo assim, foram retiradas dos modelos regionais.

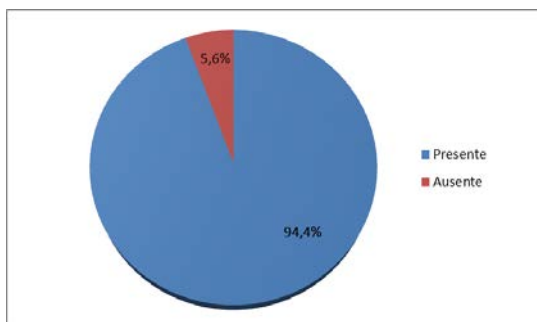


Figura 1 - Frequência da variável Área de Drenagem.

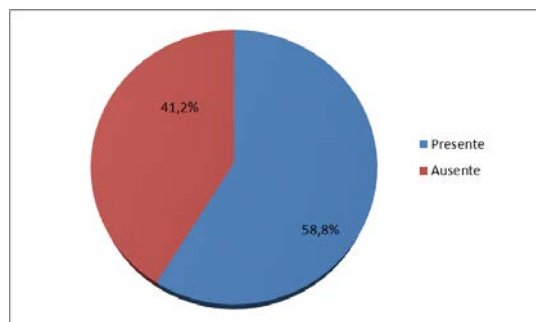


Figura 2 - Desempenho da variável Área de Drenagem.

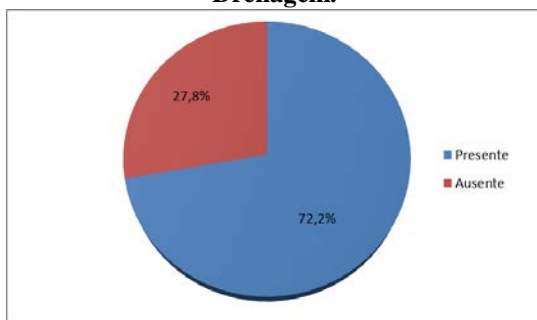


Figura 3 - Frequência da variável Precipitação Média Anual.

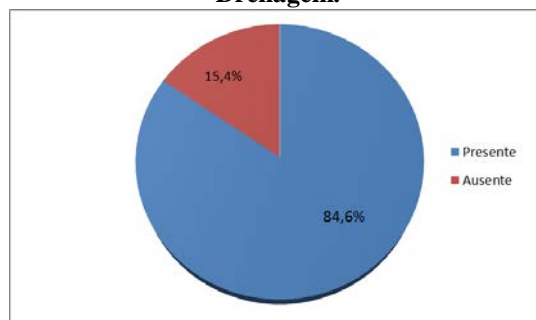


Figura 4 - Desempenho da variável Precipitação Média Anual.

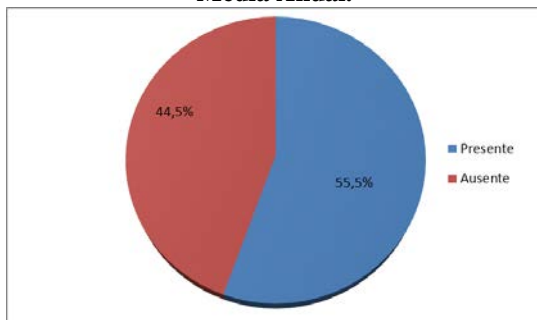


Figura 5 - Frequência da variável Comprimento do Rio.

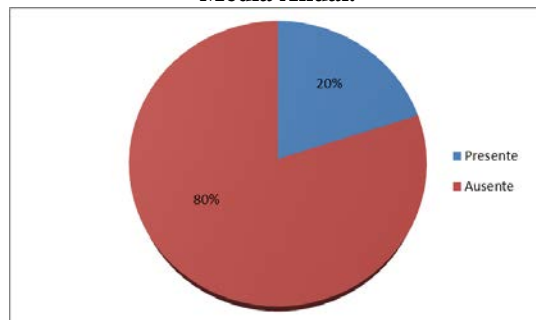


Figura 6 - Desempenho da variável Comprimento do Rio.

CONCLUSÕES

No estudo, buscou-se analisar as variáveis explicativas da ocorrência das vazões que apresentam maior frequência quanto ao uso e sua significância no que diz respeito à aplicação do método de regionalização de vazões. Foram analisadas 139 variáveis, das quais 13 estabeleceram alguma influência nos modelos de regressão. Das 13 variáveis, a precipitação anual média (84,6%) e a área de drenagem (58,8%) foram as que apresentaram maiores significâncias nos modelos regionais desenvolvidos nos artigos analisados. Elevação média obteve significância mediana, com 50% de desempenho. Contudo, a variável comprimento do rio mesmo apresentando uma frequência considerável (55,5%), apresentou baixa significância no desempenho dos modelos (20%), mas isso não prejudicou sua utilização nos modelos regionais. Por fim, esta análise bibliográfica oferece subsídios para aplicação em futuros trabalhos, facilitando a escolha de variáveis explicativas para serem estabelecidas aos modelos regionais, a partir de seu grau de significância nos artigos supracitados, diminuindo o tempo para elaboração do método de regionalização de vazões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATIEH, Maya; GHARABAGHI, Bahram; RUDRA, Ramesh. (2015). Entropy-based Neural Networks Model for Flow Duration Curves at Ungauged Sites. *Journal of Hydrology*, vol.529, p.1007-1020.
2. COSTA, Andréia. S; CARIELLO, Brunna. L; BLANCO, Cláudio. J. C; PESSOA, Francisco. C. L. (2012). Regionalização de Curvas de Permanência de Vazão de Regiões Hidrográficas do Estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol.27, n.4, p.413-422.
3. COSTA, Veber. A. F; FERNANDES, Wilson; NAGHETTINI, Mauro. (2012). Modelos Regionais para Curvas de Permanência de Vazões de Rios Perenes, Intermitentes e Efêmeros, com Emprego da Distribuição Burr XII Estendida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.17, p.171-180.
4. DODANGEH, Esmaeel; SOLTANI, Saeed; SARHADI, Ali; SHIAU, Jenq-Tzong. (2013). Application of L-moments and Bayesian inference for low-flow regionalization in Sefidroud basin, Iran. *Hydrological Processes*, vol. 28, p.1663-1676.
5. HASHMI, Muhammad. Z; SHAMSELDIN, Asaad. Y. (2014). Use of Gene Expression Programming in regionalization of flow duration curve. *Journal Advances in Water Resources*, vol.68, p.1-12.
6. HOPE, Allen; BART, Ryan. (2012). Evaluation Of A Regionalization Approach For Daily Flow Duration Curves in Central and Southern California Watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 48, p.123-133.
7. LI, Ming; SHAO, Quanxi; ZHANG, Lu; CHIEW, Francis. H. S. (2010). A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. *Journal of Hydrology*, vol. 389, p.137-145.
8. LONGOBARDI, Antonia; VILLANI, Paolo. (2013). A statistical, parsimonious, empirical framework for regional flow duration curve shape prediction in high permeability Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, vol. 507, p.174-185.
9. CASTELLARIN, Atillio. (2014). Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional kriging. *Journal of Hydrology*, vol. 513, p.179-191.
10. LUIZ, Sarah. F; FERNANDES, Wilson. S; REIS, Dirceu. S. J. (2013). Regionalização Hidrológica de Vazões Mínimas por meio dos Métodos OLS e WLS Aplicada à Bacia do Alto São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.18, p.231-241.
11. MASI, I; UHLENBROOK, S; MASKEY, S; AHMAD, M.D. (2010). Regionalization of a conceptual rainfall-runoff model based on similarity of the flow duration curve: A case study from the semi-arid Karkheh basin, Iran. *Journal of Hydrology*, vol. 391, p.188-201.
12. MENDICINO, Giuseppe; SENATORE, Alfonso. (2013). Evaluation of parametric and statistical approaches for the regionalization of flow duration curves in intermittent regimes. *Journal of Hydrology*, vol.480, p.19-32.
13. PESSOA, Francisco. C. L; BLANCO, Claudio. J. C; MARTINS, Jacques. R. (2011). Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões da Região da Calha Norte no Estado do Pará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 1, n.2, p.65-74.
14. PINHEIRO, Viviane. B; NAGHETTINI, Mauro. (2010). Calibração de um Modelo Chuva-Vazão em Bacias sem Monitoramento Fluviométrico a partir de Curvas de Permanência Sintéticas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.15, n.2, p.143-156.
15. PRUSKI, Fernando .F; NUNES, Aline. A; REGO, Fernando. S; SOUZA, Marlon. F. (2012). Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. *Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba*, v.1, n.1, p.51-59, set.2012.
16. SNELDER, T. H; DATRY, T; LAMOUREUX, N; LARNED, S.T; SAUQUET, E; PELLA, H; CATALOGNE, C. (2013). Regionalization of Patterns of Flow Intermittence from Gauging Station Records. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol.17, p.2685-2699.
17. SOLANS, M. A; MELLADO-DÍAZ, A. (2015). A Landscape-based Regionalization of Natural Flow Regimes in the Ebro River Basin and its Biological Validation. *River Research and Applications*, vol. 31, p.457-469.
18. TUCCI, Carlos. E. M. *Hidrológia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2012. p.573-619.
19. ZHANG, Yongqiang; VAZE, Jai; CHIEW, Francis. H.S; LI, Ming. (2015). Comparing flow duration curve and rainfall-runoff modeling for predicting daily runoff in ungauged catchments. *Journal of Hydrology*, vol. 525, p.72-86.