

Vazão específica de canais fluviais de baixa ordem em cabeceiras de drenagem da Serra da Mantiqueira

Felippe, M. (UFJF) ; Almeida Neto, J. (USP)

RESUMO

O débito fluvial, do ponto de vista hidrológico, pode ser derivado do escoamento superficial e do escoamento de base e, por isso está diretamente relacionado às condições climáticas, hidrogeológicas e geomorfológicas de uma bacia hidrográfica. Em cabeceiras de drenagem espera-se que as contribuições subterrâneas sejam mais representativas, uma vez que a área a montante, capaz de acumular o escoamento superficial é comparativamente menor do que em canais hierarquicamente superiores. Todavia, os mecanismos que controlam a produção do fluxo hidrológico em canais de baixa ordem são pouco conhecidos e extremamente dependentes de fatores locais. Buscando clarificar essas lacunas, este trabalho analisa estatisticamente a vazão de canais de baixa ordem e suas áreas de contribuição em cabeceiras de drenagem da Serra da Mantiqueira. Os resultados reforçam a importância de fatores locais sobre os regionais e comprovam a complexidade da produção do escoamento em cabeceiras.

PALAVRAS CHAVES

Nascentes; Canais de 1ª ordem; Bacias de ordem zero; Hidrogeomorfologia; Débito

ABSTRACT

From a hydrological point of view, river debt can come from surface runoff and baseflow and, therefore, is directly related to the climatic, hydrogeological, and geomorphological conditions of a watershed. In headwaters, underground contributions are expected to be more representative since the upstream area, capable of accumulating surface runoff, is smaller than in hierarchically higher channels. However, the mechanisms that control the production of water flow in low-order channels are little known and extremely dependent on local factors. Seeking to clarify these gaps, this paper statistically analyzes the flow of low-order channels and their contribution areas in drainage headwaters of Serra da Mantiqueira. The results reinforce the importance of local factors over regional ones and prove the complexity of headwater flow production.

INTRODUÇÃO

A água presente nos sistemas fluviais é extremamente variável (quantitativamente e qualitativamente) no tempo e no espaço. A depender do regime fluvial, a sazonalidade climática cumpre um papel fundamental na temporalidade dos débitos, uma vez que a água meteórica é um dos principais inputs de matéria (CHORLEY, 2019). Soma-se a isso, as contribuições subsuperficiais e subterrâneas, que estão fortemente relacionadas às características geológicas e pedológicas na transmissão e armazenamento de água (MILLER et al., 2016). É a articulação desses diversos fluxos ao longo do tempo que definirá a vazão dos hidrossistemas que estão incorporados em uma rede hidrográfica. De acordo com Charlton (2007), quatro são os principais fluxos que alimentam o sistema fluvial: i) escoamento superficial hortoniano – fluxo relacionado à água meteórica que excede a capacidade de infiltração do solo; ii) escoamento subsuperficial – associado à movimentação lateral da água na zona insaturada do solo; iii) escoamento subterrâneo (de base) – fluxo lento e de grande estabilidade associado a transmissividade dos aquíferos; iv) escoamento de saturação – gerado pela exfiltração da água em solos encharcados. A combinação desses fluxos na produção hídrica do sistema fluvial é bastante complexa e fundamentalmente dependente dos eventos de chuva. De um modo geral, pode-se afirmar que um sistema fluvial inicia seu débito pelas nascentes, que são fundamentalmente dependentes do escoamento de base e do escoamento de saturação (FELIPPE et al., 2022). Conforme o fluxo se torna eminentemente fluvial, vai ganhando contribuições dos demais tipos de escoamento a partir da ação direta e indireta das águas meteóricas. Assim, em teoria, conforme aumenta a hierarquia fluvial, aumenta também a bacia de

contribuição de uma rede hidrográfica e, conseqüentemente, aumenta sua vazão (CHAVES et al., 2002). As cabeceiras de drenagem são elementos do relevo de funcionalidade transicional entre os processos de vertente e os processos fluviais (BENDA et al., 2005). Nesse aspecto, sua estrutura é composta por elementos morfológicos que se iniciam nos interflúvios da bacia, passam por vertentes eluviais muitas vezes declivosas que gradualmente são dominadas por segmentos côncavos proporcionando um eixo central suave, coluvial e de acumulação de água. Normalmente, esses ambientes abrigam nascentes que promovem o início da drenagem fluvial, muitas vezes de modo difuso e caótico até que haja energia suficiente para concentração do fluxo e organização de um canal fluvial (GOMI et al., 2002; BENDA et al., 2005; FELIPPE et al., 2022). Por ser um ambiente transicional, a produção hídrica em cabeceiras é complexa e pouco conhecida, sendo que os principais estudos se debruçam sobre mensurações e modelagens de casos específicos. De forma geral, o que se defende é que o escoamento fluvial nas cabeceiras é profundamente dependente do escoamento de base e possui rápida resposta aos eventos de chuva (WINTER, 2007). É justamente nessa lacuna que se encaixa este trabalho. A partir do monitoramento das vazões do sistema fluvial de cinco cabeceiras de drenagem em duas localidades distintas no contexto da Serra da Mantiqueira, esse trabalho busca analisar a variabilidade espacial das vazões nas cabeceiras de drenagem e sua relação com a hierarquia fluvial. Ambas as localidades estudadas possuem características geológico- geomorfológicas e climatológicas similares, de modo a possibilitar comparações.

MATERIAL E MÉTODOS

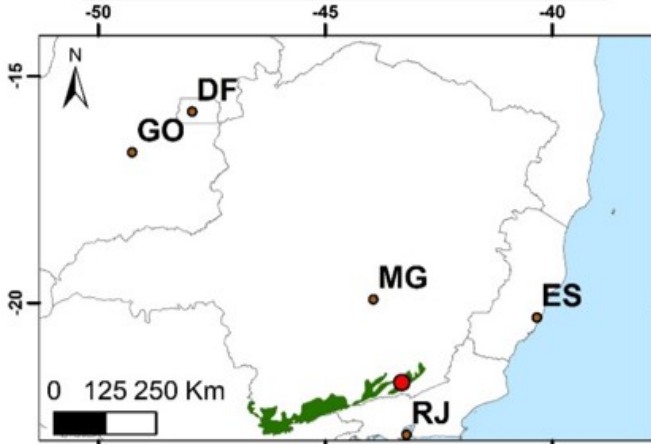
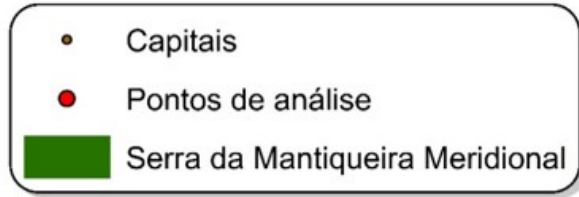
O presente estudo de caso vale-se majoritariamente de dados primários coletados em campanhas de campo ocorridas em um ano hidrológico, entre junho de 2018 e março de 2019. Duas áreas de estudo concernentes ao contexto da Serra da Mantiqueira Meridional (IBGE, 2006) foram escolhidas, sendo ambas encontradas no contexto do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989), embasadas por litologias gnáissicas do Complexo Juiz de Fora (CPRM; CODEMIG, 2014), distantes 20 Km em linha reta entre si. A primeira área (chamada aqui de Mantiqueira) localiza-se no município de Juiz de Fora - MG, próxima à transição para o Planalto do Campo das Vertentes (IBGE, 2006), A segunda área (chamada aqui de Paraíba do Sul), está localizada na transição para a Depressão do Paraíba do Sul (IBGE, 2006), município de Simão Pereira-MG. A distribuição dos elementos macro e meso climáticos e os fatores geográficos de formação do clima entre as áreas de estudo são homogêneos, e apresentam uma clara sazonalidade no balanço de radiação e precipitação, composta por: i) verões mais quentes, chuvosos e irradiados e; ii) invernos mais frios, secos e menos irradiados (OLIVEIRA, 2016). As áreas sofrem grande influência da maritimidade, o que permite que as massas de ar ainda carreguem uma grande quantidade de umidade. O acumulado da precipitação anual de acordo com a normal climatológica é de 1.536 mm. As vazões foram mensuradas por técnica expedita com o recolhimento da água em sacos plásticos com a mensuração do tempo e do volume coletado. Os procedimentos foram realizados em triplicata. 31 pontos de amostragem foram distribuídos hierarquicamente em nascentes, canais de primeira ordem e canais de segunda ordem. Duas cabeceiras de drenagem, com três microbacias compostas por duas nascentes e seus respectivos canais de primeira ordem foram monitoradas na área da Mantiqueira, totalizando 8 pontos. Na área do Paraíba do Sul, três cabeceiras foram monitoradas, com três nascentes e seus respectivos canais de primeira ordem em cada; além disso, cinco pontos em canais de segunda ordem no exutório das cabeceiras foram incorporados. O desenho da malha hidrográfica e suas respectivas áreas de contribuição são apresentados na FIGURA 1. Unidos de Modelos Digitais de Terreno obtidos em imagens SRTM/USGS com pixel de 30 metros, com o apoio do Software Google Earth e marcações de validação em campo, as bacias de contribuição de cada ponto de amostragem foram mapeadas para extração da área de contribuição a montante. O processamento dos dados ocorreu no software ArcGIS 10.2 ERSI®. Os dados de vazão foram organizados a partir dos valores obtidos sazonalmente em concordância com o período do balanço hídrico em que foram coletados (máximo, recessão, mínimo, ascensão). Foi calculada a média das quatro campanhas para representar a vazão média anual (L/s). Ademais, a vazão foi ponderada pela área de contribuição para o cálculo da vazão específica (L/s/Km²). O banco de dados foi tratado no software Microsoft Excel 365, para realização de análise estatística descritiva e análise de regressão linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

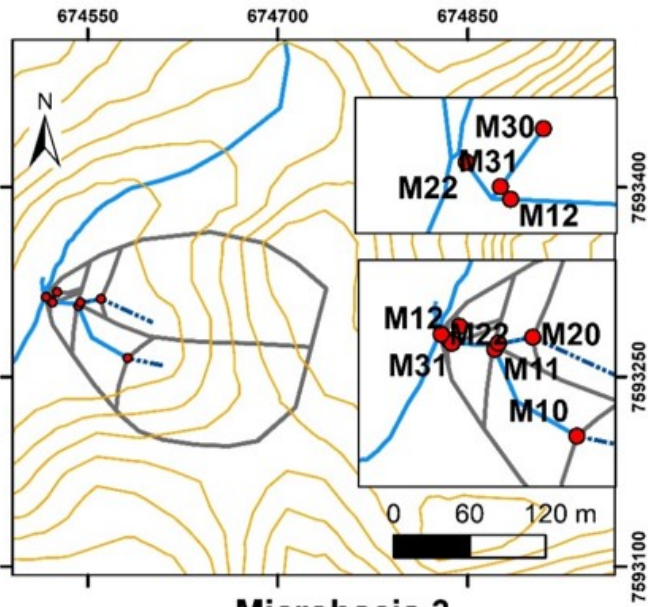
As vazões médias anuais encontradas em nascentes e canais de baixa ordem nas cabeceiras estudadas são regularmente baixas, oscilando entre 0,001 e 0,238 L/s, sendo que 86% das amostras apresentam vazões médias abaixo de 0,1L/s. Os hidrossistemas da área da Mantiqueira possuem vazões maiores do que as do Paraíba do Sul, por outro lado, há mais variabilidade nas amostras do Mantiqueira, com desvio padrão de 0,06 e assimetria de 1,7, contra 0,01 e 0,05 respectivamente no Paraíba do Sul (ambos os valores extremos, máximos e mínimos, encontram-se majoritariamente na área da Mantiqueira). Isso pode ser explicado pelo fato de cinco das cabeceiras estudadas na Mantiqueira possuírem canais de 2ª ordem, enquanto todas do Paraíba do Sul serem de 1ª ordem, exigindo uma reflexão acerca da hierarquia fluvial. A FIGURA 2A ilustra que as cabeceiras do Paraíba do Sul os pontos amostrais possuem médias anuais mais próximas e maior agrupamento dos dados sazonais. Já na Mantiqueira, quatro cabeceiras são marcadas por baixas vazões (tanto sazonais, quanto anuais), o que gera a assimetria estatística encontrada. A intermitência dos hidrossistemas é maior nesta área, contando 12 pontos amostrais sem drenança em pelo menos uma campanha. Apesar da análise de regressão não ter encontrado relação tácita entre a hierarquia fluvial e as vazões médias anuais ($R^2=0,25$ e $F_{sig}=0,002$) conforme relata a literatura clássica, o y previsto é razoavelmente ajustado ao y real para dados de médio e altos valores, sendo os pontos de baixa vazão os responsáveis por definir o baixo valor de R^2 . A estatística descritiva permite aprofundar essas reflexões acerca da variabilidade das vazões ao longo da rede de drenagem. As 13 nascentes estudadas são todas enquadradas na 7ª e 8ª magnitude na escala de Meinzer (1927). A vazão média anual é de 0,021 L/s (desvio padrão = 0,01). Os canais de 1ª ordem têm, em média anual, o dobro da vazão das nascentes (0,04 L/s) o que mostra que a contribuição do escoamento de base é significativa mesmo à jusante do hidrossistema da nascente, reforçando a conectividade do sistema fluvial das cabeceiras. Os canais de 2ª ordem denotam um aumento significativo da vazão média ao longo da rede de drenagem (0,11 L/s), também com máximos e mínimos em concordância com o balanço hídrico regional. Ressalta-se que dentre os canais de 2ª ordem estudados, dois são de 2ª magnitude de Shreve e dois outros são de 3ª magnitude, o que implica em uma nascente a mais alimentando esses últimos. A literatura explica o aumento da vazão ao longo da hierarquia fluvial a partir do acúmulo de nascentes e da bacia de contribuição, gerando maior captação de água meteórica (CHRISTOFFOLETTI, 1981; CHARLTON, 2007; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Nesse sentido, compreender a área de contribuição de cada ponto amostral é fundamental. Assim, realizou-se a análise de regressão para verificar as eventuais relações entre o tamanho das bacias de contribuição dos pontos amostrais e suas descargas líquidas (FIGURAS 2B, 2C, 2D, 2E, 2F). Todas as regressões realizadas para área de contribuição (vazão média, mínima, máxima, recessão e ascensão) apresentaram coeficiente de correlação baixo, indicando uma relação fraca entre as variáveis. Foram positivas ($\alpha > 0$) para vazão média, máxima, recessão e ascensão e negativa ($\alpha < 0$) para recessão. Especificamente essa última, além da inclinação negativa da reta, o coeficiente de correlação foi praticamente nulo. Enquanto o coeficiente angular da regressão para os dados de canais de 2ª ordem é o mais elevado (FIGURA 2G), com R^2 demonstrando relação significativa entre a área de contribuição e a vazão média anual (0,76), para as nascentes a linha de tendência é praticamente paralela ao eixo x e com coeficiente de correlação muito baixo (0,21). Como consequência, a regressão da área de contribuição pela vazão categorizada pelas áreas de estudo (FIGURA 2G) mostra uma maior tendência positiva para os dados a Mantiqueira, justamente pela ocorrência de canais de 2ª ordem nesse sítio. Em contrapartida, para as cabeceiras do Paraíba do Sul, a regressão praticamente indica inexistência de correlação. Para compreender melhor esses dados, faz-se o uso da vazão específica (L/s/Km²) (FIGURA 3). Os valores de vazão específica para todo o rol são mais uniformes do que os valores de vazão não ponderados pela área. Em média, cada Km² de superfície produz 3,49 L/s de água no sistema fluvial. A cabeceira da nascente M50 se destaca nesse sentido, com vazão específica de 35,02 L/s/Km² para seu canal de primeira ordem (M51). Porém, menor resultado foi encontrado para a nascente vizinha, M60, com 0,18 L/s/Km². Por si só, esse resultado já evidencia a importância de fatores locais na produção de escoamento fluvial. Apesar da similaridade na ordem de grandeza das vazões médias do Paraíba do Sul e da Mantiqueira (0,03 e 0,05, respectivamente), a análise ponderada pela área de contribuição mostra uma produção de água 6,5 vezes maior nas cabeceiras da Mantiqueira (4,46 contra 0,69 L/s/Km² na área de estudo do Paraíba do Sul). Apenas 30% do rol registra vazão específica acima de 5,0 L/s/Km² e todos são

pontos amostrais da Mantiqueira; por outro lado, todos os hidrossistemas do Paraíba do Sul estão dentro dos 41% com valores mais baixos (FIGURA 3A). Merece realce o fato de que no máximo hidrológico a desproporção entre as duas áreas de estudo amplia-se ainda mais. Porém, a diferença cai para apenas 15% no mínimo hidrológico, quando os dados são sensivelmente mais equilibrados em qualquer agrupamento que se possa fazer no rol. Esse dado precisa ser lido frente à elevada taxa de intermitência dos hidrossistemas amostrados na Mantiqueira (52%). Essa constância não foi observada com tamanha clareza nos dados de vazão absoluta, reforçando a premissa da relevância da área de contribuição também para o escoamento de base. O gráfico da distribuição dos valores de vazão específica pela hierarquia fluvial (FIGURA 3B) reforça esse resultado. Mesmo em escala logarítmica, os dados aparecem sensivelmente agrupados, sobretudo na área do Paraíba do Sul. 90% das amostras encontram-se no intervalo de 10 a 0,2 L/s/Km²), independentemente da hierarquia. Por outro lado, há uma diferença sensível entre as médias anuais de vazão específica dos canais de 1ª ordem e das nascentes (4,81 e 2,30 L/s/Km², respectivamente). Essa variação é aproximadamente proporcional àquela encontrada para vazões absolutas (0,04 e 0,02 L/s). Porém, é notável a diferença entre essas proporções quando se observam os canais de 2ª ordem. A vazão específica média desses hidrossistemas é de apenas 3,16 L/s/Km², 10% menor do que a média de todo o rol; porém, para vazões absolutas, os canais de 2ª ordem estão em média 230% acima da média geral. Ou seja, há uma inversão importante na relação. Considerando que a ponderação pela área foi a responsável estatística por essa diferença, chega-se à conclusão de que o acréscimo de área de contribuição para os canais de 2ª ordem foi expressivamente maior do que o acréscimo de escoamento que eles proporcionaram. Os dados sazonais desagregados mostram que no período de recessão e mínimo hidrológico, os canais de 2ª ordem tem uma queda muito mais acentuada em suas vazões (tanto absolutas quanto específicas) do que os hidrossistemas a montante. Isso se deve ao fato de a contribuição do escoamento de base para a vazão desses canais ser menor, uma vez que estão mais distantes das zonas de exfiltração (associadas ao gradiente potenciométrico), ou seja, das nascentes.

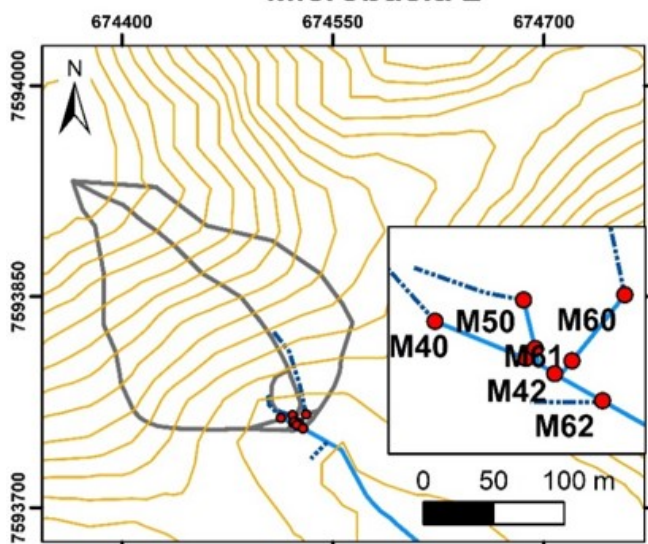
FIGURA 1



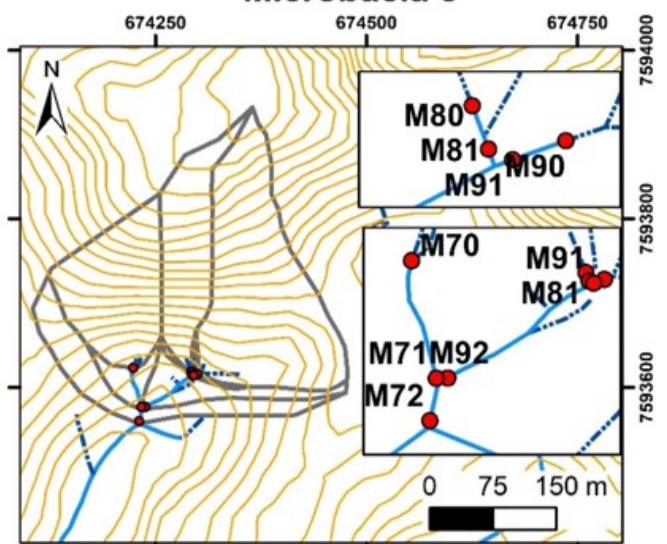
Microbacia 1



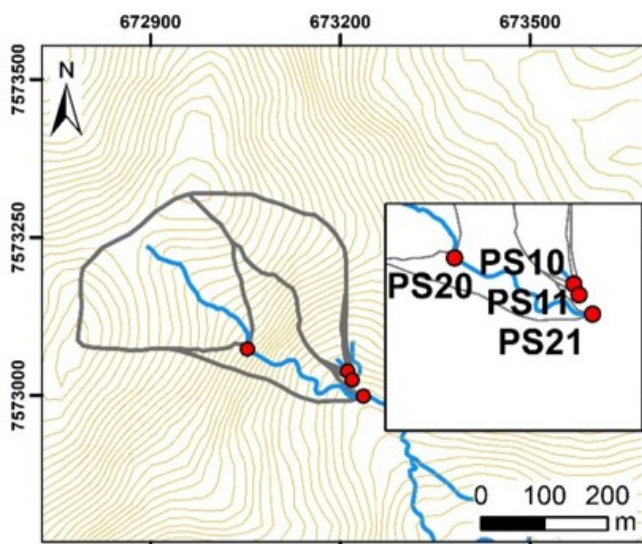
Microbacia 2



Microbacia 3



Microbacia 4



Microbacias 5 e 6

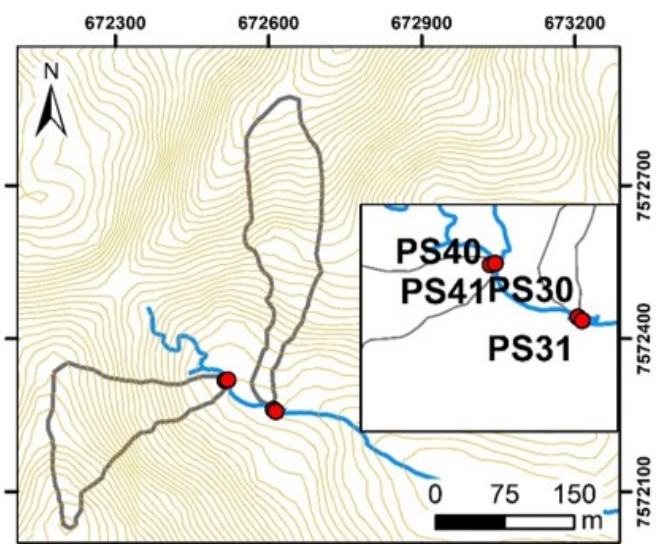


FIGURA 1: Mapa de localização das áreas de estudo. Fonte: elaborado pelos autores.

FIGURA 2

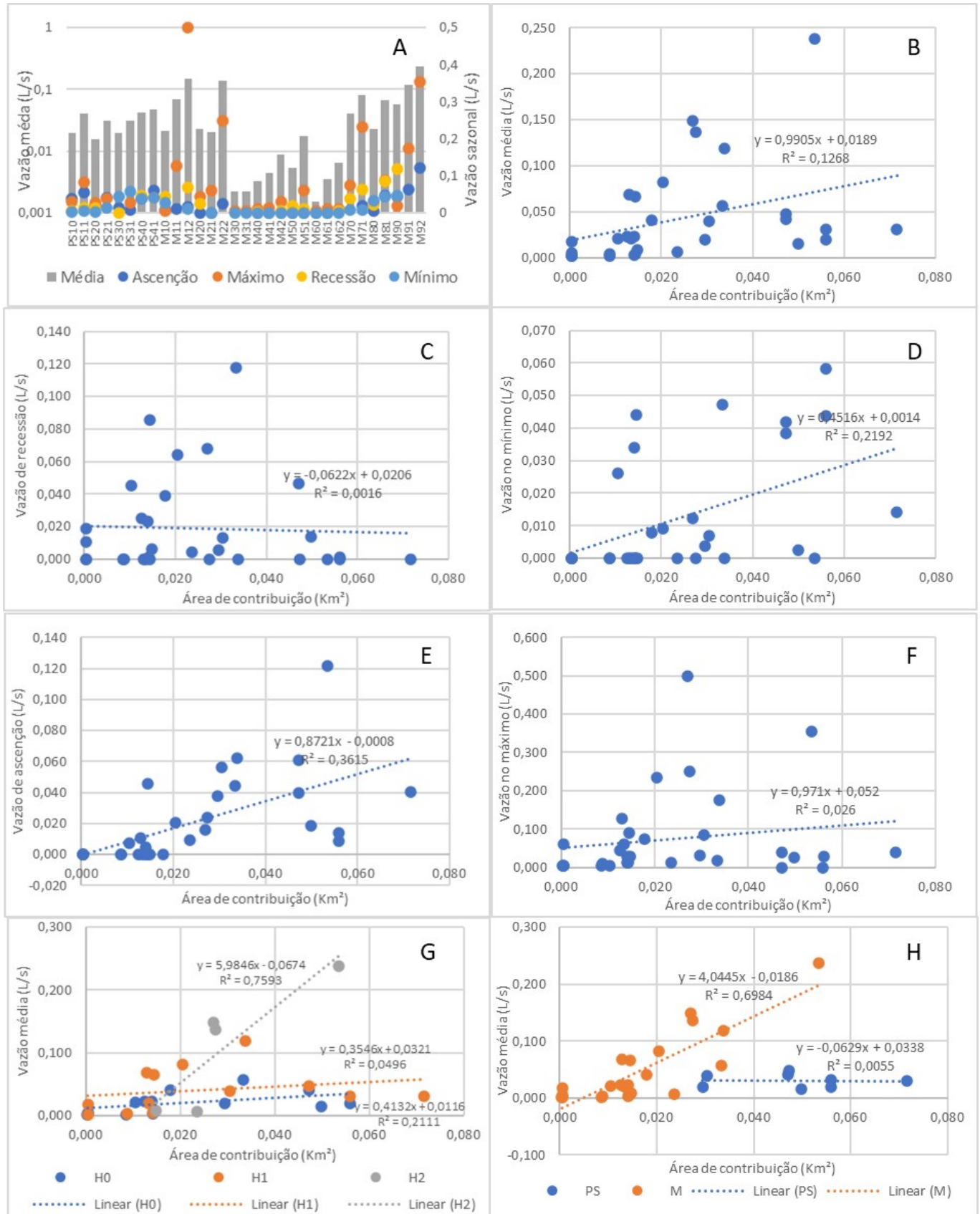
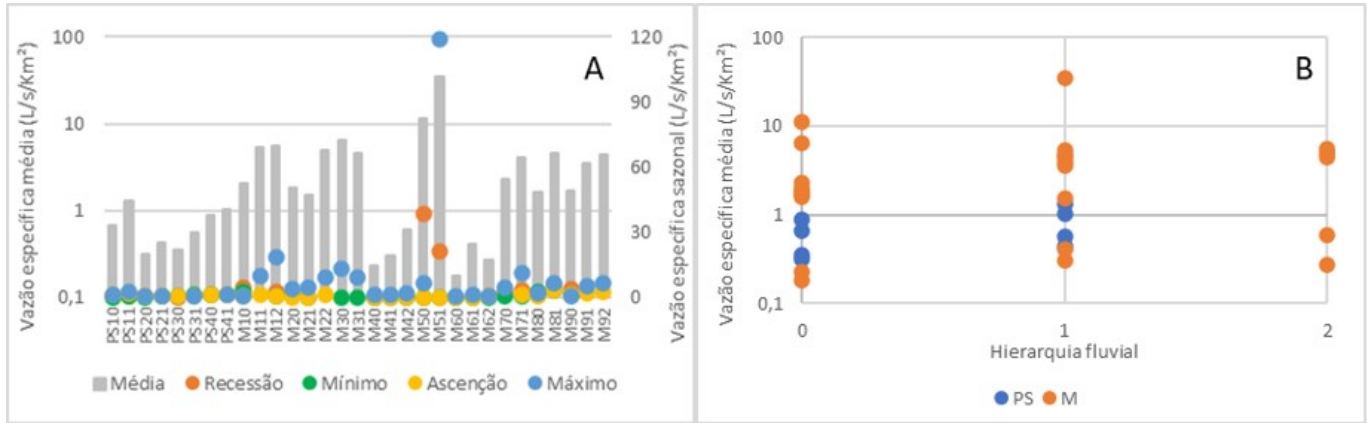


FIGURA 2: Mosaico de gráficos da análise estatística dos dados de vazão e área de contribuição. Fonte: dados primários.

FIGURA 3



Estadística descritiva da Vazão Específica (L/s/Km²) para todo o rol

	Recessão	Mínimo	Ascensão	Máximo	Média
Média	4,88	0,57	0,71	8,34	3,49
Erro padrão	2,30	0,17	0,15	4,04	1,14
Mediana	1,84	0,16	0,47	2,73	1,60
Modo	#N/D	0,00	0,00	#N/D	#N/D
Desvio padrão	9,74	0,87	0,81	21,76	6,37
Variância da amostra	94,96	0,75	0,66	473,63	40,63
Curtose	9,28	2,48	1,86	26,19	21,19
Assimetria	3,02	1,81	1,39	5,02	4,33
Intervalo	38,71	3,05	3,17	118,50	34,85
Mínimo	0,02	0,00	0,00	0,45	0,18
Máximo	38,73	3,05	3,17	118,95	35,02
Soma	87,83	14,83	19,98	241,79	108,20
Contagem	18	26	28	29	31

Estadística descritiva da Vazão Específica (L/s/Km²) para amostras de canais de zero ordem

	Recessão	Mínimo	Ascensão	Máximo	Média
Média	4,91	0,71	0,47	3,01	2,30
Erro padrão	3,41	0,27	0,15	1,16	0,88
Mediana	1,66	0,28	0,36	1,05	1,60
Modo	#N/D	0,00	0,00	#N/D	#N/D
Desvio padrão	11,31	0,93	0,51	3,85	3,18
Variância da amostra	127,83	0,87	0,26	14,85	10,13
Curtose	10,53	0,26	-0,73	4,32	5,57
Assimetria	3,22	1,23	0,79	2,04	2,36
Intervalo	38,71	2,51	1,33	12,53	11,16
Mínimo	0,02	0,00	0,00	0,45	0,18
Máximo	38,73	2,51	1,33	12,97	11,34
Soma	54,06	8,55	5,14	33,12	29,84
Contagem	11,00	12,00	11,00	11,00	13,00

Estadística descritiva da Vazão Específica (L/s/Km²) para amostras da Depressão do Paraíba do Sul

	Recessão	Mínimo	Ascensão	Máximo	Média
Média	0,38	0,51	0,83	1,03	0,69
Erro padrão	0,17	0,14	0,21	0,35	0,12
Mediana	0,28	0,50	0,70	0,69	0,61
Modo	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,37	0,40	0,60	0,86	0,35
Variância da amostra	0,14	0,16	0,36	0,74	0,12
Curtose	2,30	-2,32	-0,85	4,60	-0,47
Assimetria	1,39	0,07	0,58	2,11	0,72
Intervalo	0,97	0,99	1,69	2,25	1,00
Mínimo	0,02	0,05	0,16	0,48	0,31
Máximo	0,99	1,04	1,85	2,73	1,31
Soma	1,91	4,11	6,60	6,19	5,51
Contagem	5	8	8	6	8

Estadística descritiva da Vazão Específica (L/s/Km²) para amostras de canais de primeira ordem

	Recessão	Mínimo	Ascensão	Máximo	Média
Média	7,66	0,53	0,89	13,23	4,81
Erro padrão	4,63	0,28	0,29	8,87	2,57
Mediana	4,53	0,20	0,70	4,52	1,51
Modo	#N/D	0,00	0,00	#N/D	#N/D
Desvio padrão	9,27	0,91	1,00	31,99	9,27
Variância da amostra	85,90	0,83	1,00	1023,43	85,84
Curtose	2,89	6,55	0,91	12,54	11,70
Assimetria	1,66	2,46	1,12	3,52	3,36
Intervalo	20,72	3,05	3,17	118,46	34,72
Mínimo	0,43	0,00	0,00	0,48	0,31
Máximo	21,15	3,05	3,17	118,95	35,02
Soma	30,64	5,83	10,71	171,96	62,55
Contagem	4,00	11,00	12,00	13,00	13,00

Estadística descritiva da Vazão Específica (L/s/Km²) para amostras da Serra da Mantiqueira

	Recessão	Mínimo	Ascensão	Máximo	Média
Média	6,61	0,60	0,67	10,24	4,46
Erro padrão	3,07	0,24	0,20	5,04	1,50
Mediana	2,52	0,00	0,37	4,52	2,27
Modo	#N/D	0,00	0,00	#N/D	#N/D
Desvio padrão	11,08	1,02	0,89	24,17	7,18
Variância da amostra	122,82	1,04	0,79	584,28	51,52
Curtose	6,27	1,25	2,19	20,99	16,27
Assimetria	2,53	1,63	1,58	4,50	3,81
Intervalo	38,63	3,05	3,17	118,50	34,85
Mínimo	0,10	0,00	0,00	0,45	0,18
Máximo	38,73	3,05	3,17	118,95	35,02
Soma	85,92	10,72	13,38	235,60	102,69
Contagem	13	18	20	23	23

Estadística descritiva da Vazão Específica (L/s/Km²) para amostras de canais de segunda ordem

	Recessão	Mínimo	Ascensão	Máximo	Média
Média	1,04	0,15	0,83	7,34	3,16
Erro padrão	0,74	0,15	0,39	3,20	1,13
Mediana	0,43	0,00	0,60	6,61	4,44
Modo	#N/D	0,00	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	1,28	0,26	0,87	7,15	2,52
Variância da amostra	1,64	0,07	0,76	51,05	6,36
Curtose	#DIV/0!	#DIV/0!	2,72	0,96	-3,13
Assimetria	1,66	1,73	1,51	1,07	-0,51
Intervalo	2,33	0,45	2,27	18,01	5,25
Mínimo	0,18	0,00	0,00	0,52	0,27
Máximo	2,52	0,45	2,27	18,53	5,52
Soma	3,13	0,45	4,13	36,71	15,81
Contagem	3,00	3,00	5,00	5,00	5,00

FIGURA 3: Mosaico de informações estatísticas de vazão específica por localidade e hierarquia fluvial. Fonte: dados primários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões deste trabalho reforçam a complexidade de mecanismos envolvidos na geração do escoamento fluvial. Pautando-se em duas áreas de estudo com características geológico-geomorfológicas e climáticas similares, foi possível evidenciar que fatores locais influenciam significativamente as vazões em cabeceiras. A grande variabilidade de vazão em hidrossistemas espacialmente muito próximos é devido ao controle local das linhas de fluxo subterrâneo até o afloramento nas nascentes. Outrossim, é possível reconhecer algumas tendências regionais, sobretudo no que tange à estabilidade sazonal do escoamento, consideravelmente distinta nas duas áreas de estudo. Ficou evidenciado que há relação direta entre a hierarquia fluvial, tamanho da área de contribuição e as vazões médias anuais. Além disso, a vazão específica mostra uma regularidade muito maior do que a vazão absoluta. Sazonalmente, porém, os resultados são distintos. No mínimo hidrológico das cabeceiras perenes, quando a alimentação hídrica é feita exclusivamente pelo escoamento de base, o tamanho da área de contribuição é indiferente para a vazão. Nesses períodos, as maiores vazões médias das cabeceiras encontram-se nas nascentes. Os fluxos a jusante frequentemente tornam-se desconexos, deixando segmentos de canais secos pelas perdas de água por evaporação, absorção vegetal ou infiltração.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao projeto APQ-03652-16, aprovado junto ao Edital FAPEMIG 01/2016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BENDA, Lee et al. Geomorphology of steepland headwaters: the transition from hillslopes to channels. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, n. 4, p. 835-851, 2005.
- CHARLTON, Ro. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge, 2007.
- CHAVES, Henrique Marinho Leite et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.
- CHORLEY, Richard J. The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In: *Introduction to physical hydrology*. Routledge, 2019. p. 37-59.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: E. Blucher: FAPESP, 1981.
- CPRM; CODEMIG. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais*. Escala: 1:1.000.000. 2014
- FELIPPE, M. F. ; GOMES, C. S. ; MAGALHÃES JR, A. P. . Nascentes e áreas úmidas. In: Antônio Pereira Magalhães Júnior; Frederico Wagner de Azevedo Lopes. (Org.). *Recursos Hídricos - as águas na interface sociedade-natureza*. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022, v. 1, p. 89-103.
- GOMI, Takashi; SIDLE, Roy C.; RICHARDSON, John S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *BioScience*, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002.
- IBGE. *Mapa de Unidades do Relevo do Brasil*. 2 ed. 2006. Escala: 1:5.000.000.
- MEINZER, O.E. *Large springs in the United States*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 557. Washington D.C. 1927.
- MILLER, Matthew P. et al. The importance of base flow in sustaining surface water flow in the Upper Colorado River Basin. *Water Resources Research*, v. 52, n. 5, p. 3547-3562, 2016.
- OLIVEIRA, Daiane Evangelista. *Participação dos sistemas atmosféricos na gênese e ritmo das chuvas na bacia do rio Preto (MG/RJ) (Dissertação – Mestrado em Geografia)*. Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora : Juiz de Fora, 146 f, 2016.
- RICCOMINI, Claudio. *O rift continental do sudeste do Brasil*. Tese (doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1989.
- STEVANUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. *Geomorfologia fluvial*. Oficina de Textos, 2017.
- WINTER, Thomas C. The role of ground water in generating streamflow in headwater areas and in maintaining base flow. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 43, n. 1, p. 15-25, 2007.

