

A DEPENDÊNCIA DE CHUVA PARA GERAÇÃO DE ESCOAMENTOS INTERMITENTES EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO TROPICAL BRASILEIRO

Matos, W. (UFPB) ; Rodrigues, J. (UFPB) ; Souza, J. (UFPB)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a relação entre chuva e vazão para entender o regime de vazão no alto curso do rio Paraíba. A vazão está concentrada em 5 meses do ano, janeiro a maio, respondendo diretamente aos eventos de chuva que ocorrem sobre a bacia hidrográfica. Isso ocorre por conta da influência do substrato cristalino que inibe o processo de infiltração com as chuvas concentradas em apenas um período do ano, gerando escoamentos rápidos/diretos. Ficou registrado na análise da hidrógrafa que embora os valores de chuva no semiárido brasileiro seja maior que nos outros semiáridos do mundo, seus rios continuam sendo intermitentes por conta de seus controladores da paisagem, sendo rios não perenes de um semiárido tropical. Ainda foi relacionada à análise os pontos de energia de fluxo do canal, indicando que esse tipo de procedimento indica apenas os pontos de maior potencial de energia, e não o comportamento hidrológico do canal em diferentes momentos do ano.

PALAVRAS CHAVES

Semiárido; Rios não perenes; Hidrógrafa; Chuva; Escoamento

ABSTRACT

This work analyzed the relationship between rainfall and flow rate in the upper course of the Paraíba River. The flow is concentrated in 5 months of the year, responding directly to the rainfall events that occur over the hydrographic basin. This occurs due to the influence of the crystalline substrate that inhibits the infiltration process with the rains concentrated in only one period of the year, generating immediate flows. It was recorded in the hydrographer's analysis that although the rainfall values in the Brazilian semi-arid region are higher than in other semi-arid regions in the world, its rivers continue to be non-perennial due to their controllers of the landscape, being non-perennial rivers of a tropical semi-arid region. The channel flow energy points were also related to the analysis, indicating that this type of procedure only indicates the points with the highest energy potential, and not the hydrological behavior of the channel at different times of the year.

INTRODUÇÃO

O fluxo em rios de terras secas funciona em pulsos (CASADO; PEIRY; CAMPO, 2016; DARK; SOUZA, 2015; HENARES; DONSELAAR; CARACCILO, 2020b) com ligações hidrológicas sazonais (BRACKEN et al., 2013; TOOTH, 2000), pois a geração de fluxo geralmente está associada a produção de escoamento que supera as perdas a jusante, sendo assim, os rios funcionam de maneira transitável, com períodos completamente secos e repentinamente inundados (COSTIGAN et al., 2016; FORTESA et al., 2021). Os rios no semiárido atendem a uma perspectiva não perene, sua dinâmica está associada ao tempo de recorrência e duração dos eventos de vazão, onde os riachos efêmeros são de curta duração, geralmente associados às chuvas de maneira imediata, enquanto os rios intermitentes estão associados a uma maior permanência de vazão, durante a estação chuvosa e perdurando um pouco durante a estação seca, até o fluxo cessar (BOULTON et al., 2017). O acúmulo de água no solo é limitado em terras secas pelo fato de não ocorrer manutenção hidrológica dos reservatórios subsuperficiais por conta das chuvas esporádicas, ocorrendo assim escoamento por saturação (BRACKEN et al., 2015) e conseqüentemente, não ocorre a permanência anual de fluxo nos canais. Em uma perspectiva climática, o semiárido nordestino brasileiro possui altos valores de insolação e temperatura do ar características da região tropical, possuindo também baixos valores pluviométricos anuais, com distribuição irregular e intensa no tempo e no espaço (RODRIGUES, 2020). Segundo Ferreira e Mello (2005), a circulação atmosférica sobre a região semiárida é

estritamente ligada com as variações termodinâmicas especialmente sobre a bacia oceânica do Atlântico Tropical. Diante disso, pode ocorrer anomalias positivas ou negativas que se conectam com as variações da quantidade e intensidade das chuvas sobre a região, levando em consideração que a região semiárida está inserida próxima às baixas latitudes globais, ou seja, zona de baixa pressão que converge o ar quente e úmido ascendente sobre o equador e forma nuvens através do resfriamento adiabático do ar, gerando chuvas torrenciais, sendo assim um semiárido tropical. No que se refere ao regime de chuvas na região semiárida, os agentes principais que governam são a TMS (Temperatura da Superfície do Mar), Ventos Alísios, ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), Frentes Frias (especialmente as zonas de repercussão quando mais intensas e ocorrentes estritamente no sul do Nordeste) e os VCANS (Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis) (RIBEIRO; ARAGÃO; CORRÊA, 2013). A ZCIT é a principal fornecedora de chuvas no semiárido, podendo ser definida como um conjunto de nuvens que acompanha a faixa do equador da Terra (FERREIRA; MELLO, 2005), e atua de fevereiro a maio atingindo os Estados Setentrionais do Nordeste brasileiro. É formada pela confluência dos ventos alísios de NE e SE em áreas de baixa pressão e alta temperatura da superfície do nível do mar (ZANELA, 2014). O clima semiárido com chuvas irregulares e concentradas inibe o acúmulo de água subsuperficial suficiente para alimentar os canais no período seco, potencializando a escassez hídrica na região (LIMA et al., 2021), pois em terras secas o baixo desenvolvimento de solo e capacidade de infiltração favorece os picos de escoamento e perda de água por escoamento superficial (HENARES; DONSELAAR; CARACCILO, 2020a). Por exemplo, geralmente as chuvas são concentradas em um período do ano, mas as tempestades específicas cobrem, por vezes, apenas uma parte da bacia e ocorrem de maneira intensa em curtos períodos de tempo (CORREA et al., 2019). Esse processo favorece o escoamento hortoniano, pois a intensidade e volume da chuva supera a velocidade de infiltração do solo e gera um escoamento rápido/imediato (BRACKEN; CROKE, 2007). O Objetivo deste trabalho é analisar a relação entre chuva e vazão no alto curso do rio Paraíba, inserido totalmente no semiárido paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área O recorte espacial trabalhado é a bacia do alto curso do rio Paraíba, possuindo uma área de 6717 km², localizada no cariri paraibano. O clima é caracterizado como semiárido, considerando que os valores de chuva não ultrapassam as médias de 2000 mm de evaporação anuais, gerando um déficit hídrico na região. O substrato geológico da bacia é composto por rochas cristalinas que remetem ao Proterozóico, sendo muito antigas e resistentes. A hipsometria da bacia varia entre 374 m e 1172 m, entretanto, os pontos de maiores declividades no rio estão inseridos entre 480 m e 600 m. É importante salientar que esse trecho do alto curso do rio Paraíba é o local de recebimento das águas da transposição do rio São Francisco através de seu Eixo Leste, indicando que é uma passagem natural dessas águas com objetivo de alimentar o maior açude da região (Açude Epitácio Pessoa – Boqueirão). Procedimentos metodológicos Para fazer a relação entre chuva e vazão, foi necessário definir as estações pluviométricas e fluviométricas analisadas. Os postos das estações pluviométricas foram definidos à montante das estações fluviométricas, tendo em vista que se espera que os eventos de chuva gerem vazões pela captação da bacia hidrográfica. Os dados de chuva foram obtidos através da AESA (Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba), e os dados de vazão foram obtidos pelo HIDROWEB, site vinculado à ANA (Agência Nacional das Águas). Foram escolhidas as estações pluviométricas Zabelê e Camalaú, ambas inseridas em seus respectivos municípios homônimos. A estação fluviométrica escolhida foi a de Sítio Conceição, a única que faz a medição limimétrica e atualmente em funcionamento no alto curso do rio Paraíba à jusante das estações pluviométricas definidas. O período de tempo analisado foi entre 2017 e 2020, sendo este, o período equivalente entre todas as duas estações pluviométricas e a estação fluviométrica sem falhas nos dados. Com exceção do ano de 2017 que possui dados disponíveis a partir de abril. Para fazer a relação dos dados, foi necessário definir os totais mensais no período analisado, para então definir as médias mensais de chuva e vazão. Posteriormente, o resultado dos dados foi acoplado em um único gráfico para serem analisados a partir de uma correlação visual entre chuva e vazão. Por fim, foi feita a potência de fluxo para definir o potencial de energia de fluxo no alto curso do rio Paraíba e seus controles fluviais principais (geologia e chuva). Segundo Rosa (2019), a potência de fluxo pode ser obtida através da

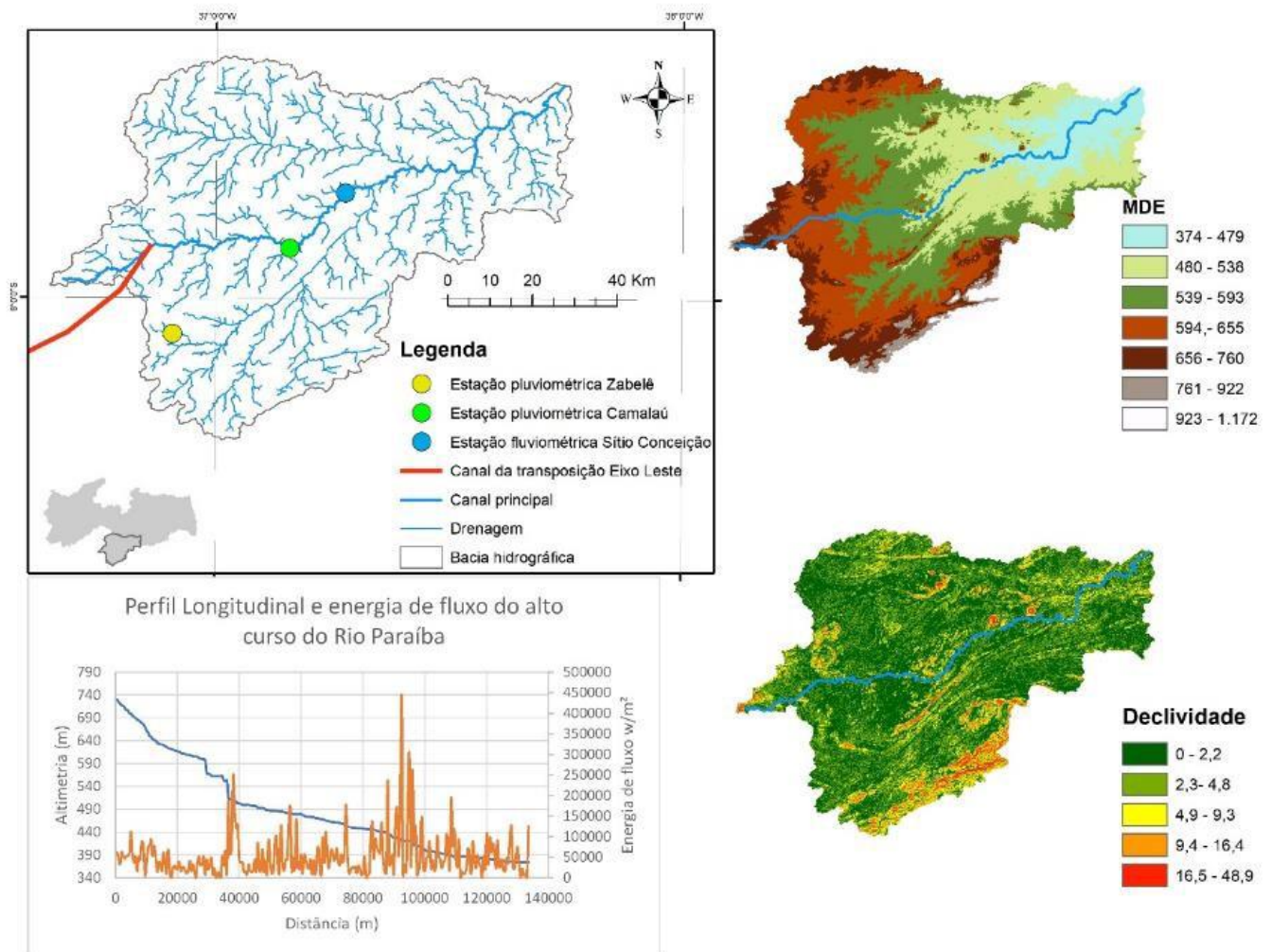
seguinte equação: $\Omega = p \cdot g \cdot Q \cdot S$ Onde a Ω é a potência de fluxo; p é a densidade da água; g é a força da gravidade; Q é a descarga; e S é a declividade em graus. O valor da descarga é obtido através da multiplicação entre velocidade do fluxo e área molhada, expressa da seguinte maneira:

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alto curso do rio Paraíba possui um potencial de energia de fluxo que é maior nas zonas entre 480 m e 540 m. Isso ocorre por conta das variações de declividade que são mais acentuadas no leito do canal nessa zona altimétrica (Figura 1). Embora o mapa de declividade da bacia demonstre que as maiores inclinações do relevo estejam associadas as zonas de cizalhamentos e cabeceiras de drenagem, na escala de alcance/trecho, o canal apresenta as maiores inclinações na metade do seu curso. Entretanto, o resultado da modelagem gerada pela potência de fluxo é um resultado que indica apenas o potencial de energia, e não os dados reais históricos que ocorrem sobre uma bacia hidrográfica interanualmente. Ou seja, pensando em uma perspectiva anual, seria necessário elaborar mapas de energia de fluxo na estação seca e na estação chuvosa para pensar em um comparativo sobre os eventos de vazão interanual na bacia hidrográfica. Entretanto, como os dados de vazão foram coletados apenas nos períodos chuvosos, a modelagem de energia de fluxo permitiu apenas analisar os dados médios de vazão em alguns momentos do período chuvoso. Observa-se que existe uma relação inversa entre declividade e potencia de fluxo, onde conforme as declividades são suavizadas no perfil longitudinal, a energia de fluxo aumenta, provavelmente por conta das contribuições das áreas de drenagem, com exceção do trecho com 40000 m de extensão que possui uma ruptura de declive e aumento dramático da energia de fluxo. Na perspectiva de analisar os dados interanuais, foram feitas hidrógrafas, o que permitiu compreender a dinâmica/relação entre chuva e vazão entre duas estações pluviométricas e uma estação fluviométrica. A estação Zabelê, localizada em seu Município homônimo, está situada próximo às zonas de cabeceira de drenagem, ou seja, áreas elevadas da bacia hidrográfica, acima dos 600 m de altitude. Observa-se que nessa estação, os volumes de chuva estão representados de maneira concentrada nos 4 primeiros meses do ano. Isso indica que as chuvas no semiárido são concentradas em apenas um período do ano, com picos no mês de março, caindo constantemente até cessar no mês de maio/junho. O restante do ano apresenta volumes de chuva zerados, indicando o período seco (Figura 2). Ao relacionar com a vazão, observa-se que ela responde diretamente ao período chuvoso, sendo concentrada entre fevereiro e maio e respondendo aos picos de chuva 1 mês após suas ocorrências. Por exemplo, quando o mês mais chuvoso ocorre em março, o pico de vazão ocorre em abril, indicando assim, o possível período de cheias na bacia hidrográfica. A estação Camalaú está situada próximo ao leito do canal, enquanto a estação Sítio Conceição está localizada no canal principal, áreas menos elevadas, que ficam entre os 500 m de altitude. Nessas estações, os volumes de chuva apresentam maior concentração entre os meses de fevereiro e maio, com maior precipitação no mês de março, indicando que as chuvas se concentram apenas em um período do ano na região. Nos demais meses do ano apresentam volumes de chuvas zerados, o que indica o período seco na região (Figura 3). Quando comparado a vazão, percebe-se que o volume mensal corresponde prontamente ao período de precipitação, com maior concentração entre os meses de fevereiro e maio, respondendo aos picos de chuva logo após suas ocorrências. O que indica possivelmente o período de cheias na bacia. É importante salientar que no ano de 2017 a vazão apresenta manutenção de fluxo durante o ano inteiro, isso ocorre por conta da transposição do rio São Francisco que estava ativa nesse período e fez a manutenção do fluxo no canal, tendo em vista que entre os anos analisados, 2017 foi o que teve o menor volume de chuva mensal registrado. Os dados analisados corroboram com a ideia de que os rios não perenes concentram suas vazões em apenas uma parte do ano, ou seja, no período chuvoso. Isso indica que o alto curso do rio Paraíba é um rio intermitente, e não efêmero, tendo em vista que esse último ocorre apenas em áreas com curtas durações de escoamento, que varia de horas a dias (SUTFIN et al., 2014; TOOTH, 2000). Embora a maioria dos rios não perenes localizados em outras regiões semiáridas do mundo estejam inseridos em ambientes que recebem menor quantidade de chuva que o semiárido brasileiro, as condições da paisagem brasileira condiciona esse tipo de rio em uma paisagem. Nesse sentido, rios intermitentes geralmente estão associados a dois controladores da paisagem, são clima e geologia. Condições de chuvas concentradas em apenas um período do ano e mal distribuídas no espaço condicionam escoamentos rápidos através da superação da velocidade de infiltração pela velocidade de precipitação, gerando escoamentos

hortonianos (Conesa-García et al., 2020). Como os dados de chuva foram analisados mensalmente, o trabalho pode confirmar apenas a ideia da concentração de chuva e escoamento em um período do ano, mas não consegue definir ainda os eventos específicos geradores de vazão por conta da falta de dados. A geologia por sua vez influencia através da resistência das rochas à absorção de água através do processo de infiltração. Rochas cristalinas potencializam eventos de escoamento rápido pela inibição de infiltração. Rochas sedimentares são propensas à infiltração e permitem maior permanência de vazão fluvial, quando saturadas (CHEN et al., 2019; CONESA-GARCÍA et al., 2020). O alto curso do rio Paraíba é composto por rochas cristalinas antigas que compõem a província Borborema, um cinturão orogênico originado a partir do ciclo brasileiro e que gerou uma diversidade de litologias de rochas cristalinas na área (ALMEIDA; CORREA, 2020). Nesse sentido, a geologia condiciona escoamentos superficiais, o que potencializa os eventos de vazão rápida nos cursos fluviais.

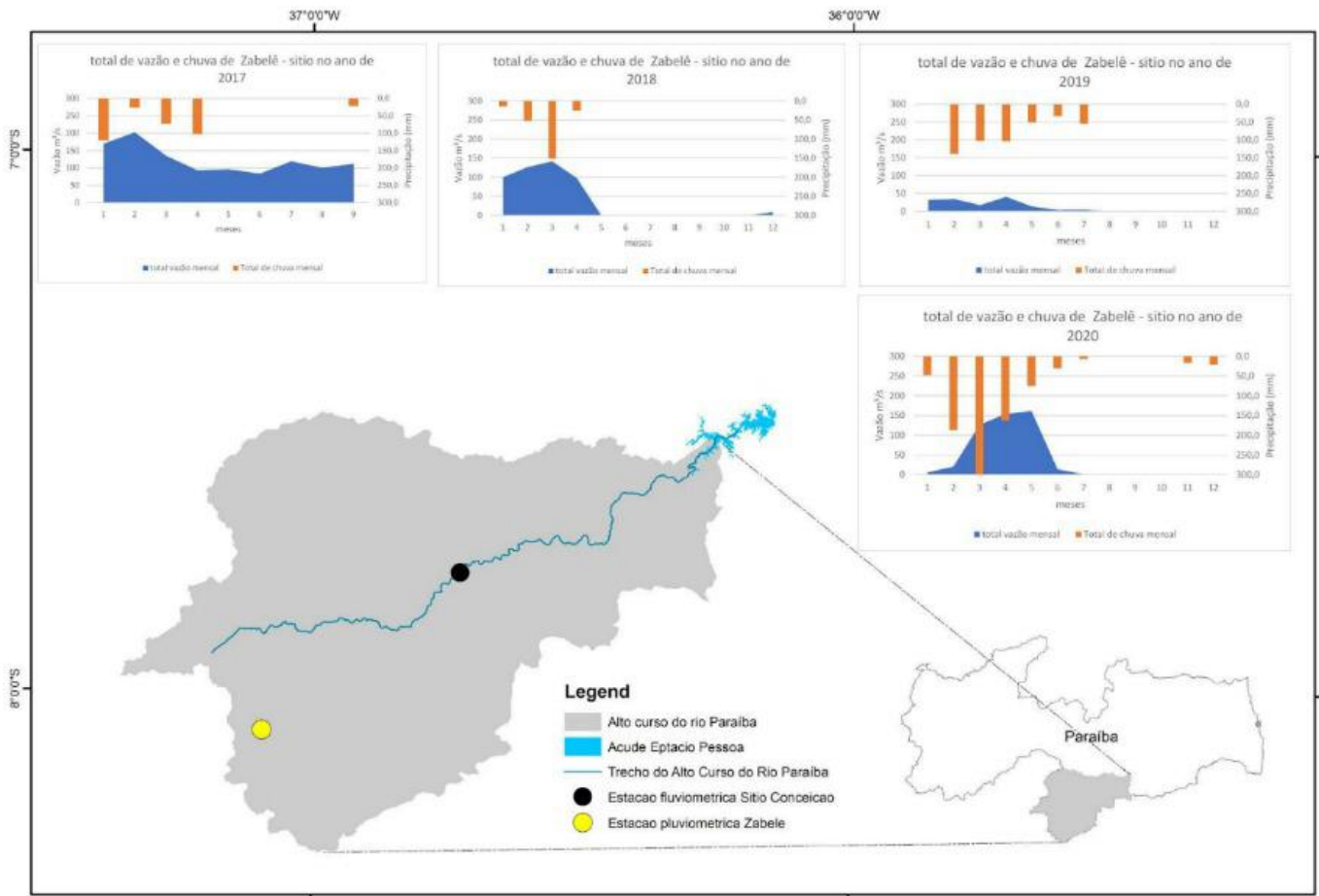
Figura 1



Localização, topografia e energia de fluxo do alto curso do rio Paraíba. Fonte: autores (2023).

Figura 2

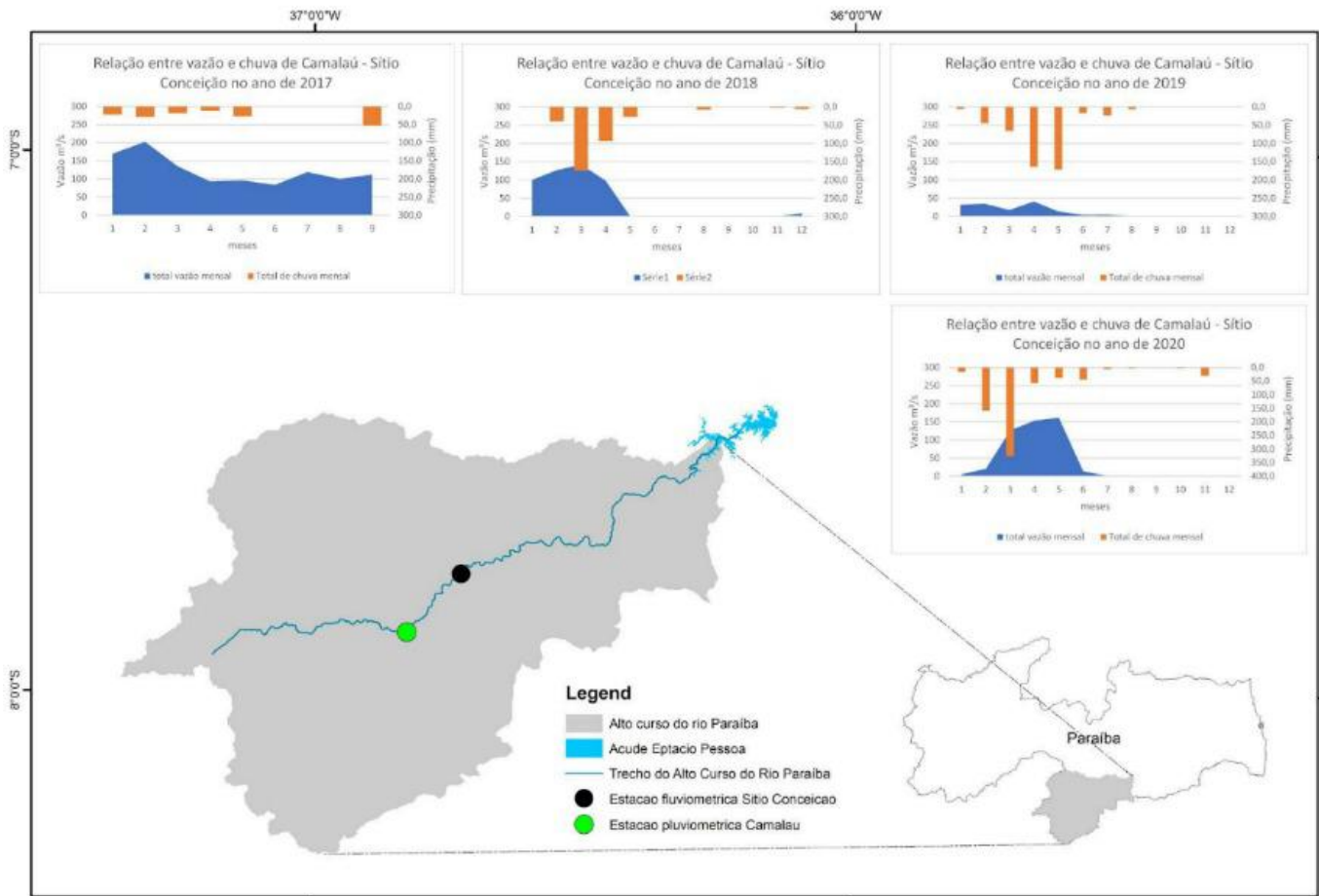
RELAÇÃO CHUVA/VAZÃO ENTRE AS ESTAÇÕES ZABELÊ E SÍTIO CONCEIÇÃO



Relação entre chuva (estação Zabelê) e vazão (estação Sítio Conceição) no alto curso do rio Paraíba.

Figura 3

RELAÇÃO CHUVA/VAZÃO ENTRE AS ESTAÇÕES CAMALAUÉ E SÍTIO CONCEIÇÃO



Relação entre chuva (estação Camalaú) e vazão estação Sítio Conceição) no alto curso do rio Paraíba. Fonte: autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vazão que ocorre no alto curso do rio Paraíba é característica de um rio intermitente, concentrada no período chuvoso e sendo uma consequência direta dos eventos de chuva associados à litologia cristalina da área. Isso faz com que o rio passe uma parte do ano seco e outra parte com água. Embora a modelagem permita compreender o potencial de energia de fluxo em um rio, ela possui sérias limitações quando aplicada em um rio com variações de descargas interanuais e com pouca disponibilidade de dados, o que remeteu a uma busca alternativa através da hidrógrafa para compreender a relação entre chuva e vazão do alto curso do rio Paraíba. Neste trabalho não foram analisadas as questões de conectividade hidrossedimentológica, embora haja atualmente a necessidade de compreender os níveis de integração entre os compartimentos da paisagem quanto à contribuição de área em determinados pontos de passagem de vazão em uma bacia hidrográfica. Entretanto, é uma das possibilidades de análises futuras.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à capes e FAPESQ-PB pelo financiamento da pesquisa no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, J. D. M. DE; CORREA, A. C. DE B. CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E A DISTRIBUIÇÃO DE PLAINOS ALUVIAIS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 21, n. 1, p.

171-183, 1 jan. 2020.

- BOULTON, A. J. et al. Hydrological Connectivity in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. Em: Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 79-108.
- BRACKEN, L. J. et al. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews*, v. 119, p. 17-34, abr. 2013.
- BRACKEN, L. J. et al. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 2, p. 177-188, 1 fev. 2015.
- BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrological Processes*, v. 21, n. 13, p. 1749-1763, 2007.
- CASADO, A.; PEIRY, J. L.; CAMPO, A. M. Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina. *Geomorphology*, v. 268, p. 21-34, 1 set. 2016.
- CHEN, S. A. et al. Aridity is expressed in river topography globally. *Nature*, v. 573, n. 7775, p. 573-577, 26 set. 2019.
- CONESA-GARCÍA, C. et al. Dimensionless morphological ratios versus stream power variations at bankfull stage in an ephemeral channel. *Geomorphology*, v. 361, 15 jul. 2020.
- CORREA, B. et al. The semi-arid domain of the northeast of Brazil. Em: *The physical geography of Brazil*. [s.l.] Springer, 2019. p. 119-151.
- COSTIGAN, K. H. et al. Understanding controls on flow permanence in intermittent rivers to aid ecological research: integrating meteorology, geology and land cover. *Ecohydrology*, v. 9, n. 7, p. 1141-1153, 1 out. 2016.
- DARK, J.; SOUZA, J. *Geografia em debate* v. v. 9, n. 1, p. 108-122, 2015.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES SOBRE A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL E A INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DA REGIÃO. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba/PR, v. 1, n. 1, p.15-28, dez. 2005.
- FORTESA, J. et al. Analysing hydrological and sediment transport regime in two Mediterranean intermittent rivers. *Catena*, v. 196, 1 jan. 2021.
- HENARES, S.; DONSELAAR, M. E.; CARACCILO, L. Depositional controls on sediment properties in dryland rivers: Influence on near-surface diagenesis. *Earth-Science Reviews*, v. 208, p. 103297, 2020a.
- HENARES, S.; DONSELAAR, M. E.; CARACCILO, L. Depositional controls on sediment properties in dryland rivers: Influence on near-surface diagenesis. *Earth-Science Reviews*, v. 208, p. 103297, 1 set. 2020b.
- LIMA, K. C. et al. fluvial responses to external and internal forcing: Upper Holocene dynamics in a low latitude semi-arid region in South America. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 112, p. 103545, 2021.
- RIBEIRO, R. E. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F. DISTÚRBO ONDULATÓRIO DE LESTE E LINHAS DE INSTABILIDADE: IMPACTO NA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 6, n. 4, p.837-856, set. 2013.
- RODRIGUES, J. ESPACIALIZAÇÃO DAS CHUVAS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DA PARAÍBA. *Northeast Geosciences Journal* v, v. 6, p. 1, 2020.
- SUTFIN, N. A. et al. A geomorphic classification of ephemeral channels in a mountainous, arid region, southwestern Arizona, USA. *Geomorphology*, v. 221, p. 164-175, 15 set. 2014.
- TOOTH, S. Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research *Earth-Science Reviews*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/earscirev>.
- ZANELLA, M. E. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA E OS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, v. Especial, n. 36, p.126-142, jun. 2014.