



Monitoramento do comportamento hidrológico de nascentes, na Bacia Hidrográfica do Mundaú, PE-AL

Geovânia Ricardo dos Santos¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5296-1175>
Lucas Costa de Souza Cavalcanti² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9096-138X>
Miguel Fernandes Felipe³ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0261-4298>
Osvaldo da Silva Girão⁴ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5797-4450>

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, Brasil*

² Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, Brasil**

³ Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora/MG, Brasil***

⁴ Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, Brasil****

Artigo recebido em 18/07/2025 e aceito em 08/10/2025

RESUMO

A diversidade e a complexidade do sistema-nascente, bem como suas interações com a paisagem, tornam-no um dos ecossistemas mais ricos e significativos em termos ecológicos como sociais. Portanto, esta pesquisa buscou realizar monitoramento do comportamento hidrológico em nascentes que compõe a Bacia Hidrográfica do rio Mundaú, em respostas à precipitação pluvial da região. Foi realizado levantamento de campo, onde foram identificadas e mapeadas as nascentes contidas nos limites da bacia hidrográfica do rio Mundaú. O levantamento das 23 nascentes revelou valores de vazão variando de 0,02 e 5,50 L/s, com sazonalidade perene. Entre essas, os maiores registros de fluxo hidrológico foram observados na nascente 32GA, situada no Alto curso do Mundaú; Observou-se que as magnitudes de vazão de nascentes estão na ordem de 6^a, 7^a e 8^a. As maiores ocorrem no Alto curso, em Garanhuns; Como esperado, a vazão das 15 nascentes monitoradas apresentam uma ampla variação ao longo do ano. Em Santana do Mundaú, o valor máximo registrado foi de 10,08 L/s, enquanto em Correntes foi de 0,99 L/s. Embora estejam geograficamente próximas, as médias de vazão das sete nascentes monitoradas no Médio curso foram maiores; Durante o período de avaliação, as nascentes 27SM, 5SM e 3SM apresentaram as maiores médias de vazão, com 1,22, 0,58 e 0,26 L/s, respectivamente. Em contrapartida, as nascentes 24CO e 21CO detiveram médias de 0,34 e 0,95 L/s, respectivamente; O comportamento hidrológico das nascentes monitoradas não apresentou relação direta com o regime de precipitação pluvial ($p > 0,05$).

Palavras-chave: nascente; afloramento de água subterrânea; vazão da água; magnitude de vazão; análise climática.

** Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. E-mail: geovania.grs@ufpe.br

** Professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da UFPE. E-mail: lucas.cavalcanti@ufpe.br

*** Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. E-mail: miguel.felippe@ufjf.br

**** Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco e Docente do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO-UFPE). E-mail: osvaldo.girao@ufpe.br



Monitoring the hydrological behavior of springs in the Mundaú River Watershed, PE-AL

ABSTRACT

The diversity and complexity of the spring-system, as well as its interactions with the landscape, make it one of the richest and most significant ecosystems in ecological as social terms. Therefore, this research sought to monitor the hydrological behavior in springs that make up the Mundaú River Watershed, in response to rainfall in the region. A field survey was carried out, where the springs contained in the limits of the Mundaú river watershed were identified and mapped. The survey of the 23 springs revealed flow values ranging from 0.02 to 5.50 L/s, with perennial seasonality. Among these, the highest records of hydrological flow were observed in the 32GA spring, located in the Upper Sub-course of the Mundaú; It was observed that the magnitude of spring flow is in the order of 6th, 7th and 8th. The largest occur in the Upper Sub-course, in Garanhuns; As expected, the flow of the 15 monitored springs shows a wide variation throughout the year. In Santana do Mundaú, the maximum value recorded was 10.08 L/s, while in Correntes it was 0.99 L/s. Although they are geographically close, the average flow of the seven springs monitored in the Middle Sub-course were higher; During the evaluation period, springs 27SM, 5SM and 3SM presented the highest average flow, with 1.22, 0.58 and 0.26 L/s, respectively. On the other hand, the springs 24CO and 21CO had averages of 0.34 and 0.95 L/s, respectively; The hydrological behavior of the monitored springs did not show a direct relationship with the rainfall regime ($p > 0.05$).

Keywords: spring; groundwater outcrop; water flow; flow magnitude; climate assessment.

Monitoreo del comportamiento hidrológico de manantiales, en la Cuenca Hidrográfica del Mundaú, PE-AL

RESUMEN

La diversidad y complejidad del sistema de manantiales, así como sus interacciones con su entorno, lo convierten en uno de los ecosistemas más ricos y significativos tanto desde el punto de vista ecológico como socio-económico. Por ello, la presente investigación buscó monitorizar el comportamiento hidrológico en manantiales que conforman la cuenca del río Mundaú, en respuesta a las lluvias de la región. Se realizó un levantamiento de campo, donde se identificaron y cartografiaron los manantiales contenidos en los límites de la cuenca del río Mundaú. Se estudiaron 23 fuentes revelando valores de caudal que oscilaban entre 0,02 y 5,50 L/s, con estacionalidad perenne; Entre estos, los registros más altos de caudal hidrológico se observaron en el manantial 32GA, situado en el curso superior del río Mundaú; Se observó también que la magnitud del flujo de manantiales es del orden de 6ª, 7ª y 8ª. Los mayores caudales se encuentran en el Curso Superior, en Garanhuns; Como era de esperar, los caudales de los 15 manantiales monitorizados presentaron una amplia variación a lo largo del año. En Santana do Mundaú, el valor máximo registrado fue de 10,08 L/s, mientras que en Correntes fue de 0,99 L/s; Aunque geográficamente están cerca, el caudal medio de los siete manantiales monitorizados en el Curso Medio era mayor; Durante el periodo de evaluación, los manantiales 27SM, 5SM y 3SM presentaron el caudal medio más alto, con 1,22, 0,58 y 0,26 L/s, respectivamente. Por otro lado, los manantiales 24CO y 21CO tenían promedios de 0,34 y 0,95 L/s, respectivamente. Finalmente, se concluye que el comportamiento hidrológico de los manantiales monitorizados no presentó una relación directa significativa con el régimen de lluvias de la región ($p > 0,05$).

Palabras clave: manantiale; afloramiento de agua subterrânea; caudal de água; magnitud del caudal; evaluación climática.

INTRODUÇÃO

Um dos ambientes de uma bacia hidrográfica que é interpretado equivocadamente é a nascente. Conceitualmente, são entendidas como sistemas hidroambientais que originam rios e córregos, transitando entre as interfaces subterrâneas e superficiais em uma relação complexa e interescalar. O monitoramento hidrológico é o primeiro passo para compreender os processos de recarga e descarga de água, pois o fluxo das nascentes está relacionado à recarga dos aquíferos.

Nesse sentido, é conhecido que a interação hidráulica entre blocos de rochas e aquíferos é fronteira, pois a permeabilidade pode restringir ou direcionar o fluxo de água. Essas interações estão integradas ao sistema dos padrões de fluxo das águas subterrâneas e das manifestações das nascentes (Tóth, et al., 2022). Entretanto, diversos elementos da paisagem, como o relevo, vegetação e uso da terra, possibilitam a modelagem da água superficial e da água que provém do subsolo. Cabe ressaltar, a importância que essas características desempenham no componente físico-químico da água (Tóth et al., 2022).

As variações na pressão entre a carga hidráulica do aquífero e a atmosfera superficial provocam o processo de exfiltração de água da nascente. Nesse contexto, a geologia é fundamental na formação dos aquíferos, bem como na acumulação e movimentação das águas subterrâneas (Khadka e Rijal, 2020). Além disso, diversos outros fatores contribuem para a continuidade desse processo, como a ocorrência das chuvas, a permeabilidade de água no solo, as raízes das plantas, a cobertura vegetal, as diferentes camadas de solo ou rochas, e os afloramentos rochosos a montante ou a jusante da nascente (Pesciotti et al., 2010).

Entre esses fatores, o clima destaca, uma vez que a precipitação pluvial é responsável pela recarga dos aquíferos. As nascentes geralmente apresentam variações sazonais em seu comportamento hidrológico, o que está diretamente ligado ao clima da região, especialmente quando abastecidas por aquíferos livres e superficiais. Contudo, algumas respostas hidrológicas estão conectadas aos diferentes tempos de residência da água subterrânea ou às oscilações climáticas, especialmente durante os períodos de chuvas prolongadas. Além disso, cabe destacar, as associações geológicas, que têm sua parcela de contribuição (Felippe e Magalhães Júnior, 2013).

A dinâmica dos fluxos hidrológicos em sistemas de nascentes perenes e intermitentes ocorre por meio do fluxo de base. As primeiras persistem durante o período de estiagem, enquanto nas segundas, a redução do nível freático condiciona períodos sem fluxo. A sazonalidade das nascentes gera e reconfigura ambientes variados (terrestres, aquáticos e semiaquáticos), que são ricos em

biodiversidade, vegetação característica, diversidade geomorfológica e produtividade biocultural (Stevens et al., 2020; Reiss e Chiffard, 2015).

Meinzer (1965) sugeriu uma classificação para categorizar as nascentes com base no volume de vazão, permitindo a avaliação de diferentes magnitudes. Essa classificação é útil para o monitoramento e avaliação sistemática da qualidade de água liberada na bacia hidrográfica. A utilidade dessa classificação é crucial na identificação dos padrões de nascentes, determinando a perenidade ou intermitência, gerenciando os recursos hídricos e, posteriormente, identificando possíveis problemas de recarga hídrica.

A análise desses processos hidrológicos que definem a sazonalidade das nascentes, oferece respostas sobre a dinâmica da água subterrânea e superficial, servindo como fundamento para pesquisas futuras. As alterações no uso e cobertura da terra estão dentre os fatores que afetam o sistema das nascentes, o que gera uma demanda significativa por informações sobre as nascentes da bacia do Mundaú. Um dos desafios, é a dificuldade no acesso às nascentes e sua identificação adequada, pois sem o entendimento do hidrossistema, não se pode interpretar as consequências das ações humanas sobre eles. Desse modo, este estudo teve como objetivo compreender o comportamento hidrológico de nascentes que integram a Bacia Hidrográfica do Mundaú em resposta à precipitação pluvial da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Contexto físico-ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

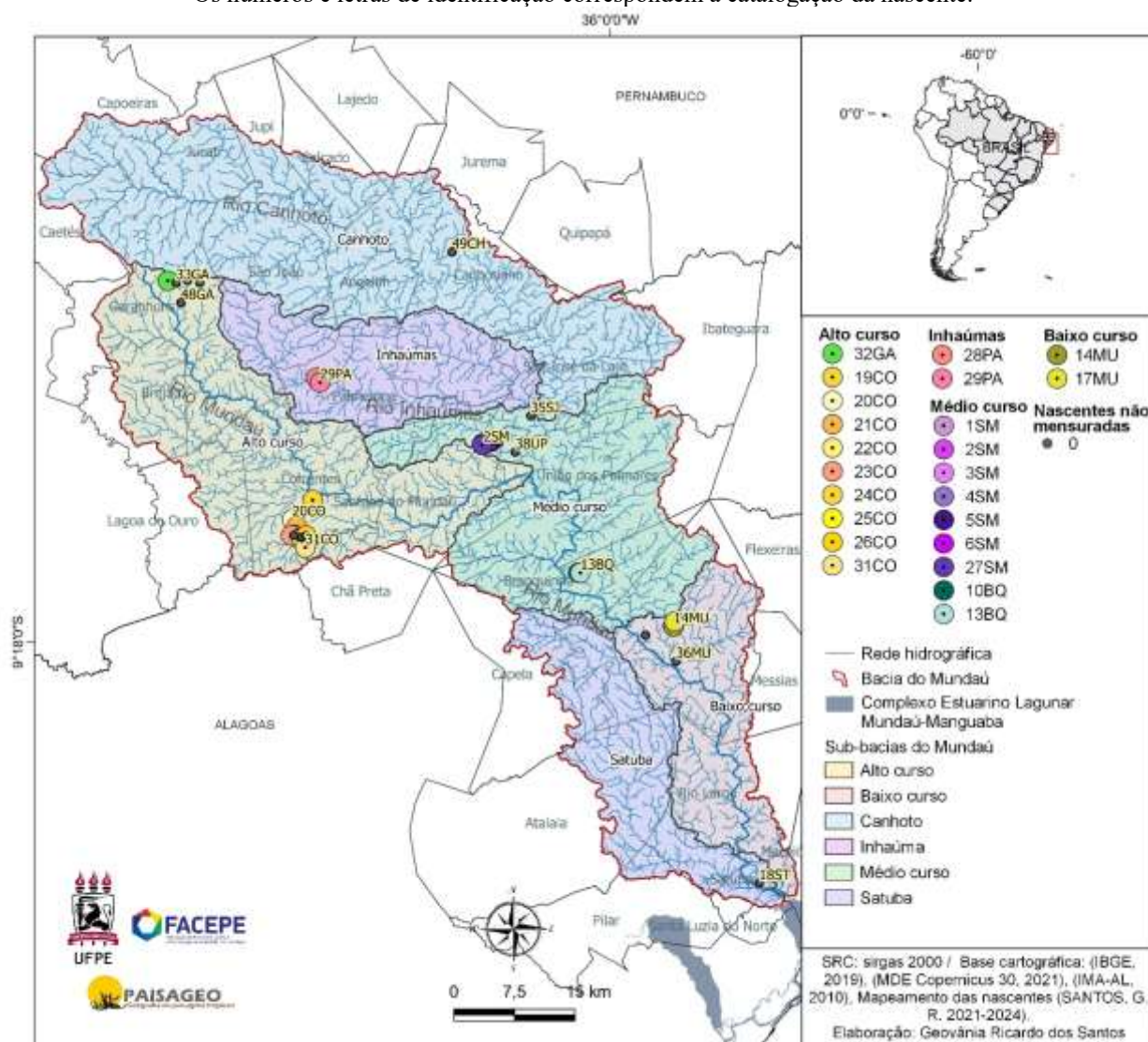
As nascentes estudadas estão situadas em variados contextos paisagísticos e contribuem para diversos rios da bacia do Mundaú. A bacia localiza-se na região Nordeste do Brasil, nos estados de Pernambuco e Alagoas (Figura 1). O município de Garanhuns-PE abriga as nascentes que originam o Rio Mundaú. O rio deságua em Alagoas, no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, um dos sistemas estuarinos mais relevantes do Brasil, onde, os processos de degradação ambiental têm aumentado nas últimas centenas de anos.

A bacia possui área de 4.457,87 km² e perímetro de 382,68 km, estando localizada 54,90% (2.447,50 km²) em Pernambuco e 45,10% (2.010,37 km²) em Alagoas (Melo e Monteiro, 2022). A bacia pode ser dividida em seis sub-bacias: Alto, Médio e Baixo curso, Inhaúmas, Canhoto e Satuba.

O rio Mundaú é perene. Os rios Canhoto, Jibóia, Inhumas, Caruri e Ingazeira, bem como os riachos do Brejo e Mundaú Mirim, são os principais tributários no alto curso. No curso médio, os

tributários incluem os rios Gravatá, das Antas, Branco Grande, Porto Velho e Cotanji, além do rio Satuba (Lima, 2010; Centro e Kishi, 1994).

Figura 1- Nascentes mapeadas na Bacia hidrográfica do Rio Mundaú onde foram realizadas mensurações de vazão. Os números e letras de identificação correspondem à catalogação da nascente.



Fonte: Autoria própria (2021-2024).

A bacia do Mundaú detém um padrão de drenagem predominantemente dendrítico, com ocorrências de padrão paralelo e treliça, e com canais que variam de 1ª a 7ª ordem. Ao longo do seu percurso, as cotas dos gradientes altimétricos variam de 900 a 50 metros (Gomes et al., 2016).

O contexto geológico da bacia hidrográfica tem suas origens no Pré-Cambriano, na região norte da bacia. Os tipos de rochas mais proeminentes são principalmente granitos, com destaque para: gnaisses, gnaiss com hornblenda e biotita-gnaiss, milonito-gnaiss, gnaiss muscovitizado,

granodiorito-gnaiss, hornblenda-gnaiss, gnaiss biotítico, gnaiss com epidoto, muscovita-biotita-gnaiss, granulito-gnaiss, anfibólio-gnaiss milonitizado, quartzo-feldspato-gnaiss, além de uma grande presença de migmatitos. Do ponto de vista geomorfológico, o Contraforte da Borborema, presente na bacia do Mundaú é responsável por grande parte da rede de drenagem. Este bloco contínuo mais elevado do Nordeste brasileiro e um componente essencial do relevo regional, que controla parte da rede de drenagem do Estado (Jacomine et al., 1973). Os solos da totalidade da bacia são Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Amarelo Distrocoeso, Neossolo Litólico Eutrófico, Neossolo Regolítico Distrófico, Neossolo Regolítico Eutrófico e Gleissolo Háptico Ta Distrófico (Embrapa, 2018).

Quanto ao clima da região da bacia, de acordo com a classificação de Köppen (Köppen e Geiger, 1928), a maior parte da área está sob o Tropical Chuvoso com Verão Seco (As'). O Verão Seco e Temperado (Csa) e Verão Seco e Quente (Csb) ocorrem em uma pequena parte dos municípios de Garanhuns, São João, Palmeirina, Caetés e Capoeiras e Monção (Am) no baixo curso (Alvares et al., 2014). As médias mensais de precipitação para o período de 1981 a 2022 variam entre 57,92 mm e 172,33 mm. Os valores médios de precipitação pluvial nas sub-bacias, variam: no Alto curso, de 72,79 a 132,29 mm/mês, no Médio curso, de 102,54 a 147,16 mm/mês, no Baixo curso, de 117,41 a 172,33 mm/mês, no Canhoto, de 57,92 a 132,29 mm/mês, no Inhaúmas, de 72,70 a 117,41 mm/mês e no Satuba, de 117,41 a 172,33 mm/mês (World Clim, 2024).

O hidroclima nas áreas de estudo é diretamente influenciado pelo Planalto da Borborema, portanto, padrões climáticos distintos podem ser observados em cada área. Estas diferenças nos índices de precipitação são marcantes entre a porção setentrional (Pernambuco) e meridional (Alagoas) da bacia, diferenciações que refletem na vegetação e relevo (Silva, 2020). Notavelmente, em Correntes e Santana do Mundaú (localizadas no Alto e Médio curso) destacam-se elevadas altitudes e relevos ondulados e fortemente ondulados, que contribuem para a intensidade das chuvas.

Os registros de médias de precipitação pluvial indicam valores de 1.000 mm anuais (Correntes) e 1.400 mm anuais (Santana do Mundaú). Anualmente, são seis meses de período chuvoso na região (entre os meses de março e agosto) e os demais seis meses marcados pela estiagem. As médias anuais de temperatura do ar são de 23,0 °C, em Correntes e entre 23,0 e 24,0 °C, em Santana do Mundaú (Figura 4) (Embrapa, 2012; 2000).

Mapeamento e reconhecimento da área de estudo

A pesquisa incluiu a identificação e o mapeamento das nascentes situadas dentro dos limites da bacia do Mundaú. As nascentes foram catalogadas com número alfanumérico para facilitar identificação e discussão dos resultados. As letras de identificação posterior ao número referem-se ao município onde foi levantado.

As campanhas de campo ocorreram em períodos diferentes ao longo dos anos de 2021 e 2023: em janeiro de 2022, foram avaliadas as nascentes 28PA e 29PA (Inhaúmas) e 31CO (Alto curso); em fevereiro de 2022, foi analisada a nascente 32GA (Alto curso); e em outubro de 2021, foram examinadas as nascentes 10BQ e 13BQ (Médio curso) e 14MU e 17MU (Baixo curso). Períodos que coincidiram com as atividades de campo. Enquanto isso, as datas de monitoramento ocorreram das nascentes 19CO, 20CO, 21CO, 22CO, 23CO, 24CO, 25CO, 26CO (Alto curso) e 1SM, 2SM, 3SM, 4SM, 5SM, 6SM, 27SM (Médio curso), ocorreram mensalmente de janeiro de 2022 a dezembro de 2023.

A finalidade foi mapear nascentes de sazonalidade perene e intermitente, com ou sem alterações estruturais em sua morfogênese. Levando em conta definições conceituais (Felippe et al. (2013), Felippe (2013), Felippe (2009), fundamentais na classificação de nascente: a) surgimento da origem de forma natural; b) a exfiltração da água subterrânea de forma perene ou temporária; c) a formação de um canal de drenagem à jusante.

As coordenadas planas de cada nascente foram coletadas com o auxílio do GPS Garmin 64x. Os dados foram importados em formato “.csv”, para software SIG. Para facilitar a catalogação e a discussão dos resultados, cada nascente recebeu um número e uma letra correspondente ao município de localização.

Para a elaboração dos mapas, a base cartográfica da bacia foi criada utilizando o MDE Copernicus 30 metros, processado em SIG (Qgis 3.16.2).

Análise do comportamento hidrológico das nascentes selecionadas

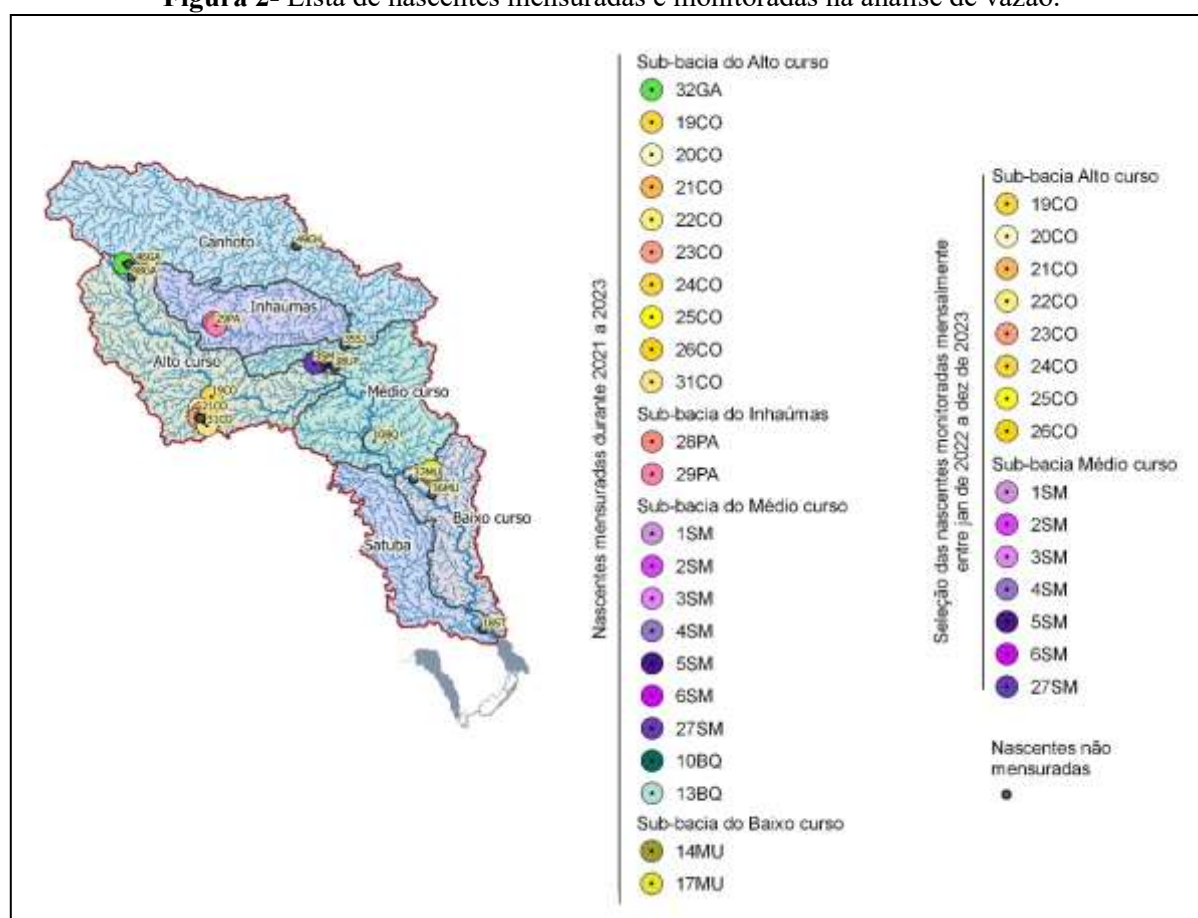
Para o monitoramento mensal foram selecionadas 15 nascentes geograficamente próximas, 8 em Correntes (Alto curso) e 7 Santana do Mundaú (Médio curso). As nascentes selecionadas foram: 19CO, 20CO, 21CO, 22CO, 23CO, 24CO, 25CO e 26CO e, 1SM, 2SM, 3SM, 4SM, 5SM, 6SM e 27SM, respectivamente, no município de Correntes-PE e Santana do Mundaú-AL (Figura 2).

O período de avaliação ocorreu de janeiro 2022 a dezembro de 2023, perfazendo dois anos de monitoramento. A vazão de água foi mensurada em Correntes no ano de 2022 nas seguintes datas: 15/01, 12/02, 21/03, 10/04, 29/05, 11/06, 09/07, 20/08, 10/09, 10/10, 11/11, 10/12; e em 2023, nas

datas: 15/01, 12/02, 21/03, 10/04, 29/05, 11/06, 09/07, 20/08, 10/09, 10/10, 11/11, 10/12, enquanto isso, em Santana do Mundaú, no ano de 2022, ocorreram nas datas: 11/01, 13/02, 13/03, 10/04, 08/05, 12/06, 10/07, 21/08, 11/09, 16/10, 13/11, 18/12; e em 2023, nas datas 15/01, 12/02, 12/03, 12/03, 09/04, 21/05, 11/06, 09/07, 20/08, 10/09, 08/10, 12/11, 10/12.

Além disso, ao longo do período de levantamento das nascentes, foram também realizadas mensurações esporádicas em nascentes que apresentavam sistema de captação realizado pela população local, dentre estas: as nascentes 32GA e 31CO (Alto curso), 28PA e 29PA (Inhaúmas), 10BQ e 13BQ (Médio curso) e, 14MU e 17MU (Baixo curso) (Figura 2).

Figura 2- Lista de nascentes mensuradas e monitoradas na análise de vazão.



Fonte: Autoria própria (2021-2024).

A análise hidrológica de cada nascente foi realizada utilizando o Método Direto Volumétrico (Tucci e Silveira, 2009). Este método se fundamenta no tempo gasto do fluxo de água e volume do recipiente.

Para aplicação da metodologia foi utilizado recipiente de 0,001 m³ (1 L) para as nascentes com fluxo de água pequena, já as nascentes com fluxo rápido optaram-se por ser utilizado recipiente

de 0,011 m³ (11 L). Foi cronometrado o tempo que a água levou para atingir o volume máximo do recipiente; 6 repetições foram realizadas na medição de cada nascente. De posse dos valores de tempo das repetições, foi obtido o volume em metros cúbicos (m³) pela equação: $Q = (v/t) \sum Q/n$, em que, Q - a vazão média; v - o volume do testemunho (em metros cúbicos); t - o tempo (em segundos) e, n - o número de repetições das medidas. Os valores de vazão foram convertidos de m³/s para L/s.

Aplicação da classificação de magnitude de vazão

Com a obtenção dos valores de vazão em litro por segundo (L/s), foi realizado a classificação por magnitude (Tabela 1) das nascentes possíveis a serem analisadas, de acordo com Meinzer (1965):

Tabela 1- Classificação de magnitude da vazão (L/s) das nascentes.

Magnitude	Vazão/segundo (L/s)
1	> 170.000
2	17.000 – 170.000
3	1.700 – 17.000
4	380 – 1.700
5	38 – 380
6	4 – 38
7	0,6 – 4
8	< 0,6

Fonte: Meinzer et al. (1965).

Avaliação da sazonalidade climática da região

Foram obtidos acumulados de precipitação pluviométrica (mm) diários, dos municípios de Correntes – Pernambuco e Santana do Mundaú – Alagoas, para os mesmos períodos de mensuração de vazão, janeiro de 2022 a dezembro de 2023, com intuito de comparar as variáveis. Os dados diários foram obtidos do banco de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA).

Tratamento estatístico

Os dados foram processados utilizando os softwares Microsoft Excel, R Studio e Past. Após a tabulação e obtenção dos valores de vazão e precipitação pluvial, os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk. Para os testes estatísticos foram utilizados apenas a série do monitoramento das 15 nascentes e da precipitação pluvial.

Os resultados indicaram que os dados não seguem distribuição normal. Portanto, foram realizadas comparações entre as medianas dos diferentes anos analisados, além da aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Este teste possibilitou a comparação das variáveis de vazão das 15 nascentes monitoradas mensalmente e da precipitação pluvial nos dois locais monitorados, considerados como grupos independentes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

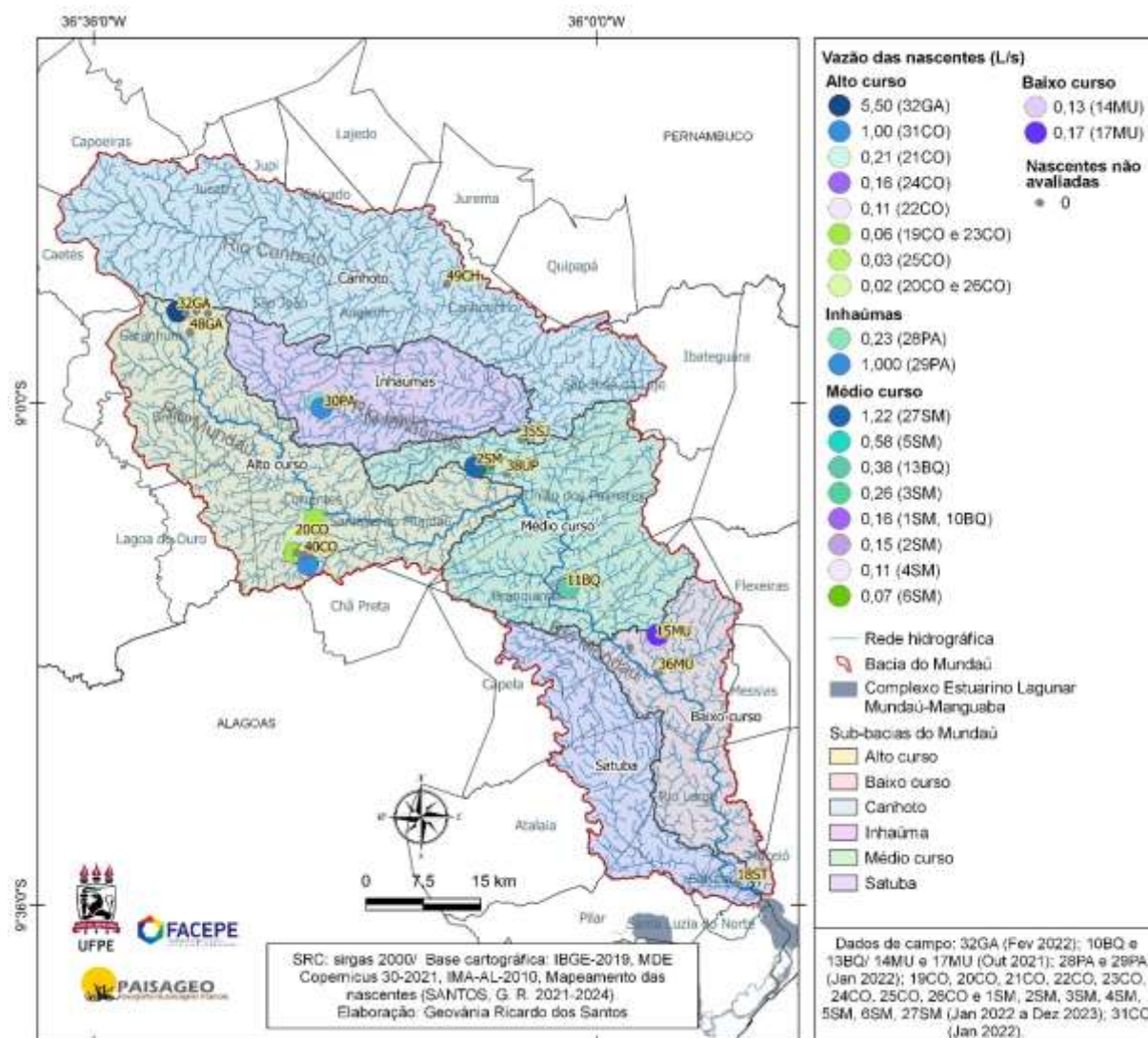
Análise da vazão das nascentes nas sub-bacias do Mundaú

Das 23 nascentes analisadas, as vazões variaram de 0,02 e 5,50 L/s (Figura 3). A média de vazão é de 0,51 L/s. Os maiores níveis de fluxo hidrológico foram observados nas nascentes situadas nas sub-bacias do Alto curso (5,50 L/s – nascente 32GA e 1,00 L/s – nascente 31CO), Médio curso (1,22 L/s – nascente 27SM) e Inhaúmas (1,00 L/s – nascente 29PA) (Figura 3). Devido ao fluxo intenso de água nestas nascentes, as medições exigiram recipientes com capacidade mínima de 11 L. A constância sazonal no fornecimento de água ao longo do ano transforma estas nascentes em um refúgio para a preservação de rios e córregos, indicando a existência de capacidade de armazenamento e distribuição de água nos aquíferos.

Quanto às nascentes com registros de vazão menores, estas também foram observadas no Alto curso, município de Correntes e Médio curso, em Santana do Mundaú, com valores de aproximadamente entre 0,02 e 0,07 L/s, respectivamente (Figura 3). Do ponto de vista hidrogeológico, as diferenças entre nascentes de baixo e alto fluxo de água estão relacionadas às propriedades do aquífero, como permeabilidade e porosidade, além das interações superficiais, como os blocos de rocha e relevo, que desempenham um papel importante no processo de infiltração, concentração de fluxo (Oliveira et al., 2018).

Em regiões de rochas fraturadas e falhas, como a bacia do Mundaú, essas fraturas são essenciais para o fluxo das águas subterrâneas, permitindo que a água se mova entre as camadas rochosas impermeáveis (Troeger e Chambel, 2021). Como o armazenamento de água está diretamente relacionado ao reservatório geológico, neste caso, às camadas do aquífero, variações no fluxo de vazão das nascentes indicam diferentes interfaces do sistema aquífero em termos de armazenamento de água. Portanto, para entender os processos hidrológicos da região, é necessário observar as respostas da dinâmica da vazão e dos períodos climáticos (Çeliker et al., 2025).

Figura 3- Média de vazão (L/s) em 23 nascentes mensuradas durante o período de 2021-2023, na Bacia do Mundaú, Pernambuco e Alagoas.



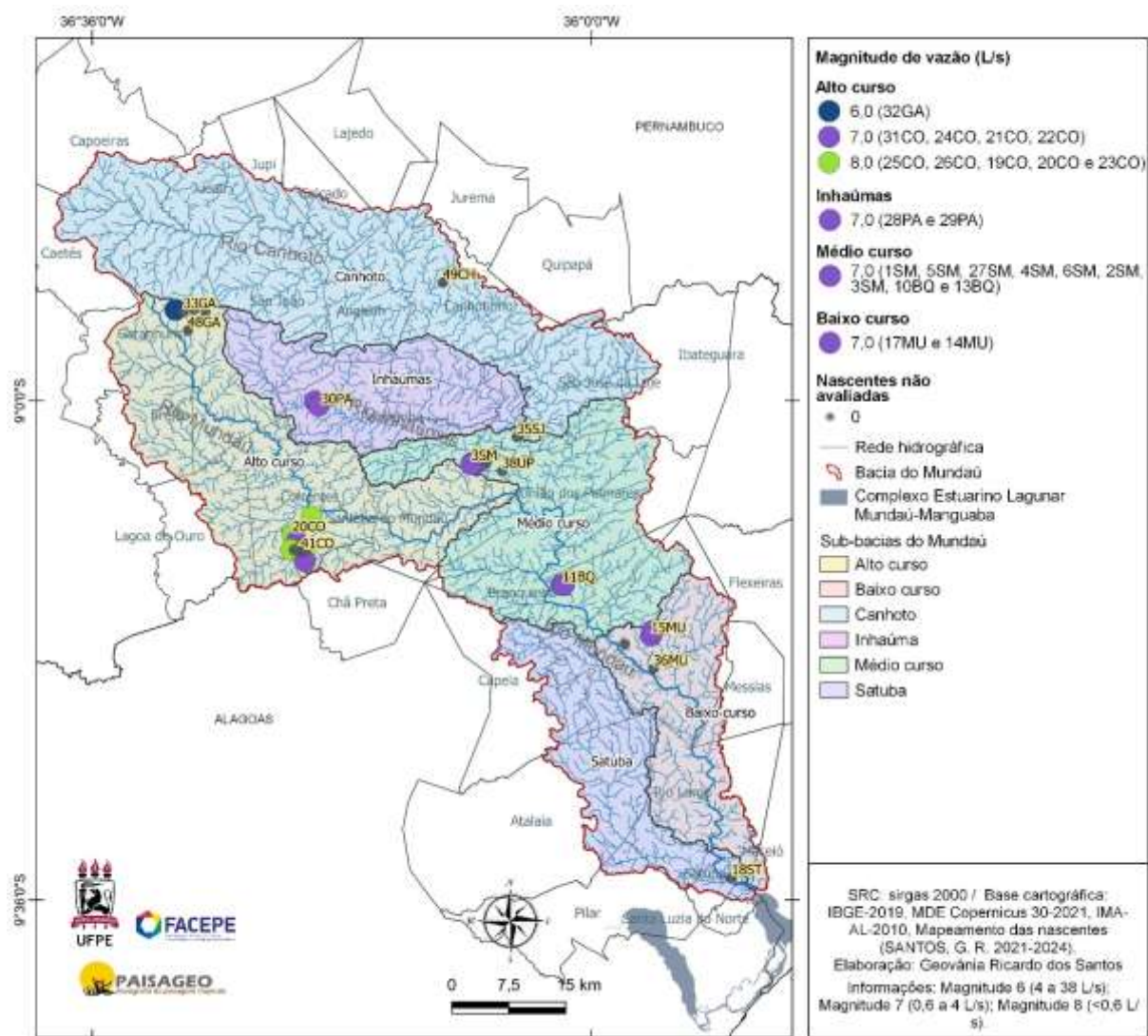
Fonte: Autoria própria (2021-2024).

A magnitude de descarga de água da nascente está relacionada ao sistema aquífero, que varia de nascentes com baixas descargas de água, com características de intermitência e sazonal e nascentes de aquíferos profundos com descargas mais constantes (Stevens et al., 2021). Considerando as particularidades hidrogeológicas da bacia do Mundaú, as magnitudes estão relacionadas a determinados padrões locais. Os elevados volumes na nascente mensurada 32GA em Garanhuns estão associados à origem fissural do aquífero, formado por rochas quartzíticas (APAC, 1998), juntamente à morfologia de exfiltração em Duto e Olho, que apresentam maior intensidade de energia de fluxo e convexidade das encostas (Felippe, 2009). Além disso, outras nascentes, como a 31CO e 5SM, Alto curso e Médio curso, também apresentam a mesma configuração de morfologia de exfiltração. As encostas nestas regiões ocorrem em uma faixa de 21-45%, caracterizando como relevo forte ondulado.

Outro aspecto relevante, é a atuação da vegetação preservada, fator que contribui para a infiltração e recarga dos aquíferos, fornecendo a nascente proteção e estabilidade as encostas da região (Kampf et al., 2013). Apesar da predominância de pastagem no ambiente onde foram analisadas as nascentes do Médio curso, fragmentos de vegetação nativa ocorrem na zona de recarga. A interdependência entre fatores geológicos-geomorfológicos, fragmentos de vegetação e raízes das plantas são importantes para o sistema de nascente (Cantonati et al., 2020).

A partir das médias anuais de vazão com os valores referenciais de magnitude proposto por Meinzer (Tabela 1), enquadraram-se as 23 nascentes das quais as vazões foram mensuradas. Das nascentes estimadas no Alto curso, ocorrem magnitudes na ordem de 6, 7 e 8 (Figura 4), enquanto as nascentes localizadas nas sub-bacias do Inhaúmas, Médio e Baixo curso corresponderam a magnitude 7 (Figura 4). Independente da magnitude de vazão, todas as nascentes são importantes na contribuição da rede hidrográfica. Além disso, mesmo as nascentes de pequeno fluxo de exfiltração, o fluxo de água se mantém ao longo do ano. Felipe e Almeida Neto (2023) também encontraram nascentes de 7^a e 8^a magnitude na região da Serra da Mantiqueira mineira. A partir da análise da vazão específica, concluíram que a relação da vazão das nascentes com suas áreas de contribuição é complexa e não possui clara resposta estatística. Isso enfatiza a necessidade de compreensão de fatores locais associados aos fluxos hidrogeológicos que alimentam cada nascente.

Figura 4- Magnitude de vazão em 23 nascentes mensuradas durante o período de 2021-2023, na Bacia do Mundaú, Pernambuco e Alagoas.



Fonte: Autoria própria (2021-2024).

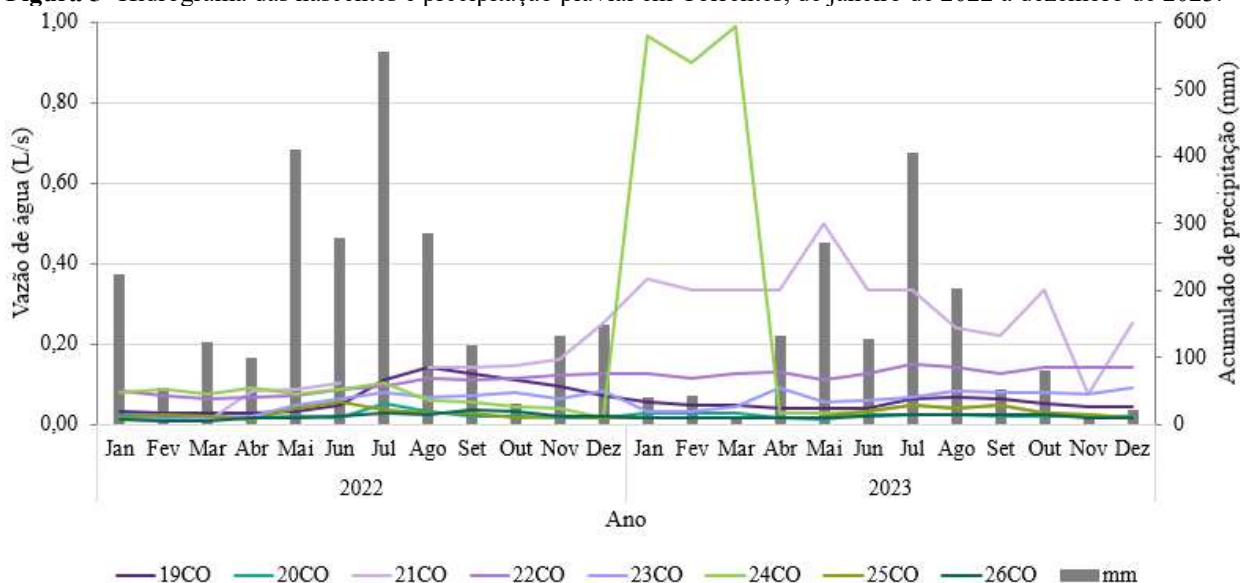
Monitoramento temporal da vazão de nascentes no Alto curso

Durante do período de janeiro de 2022 a dezembro de 2023, 15 nascentes foram monitoradas de forma contínua (Figura 5 e 6). Devido ao regime hidrológico da região, a sazonalidade da vazão nas 15 nascentes analisadas comportam-se de modo perene, exibindo um fluxo mensal constante (Figuras 5 e 6). Durante o período analisado, as 15 nascentes apresentam variabilidade na vazão de água. Como esperado, a descarga das nascentes apresenta variações sazonais, e a consistência do escoamento hídrico pode mudar dependendo da estabilidade ambiental (Springer et al., 2008). Essa estabilidade é afetada por diversos fatores, tanto subterrâneas quanto superficiais, como a estrutura do subsolo, a topografia, as condições climáticas e os usos da terra (Oliveira et al., 2020).

Em Correntes, a série temporal de vazão das nascentes exibiu valores entre 0,01 e 0,99 L/s, com uma média de 0,08 L/s (Figura 5). Durante o período monitoramento, os maiores picos de vazão foram registrados na nascente 24CO, nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2023, com valores de 0,97, 0,90 e 0,99 L/s, respectivamente. Na nascente 21CO, o pico ocorreu em maio de 2023 (Figura 5), com valor de 0,50 L/s. Valores estes que se destacam em relação à média da série de dados.

Particularmente, quando relacionado o aumento da vazão das nascentes 24CO e 21CO com os acumulados pluviométricos da região, pode-se verificar que não houve associação direta (Figura 5), uma vez que, quando houve grandes pulsos de precipitação, não se registraram respostas de vazão diretamente associadas a esse intervalo avaliativo. São necessários outros estudos, como de infiltração e escoamento de água no ambiente, para entender os processos hidrológicos das nascentes. Estes resultados sugerem a importância do estudo geossistêmico dos ambientes de nascentes.

Figura 5- Hidrograma das nascentes e precipitação pluvial em Correntes, de janeiro de 2022 a dezembro de 2023.



O ano de 2022 foi marcado por chuvas intensas na região, eventos significativos responsáveis por cheias e inundações na região. Os acumulados de precipitação pluvial para o período de mensuração de vazão em Correntes, foram de 1.380 mm/anual, em 2023 e 2.447 mm/anual, em 2022 (Figura 5). A hipótese é que chuvas mais bem distribuídas, aliadas a solos protegidos pela vegetação, permitem uma maior absorção pela superfície solo, facilitando a recarga dos aquíferos e, consequentemente, afeta as nascentes.

Hidrologicamente, a região é abundante em nascentes; no entanto, a dinâmica das taxas de fluxos de água é influenciada por muitos dos processos locais que acontecem na superfície, incluindo

a capacidade de infiltração no solo, que é comprometida devido às mudanças causadas pelo uso e cobertura da terra. Observa-se que nos ambientes das nascentes analisadas, a distribuição da vegetação arbórea é quase irregular para contribuir na proteção das nascentes e das encostas.

Com relação às respostas da precipitação pluvial sobre o comportamento da vazão das nascentes em Correntes, não se constatou tendências de aumento de fluxo nos meses que houve aumento dos índices pluviométricos, isso não significa que as respostas hidrológicas estejam alheias à distribuição da precipitação, mas que o tempo de residência das águas exfiltradas nas nascentes é distinto. Maya et al. (2024) constatou uma relação fraca entre precipitação de monções e vazão das nascentes, por outro lado, observou valores de descargas significativas no período pós-monções, este padrão está diretamente relacionado ao uso e cobertura da terra.

Outros fatores são preponderantes, como as características hidrogeomorfológicas e litológicas. Outra hipótese refere-se a dinâmica do pulso-reserva, um conceito descrito por Noy-Meir (1973), que descreve uma relação direta entre a variabilidade dos eventos de precipitação e a reserva de água no solo nos períodos posteriores de estiagem. Este conceito é aplicável em ambientes Semiárido, embora também possa ser constatado em ambientes tropicais, sobretudo nas regiões pesquisadas onde os solos apresentam textura argilosa, resultando em percolação mais lenta.

Monitoramento temporal da vazão de nascentes no Médio curso

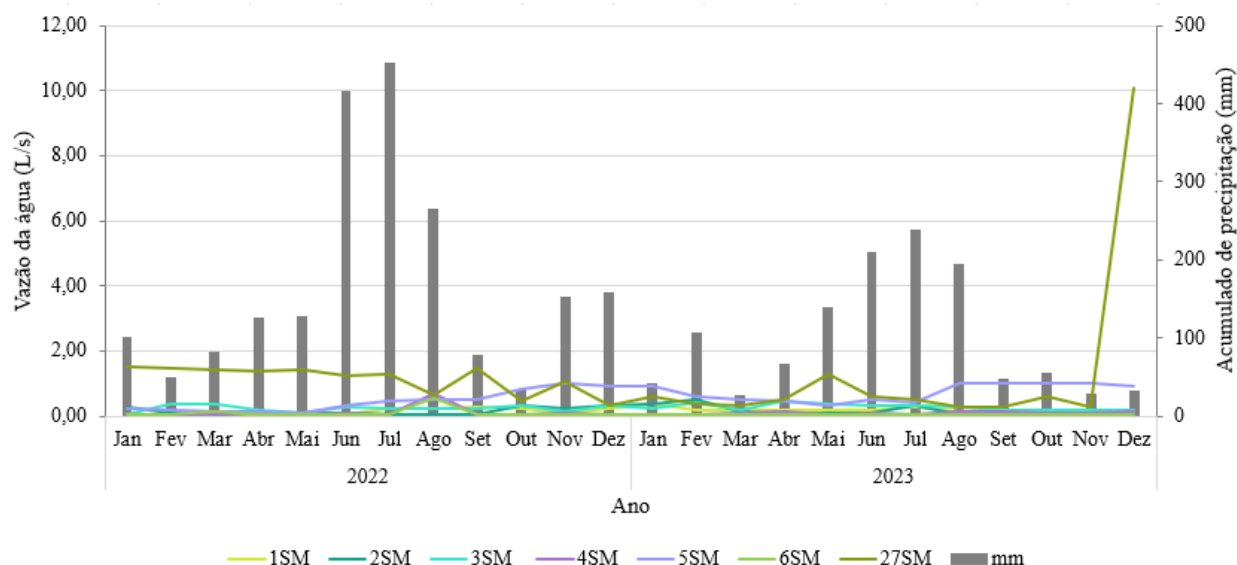
Para o segundo grupo de nascentes estudadas, em Santana do Mundaú (Figura 6), as avaliações das indicam constância de vazão, estabelecendo valores entre 0,03 e 10,08 L/s e média de 0,36 L/s, durante os anos 2022 e 2023 (Figura 6). Nota-se valores de vazão superiores em comparação às nascentes mensuradas em Correntes (Figura 5 e 6). Das sete nascentes monitoradas, a nascente 27SM apresentou as vazões mais elevadas, com 1,22 L/s, seguida pela nascente 5SM, com 0,58 L/s e pela nascente 3SM, com 0,26 L/s (Figura 6).

Apesar da relação entre vegetação com o processo hidrológico, a complexidade do sistema ambiental de nascente sustenta outras interdependências com a paisagem, como a permeabilidade e o tipo de solo, a presença de afloramentos rochosos, profundidade das raízes das plantas e a cobertura vegetal (Pesciotti et al., 2010). Kampf e Mirus (2013) especificam a complexidade e perspectiva multiescalar dos mecanismos que envolvem os processos superficiais e subsuperficiais que dominam o comportamento hidrológico, dentre ele: padrões sazonais da precipitação, vegetação, dinâmica dos fluxos transitórios no relevo, estrutura subterrânea e o contexto geomorfológico.

Quanto às respostas da vazão das nascentes em Santana, os valores não apresentaram uma relação direta com a curva de precipitação pluvial (Figura 6), especialmente durante o período de intensas chuvas da região. Isso novamente mostra que o período de residência das águas das nascentes é distinto do período de acumulado de precipitação utilizado para as análises (um mês). Apesar da preservação da vegetação arbórea em alguns ambientes próximos das nascentes, especificamente, nas áreas de topo dos morros, as áreas de cultivo na região ainda são predominantes, sendo as intervenções o principal fator que contribuem para a mudança no comportamento e descaracterização da estrutura das nascentes. Agarwal et al. (2012) investigando a dependência da precipitação sobre as nascentes intermitentes nas colinas do Himalaia perceberam que a capacidade de retenção de água dos solos vem agravando-se pelo desmatamento e diminuição da cobertura vegetal e por um padrão de chuvas com aumento de tempestades de alta intensidade e períodos de seca mais longos.

Em relação ao contexto regional, a influência das águas subterrâneas nos fluxos de nascentes demonstra claramente uma orientação baseada nas particularidades da topografia (Dendup et al., 2024). Isso ocorre porque a declividade onde estão localizadas estas nascentes varia de 21-45%, sendo classificada como relevo fortemente ondulado (Embrapa, 2025). Essa condição reduz a taxa de infiltração da água no solo. Além disso, as culturas perenes da região agravam os efeitos sobre o sistema das nascentes. Sendo assim, há particularidades no sistema-nascente que são sustentadas pela combinação de fatores atrelados ao local, neste caso, a tríade: topografia-solo-litologia.

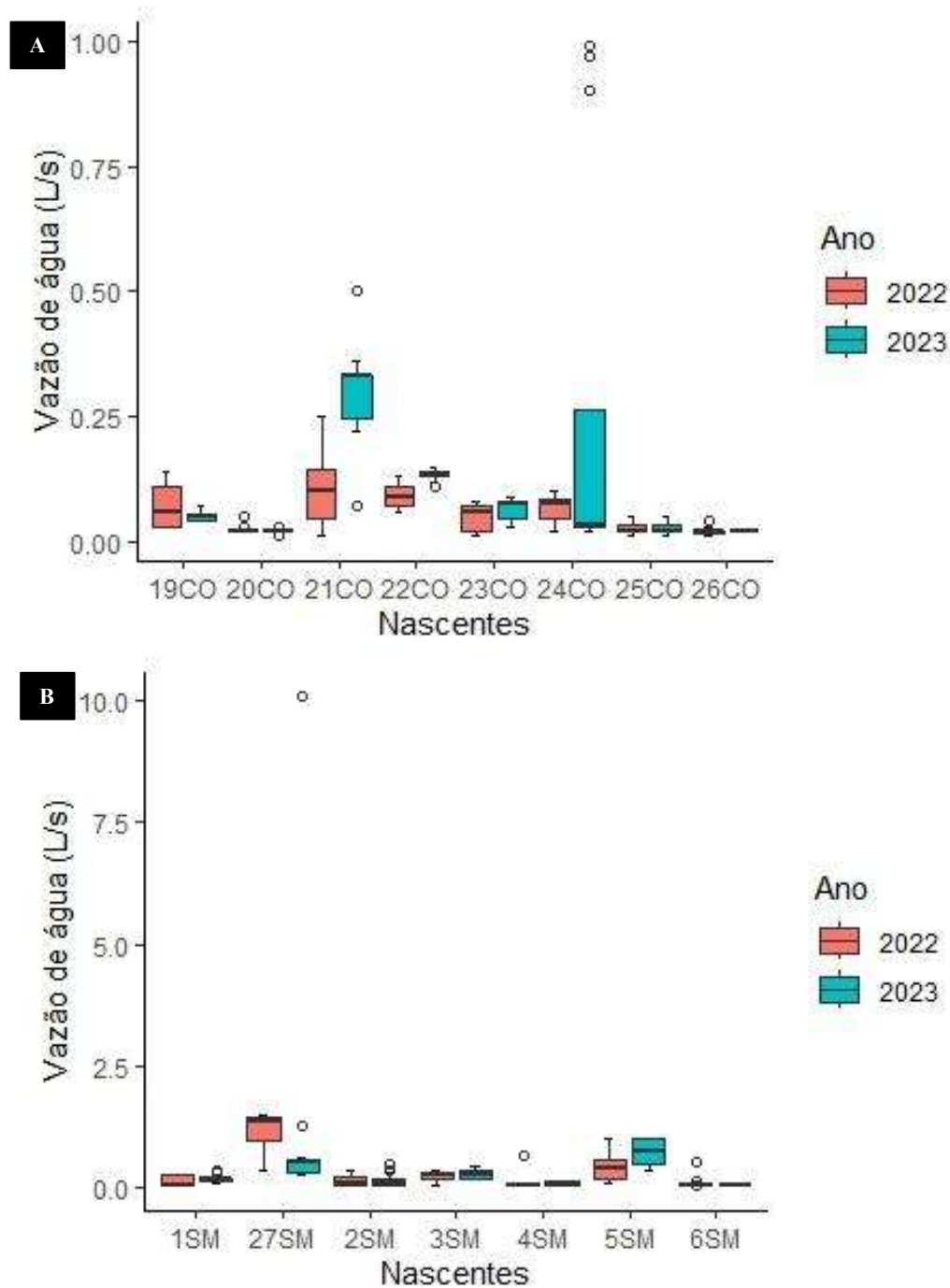
Figura 6- Hidrograma das nascentes e precipitação pluvial em Santana do Mundaú, de janeiro de 2022 a dezembro de 2023.



A distribuição dos dados de vazão em Correntes, nos anos 2022 e 2023, mostra que a maioria dos valores está concentrada nas medianas, na faixa de 0 e 0,25 L/s (Figura 7A). Notaram-se variações mínimas na vazão nas nascentes 20CO, 25CO e 26CO, em ambos os anos. Em 2023, as nascentes 19CO e 22CO apresentaram variações semelhantes (Figura 7A). Além disso, valores discrepantes (outliers) estão além dos limites definidos (Figura 7A). Isso indica que a variabilidade dos dados se encontra distante dos limites inferiores e superiores de vazão, como pode ser observado nas nascentes 20CO, 21CO, 22CO, 24CO e 26CO. Isso é especialmente evidente na nascente 24CO, onde a série de valores de vazão apresentou valores acima do limite superior de 0,25 L/s (Figura 7A). A conjuntura de organização dos gráficos indica a assimétrica de parte dos dados em ambos os anos avaliados.

O conjunto de dados em Santana do Mundaú também mostraram uma dispersão e variabilidade baixas, variando entre 0 e 2,0 L/s (Figura 7B). Em ambos os anos analisados, as sete nascentes apresentaram uma distribuição assimétrica, indicando valores de vazão mais afastados da mediana (Figura 7B). Valores discrepantes (Outliers) também foram observados nas nascentes 1SM, 27SM, 2SM, 4SM e 6SM apresentando diferenças significativas em relação ao restante dos dados. O que destaca é na nascente 27SM em 2023, quando dois valores de vazão ficaram acima do limite superior de 0,62 L/s (Figura 7B).

Figura 7- Gráfico box plot da vazão de água (L/s), nas nascentes monitoradas em Correntes (A) e Santana do Mundaú (B).



Como esperado, a relação entre a vazão das nascentes e precipitação pluvial no período avaliado pelo teste de Kruskal-Wallis indicou que não há diferenças estatísticas entre os grupos comparados ($p > 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2- Relação entre vazão das nascentes e precipitação pluvial pelo teste de Kruskal-Wallis.

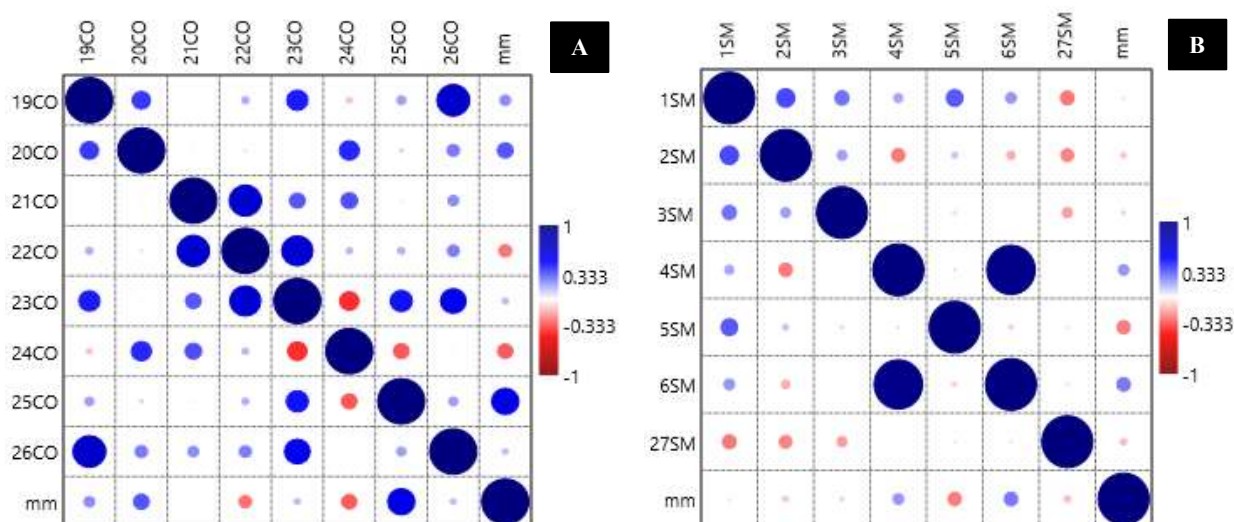
Teste de Kruskal-Wallis

Chi-square	Df	p	Relação entre vazão e precipitação	p (ajustado)	Significância
23	23	0,4608	$p > 0,05$	1	Ns*

* Não significativa.

Quando aplicado a matriz de coeficiente de correlação entre as vazões (L/s) de cada nascente, em Correntes (Figura 8A) e Santana do Mundaú (Figura 8B) e da precipitação pluvial (mm), observou-se um maior número de correlações positivas (1) e negativas (-1) entre as vazões de Correntes (Figura 8A). As correlações positivas mais fortes ocorreram entre as nascentes 19CO e 26CO, 21CO e 22CO, 22CO e 23CO, 26CO e 19CO (Figura 8A) e 4SM e 6SM (Figura 8B). Os valores positivos indicam que, à medida que os acumulados de precipitação pluvial aumentam, a vazão tende a crescer em ambas nascentes, relação esta insignificante nas relações de vazão e precipitação (Figura 8A e B). Enquanto isso, os valores negativos indicam que, quando a vazão de uma nascente aumenta, a da outra tende a diminuir, essa relação é fraca como demonstra nos gráficos (Figura 8A e B).

Figura 8- Matriz de correlação da vazão (L/s) das nascentes em Correntes (A) e Santana do Mundaú (B).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento das 23 nascentes revelou valores de vazão variando de 0,02 e 5,50 L/s, com sazonalidade perene. Entre essas, os maiores registros de fluxo hidrológico foram observados na nascente 32GA, situada no Alto curso do Mundaú;

Observou-se que as magnitudes de vazão de nascentes estão na ordem de 6^a, 7^a e 8^a. As maiores ocorrem no Alto curso, em Garanhuns. No entanto, magnitudes de vazão consideráveis podem ser

encontradas no Médio, Baixo curso e Inhaúmas, evidenciando aqui a capacidade de descarga do aquífero;

Como esperado, a vazão das 15 nascentes monitoradas apresentam uma ampla variação ao longo do ano. Em Santana do Mundaú, o valor máximo registrado foi de 10,08 L/s, enquanto em Correntes foi de 0,99 L/s. Embora estejam geograficamente próximas, as médias de vazão das sete nascentes monitoradas no Médio curso foram maiores;

Durante o período de avaliação, as nascentes 27SM, 5SM e 3SM apresentaram as maiores médias de vazão, com 1,22, 0,58 e 0,26 L/s, respectivamente. Em contrapartida, as nascentes 24CO e 21CO detiveram médias de 0,34 e 0,95 L/s, respectivamente;

O comportamento hidrológico das nascentes monitoradas não apresentou relação direta com o regime de precipitação pluvial ($p > 0,05$), entretanto, nota-se que fatores no ambiente, como rocha-solo, relevo, cobertura vegetal e raízes de plantas, são sensíveis e compatíveis a recarga/descarga de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE pelos incentivos através da concessão da bolsa de doutorado da primeira autora; processo IBPG-1045-7.06/21.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.; BHATNAGA, N. K.; NEMA, R. K.; AGRAWAL, N. K. Rainfall dependence of springs in the Midwestern Himalayan Hills of Uttarakhand. **Mountain Research and Development**, Switzerland, v. 32, n. 4, p. 446-455, nov. 2012.

CANTONATI, M.; STEVENS, L. E.; SEGADELLI, S.; SPRINGER, A. E.; GOLDSCHIEDER, N.; CELICO, F.; FILIPPINI, M.; OGATA, K.; GARGINI, A. Ecohydrogeology: the interdisciplinary convergence needed to improve the study and stewardship of springs and other groundwater-dependent habitats, biota, and ecosystems. **Ecological Indicators**, Lecce, v. 110, n. 3, p. 1-15, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105803>.

ÇELIKER, M.; UZUN, S.; YILDIRIM, G. Periodic variations of karstic spring discharge and precipitation from the perspective of wavelet analysis techniques: a case study of tacin spring. **Environmental Earth Sciences**, Dresden, v. 84, n. 46, p. 1-22, jan. 2025.

CENTENO, J. A. S.; KISHI, R. T. **Os recursos hídricos do Estado de Alagoas**. 1 ed. Maceió: Núcleo Estadual de Meteorologia e recursos hídricos, 1994. p. 40.

DENDUP, T.; DENDUP, T.; TOBGAY, S.; LIU, F. Sources and pathways of spring flow and climate change effects in the Dungju Ri & Yude Ri catchments, Bhutan Himalaya. **Heliyon**, Philadelphia, v. 10, n. 16, ago, p. 1-18, 2024.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6. ed. Brasília: EMBRAPA, 2025. 356 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Alagoas**. Recife: Embrapa solos, 2012. 238 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 381 p.

FELIPPE, M.; ALMEIDA NETO, J. Vazão específica de canais fluviais de baixa ordem em cabeceiras de drenagem da Serra da Mantiqueira. In: XIV Simpósio Nacional de Geomorfologia 2023, 14., 2023, Corumbá, **Anais...** Corumbá, 2023, p. 1-10.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Geografias**, Belo horizonte, v. 9, n. 1, p. 71-81, jan/jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13354>

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte - MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológica e ambientais**. 2009. 275 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

LIMA, I. F. **Maceió, a cidade restinga**: contribuição ao estudo geomorfológico do litoral. 5 ed. Maceió: Imprensa oficial Graciliano ramos, 2010. 255 p.

KHADKA, K.; RIJAL, M. L. Hydrogeochemical assessment of spring water resources around Melamchi, Central Nepal. **Water Practice & Technology**, Londres, v. 15, n. 3, p. 748-758, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.066>

KAMPF, S.; MIRUS, B. B. **Subsurface and Surface Flow Leading to Channel Initiation**. In: SHRODER, J.; WOHL, E. Tratado sobre Geomorfologia. San Diego: Academic Press, 2013. p. 22-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00228-1>

MAYA, K.; VIVEK, V. R.; SREELESH, R.; UTPAL, M.; SREELASH, K. Hydrogeochemical signatures of springs water in geologically diverse terrains: a case study of Southern Western Ghats, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, Switzerland, v. 196, n. 62, p.196-662, jun. 2024. DOI: <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-024-12775-z>

MELO, J. H. S. de; MONTEIRO, K. de A. Relação entre os controles estruturais e a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 13, n. 41, p.152-166, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2022.V.13.N.41.152.166>

MEINZER, O. E. **Outline of ground-water hydrology, with definitions**. 6. ed. Washington: U.S. Government Printing Office, 1965. 77 p.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review of Ecology and Systematics**, California, v. 4, p. 25-71, 1973.

OLIVEIRA, A. S de; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Eng. Sanit Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 59-67, jan/fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020148177>

OLIVEIRA, A. S. de; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 59-67, jan/fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020148177>

PESCIOTTI, H. A.; COELI, L.; LAVARINI, C.; FELIPPE, M. F.; MAGALHAES JÚNIOR, A. Estudo morfológico e ambiental de nascentes em parques urbanos de Belo Horizonte-MG. In: VIII Simpósio Nacional De Geomorfologia, 8., 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010. p. 1-14.

REISS, M.; CHIFFLARD, P. Hydromorphology and Biodiversity in Headwaters – Na Eco-Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains. In: BLANCO, J. A.; LO, Y. H.; ROY, S. (ed.) **Biodiversity in Ecosystems: Linking Structure and Function**. London: Intech Open, 2015. p. 205-240.

STEVENS, L. E.; ALY, A. A.; ARPIN, S. M.; APOSTOLOVA, I.; ASHLEY, G. M.; BARBA, P. Q.; BARQUÍN, J.; BEAUGER, A.; BENAABIDATE, LAHCEN; BHAT, S. U.; BOUCHAOU, L.; CANTONATI, M.; CARROLL, T. M.; DEATH, R.; DWIRE, K. A.; FELIPPE, M. F.; FENSHAM, R. J.; FRYAR, A. E.; GARSABALL, R. P. I; GJONI, V.; GLAZIER, D. S.; GOLDSCHIEDER, N.; GURRIERI, J. T.; GUÐMUNDSDÓTTIR, R.; GUZMAN, A. R.; HÁJEK, M.; HASSEL, K.; HEARTSILL-SCALLEY, T.; HERCE, J. S. I; HINTERLANG, D.; HOLWAY, J. H.; ILMONEN, J.; JENNESS, J.; KAPFER, J.; KARAOUZAS, I.; KNIGHT, R. L.; KREILING, A. K.; LAMELI, C. H.; LEDBETTER, J. D.; LEVINE, N.; LYONS, M. D.; MACE, R. E.; MENTZAFU, A.; MARLE, P.; MOOSDORF, N.; NORTON, M. K.; PENTECOST, A.; PÉREZ, G. G.; PERLA, B.; SABER, A. A.; SADA, D.; SEGADELLI, S.; SKAALSVEEN, K.; SPRINGER, A. E.; SWANSON, S. K.; SCHWARTZ, B. F.; SPROUSE, P.; TEKERE, M.; TOBIN, B. W.; TSHIBALO, E. A.; VOLDOIRE, O. **The Ecological Integrity of Spring Ecosystems: a Global Review**. In: DELLASALA, D. A.; GOLDSTEIN, M. I., Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier, 2021. p. 436-451. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00111-2>

STEVENS, L. E.; SCHENK, E. R.; SPRINGER, A. E. Springs ecosystem classification. **Ecological Applications**, Washington, v. 31, n. 1, p. 1-28, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.2218>

SILVA, S. de A. **Análise das interações entre variabilidade climática e cobertura da terra no regime hidrológico da Bacia Hidrográfica Interestadual do Rio Mundaú**. 2020. 152 f. Tese

(Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

SPRINGER, A. E.; STEVENS, L. E.; ANDERSON, D.; PARNELL, R. A.; KREAMER, D.; FLORA, S. A. A comprehensive springs classification system: integrating geomorphic, hydrogeochemical, and ecological criteria. *In*: STEVENS, L. E.; MERETSKY, V. J. (ed.) **Aridland Springs in North America: Ecology and Conservation**. Tucson: University of Arizona Press, 2008. p. 49-75.

TÓTH, Á. KOVÁCS, S.; KOVÁCS, J.; MÁDL-SZÓNYI, J. Springs regarded as hydraulic features and interpreted in the context of basin-scale groundwater flow. **Journal of Hydrology**, Connecticut, v. 610, n. 4, p. 1-14, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127907>

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2009. 943 p.

TROEGER, U.; CHAMBEL, A. Topical Collection: Progress in fractured-rock hydrogeology. **Hydrogeology journal**, Switzerland, v. 29, n. 8, p. 2557-2560, dec. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02414-z>

WORLD CLIM. **Database of high spatial resolution global weather and climate data**. Disponível em: <https://worldclim.org/data/index.html>. Acesso em: junho de 2024.