



USOS DA ÁGUA EM ÁREAS ÚMIDAS NO ALTO SÃO FRANCISCO: FUNÇÕES SOCIOAMBIENTAIS E CONDICIONANTES GEOGRÁFICOS

Julio Cesar Cassiano Gonçalves¹
Yuri Ribeiro Viu²
Maria Eduarda dos Santos Pedro³
Fillipe Diniz Ferreira⁴
Diego Alves de Oliveira⁵
Elizene Veloso Ribeiro⁶
Antônio Pereira Magalhães Júnior⁷
Luiz Fernando de Paula Barros⁸

RESUMO

As Áreas Úmidas (AUs) apresentam o potencial de diversos benefícios socioambientais, como os relativos à biodiversidade, à disponibilidade de recursos hídricos e a retenção de sedimentos e nutrientes. Nas bacias hidrográficas do Ribeirão dos Patos e dos rios São Miguel e Bambuí, localizadas na região do Alto São Francisco, em Minas Gerais, a marcante ocorrência de AUs é fortemente condicionada pelo quadro geológico-geomorfológico, e pelo alto índice de precipitação na estação chuvosa. O clima predominantemente sazonal determina uma intensa dinâmica associada aos pulsos de inundação. Considerando o potencial de serviços ambientais das AUs locais, este trabalho visa identificar e espacializar os usos da água das AUs situadas nas mencionadas bacias. A metodologia inclui o uso de SIG para delimitação de compartimentos a partir de informações homogêneas entre aspectos fisiográficos e geológicos, e o cruzamento e correlação com os dados de ocorrência de AUs, uso da terra e usos da água. Os resultados indicam o predomínio do uso de águas subterrâneas nos compartimentos dos domínios cársticos nas bacias do ribeirão dos Patos e do rio São Miguel cujas principais finalidades de uso são consumo humano, industrial e irrigação, e domínio do uso de águas superficiais em compartimentos da bacia do rio Bambuí, sendo as principais finalidades de uso voltado para a irrigação e o consumo humano. Considerando a fragilidade natural das AUs, particularmente nos ambientes cársticos, o trabalho pode contribuir para a geração de informações em prol da proteção e da gestão dos sistemas locais.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia, Hidrogeografia, Sistemas Hidroambientais.

¹ Graduando pelo Curso de Geografia do IFMG *campus* Ouro Preto, julio.csr.cassiano@gmail.com;

² Graduando pelo Curso de Geografia da UFMG, yuriviu@gmail.com;

³ Graduanda pelo Curso de Geografia da FMG, madu.mespx@gmail.com;

⁴ Graduando pelo Curso de Geografia da UFMG, fillipedinizferreira2003@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Curso de Geografia do IFMG – *campus* Ouro Preto, diego.oliveira@ifmg.edu.br;

⁶ Professora orientadora: Curso de Geografia do IFMG – *campus* Ouro Preto, elizene.ribeiro@ifmg.edu.br;

⁷ Professor orientador: Departamento de Geografia da UFMG, antonio.magalhaes.ufmg@gmail.com;

⁸ Professor orientador: Departamento de Geografia da UFMG, luizfpaulabarros@gmail.com.



INTRODUÇÃO

Áreas Úmidas (AUs) são sistemas hidrogeomorfológicos com diversas funções socioambientais, como o estoque de nutrientes, recarga de aquíferos, depurador da qualidade da água e habitats de rica biodiversidade (GOMES ; MAGALHÃES JÚNIOR, 2018; 2020; OLIVEIRA, 2022; MITSCH ; GOSSELINK, 2007).

No escopo da hidrogeomorfologia, pautada pela interação entre condicionantes hidrológicos e geomorfológicos (GOERL; KOBAYAMA; SANTOS, 2012; MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020;), a formação e a dinâmica das AUs estão associadas, principalmente, a processos de inundação, acumulação de águas pluviais e exfiltração do nível freático (OLIVEIRA, 2022; GOMES, 2017). As AUs podem ser compreendidas como sistemas permanentes ou temporariamente saturados, inundados e/ou alagados, formados em relevos e substratos que permitem um maior acúmulo de águas superficiais e/ou subsuperficiais (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

A falta de uma definição de aceitação e aplicação relativamente consensual das AUs dificulta o diálogo entre as ciências e a aceitação de uma única proposta de classificação. Por outro lado, o INAU - Instituto Nacional de Áreas Úmidas publicou o Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras (Junk; Cunha, 2024), trazendo importantes contribuições e avanços para o conhecimento e a proteção dos sistemas úmidos do país. Ressalta-se, porém, que a proposta tem um viés mais biológico/ecológico, não contemplando, por exemplo, os pequenos sistemas hidrogeomorfológicos das zonas planálticas de Minas Gerais. Neste sentido, Gomes e Magalhães Júnior (2018; 2020) elaboraram um panorama dos sistemas de classificação de AUs no Brasil e no mundo e propuseram classes hidrogeomorfológicas de AUs para o estado de Minas Gerais.

A bacia do rio São Francisco é marcada, em geral, pela ocorrência de AUs de pequena extensão (JUNK *et al.*, 2014), sendo elas condicionadas pela dinâmica hidrológica sazonal (climas tropicais) e pelos diferentes compartimentos hidrogeomorfológicos da bacia (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020). No entanto, estas AUs têm passado por intensas pressões e impactos ambientais negativos devido à mudança de uso e ocupação da terra, a fragilidade natural de suas áreas e a intensa ocorrência de processos erosivos (OLIVEIRA; AUGUSTIN; LIMA, 2022). Diante disso,



a compreensão da dinâmica e funcionamento das AUs é extremamente importante para a adoção de medidas voltadas para a sua gestão e proteção.

No Alto São Francisco, as sub-bacias do ribeirão dos Patos e do rio São Miguel, na região cárstica de Arcos-Pains, e a do rio Bambuí, a norte, ilustram o forte condicionamento geológico-geomorfológico e antrópico das AUs. Nestas bacias, as águas das AUs exercem múltiplos serviços socioambientais, sendo de extrema relevância para os principais usos da terra regionais, com destaque para a agropecuária. Assim sendo, este trabalho tem como objetivo relacionar os aspectos fisiográficos, particularmente geológicos e geomorfológicos, com a ocorrência das AUs nestas três bacias, e analisar como esta relação influencia na disponibilidade e no uso múltiplo da água.

BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS

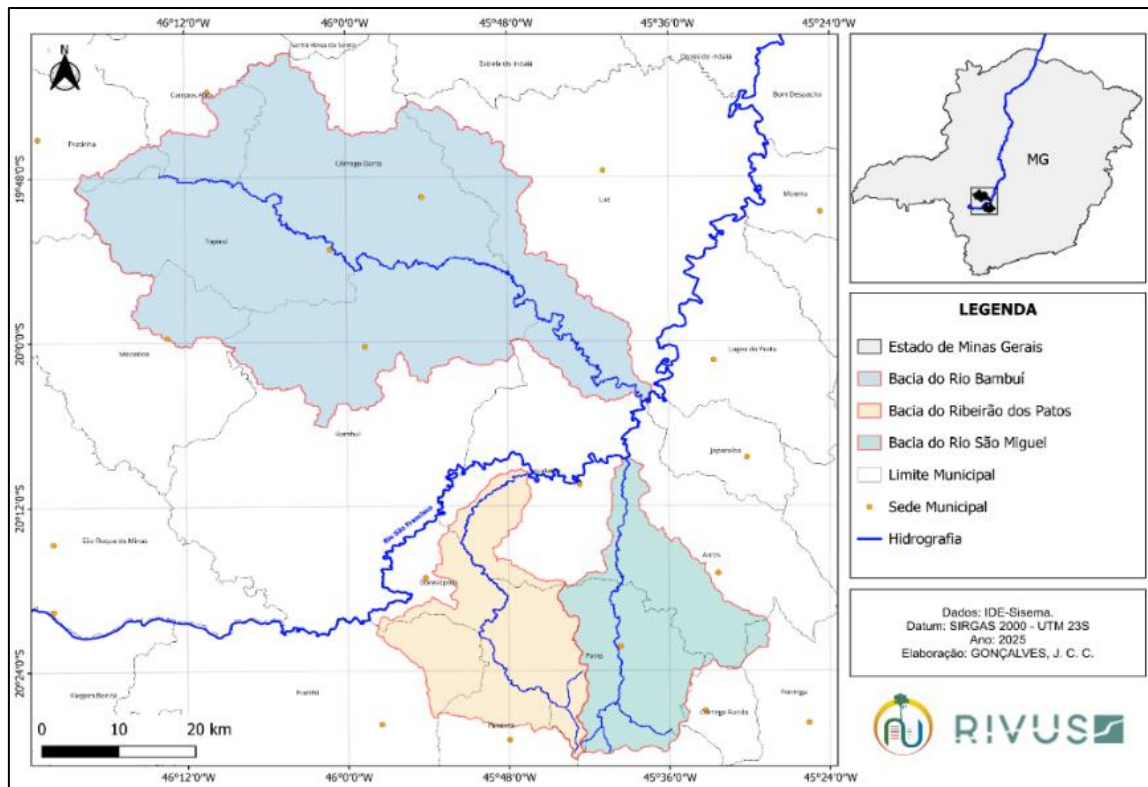
A área de estudo compreende as sub-bacias hidrográficas do ribeirão dos Patos e dos rios São Miguel e Bambuí, ambas localizadas na circunscrição SF-1 (afluentes do Alto São Francisco). A bacia do ribeirão dos Patos está situada na margem direita do rio São Francisco, com uma área de 518,85 Km², juntamente com a bacia do rio São Miguel que conta com uma área e 524,66 Km². Por sua vez, a bacia do rio Bambuí está localizada na margem esquerda, possuindo uma área de 1981,21 Km² (Figura 1).

As bacias do Patos e São Miguel situam-se no domínio de rochas carbonáticas (Formação Sete Lagoas) do Grupo Bambuí, com litologias de calcário cinzento e calcipelito, e quadro estrutural com sistemas de falhas transcorrentes sinistrais e dobramentos (ASSUNÇÃO *et al.*, 2024). Também ocorrem depósitos fluviais quaternários em planícies de inundação na bacia do São Miguel, e sedimentos cenozoicos conglomeráticos no sudoeste da bacia do ribeirão dos Patos (DIAS e VELÁSQUES, 2002; MENEGASSE; GONÇALVES; FANTINEL, 2002). Na bacia do rio Bambuí, predominam siltitos e argilitos das formações Serra da Saudade Inferior/Superior e Lagoa Formosa, do Grupo Bambuí. Na região noroeste da bacia ocorrem filitos, quartzitos e metapelitos (subgrupos Chapada dos Pilões e Paracatu – Grupo Canastra) e lentes de rochas carbonáticas dos grupos Canastra e Bambuí.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Figura 1: Localização da Área de Estudo.



Elaboração: Os Autores.

As bacias do Patos e São Miguel apresentam feições típicas de relevo cárstico suavizado por processos de dissolução, com dolinas, uvalas, sumidouros, surgências, vales cegos, cavernas e drenagens subterrâneas (RIBEIRO *et al.*, 2007; ASSUNÇÃO *et al.*, 2024). Na bacia do rio Bambuí a geomorfologia é marcada pelo intenso processo erosivo, sendo a parte alta da bacia composta por formas de relevo residuais com cotas entre 1.200 e 1.000 m, modeladas em rochas quartzíticas e filíticas do Grupo Canastra. Na parte média da bacia ocorre o predomínio de colinas onduladas e dissecadas nas rochas do Grupo Bambuí, e na parte baixa há ambientes de deposição fluvial, com formação de planícies de inundação (SEER e MORAES, 2011; KUCHENBECKER, 2011).

Segundo a classificação de Köppen o clima da área de estudo é do tipo Cwa, temperado brando com verão quente e úmido e inverno seco, sendo a precipitação média anual de 1344 mm (RADAM BRASIL, 1983). De acordo com Ribeiro *et al.* (2007), no período úmido (de novembro a abril) ocorre cerca de 81% da precipitação anual, contribuindo para o abastecimento de AU's em dolinas, ressurgências, sumidouros, planícies de inundação e ativação de vales secos



TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS

Primeiramente foram obtidos dados vetoriais* da área de estudo através da plataforma IDE-Sisema e do portal da Agência Nacional de Águas (ANA) e dados de geologia na escala de 1:100.000 (CPRM e SBG) através do Portal da Geologia. Posteriormente, foram obtidos os dados matriciais (raster) do uso e cobertura da terra (Mapbiomas - coleção 9) da área de estudo referentes ao ano de 2023 por meio da plataforma *Google Earth Engine*, e modelo digital de elevação (MDE) através do portal *OpenTopography* na resolução de 30m (SRTM).

Os dados foram importados para o Qgis (versão 3.40), sendo extraídas as camadas vetoriais para cada bacia da área de estudo. Para os dados referentes ao uso e cobertura da terra, foram utilizados os comandos *r.to.vect* e *v.dissolve* para converter as imagens raster obtidas em camadas vetoriais e mesclar feições dos polígonos com a mesma classe de uso e cobertura da terra. Para a análise geomorfológica foi utilizado o MDE das sub-bacias, sendo gerado o mapa de hipsometria e o mapa de declividade com distribuição e classificação de classes do relevo de acordo com a metodologia proposta pelo Embrapa (1979). A análise da densidade de drenagem foi realizada utilizando as camadas de área/delimitação das sub-bacias e da rede hidrográfica, efetuou-se o cálculo e classificação baseado nas propostas de Christofolletti (1981) e Vilella e Mattos (1975).

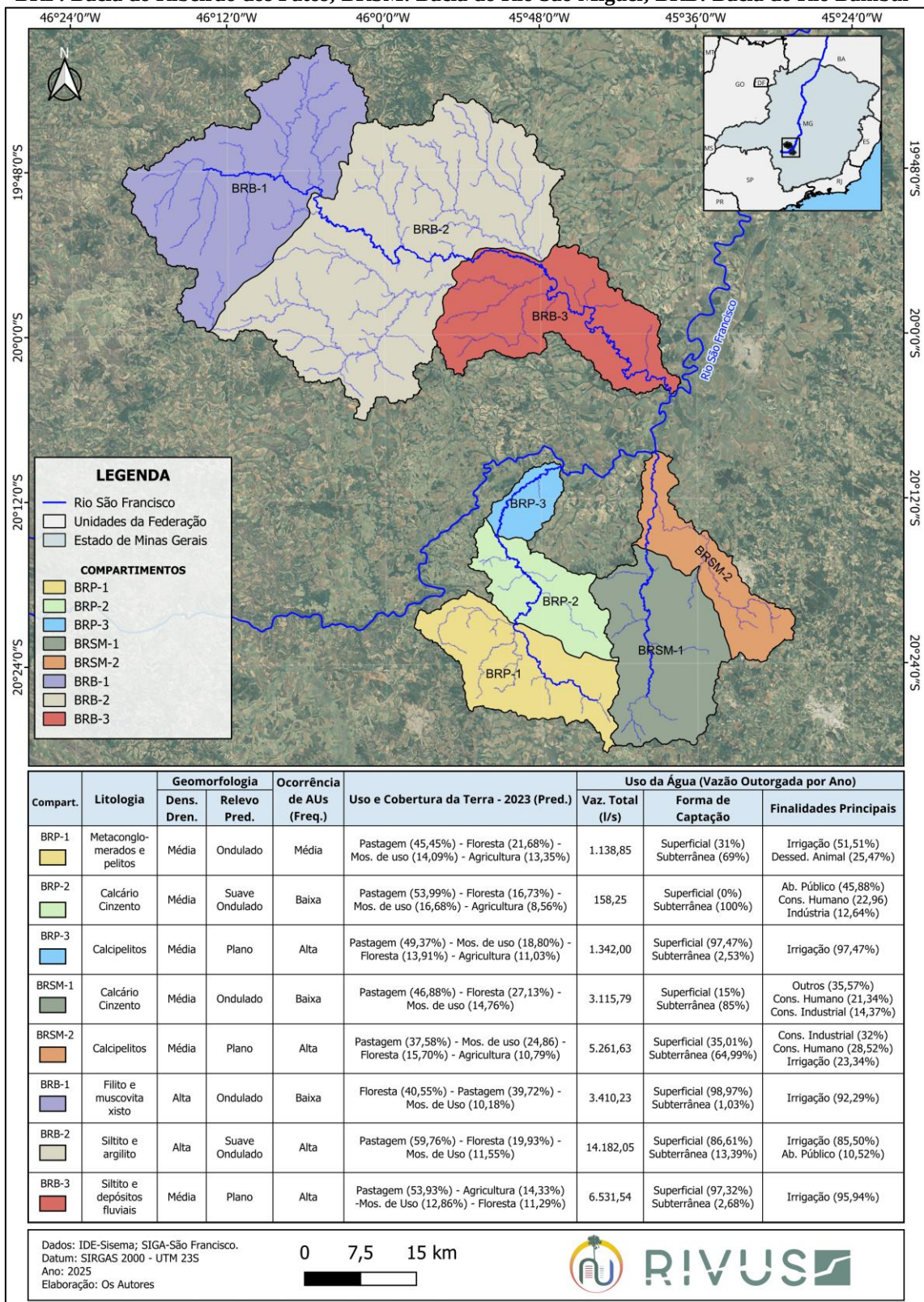
Após estes procedimentos, foram sobrepostas as camadas de litologia, hipsometria, declividade e drenagem, sendo visualmente identificadas regiões com características homogêneas entre estes atributos e delimitados compartimentos para cada uma dessas feições (Figura 2). Após este passo, foram utilizadas as camadas dos compartimentos gerados para recorte das camadas de uso da Terra/AUs e das outorgas de uso da água. As camadas geradas para outorgas foram exportadas em formato *xlsx* para o Excel, onde foi realizada a estatística descritiva e cálculos da vazão anual outorgada para cada tipo de captação e finalidade de uso em cada compartimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram delimitados oito compartimentos, sendo três na bacia do ribeirão dos Patos (BRP-1; BRP-2 e BRP-3), dois na bacia do rio São Miguel (BRSM-1 e BRSM-2) e três na Bacia do rio Bambuí (BRB-1; BRB-2 e BRB-3) - Figura 2.

*Foram obtidos os dados dos limites e sedes municipais, rede e bacias hidrográficas, unidades de federação e outorgas de uso dos recursos hídricos do IGAM na data 05/02/2025.

Figura 2: Compartimentação das bacias com base nas informações analisadas.
BRP: Bacia do Ribeirão dos Patos; BRSM: Bacia do Rio São Miguel; BRB: Bacia do Rio Bambuí



Elaboração: os autores, 2025.



A Figura 2 evidencia como a litologia e a geomorfologia condicionam a ocorrência de AUs, influenciando diretamente no uso da terra e no uso da água em cada compartimento. No BRP-1 a litologia é composta principalmente por metaconglomerados e pelitos com relevo ondulado, favorecendo a infiltração da água através de fraturas (principalmente nos metaconglomerados) e circulação superficial devido a permeabilidade dos pelitos. A ocorrência de AUs se mostra pontual, podendo ocorrer principalmente por meio de nascentes e áreas de alagamento e inundação, contribuindo para a manutenção de corpos hídricos. O uso da terra é voltado principalmente para a pastagem, mosaico de uso e agricultura. O uso da água ocorre em sua maior parte por meio de captação subterrânea, sendo destinada principalmente para a irrigação e dessedentação animal.

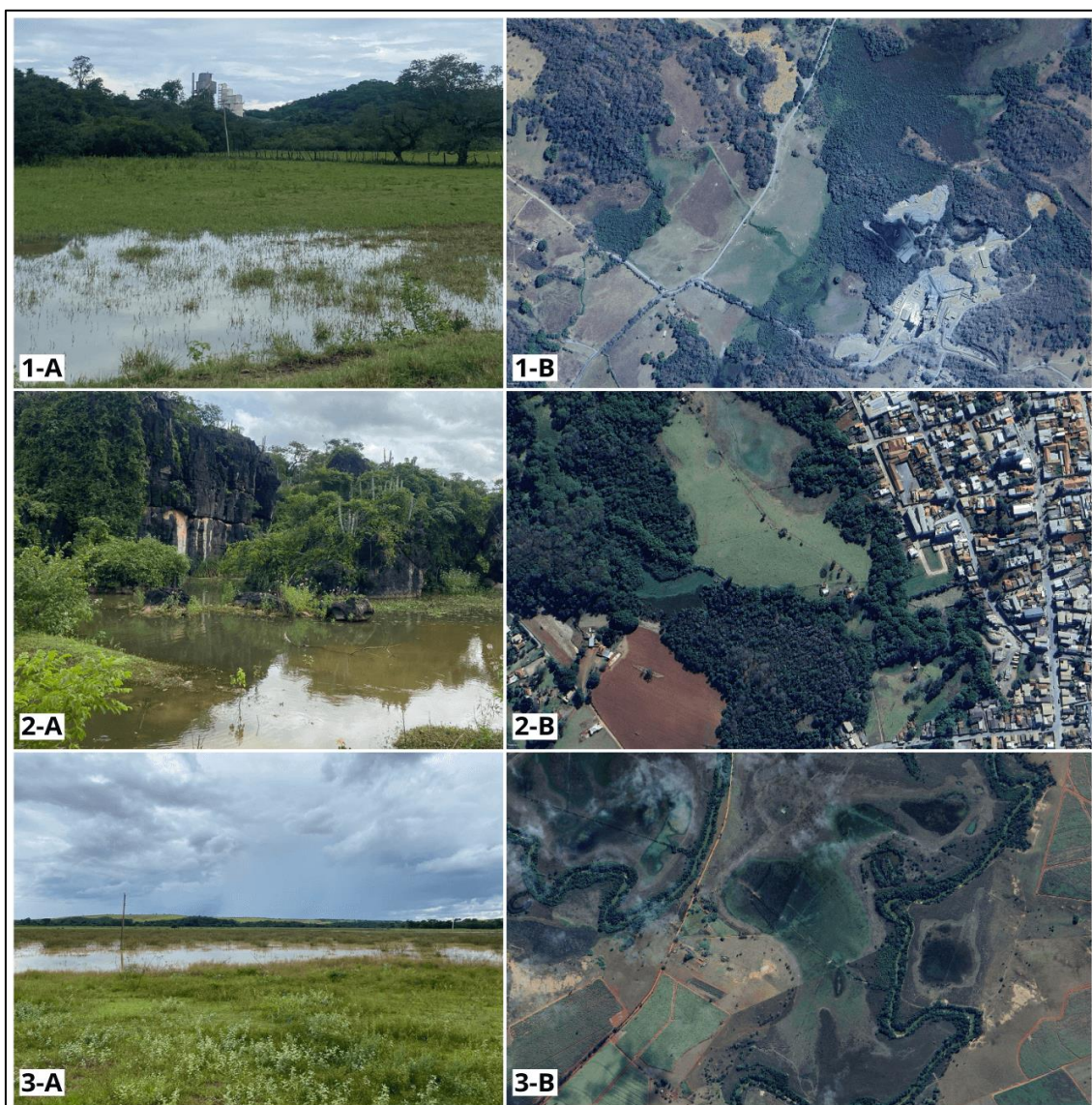
Os compartimentos BRP-2 e BRSM-1 tem o calcário como rocha dominante, apresentando relevo ondulado a suave ondulado, onde a circulação da água ocorre principalmente de forma subterrânea devido às fraturas presentes na litologia e intenso processo de infiltração e dissolução. A frequência de AUs nestes compartimentos é baixa e ocorrem em sua maior parte de forma temporária, sendo manifestadas principalmente em feições de depressões como dolinas, uvalas, poljes e surgências (Figura 3: 2-A). A principal forma de captação da água para uso é subterrânea, em que as principais finalidades (consumo humano, industrial e diversos) coincidem com os principais usos da terra e com as principais atividades econômicas presentes nestes compartimentos (Figura 3: 1-B e 2-B).

Nos compartimentos BRP-3 e BRSM-2 a litologia é composta por calcipelitos e o relevo é predominantemente plano. A circulação da água ocorre principalmente de forma superficial, havendo áreas mais propensas a inundação. As AUs nestes compartimentos ocorrem com alta frequência em planícies de inundação e lagoas marginais, contribuindo para a manutenção dos corpos hídricos. Os usos da terra em destaque nestes compartimentos estão associados a pastagem, mosaico de uso e agricultura. Por sua vez o uso da água apresenta contrastes distintos entre os dois compartimentos. No BRP-1 predomina a irrigação, com captação principal de água superficial, e no BRSM-1, além da irrigação se destacam o consumo humano e o uso industrial.

Na bacia do rio Bambuí, o compartimento BRB-1 é constituído principalmente por filito e muscovita xisto, tendo uma alta densidade de drenagem e relevo predominantemente ondulado. As AUs ocorrem com baixa frequência, cenário que pode

ter relação com o substrato geológico e a declividade do relevo. Neste compartimento há predomínio de cobertura florestal e uso da terra principal voltado para pastagem e mosaico de uso. No que diz respeito ao uso da água, ocorre predomínio de captação superficial e uso voltado para irrigação.

Figura 3: 1-A e B: visualização local e aérea de área úmida próximo a mineração de calcário em Doresópolis-MG, bacia do ribeirão dos Patos; 2-A e B: visualização local e aérea de área úmida em feição cárstica próxima a mancha urbana da cidade de Pains-MG, bacia do rio São Miguel; 3-A e B: visualização local e aérea de área úmida em planície de inundação próximo a área agrícola e de pastagem em Iguatama-MG, bacia do rio Bambuí.



Elaboração: os autores, 2025.

No compartimento BRB-2 ocorre o predomínio de siltito e argilito, com relevo predominantemente suave ondulado e alta densidade de drenagem. Este contexto



favorece a abundância de fluxos superficiais e a presença de zonas de acumulação de água, contribuindo para a alta frequência de AUs, principalmente em áreas de inundação dos corpos hídricos fluviais. Devido a esta combinação, neste compartimento se registrou o maior total de água outorgada, sendo captada em sua maior parte de forma superficial e destinada principalmente para a irrigação e abastecimento público.

O compartimento BRB-3, no baixo curso do rio Bambuí, apresenta substrato de siltitos com ocorrência de coberturas deposicionais quaternárias, favorecendo um relevo predominantemente plano. Esta combinação favorece a ocorrência de AUs mais extensas e com alta frequência, predominando as planícies de inundação (Figura 3: 3-A). Tais atributos favorecem o quadro do uso da terra, predominando pastagens, agricultura e mosaico de uso ((Figura 3: 3-B). Quase toda a água outorgada é superficial e destinada à irrigação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho possibilitou a compreensão das relações entre a ocorrência de AUs, o quadro fisiográfico e geológico e os usos da terra e da água nas bacias estudadas. Os resultados mostram que a maioria das AU's nas bacias cársticas do ribeirão do Patos e do rio São Miguel são temporárias e tem funções relevantes para a recarga de aquíferos subterrâneos. Dos 5 compartimentos presentes nessas bacias, 4 apresentam a maior porcentagem de atendimento às demandas de outorgas por meio da captação da água destes aquíferos, sendo esta a principal fonte de suprimento para o consumo humano e as atividades econômicas regionais.

Em ambientes compostos principalmente por rochas pelíticas, como na bacia do rio Bambuí, a dinâmica das AU's se caracteriza pelo armazenamento de água em períodos úmidos e contribuição para a manutenção dos corpos hídricos superficiais e recarga de aquíferos, sendo fundamentais para a produção agrícola nesta região.

As AU's que ocorrem na área de estudo desempenham importante papel na formação de mananciais para atendimento de demandas de usos humanos e atividades econômicas, bem como para a manutenção da dinâmica hidrogeomorfológica e da recarga de aquíferos nas bacias. Desta forma, o avanço nos conhecimentos sobre as AUs no Alto São Francisco pode contribuir para a sua preservação, mantendo serviços ecossistêmicos que beneficiam a gestão de recursos hídricos.



AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa PQ e bolsas PIBIC; à FAPEMIG pelas bolsas PROBIC e auxílio financeiro no âmbito do Projeto APQ-00770-24 e do processo PCE-001140-25; e ao apoio logístico dos grupos de pesquisa RIVUS - Geomorfologia e Recursos Hídricos (UFMG) e PIAU - Grupo de Pesquisas Interdisciplinares sobre áreas úmidas (IFMG-Ouro Preto).

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, P. H. S.; GALVÃO, P. H. F.; LUCON, T. N.; FLEMING, P. M.; DOI, B.; MARQUES, T. **Vulnerabilidade intrínseca e hidrodinâmica do sistema cárstico da gruta Éden, Pains – MG.** v. 01, n. 01, Brasília: Revista Brasileira de Espeleologia, 2024, p. 187-224.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1981.

DIAS, F. S.; VELÁSQUES, L. N. M. **Hidrogeologia da bacia do rio São Miguel, municípios de Pains e Arcos-MG.** São Paulo: Águas Subterrâneas, 2002, 20p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.** Rio de Janeiro, 1979, 83p.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. **Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 13, n. 2, 2012, p. 103–11.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR A. P. **Classes hidrogeomorfológicas de áreas úmidas em minas gerais.** v. 21, nº 2, São Paulo: Revista Brasileira de Geomorfologia, 2020, p. 313-327.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WIT-TMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALT-CHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. **Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection.** Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2014

KUCHENBECKER, M. **Folha Luz - SE.23-Y-D-V, escala 1:100.000.** Belo Horizonte: UFMG/Codemig, 2011.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (org.). **Hidrogeomorfologia – formas, processos e registros sedimentares fluviais.** Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1 ed., 2020. 417 p.



MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. **Disponibilidades hídricas na província cárstica de arcos-pains-doresópolis, alto são francisco, minas gerais, brasil.** Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, n. 16, p. 1-19, maio 2002.

MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. **Wetlands.** 4. ed. [s. L.]: John Wiley & Sons, 2007.

OLIVEIRA, D. A. **“Wetland” como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o Cerrado e o Semiárido Mineiro: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros - MG.** 2021. 418 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2021.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; LIMA, A. C. P. **Caracterização e dinâmica das unidades hidrogeomorfológicas do Pantanal do rio Pandeiros, Minas Gerais, Brasil.** V.15, n.1, Belo Horizonte: Revista MG. Biota, 2022, p.92-115.

PROJETO RADAM BRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais, Folhas SF.23/24.** v. 32, Rio de Janeiro, 1983. 775 p.

RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; SENRA, A. S.; VALERIANO, C. M.; TROUW, R. A. **Piumhi - SF.23-V-B-II, escala 1:100.000: nota explicativa.** Minas Gerais: UFRJ/CPRM, 2007.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. **Folha Campos Altos - SE.23-Y-D-IV, escala 1:100.000.** Belo Horizonte: UFMG/Codemig, 2011.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** Mc Graw-Hill, São Paulo, 1975, 181p.