ISSN 2675-3359
Revista Mineira de Recursos Hídricos
v. 7, 2026
RMRH
Instituto Mineiro de Gestão das Águas - rmrh.igam.mg.gov.br

DOI: http:// 10.59824/rmrh.v7.366

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE DE DEMANDAS E CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Geotechnology integration for assessing water demands and use conflicts in river basins

Diego Rodrigues Macedo[1*]

Arthur Philipe Oliveira Andrade[2]

RESUMO

Esta nota técnica apresenta uma metodologia geoespacial para estimar demandas hídricas e avaliar potenciais conflitos pelo uso da água, utilizando a bacia hidrográfica da Usina Hidrelétrica (UHE) de Furnas, Minas Gerais como exemplo. O método integra dados de uso e ocupação do solo, estatísticas populacionais, pecuária, irrigação e registros de outorga, processados em plataformas *open-source*. As demandas foram estimadas para abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação, em cenários regular e extremo. Foram aplicados dois indicadores: (i) o Índice de Conflito pelo Uso da Água (ICG), baseado em outorgas e vazão $Q_{7,10}$; e (ii) o Índice de Conflito Estimado (ICE), que utiliza estimativas de demanda e Q_{95}. A análise espacial (Índice de Moran Global e Local) identificou padrões e áreas críticas. A metodologia mostrou-se útil e replicável para subsidiar a gestão integrada, prevenir conflitos e orientar políticas públicas de segurança hídrica.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos; Análise espacial; Sistemas de Informações Geográficas; Outorga de uso da água; Furnas.

ABSTRACT

This technical note presents a geospatial methodology for estimating water demands and assessing potential water-use conflicts, using the Furnas Hydroelectric Power Plant (HPP) basin in Minas Gerais, Brazil, as case study. The proposed approach integrates land use and

[1]Doutorado em Ecologia - Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestrado e bacharelado em Geografia pela UFMG. Professor Adjunto do Departamento de Geografia e dos Programas de Pós-Graduação em Geografia e Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da UFMG. – e-mail: diegorm@ufmg.br. *Autor correspondente

[2]Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – e-mail: arthurphilipeao@gmail.com

(cc) BY-NC

land cover data, demographic statistics, livestock data, irrigation information, and water-use permit records, processed using open-source platforms. Water demands were estimated for domestic supply, livestock watering, and irrigation under both normal and extreme scenarios. Two indicators were applied: (i) the Water Use Conflict Index (ICG), based on permitted withdrawals and the Q7,10 low-flow statistic; and (ii) the Estimated Conflict Index (ICE), which incorporates demand estimates and Q95 flow conditions. Spatial analysis, based on Global and Local Moran's I, was conducted to identify spatial patterns and critical hotspots of potential conflict. The results demonstrate that the proposed methodology is both effective and replicable, providing a robust framework to support integrated water resources management, anticipate conflicts, and inform public policies aimed at enhancing water security.

Keywords: *Water resources management; Spatial analysis; Geographic Information Systems; Water-use permits; Furnas.*

Data de submissão: 25/08/2025

Data de aprovação: 08/05/2026

1 INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos recursos hídricos é um desafio crescente, marcado pela necessidade de conciliar demandas múltiplas e assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para populações humanas, ecossistemas e atividades econômicas (ANA, 2019). Em bacias hidrográficas com reservatórios para geração de energia, como a Usina Hidrelétrica (UHE) de Furnas, Minas Gerais, o uso da água envolve interesses diversos – geração de energia, abastecimento público, irrigação, dessedentação animal e atividades industriais – que podem gerar pressões sobre a disponibilidade hídrica e potenciais conflitos (Brasil, 1997; Minas Gerais, 2019).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/97, prevê a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos como instrumento de planejamento e ordenamento (Brasil, 1997). No entanto, é comum a utilização da água para diversos fins – desde consumo próprio até irrigação – sem o devido registro, o que pode ocasionar situações de escassez e conflito pelo uso da água. Nessas circunstâncias, torna-se necessária a intervenção do poder público, como, por exemplo, a Declaração de Área de Conflito (DAC), instrumento de gestão aplicado em cenários de indisponibilidade hídrica. A DAC possibilita a alocação

(cc) BY-NC

negociada dos recursos por meio de outorgas coletivas e favorece o planejamento das demandas futuras, contribuindo para mitigar disputas e otimizar o uso da água (Minas Gerais, 2019).

O uso de geotecnologias e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado uma ferramenta eficaz para integrar dados hidrológicos, socioeconômicos e espaciais, permitindo estimar demandas, identificar padrões de uso e avaliar conflitos (Macedo; Lima, 2022). Além disso, de acordo com Anselin *et al.* (1995) e Manzione *et al*. (2023), a integração com métodos de análise espacial e geoestatística possibilita a identificação de padrões de dependência espacial e a inferência de processos territoriais subjacentes, ampliando a capacidade analítica desses instrumentos no contexto da gestão de recursos hídricos (Pruski *et al*., 2014). Uma limitação frequente é que dados estatísticos utilizam, como unidade de levantamento e divulgação, limites administrativos que raramente coincidem com os limites naturais das bacias hidrográficas (Macedo; Magalhães Jr., 2011). Para contornar essa incompatibilidade, é necessário empregar estratégias analíticas, como a proporcionalidade de área inserida na bacia, a fim de aproximar dados estatísticos à realidade hidrológica (Saporito *et al*., 2007). A análise espacial desses dados possibilita não apenas compreender a distribuição das demandas, mas também identificar padrões de agrupamento, priorizar áreas para intervenção e apoiar ações de planejamento voltadas à melhoria da segurança hídrica.

Neste contexto, esta nota técnica apresenta uma metodologia geoespacial para estimativa de demandas hídricas e avaliação de conflitos pelo uso da água, utilizando a bacia hidrográfica da UHE Furnas como estudo de caso. O objetivo é demonstrar a aplicabilidade do método e seu potencial de replicação para subsidiar a gestão integrada de recursos hídricos.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo abrange toda a bacia hidrográfica da Usina Hidrelétrica (UHE) de Furnas, localizada em Minas Gerais, Brasil, e utiliza como unidades de análise as *ottobacias* definidas pelo Índice de Segurança Hídrica (ISH), concebido no âmbito do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) para retratar diferentes dimensões da segurança hídrica no território brasileiro (ANA, 2019).

(cc) BY-NC

2.2 Levantamento e tratamento de dados

Foram utilizadas bases de dados geoespaciais de livre acesso, processadas em plataformas *open-source*, organizadas em duas etapas principais: (i) levantamento e padronização das bases de dados e (ii) processamento e integração espacial em ambiente SIG. O processamento foi realizado utilizando o software ArcGIS Pro para operações espaciais (interseção, dissolução, agregação por *ottobacias* e manipulação de *raster*) e para análises estatísticas e espaciais, com destaque para a extensão *Spatial Analyst*, empregada no cálculo dos índices de autocorrelação espacial.

As principais bases de dados compreenderam:

a) **dados populacionais:** obtidos da Grade Estatística, a partir do Censo Demográfico 2010, permitindo estimar a população urbana e rural em células de 200 × 200 m e 1 × 1 km, respectivamente (IBGE, 2025, 2022);

b) **uso e ocupação do solo:** mapeados pelo projeto MapBiomas, servindo como base para estimar áreas de pastagem e uso agrícola (MapBiomas (2024);

c) **dados de pecuária:** oriundos da Pesquisa da Pecuária Municipal, com valores médios de rebanho para 2020-2022 (IBGE, 2024b);

d) **estabelecimentos agropecuários:** obtidos do cadastro de endereços do Censo Demográfico 2022 (IBGE, 2024a);

e) **áreas irrigadas:** obtidas de publicações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021);

f) **registros de outorga:** extraídos do IDE-SISEMA, abrangendo captações superficiais e subterrâneas, incluindo usos insignificantes (Sistema Estadual de Meio e Recursos Hídricos - Sisema, 2024).

Para compatibilizar os dados estatísticos com os limites das bacias hidrográficas, foi adotada a redistribuição espacial proporcional com base na área de interseção entre unidades administrativas e *ottobacias*, conforme abordagem amplamente utilizada na literatura (Liu; Martinez, 2019).

(cc) BY-NC

2.3 Estimativa das demandas hídricas

2.3.1 Demanda legal – Outorgas e usos insignificantes

A outorga é o instrumento legal que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos, sem transferir a propriedade da água (IGAM, 2010). Neste estudo, o somatório das vazões outorgadas foi calculado por *ottobacia*, considerando todos os registros vigentes na área de drenagem da UHE Furnas.

2.3.2 Abastecimento humano

A demanda foi estimada utilizando consumos *per capita* definidos pela Semad (2010): 180 L/hab·dia para população urbana e 120 L/hab·dia para população rural (TABELA 1). A população foi obtida a partir da Grade Estatística, agregando valores por *ottobacia*.

Tabela 1 – Consumo per capita de água para abastecimento humano

Usuário	**Consumo *per capita***
População rural	120 L / hab x dia
População urbana	180 L / hab x dia

Fonte: MINAS GERAIS (2010)

2.3.3 Pecuária

O consumo de água para dessedentação animal seguiu os valores médios recomendados por Palhares (2013) e compatíveis com a literatura (Christofidis, 1999; Rebouças *et al*., 2006) (TABELA 2). A distribuição espacial do rebanho foi ajustada proporcionalmente à cobertura de pastagem (grande porte) e ao número de estabelecimentos agropecuários (médio e pequeno porte), utilizando os dados do Mapbiomas (2024) e IBGE (2024a), respectivamente.

(cc) BY-NC

Tabela 2 – Consumo de água para dessedentação de animais

Animais	Consumo
Grande porte (bovinos, bubalinos, equinos)	50 litros / dia
Médio porte (suínos, caprinos, ovinos)	15 litros / dia
Pequeno porte (galináceos, codornas)	0,30 litros / dia

Fonte: PALHARES (2013)

2.3.4 Irrigação e produção agrícola

A demanda de água para irrigação foi estimada em dois cenários: regular (0,4 L/s·ha) e extremo (1,0 L/s·ha), conforme valores de referência da ANA (2003) (TABELA 3). As áreas irrigadas municipais foram redistribuídas para as *ottobacias* proporcionalmente à área agrícola mapeada (ANA, 2021).

Tabela 3 – Consumo de água para irrigação

Cenário	Consumo por dia
Cenário de consumo regular	0,4 L/s x ha
Cenário de consumo extremo	1,0 L/s x ha

Fonte: ANA (2003)

2.4 Avaliação de conflitos pelo uso da água

2.4.1 Índice de Conflito pelo Uso da Água (ICG)

Baseado na metodologia de Moreira *et al*. (2012), o ICG mensura se as vazões outorgadas a montante de um segmento fluvial estão dentro do limite legal estabelecido pela Portaria IGAM nº 48/2019, que determina que o volume máximo outorgável seja 50% da vazão de referência $Q_{7,10}$ (IGAM, 2019):

(cc) BY-NC

$$ICG = \frac{Q_{out}}{XQ_{7,10}}$$

Onde:

Q_{out} = vazão total outorgada a montante da unidade analisada (m³/s);

X = fração máxima passível de outorga (0,5 conforme a legislação);

$Q_{7,10}$ = vazão mínima de referência com permanência de 7 dias e recorrência de 10 anos (m³/s).

Interpretação:

0≤ICG≤1= situação dentro dos limites legais;

ICG>1= volume outorgado superior ao permitido.

2.4.2 Índice de Conflito Estimado (ICE)

Proposto neste estudo, o ICE segue o mesmo princípio do ICG, mas utiliza a vazão Q_{95} como referência, por ser mais representativa para análises de disponibilidade em relação à demanda estimada, especialmente em bacias com alta variabilidade sazonal (Pruski *et al*., 2014; ANA, 2013). A Q_{95} corresponde à vazão garantida em 95% do tempo:

$$ICE = \frac{Q_{dem}}{xQ_{95}}$$

Onde:

Q_{dem} = demanda total estimada de água superficial (m³/s), desconsiderando a parcela suprida por água subterrânea;

X = fração máxima considerada segura para retirada (0,5);

Q_{95} = vazão com permanência de 95% do tempo (m³/s).

Interpretação:

0≤ICE≤1 = demanda pode ser atendida com segurança em 95% do tempo;

(cc) BY-NC

$1<ICE\leq 2$ = demanda supera 50% da Q_{95}, mas é inferior à Q_{95} total;

$ICE>2$ = demanda superior à Q_{95} disponível.

A adoção do limite de 50% da vazão Q_{95} como fração máxima considerada segura segue uma abordagem conservadora, análoga ao critério estabelecido na legislação para a $Q_{7,10}$. Essa escolha visa representar uma condição operacional de segurança hídrica, considerando a variabilidade sazonal das vazões e a necessidade de manter a disponibilidade para múltiplos usos (ANA, 2013; Pruski *et al*., 2014).

2.5 Análise espacial

A distribuição espacial das demandas hídricas, das outorgas e dos índices de conflito foi avaliada por meio de análise exploratória de dados espaciais (*Exploratory Spatial Data Analysis* – ESDA), que permite identificar padrões de dependência espacial e agrupamentos (*clusters*) estatisticamente significativos.

O Índice de Moran Global foi utilizado para medir o grau de autocorrelação espacial (Anselin, 1995; 2005). O índice varia entre -1 e +1, sendo valores positivos indicativos de autocorrelação espacial positiva (áreas semelhantes próximas entre si) e negativos de autocorrelação negativa (áreas distintas próximas). Para identificar agrupamentos locais, aplicou-se o *Indicador Local de Associação Espacial* (LISA). A análise LISA classifica as unidades em quatro padrões:

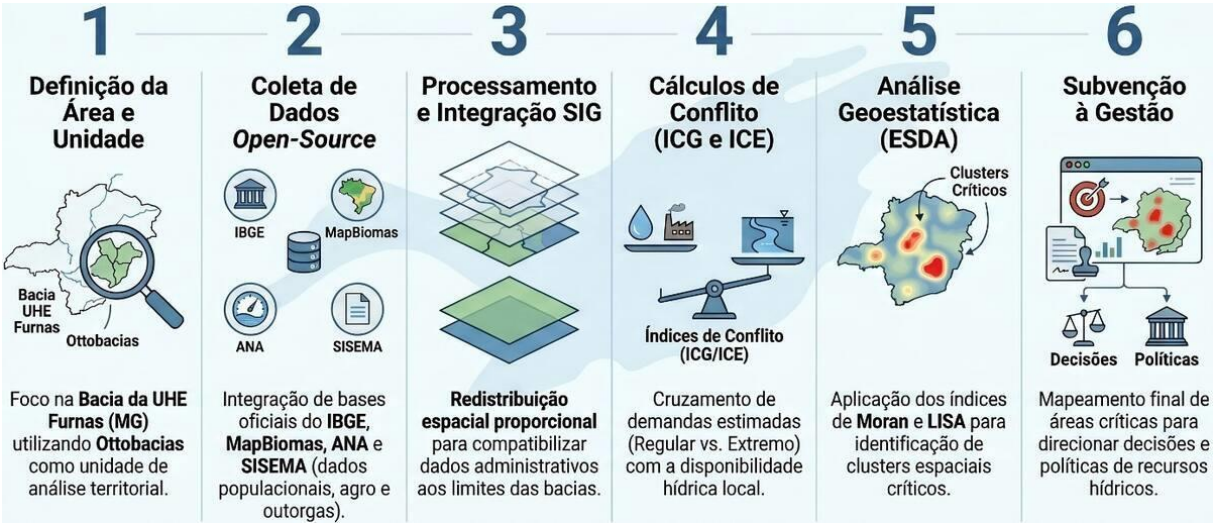
a) Alto-Alto: valores altos cercados por valores altos *(clusters)*;
b) Baixo-Baixo: valores baixos cercados por valores baixos *(clusters)*;
c) Alto-Baixo: valores altos cercados por valores baixos *(outliers)*;
d) Baixo-Alto: valores baixos cercados por valores altos *(outliers)*.

Os cálculos foram realizados com nível de significância de 95%, utilizando o ArcGIS Pro. A matriz de vizinhança foi definida com base na contiguidade espacial entre *ottobacias*, utilizando a "vizinhança da rainha" (Anselin, 1995). Esses procedimentos permitem mapear áreas com alta concentração de demanda ou conflito e regiões com baixa pressão hídrica, fundamentais para priorização de ações de gestão. Esse tipo de análise pode ser

(cc) BY-NC

desenvolvido em diferentes plataformas, como GeoDa, R (pacotes *spdep* e *sf*), Python (biblioteca *pysal*) e ArcGIS Pro, que oferecem recursos para o cálculo do Índice de Moran e LISA e a geração dos respectivos mapas de agrupamento *(clusters)*, garantindo a reprodutibilidade da análise e a comparabilidade dos resultados em diferentes áreas de estudo (FIGURA 1).

Figura 1 – Metodologia de análise de conflitos hídricos



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

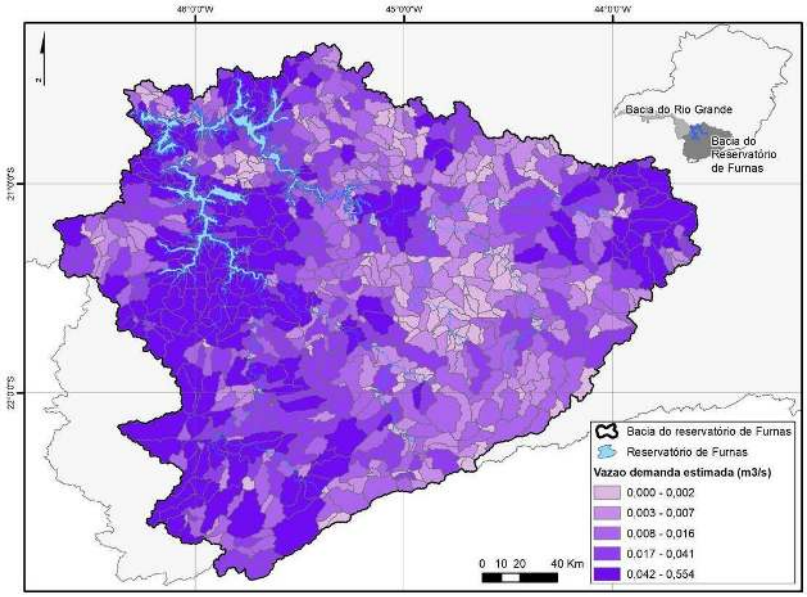
3 RESULTADOS

3.1 Demanda hídrica estimada

A aplicação da metodologia permitiu estimar a vazão necessária para suprir as demandas por água na bacia da UHE Furnas (MAPA 1). Os valores variaram entre 0 e 0,554 m³/s, com maiores concentrações próximas ao braço do rio Sapucaí. A análise de agrupamentos espaciais (LISA) identificou dois *clusters* principais: próximo à UHE Furnas, com altas demandas cercadas por altas demandas, e próximo ao braço do rio Grande, com baixas demandas (I-Moran = 0,38; $p < 0,001$) (MAPA 2).

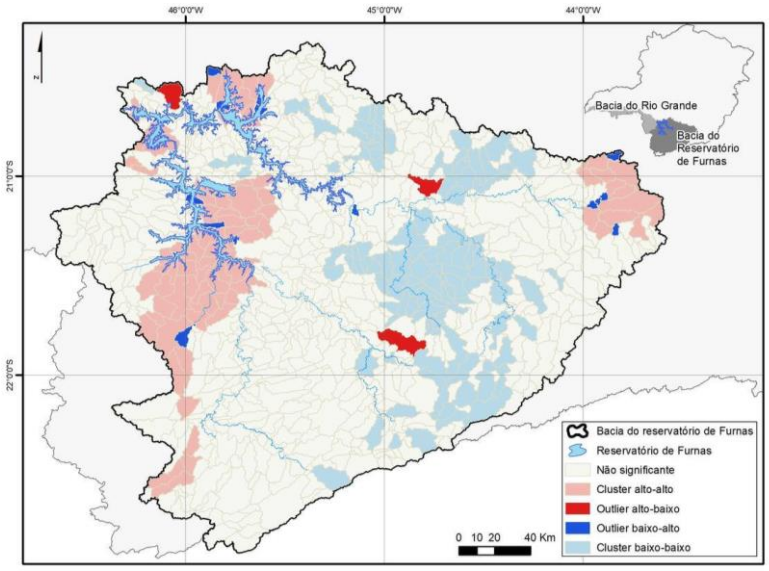
(cc) BY-NC

Mapa 1 – Vazão estimada segundo as demandas mapeadas por *ottobacia* na bacia da UHE Furnas



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Mapa 2 – Agrupamento espacial (LISA) da demanda hídrica estimada por *ottobacia*



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

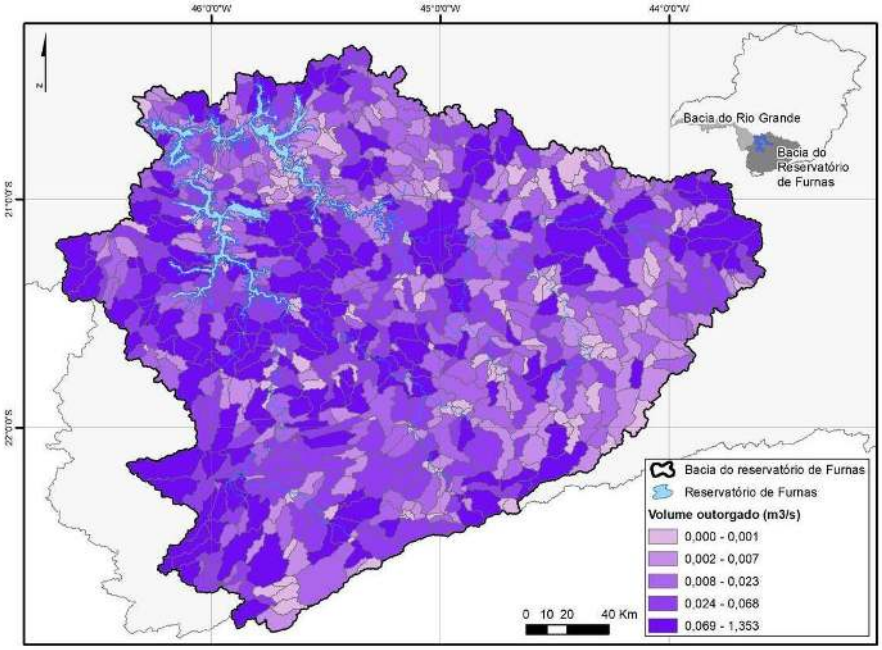
3.2 Demanda legal – Outorgas

O volume total de água outorgada apresentou distribuição espacial heterogênea (MAPA 3). Poucos *clusters* significativos foram observados (I-Moran = 0,073; $p < 0,005$),

(cc) BY-NC

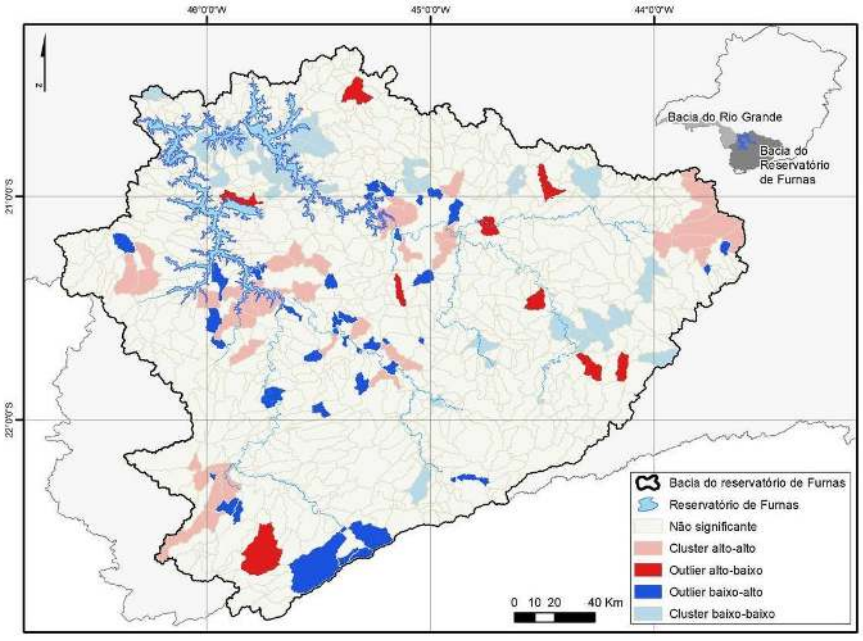
concentrando altos volumes outorgados no braço do rio Sapucaí e baixos volumes em outras áreas (MAPA 4).

Mapa 3 – Volume total de água outorgada por *ottobacia*



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Mapa 4 – Agrupamento espacial (LISA) do volume de água outorgada



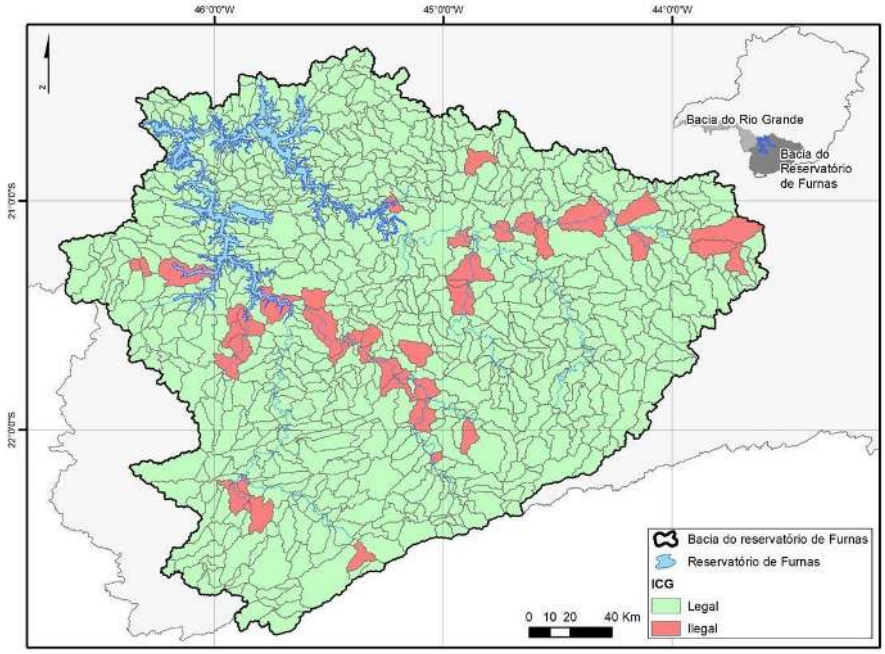
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

(cc) BY-NC

3.3 Índice de Conflito pelo Uso da Água (ICG)

A maior parte das *ottobacias* apresentou valores de ICG dentro do limite legal (ICG≤1), indicando conformidade com a Portaria IGAM nº 48/2019 (IGAM, 2019). Unidades acima do limite concentraram-se nos principais afluentes (Sapucaí e rio das Mortes) (MAPA 5). Os agrupamentos espaciais foram pouco significativos (I-Moran = 0,06; $p < 0,015$), com *clusters* restritos a trechos isolados (MAPA 6).

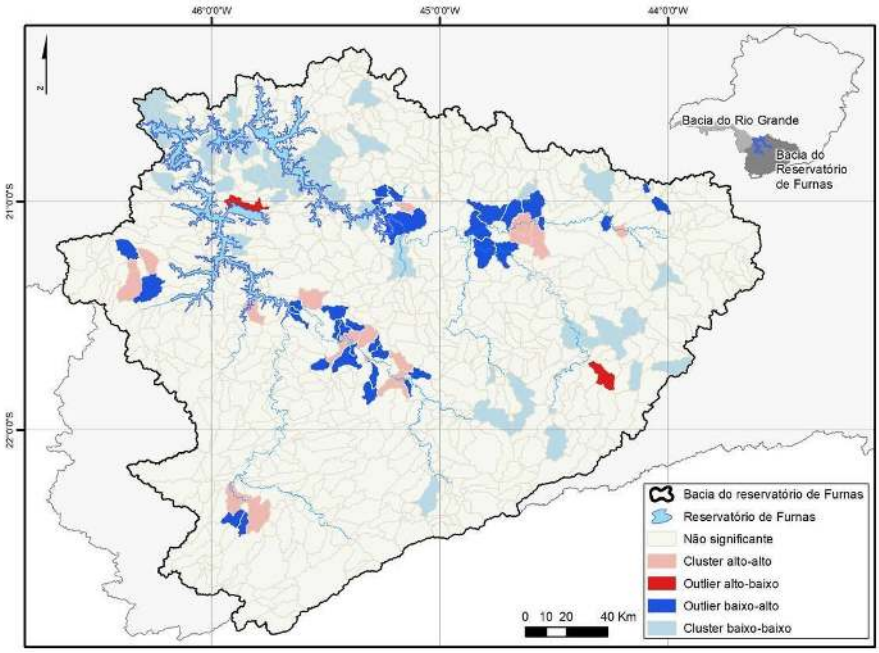
Mapa 5 – Espacialização do ICG na bacia da UHE Furnas



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

(cc) BY-NC

Mapa 6 – Agrupamento espacial (LISA) do ICG



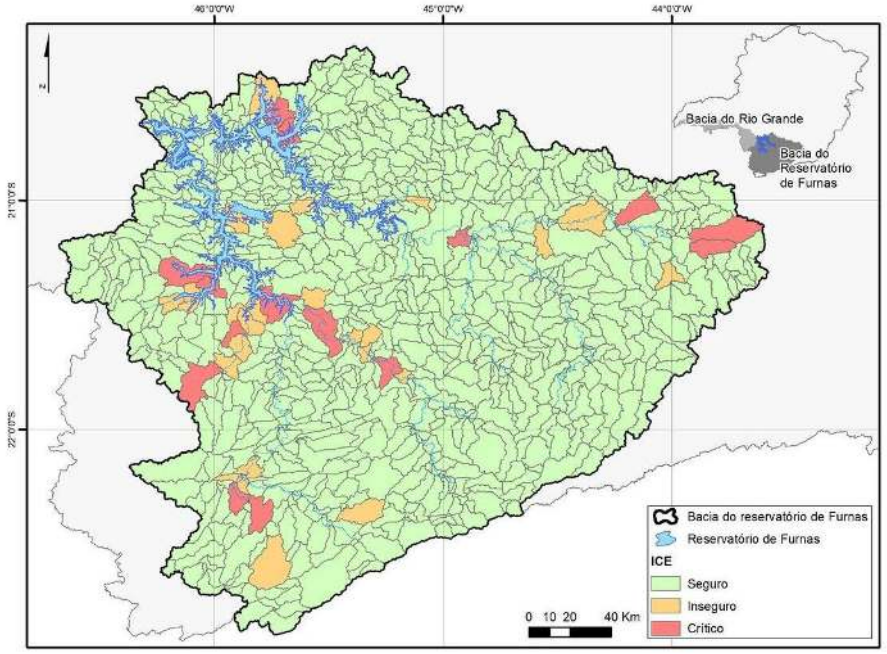
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

3.4 Índice de Conflito Estimado (ICE)

No cenário regular, a demanda estimada pôde ser atendida em 95% do tempo (ICE≤1) na maior parte das unidades, com exceções em áreas próximas ao reservatório (MAPA 7). *Clusters* do tipo Alto-Alto ocorreram nas margens do lago, enquanto áreas de Baixo-Baixo predominaram nos trechos mais afastados (MAPA 8). No cenário de irrigação extrema (1,0 L/s·ha), observa-se um aumento significativo das demandas hídricas, com ampliação das áreas classificadas em níveis mais elevados de conflito pelo ICE. Esse cenário evidencia a sensibilidade do sistema hídrico a incrementos na demanda agrícola, especialmente em regiões já sujeitas a pressões antrópicas, sendo útil como ferramenta de análise de risco e planejamento em condições de escassez.

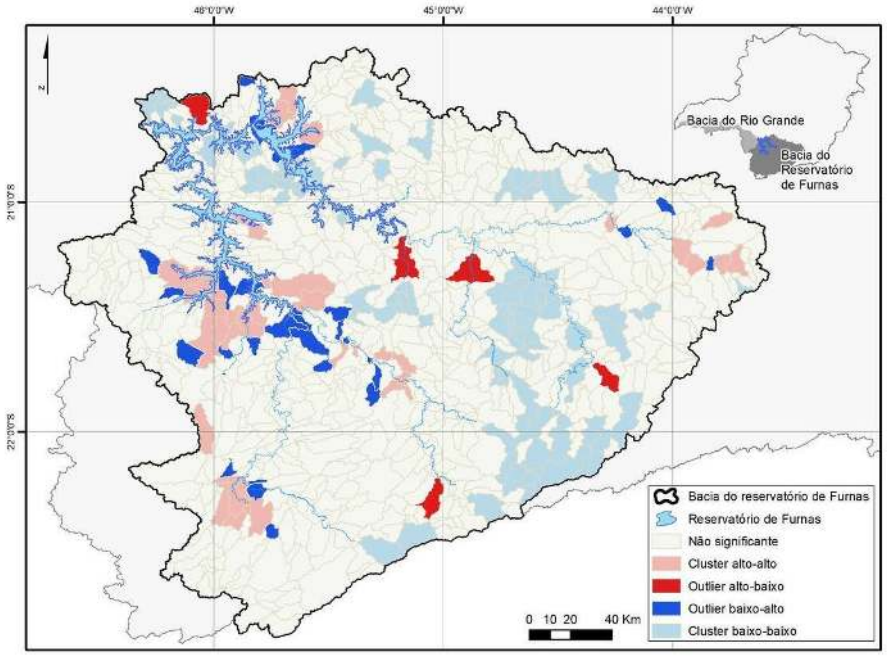
(cc) BY-NC

Mapa 7 – Espacialização do ICE na bacia da UHE Furnas



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Mapa 8 – Agrupamento espacial (LISA) do ICE



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

(cc) BY-NC

3.5 Aplicabilidade e recomendações

A metodologia apresentada demonstra elevado potencial de aplicação em diferentes contextos de gestão de recursos hídricos. O uso de dados geoespaciais de livre acesso e processamento em plataformas *open-source* garante baixo custo operacional e ampla replicabilidade.

Entre as principais aplicações destacam-se:

a) diagnóstico rápido das demandas hídricas em bacias hidrográficas, mesmo quando há lacunas de cadastro de usuários.

b) identificação de áreas críticas para intervenção, considerando tanto demandas legalmente outorgadas quanto demandas estimadas.

c) subsídio à fiscalização por órgãos gestores, orientando ações prioritárias de controle e regularização.

d) planejamento preventivo frente a cenários de escassez hídrica, auxiliando na definição de critérios para outorga coletiva ou alocação negociada de água.

Recomenda-se que, ao replicar a metodologia em outras bacias, sejam ajustados:

e) parâmetros de consumo *per capita* e setorial conforme características locais.

f) fontes de dados e resoluções espaciais disponíveis.

g) vazões de referência ($Q_{7,10}$ e Q_{95}) compatíveis com a legislação vigente e a hidrologia da região.

A integração da análise espacial (Moran e LISA) com indicadores de conflito amplia a capacidade de priorização das ações de gestão, favorecendo uma abordagem proativa para a segurança hídrica.

(cc) BY-NC

3.5.1 Limitações do estudo

Apesar da robustez metodológica, algumas limitações devem ser consideradas. A utilização de dados censitários implica possíveis defasagens temporais, o que pode não refletir integralmente dinâmicas recentes de crescimento populacional, expansão urbana ou mudanças no uso do solo, demandando a atualização periódica dos dados geoespaciais e censitários. Além disso, o índice ICE considera exclusivamente as demandas sobre as águas superficiais, desconsiderando a contribuição das águas subterrâneas. Essa simplificação pode resultar em uma superestimação do nível de pressão hídrica em determinadas regiões, especialmente aquelas com uso significativo de água subterrânea. Adicionalmente, as estimativas de irrigação baseiam-se em parâmetros médios, que podem variar conforme o tipo de cultura, o manejo e as condições climáticas locais.

4 CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia geoespacial na bacia da UHE Furnas demonstrou que a integração de dados socioeconômicos, ambientais e hidrológicos em ambiente SIG é uma ferramenta eficaz para estimar demandas hídricas e avaliar potenciais conflitos pelo uso da água. Os resultados indicaram que, embora a maioria das unidades de análise esteja dentro dos parâmetros legais de outorga, existem áreas específicas, especialmente próximas aos grandes afluentes e margens do reservatório, que apresentam maior vulnerabilidade e demandam atenção prioritária. O uso de indicadores como o ICG e o ICE, aliados à análise espacial via Moran e LISA, proporcionou uma visão detalhada da distribuição das demandas e da conformidade legal, permitindo a identificação de *clusters* críticos. A abordagem é potencialmente replicável e de baixo custo, e pode apoiar ações de planejamento, fiscalização e alocação preventiva de recursos hídricos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e para a promoção da segurança hídrica em diferentes bacias hidrográficas.

(cc) BY-NC

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Nota técnica 007/2003/SPR: Memorial descritivo do cálculo da demanda de irrigação. *In*: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Plano Nacional de Recursos Hídricos**: documento base de referência: minuta. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2013. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/manual-de-outorga.pdf. Acesso em: 27 maio 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, 2021. Disponível em: https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao/. Acesso em: 27 maio 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2019. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf. Acesso em: 24 maio 2023.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, New Jersey, Columbus, v. 27, p. 93-115, 1995. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x. Acesso em: 27 maio 2026.

ANSELIN, L. **Exploring spatial data with GeoDaTM**: a workbook. Urbana, Caracas: University of Illinois, 2005. Disponível em: https://geodacenter.github.io/docs/geodaworkbook.pdf. Acesso em: 27 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 27 maio 2026.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos e irrigação no Brasil. *In*: WORKSHOP DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO NO NORDESTE, 1999, Brasília. **Anais** [...] Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 1999. 34 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 27 maio 2026.

(cc) BY-NC

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Grade estatística do Censo 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/38252-grade-estatistica-de-dados-ambientais.html?edicao=45500&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 27 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cadastro nacional de endereços para fins estatísticos do censo 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html. Acesso em: 27 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da pecuária municipal 2020-2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html. Acesso em: 27 maio 2026.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Igam, 2010. Disponível em: http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/864. Acesso em: 27 maio 2026.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Portaria IGAM nº 48, de 4 de setembro de 2019**. Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. 2019. Disponível em: https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719. Acesso em: 27 maio 2026.

LIU, X. H.; MARTINEZ, A. Areal interpolation using parcel and census data in highly developed urban environments. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, Basel, v. 8, p. 302, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/ijgi8070302. Disponível em: https://www.mdpi.com/2220-9964/8/7/302. Acesso em: 27 maio 2026.

MACEDO, D. R.; LIMA, L. S. Geotecnologias e recursos hídricos. *In*: MAGALHÃES JR, A. P.; LOPES, F. W. (org.). **Recursos hídricos**: as águas na interface sociedade-natureza. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 221-240.

MACEDO, D. R.; MAGALHÃES JR, A. P. Percepção social no programa de restauração de cursos d'água urbanos em Belo Horizonte. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, p. 51-63, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000100005. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sn/a/WCLd9Xd4Lb9hS5frP6bTQZf/?lang=pt. Acesso em: 27 maio 2026.

MANZIONE, R. L. Detection of spatial and temporal precipitation patterns using remotely sensed data in the Paranapanema River Basin, Brazil from 2000 to 2021. **Discov Water**, New York, v. 3, p. 11, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s43832-023-00035-z. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s43832-023-00035-z. Acesso em: 27 maio 2026.

(cc) BY-NC

MAPBIOMAS. ***Projeto MapBiomas* – Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil em 2023**. 2024. Disponível em: https://mapbiomas.org/. Acesso em: 27 maio 2026.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019**. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49498. Acesso em: 23 maio 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **Plano Diretor das Bacias Hidrográficas dos Rios Jequitaí, Pacuí e trechos do rio São Francisco – UPGRH SF6**. Brasol Brasil Ação Solidária. Belo Horizonte: Brasol, 2010. Disponível em: http://10.47.16.18:8080/jspui/handle/123456789/672. Acesso em: 27 maio 2026.

MOREIRA, M. *et al*. Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 7–15, 2012. DOI: https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n3. Disponível em: Acesso em: https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=1130, Acesso em: 27 maio 2026.

PALHARES, J. C. P. **Consumo de água na produção animal**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/971085/consumo-de-agua-na-producao-animal. Acesso em: 27 maio 2026.

PRUSKI, F. F. *et al*. Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 496–509, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000300013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/eagri/a/VgFC7kXgk6Qd34v5PLMMmkM/?lang=en. Acesso em: 27 maio 2026.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

SAPORITO, S. *et al*. From here to there: methods of allocating data between census geography and socially meaningful areas. **Social Science Research**, Amsterdam, v. 36, p. 897-920, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2006.05.004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0049089X0600069X?via%3Dihub. Acesso em: 27 maio 2026.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais)**. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IDE-SISEMA**. Belo Horizonte, 2024. Disponível em: https://visualizador.idesisema.meioambiente.mg.gov.br/. Acesso em: 27 maio 2026.

(cc) BY-NC

AGRADECIMENTOS

Este trabalho resulta dos projetos de Pesquisa e Inovação “IBI UHE Furnas & UFMG”, desenvolvido, coordenado e gerenciado pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com recursos da Axia Energia, e “Identificação de áreas potenciais de usos irregulares de recursos hídricos em bacias hidrográficas no Alto São Francisco” (APQ-00261-22), financiado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa à DRM e de bolsa de iniciação científica e tecnológica à APOA.

(cc) BY-NC