

## **Alterações em hidrossistemas periurbanos em Juiz de Fora – MG: interpretações geológicas**

*Rogério Rodrigues de Barros<sup>1</sup>  
Miguel Fernandes Felipe<sup>2</sup>*

### **RESUMO**

Hidrossistemas como nascentes, áreas úmidas e cursos d'água estão inter-relacionados através de trocas de matéria e energia advindos de fluxos longitudinais, laterais e verticais, que atuam na distribuição temporal e espacial de águas. Estas trocas estabelecem uma relação de conectividade com a paisagem, a partir de diversos elementos e fatores ambientais. No entanto, rápidas alterações em zonas periurbanas colocam em risco a integridade e a dinâmica desses hidrossistemas ao transformar as formas de uso e cobertura da terra. Este trabalho propõe uma análise integrada dos hidrossistemas presentes no alto curso da bacia do córrego São Mateus, em Juiz de Fora – MG. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com visitas de campo para validação das informações, o estudo visa compreender as características geológicas de nascentes, áreas úmidas e cursos d'água em zona de expansão urbana, assim como as alterações nesses hidrossistemas no recorte temporal de 2005 a 2023. Os resultados mostram que os efeitos da expansão urbana resultaram em alterações na dinâmica de processos e formas dos hidrossistemas locais, afetando a conectividade entre os elementos da paisagem e, portanto, a homeostase sistêmica.

**Palavras-Chave:** nascentes, áreas úmidas, conectividade, geoprocessamento, geologia.

### **CAMBIOS EN LOS HIDROSISTEMAS PERIURBANOS EN JUIZ DE FORA – MG: INTERPRETACIONES GEOECOLÓGICAS**

### **RESUMEN**

Los hidrosistemas como nascentes, humedales y cursos de agua están interrelacionados mediante intercambios de materia y energía que surgen de flujos longitudinales, laterales y verticales, que actúan sobre la distribución temporal y espacial del agua. Estos intercambios establecen una relación de conectividad con el paisaje, basada en diversos elementos y factores ambientales. Sin embargo, los rápidos cambios en las áreas periurbanas ponen en riesgo la integridad y la dinámica de estos hidrosistemas al transformar las formas de uso y cobertura del suelo. Este trabajo propone un análisis integrado de los hidrosistemas presentes en el tramo superior de la cuenca del arroyo São Mateus, en Juiz de Fora – MG. Utilizando técnicas de teledetección y geoprosesamiento, con visitas de campo para validar las informaciones, el estudio pretende comprender las características geológicas de nascentes, humedales y cursos de agua en zonas de expansión urbana, así como los cambios en estos hidrosistemas en el horizonte temporal de 2005 a 2023. Los resultados muestran que los efectos de la expansión urbana resultaron en cambios en la dinámica de los procesos y formas de los hidrosistemas locales, afectando la conectividad entre los elementos del paisaje y, por tanto, la homeostasis sistémica.

**Palabras Clave:** nascentes, humedales, conectividade, geoprosesamiento, geologia.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Juiz de Fora, Brasil. E-mail: rbarros14@outlook.com;

<sup>2</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Juiz de Fora, Brasil. E-mail: miguel.felippe@ich.ufjf.br

## Introdução

Nos últimos anos, a conectividade e o continuum geomorfológico vem sendo considerados conceitos chaves na compreensão da dinâmica das paisagens (FRYIRS, 2013; WOHL *et al.*, 2017). A concepção de sistemas abertos ganha novas roupagens com a introdução desses conceitos que buscam dialogar com a Complexidade (RIHCARDS, 2002) para compreender o efeito em cadeia de alterações nas formas, processos e materiais no âmbito da Antropogeomorfologia. Em zonas de cabeceira de drenagem, espera-se um continuum de transferência de matéria e energia que configurem as transformações paulatinas de sistemas como nascentes, para cursos fluviais de ordem hierarquicamente progressiva, como ditam os manuais geomorfológicos clássicos (CHRISTOFOLETTI, 1980, SUMMERFIELD, 1981; BARMUTA *et al.*, 2009). Porém, é a partir da compreensão da (des)conectividade desses sistemas que se conhece a diversidade dos hidrossistemas em uma determinada escala espaço-temporal (FRYIRS, 2013).

A ação humana sobre o relevo e seus processos intrínsecos leva a outra abordagem em relação à conectividade dos hidrossistemas. Ao distorcer as trocas de matéria e energia do sistema-ambiente, os seres humanos criam novas (des)conectividades capazes de alterar de modo severo o comportamento geomorfológico da paisagem. Historicamente, isso é conhecido e datado em consonância com os modos de produção e de vida de cada sociedade. Na contemporaneidade, entretanto, a urbanização emerge com um altíssimo potencial morfogenético, caracterizando como um dos processos exemplares da Antropogeomorfologia (BAVARD, PETTS, 1996; GREGORY, 2006; GOUDIE, 2022).

Partindo-se das complexas inter-relações entre os hidrossistemas e a estrutura vertical e horizontal da paisagem, a Geoecologia permite uma leitura profícua de como diferentes fluxos têm sua dinâmica alterada pela ação humana. Nascentes, áreas úmidas, cursos d'água e lagos podem ser vistos como hidrossistemas relacionados intrinsecamente dentro de uma determinada unidade de paisagem. A conectividade entre os elementos que os compõem é realizada mediante fluxos tridimensionais (longitudinais, laterais e verticais) de matéria, biota e energia, cuja integridade e funcionamento está associada à interação dinâmica entre processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos (PIÉGAY, SCHUMM, 2007).

Desse modo, ao se reconhecer a paisagem, assim como a inter-relação entre suas formas, materiais e processos, a partir de uma concepção sistêmica, questões socioeconômicas, hidrogeomorfológicas e ecológicas são clarificadas. Sob esse paradigma, hidrossistemas podem ser estudados a partir da análise integrada da conectividade entre seus elementos no tempo e no espaço (PIÉGAY, SCHUMM, 2007).

No entanto, tal análise não pode se restringir apenas a esses fatores. É fundamental ponderar sobre as ações humanas em processos hidrogeomorfológicos. Elementos naturais são incorporados a elementos sociais e antro-po-culturais e interagem de forma intrínseca e indissociável para formar o espaço terrestre onde as sociedades humanas vão se assentar (RODRIGUEZ, SILVA, CAVALCANTI, 2017).

Principalmente a partir da segunda metade do século XX, o padrão de ocupação habitacional brasileiro migra do meio rural para o meio urbano, incorporando um grande contingente de pessoas ao perímetro urbano, acrescentando novas áreas, ampliando a mancha edificada e parcelando áreas ocupadas e/ou não ocupadas (JAPIASSÚ, LINS, 2014). Esse processo acarreta na transformação e expansão do espaço urbano, se fazendo notar nas formas e processos intrínsecos à dinâmica das paisagens, que são remodeladas sob nova força motriz que contrai a escala têmporo-espacial da geomorfologia (PEREZ FILHO, QUARESMA, 2011).

Diante desse contexto, as águas vêm sendo fortemente afetadas, tendo sua dinâmica e qualidade completamente modificadas. Até o início do século XVI, havia uma relação associativa entre as populações e os cursos d'água no Brasil, em que o rio era provedor, mas também dotado de sacralidade, o que permitia uma relativa harmonia. Do século XVII ao XX, a relação da sociedade com os rios foi marcada pelos paradigmas da apropriação, em um primeiro momento, e, em seguida, da tecnificação. Nessas fases, a água passou a ser vista como matéria-prima para os ciclos econômicos que se sucederam no Brasil, marcando uma relação utilitarista que levou (já na fase de tecnificação) à desestruturação da rede fluvial, com barramentos, desvios, adutoras, transposições etc. A “domesticação” dos rios descaracterizou o sistema fluvial, degradando a qualidade das águas e, muitas vezes, obliterando os rios da paisagem. Na virada do milênio, porém, um novo paradigma ganha força com a emergente preocupação em relação à sustentabilidade das águas. Os rios passam a ser pauta constante no debate ambiental, ainda que a visão utilitarista permaneça, inclusive, permeando instrumentos do Estado para garantir a conservação dos rios (MARÇAL *et al.*, 2022).

Os efeitos da urbanização em sistemas hídricos resultam principalmente da apropriação privada dos recursos naturais e do aumento da densidade demográfica e de construções. Tais fatores intensificam a demanda e o uso dos recursos hídricos, além de impermeabilizar o solo, retirar a cobertura vegetal original, retificar canais fluviais e modificar a profundidade de seu leito e de suas vazões. Assim, são alteradas as dinâmicas de processos hidrogeomorfológicos, diminuindo a infiltração da água em subsuperfície e aumentando as taxas de escoamento superficial e de erosão, modificando os fluxos hidráulicos e a dispersão de sedimentos (FELIPPE, MAGALHÃES JÚNIOR, 2009; GOUDIE, 2018).

Como uma típica cidade média do Sudeste brasileiro, Juiz de Fora (MG) foi palco de um processo de expansão urbana que remete a essas características. O êxodo das áreas centrais para regiões mais periféricas ocorreu por parte de população de baixa renda, construindo moradias por conta própria e de maneira irregular em alguns casos, mas também por grupos mais abastados, de classes média-alta, procurando um refúgio bucólico em condomínios fechados periurbanos.

Mesmo que por motivos diferentes, tais dinâmicas ocupacionais trazem consigo fortes implicações sociais e ambientais. O recorte espacial referente à bacia do córrego São Mateus, mais especificamente o seu alto curso, situada em uma área periurbana ao sul do município de Juiz de Fora – MG, se enquadra no segundo caso supramencionado, onde predominam loteamentos de classe média e condomínios horizontais de alto poder aquisitivo.

As implicações socioambientais nos sistemas fluviais que se mantêm “vivos” são diversas, afetando principalmente a qualidade de suas águas. Entre impactos diretos, destaca-se além do desmatamento, a ausência ou ineficácia de saneamento básico, destinando efluentes diretamente para córregos e canais fluviais. Indiretamente, o aumento da circulação de veículos e poluição do ar podem alterar a qualidade das águas, já que a água proveniente da precipitação é degradada e entra em contato com os recursos hídricos posteriormente (ALVES, 2010).

O município, e conseqüentemente a referida bacia hidrográfica, encontram-se sob o domínio morfoclimático dos Mares de Morros, com vertentes extensas e declivosas e uma rede de drenagem perene durante o ano todo, com estações climáticas bem definidas, com verões quentes e úmidos e invernos secos e frios (AB’SABER, 2003). Tais condições possibilitam a formação de solos mais espessos e bem desenvolvidos, com uma rede hidrográfica subsuperficial abundante, onde processos hidrogeomorfológicos de infiltração e exfiltração denotam na ocorrência de um grande número de nascentes, áreas úmidas e lagos.

As transformações na paisagem dentro desse recorte espacial, nos últimos 20 anos, são notórias, em uma zona periurbana que se vê como “alvo” da expansão urbana da cidade, com a

construção de agrupamentos residenciais e condomínios próximos às áreas de nascentes, áreas úmidas e canais fluviais de primeira ordem que deságuam no curso d'água principal da bacia hidrográfica.

Portanto, este estudo tem como objetivo descrever as alterações geoecológicas dos hidrossistemas e sua conectividade com a paisagem no recorte espacial sob ação das transformações de uso e cobertura da terra ocorridas no íterim estudado (2005-2023). Ademais, busca-se caracterizar as nascentes, áreas úmidas, lagos e cursos d'água a partir de seus aspectos fisiográficos gerais e das pressões humanas associadas a geotecnogênese do relevo.

## **Materiais e Métodos**

Inicialmente partiu-se de uma revisão bibliográfica para compreender o processo de expansão urbana em cidades médias, como Juiz de Fora (MG), e como as consequências desse processo implicam em danos ambientais em áreas periurbanas, alterando as formas e a dinâmica de sistemas fluviais.

Para identificação dos hidrossistemas, como nascentes, áreas úmidas, lagos e canais de primeira ordem, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, tendo como base a utilização de imagens de satélite provenientes do software Google Earth Pro. Foram utilizadas imagens de 2005 e 2023, sendo o ano de 2005 escolhido devido a disponibilidade de imagens de boa qualidade para se fazer as análises necessárias.

Por meio da identificação de padrões de *pixels* que se assemelham a uma coloração cinza-esverdeada, além da presença de uma vegetação ciliar para margens de cursos d'água, foram encontrados os ambientes úmidos, possibilitando a delimitação dos hidrossistemas dentro do recorte espacial escolhido, com a elaboração de polígonos nas feições geomorfológicas encontradas (GRENFELL *et al.*, 2006; PANIZZA, FONSECA, 2011).

Para validar os dados obtidos via gabinete, foram realizadas visitas de campo através de uma estrada de terra que passa próxima aos hidrossistemas mapeados, possibilitando compreender suas características geoecológicas, dinâmica e funcionamento a partir da análise integrada da paisagem. Destaca-se que foram realizadas duas visitas de campo para a obtenção de registros e interpretação da paisagem, uma em 2021 e outra em 2023. Cabe ressaltar que as condições geoecológicas da margem oeste do córrego e da área de estudo permaneceram similares.

A elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra contou com a utilização de dados da plataforma *MapBiomias*. Foram feitos dois mapas, um referente ao ano de 2005, e outro de 2022, já que os dados de 2023 ainda não foram disponibilizados pela plataforma. Com dados referentes ao município de Juiz de Fora – MG, fez-se o recorte para a delimitação da bacia hidrográfica do Córrego São Mateus.

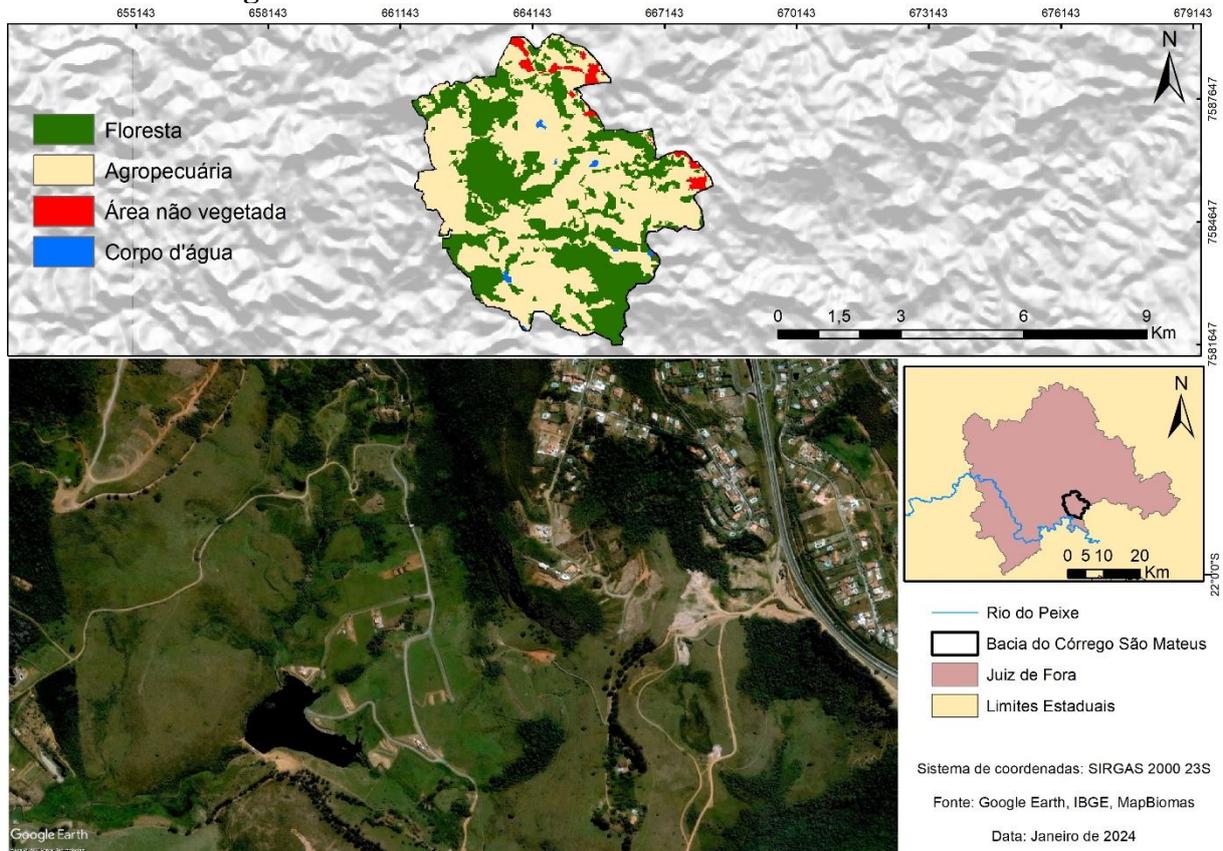
As visitas de campo foram realizadas no alto curso da bacia, em uma zona periurbana onde a expansão urbana se faz crescente nos últimos anos, com o surgimento de novas residências em condomínios fechados. A presença de estradas e a possibilidade de locomoção entre áreas mais antropizadas para menos antropizadas, possibilitou a verificação *in loco* da ocorrência de alguns hidrossistemas e a sua integração com a paisagem.

## **Resultados e Discussões**

As alterações realizadas dentro do recorte espacial escolhido são significativas em um intervalo de 18 anos, com diferenças nítidas ao comparar imagens de satélite entre de 2005 e

2023 no quadrante delimitado dentro da bacia (Figuras 1 e 2). Percebe-se que em 2005 havia algumas construções residenciais esparsas dentro da área, enquanto em 2023 a área antropizada por residências aumentou de 2,2 % para 3,6%, com a construção de condomínios fechados. Não obstante, deve-se considerar que residências esparsas não são alcançadas pela escala do mapeamento de uso e cobertura, ainda que possam ser vistas na imagem de alta resolução, o que amplifica esse aumento percentual. Tal constatação não é desimportante, a partir do momento que há toda uma infraestrutura necessária para acomodação da população residente e transeunte, mesmo que em loteamentos de baixa densidade construtiva (com lotes acima dos 1.000 m<sup>2</sup>, como é o caso do estudo).

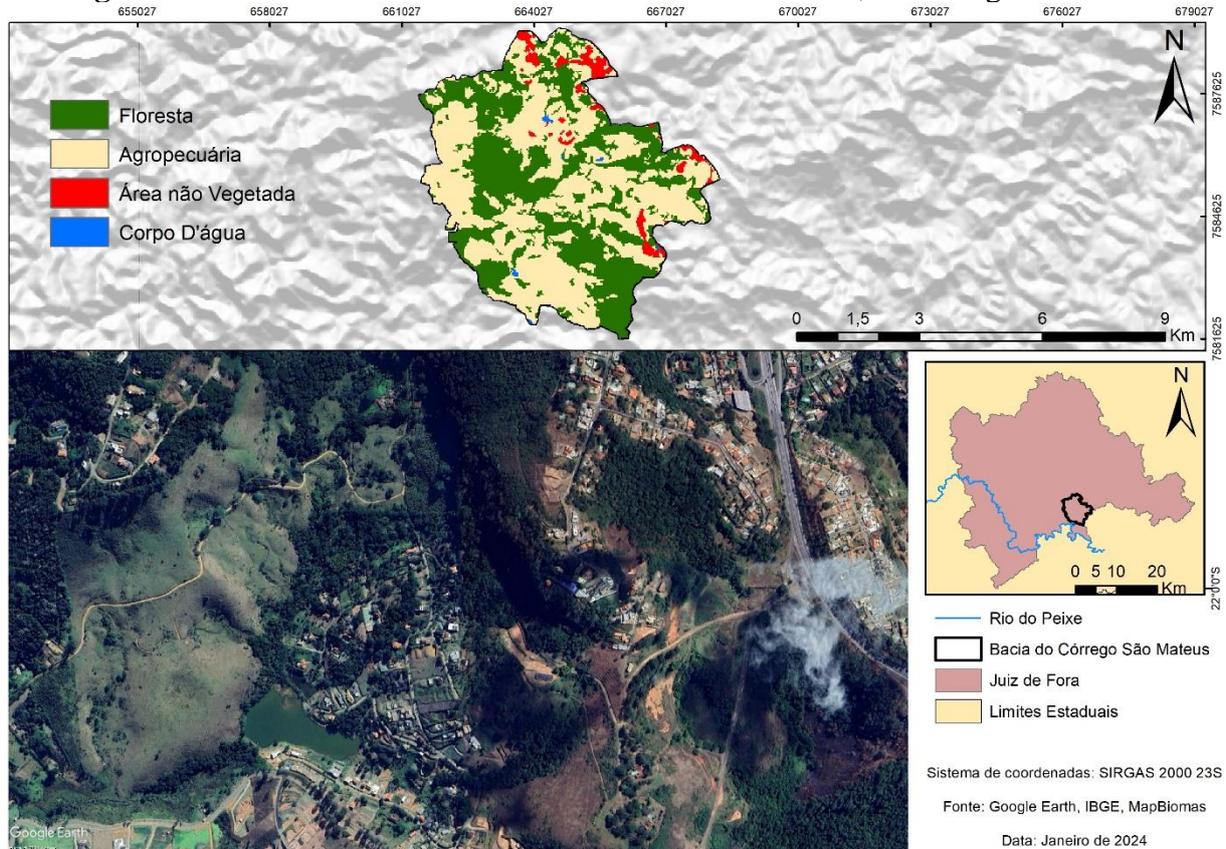
**Figura 1.** Uso e cobertura da terra da área de estudo em 2005.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando as classes preponderantes de uso e cobertura da terra, há um claro destaque para a “Agropecuária”, com 58,8% em 2005 e 53,5% em 2022 (Tabela 1). No contexto da área de estudo, essa classe refere-se à pastagem de baixo rendimento, prioritariamente ocupada por *Brachiaria sp.* com manejo de baixa tecnologia. Não são raras as vertentes marcadas por terracetes, sulcos erosivos e manchas de erosão laminar. Mesmo em áreas loteadas, predominam pastagens devido ao uso que havia antes do loteamento.

**Figura 2.** Uso e cobertura da terra da área de estudo em 2022, com imagens de 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 1:** Percentuais de classes de uso e cobertura da terra da área de estudo

Classes	2005 (km <sup>2</sup> )	2005 (%)	2022 (km <sup>2</sup> )	2022 (%)
Floresta	11,6 km <sup>2</sup>	38,6%	12,8 km <sup>2</sup>	42,6%
Agropecuária	17,7 km <sup>2</sup>	58,8%	16,1 km <sup>2</sup>	53,5%
Área não vegetada	0,7 km <sup>2</sup>	2,2%	1,1 km <sup>2</sup>	3,6%
Corpo d'água	0,1 km <sup>2</sup>	0,4%	0,1 km <sup>2</sup>	0,3%
Total	30,1 km <sup>2</sup>	100%	30,1 km <sup>2</sup>	100%

Fonte: Elaborado pelos autores.

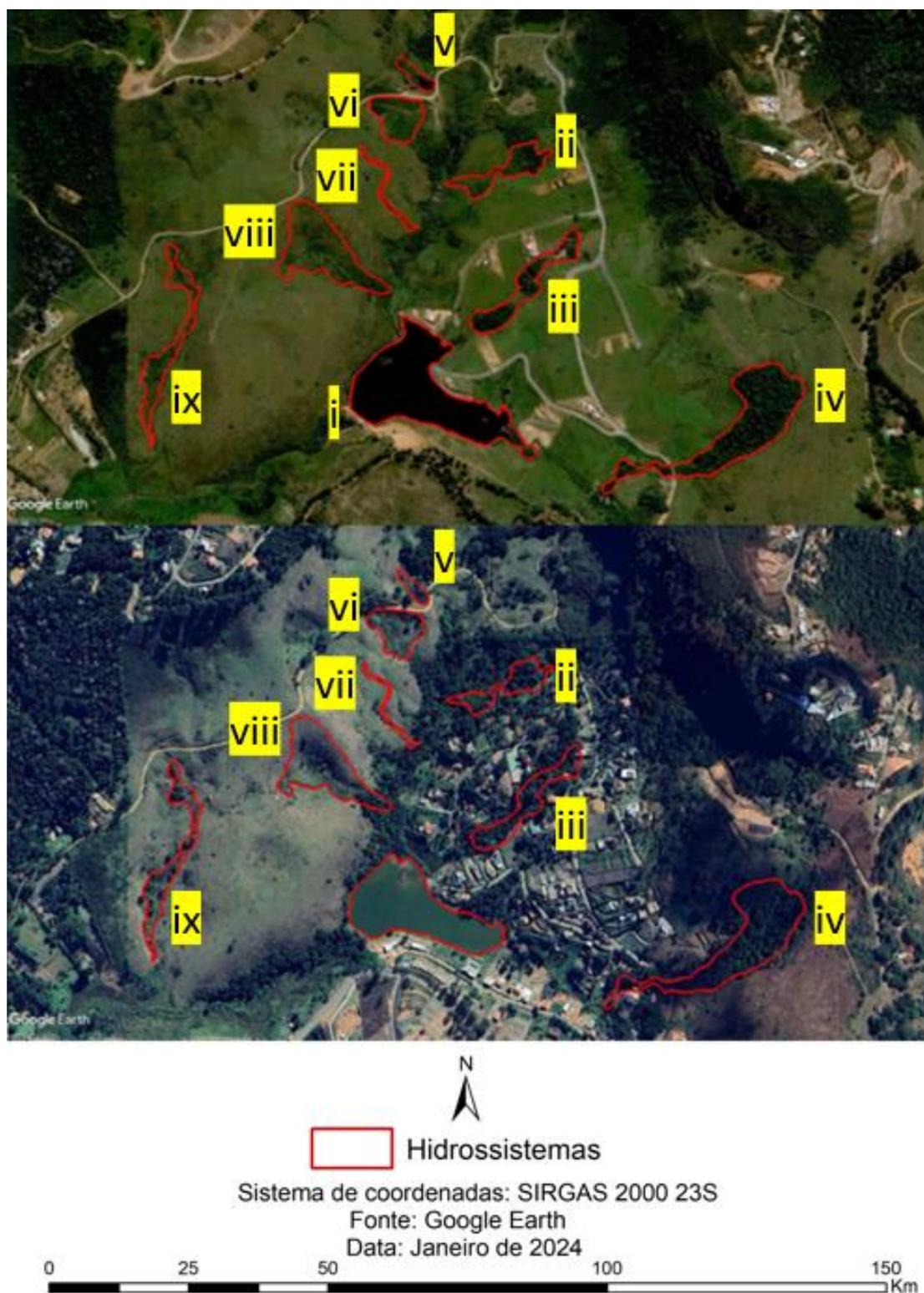
Assim como as áreas urbanizadas, pastagens (sobretudo quando em manejo inadequado), são responsáveis pela aceleração dos processos hidrológicos superficiais e pela inibição da infiltração e, conseqüentemente, da fase subterrânea do ciclo hidrológico. Isso afeta diretamente os fluxos pela estrutura horizontal da paisagem, tendendo à aceleração de processos erosivos e conseqüentemente, aumento da deposição sedimentar em zonas acumuladoras. Os fluxos verticais também são afetados, ressaltando a sazonalidade climática devido à menor retenção de água no sistema.

Por outro lado, os mapeamentos demonstram um acréscimo de área de cobertura florestal no íterim estudado (de 38,62% para 42,77%) Esse processo está ligado, sobretudo, a exigências normativas de APP e reserva legal para abertura de loteamentos, o que obriga os empreendedores a delimitar zonas de conservação. Porém, não houve estímulo direto ao reflorestamento, de modo que a classe “Floresta” na área é caracterizada por pequenos fragmentos desconexos de recomposição espontânea de vegetação lenhosa, com predomínio de heliófitas e grande participação de exóticas. Há também por ação humana a incorporação de frutíferas diversas de porte arbóreo. As manchas mais contínuas são resquícios pretéritos de florestas mais maduras, porém, com severo efeito de borda. Ainda nessas, a vegetação não é original, com grande presença de exóticas e traços ainda dos cultivos de café do século XIX (elevado número de indivíduos de *Coffea sp.*).

A presença de hidrossistemas em propriedades particulares é uma ocorrência comum em áreas periurbanas. Soma-se à necessidade legal de sua proteção o seu uso para captação e uso próprio por parte dos proprietários dos terrenos, justificando o cuidado adotado para manter essas áreas minimamente estáveis e conservadas.

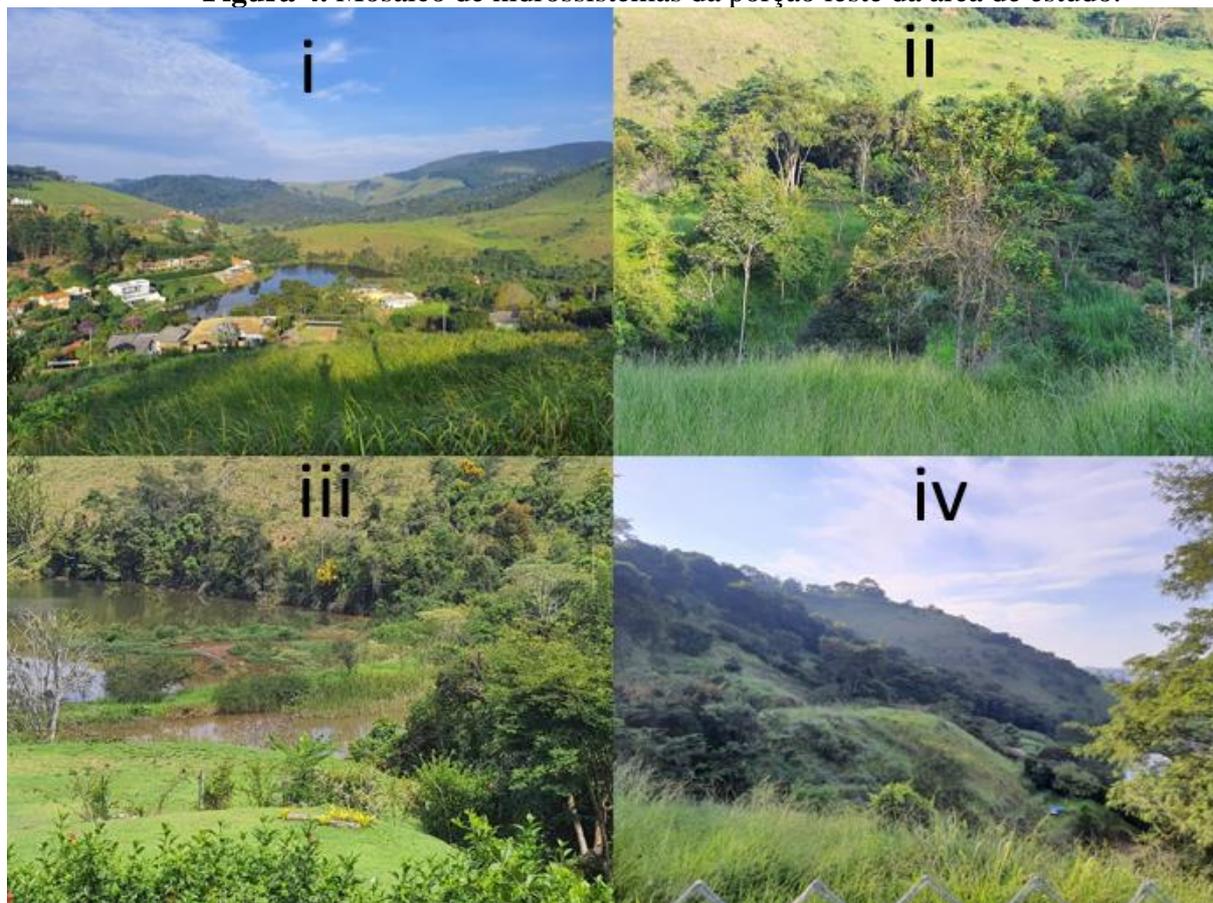
Dentro dessa porção onde o adensamento urbano se consolidou de forma mais intensa, foram escolhidos quatro hidrossistemas possíveis de serem interpretados (Figura 3): i) um lago artificial que coleta boa parte da drenagem superficial da área; ii) área úmida em vale pouco incidido, conectado à drenagem principal; iii) hidrossistema nascentes-canal-área úmida desconectada da drenagem principal; e iv) hidrossistema nascente-canal de primeira ordem, conectado à drenagem principal (Figura 4).

**Figura 3.** Hidrossistemas em 2005 e em 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores com imagens de Google Earth.

**Figura 4.** Mosaico de hidrossistemas da porção leste da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com as imagens de 2005, mapeou-se tais hidrossistemas a partir das nascentes, seguindo até a confluência com o curso d'água (Figura 5). Em campo, foi possível constatar que apesar do fragmento de vegetação circundante a essas áreas ter sido mantido de forma relativamente estável, intervenções pontuais e as mudanças de cobertura da terra na bacia de contribuição geraram efeitos nos hidrossistemas.

**Figura 5.** Mosaico de imagens orbitais dos hidrossistemas da porção leste da área de estudo nos períodos estudados (2005 à esquerda e 2023 à direita).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O hidrossistema i foi estudado em detalhe, por se configurar como um importante nível de base para o relevo local. Via sensoriamento remoto, foi realizada a comparação entre a área do lago central em 2005 e 2022. Embora tenha mantido sua funcionalidade e parte da sua morfologia, ao realizar o polígono do espelho d'água dentro do software Google Earth, foi possível perceber uma redução na área total do lago de 32.768 m<sup>2</sup> para 25.429 m<sup>2</sup>. Uma perda de 7.339 m<sup>2</sup>, o equivalente a aproximadamente 22% do tamanho original.

O volume de água em superfície foi alterado, evidente na diminuição do volume no espelho d'água referente ao lago. Embora tenha havido o aumento da cobertura florestal circundante, a impermeabilização da superfície, aliadas à movimentação de terra para construção civil e ao lançamento de efluentes resultaram na alteração da dinâmica hidrológica e dos processos geomorfológicos. Como consequência, os fluxos de sedimentos em direção ao sistema fluvial foram intensificados. Ao longo dos afluentes, isso pode significar trechos de desconexão pelo assoreamento; para o lago, isso significa o acúmulo de sedimento dos remansos e diminuição do espelho d'água, sobretudo nas confluências com os tributários.

O hidrossistema ii foi completamente descaracterizado. Apesar de ainda existir uma pequena área úmida no local, sucessivos aterros para planificação dos lotes circundantes afetaram profundamente a funcionalidade do sistema. Como consequência, não há mais conexão superficial com o curso d'água coletor e o encharcamento do solo só ocorre nos períodos de chuva, com baixa estagnação. Por outro lado, o aporte de sedimentos em direção à zona côncava é constante, indicando um possível desaparecimento por completo da área úmida em um futuro próximo.

O hidrossistema iii apesar de também estar sofrendo com assoreamento, manteve sua integridade funcional. A nascente recuou alguns metros, e continua existindo de modo intermitente. Ela forma um continuum com um canal de leito rochoso que se prolonga até as proximidades do remanso do lago principal. Nesse ponto, a conectividade foi interrompida pela infra-estrutura residencial, tendo sido necessário criar um dreno para ligar o canal natural à área úmida do remanso do lago. Este dreno, porém, só é ativo no período de chuva, quando o escoamento superficial das vertentes se soma ao escoamento fluvial.

**Figura 6.** Mosaico de hidrossistemas da margem oeste

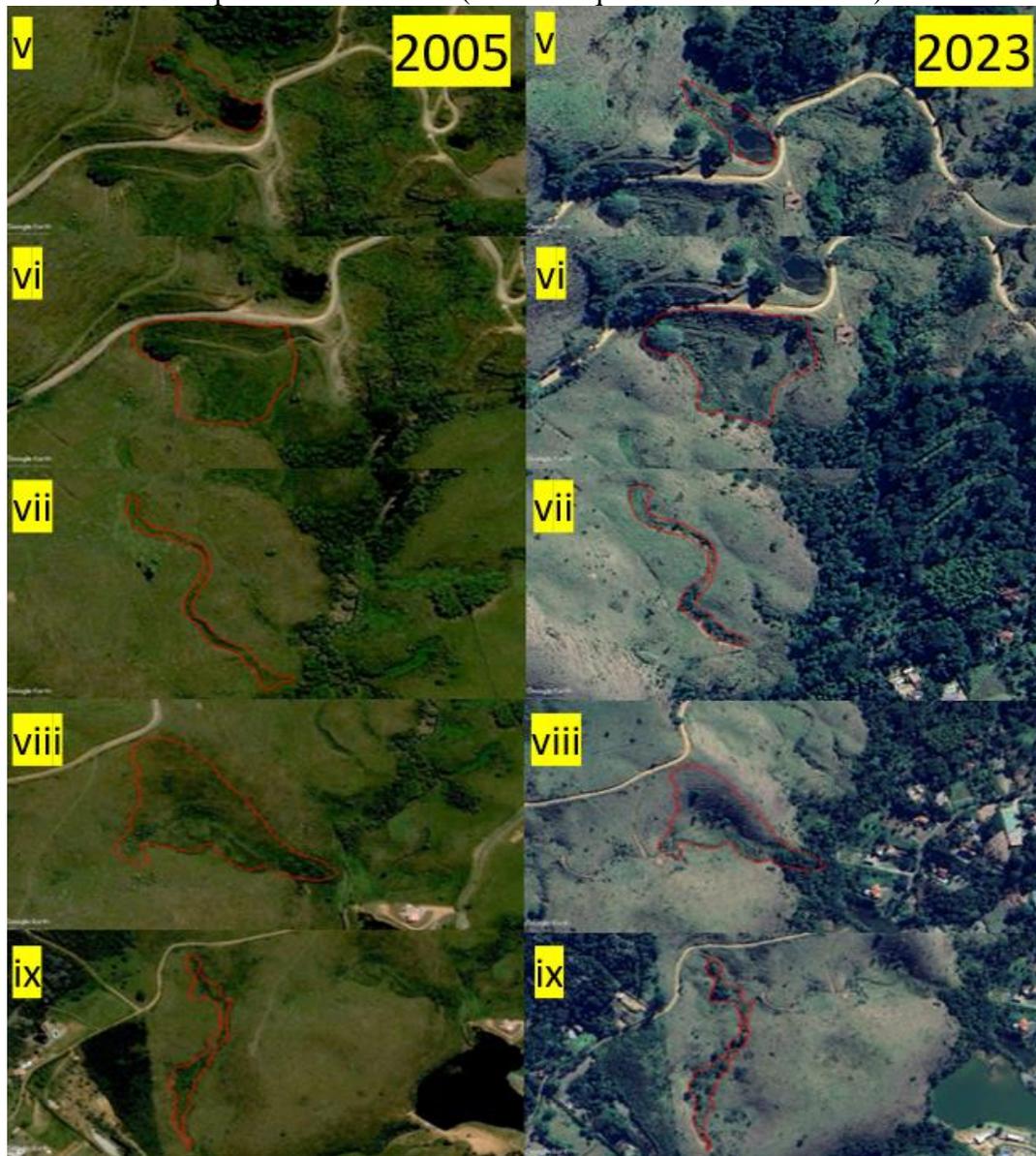


Fonte: Elaborado pelos autores.

O hidrossistema iv manteve-se com poucas alterações, apesar de também denotar excessiva recepção de sedimentos das vertentes. Sua nascente é funcional, perene e de grande volume. Seu curso de primeira ordem teve sua morfologia alterada por artificializações na confluência com o coletor, mas ainda assim é eficiente na drenagem de água e sedimentos.

Na porção oeste do quadrante, foram avaliados hidrossistemas que se mantiveram sob pressão de pastagem para cultivo extensivo de gado em todo o período avaliado (Figura 6): v) hidrossistema nascentes helocrena-área úmida, com desembocadura em canal de primeira ordem; vi) hidrossistema nascente-área úmida em depressão alongada (vale embrejado); vii) área úmida em vale encaixado (vale embrejado); viii) hidrossistema nascente-área úmida-canal de primeira ordem (lótico); ix) hidrossistema nascente-área úmida em vale embrejado (Figura 7).

**Figura 7.** Mosaico de imagens orbitais dos hidrossistemas da porção oeste da área de estudo nos períodos estudados (2005 à esquerda e 2023 à direita).



Fonte: Elaborado pelos autores.

A fisiografia desses hidrossistemas permaneceu com poucas alterações, embora sua dinâmica tenha sido afetada pela abertura de estradas e pelo uso dos sistemas helocrenos como fonte para dessedentação de gado. In loco, pode-se verificar o aumento da densidade da cobertura de lenhosas na porção terminal dos hidrossistemas. O núcleo dos hidrossistemas é recoberto por vegetação higrófitas, predominantemente taboa (*Typha domingensis*), com ocorrência de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*).

A conectividade entre nascentes, cursos d'água, lagos e áreas úmidas se apresenta descontínua com a presença de estradas, fragmentando hidrossistemas à montante e jusante dessas construções, visível através da presença de solos encharcados em ambos os lados da estrada, mesmo em dias secos.

O hidrossistema v constitui-se em uma área úmida de depressão, com hidromorfismo aparente, possuindo um espelho d'água e vegetação adaptada em seu entorno, com presença abundante de taboas. Tem-se como hipótese que essa área úmida é alimentada por águas superficiais que correm nas vertentes acima, provavelmente por cursos d'água efêmeros, já que a mudança de vegetação à montante indica a ocorrência de um fluxo concentrado de água em uma direção preferencial nas épocas de cheias.

O hidrossistema vi corresponde a uma área úmida de depressão, circundada por duas estradas, em uma morfologia que se assemelha à um fundo de vale, onde o escoamento das duas vertentes faz com que os fluxos superficiais se concentrem nas áreas de concavidade. A presença de vegetação higrófitas e pastagem indica a saturação do solo e formação de uma vegetação adaptada às condições locais. O ponto C mostra uma nascente reocrenas relativamente próxima à estrada, circundada por capoeira e uma árvore seca. A nascente gera um curso d'água, provavelmente intermitente, que alimenta a área úmida à jusante, sendo assim partes de um mesmo hidrossistema conectado em alta e média vertente.

O hidrossistema vii está em média vertente, sendo possível apenas identificar um padrão de vegetação em meia-lua, com presença de lírios-do-brejo, indicando a adaptação da vegetação em uma porção da vertente onde as águas das vertentes próximas se acumulam em um nível de base local. Por estar consolidando um nível de base local, a área úmida provavelmente se mantém encharcada em épocas mais secas devido à exfiltração de águas subsuperficiais.

O hidrossistema viii também é referente à uma área de depressão com vegetação adaptada, onde as águas que escoam das vertentes se acumulam. Um caminho preferencial para o escoamento da drenagem margeia essa área úmida, indicando que fluxos longitudinais que escoam nessa ravina também podem ser uma fonte de alimentação de água em épocas de cheia.

O hidrossistema ix consiste em um ambiente lótico com vegetação arbórea de dossel fechado, com áreas encharcadas que se fazem presentes ao redor de uma nascente helocrena, que nas épocas de cheia provavelmente geram fluxos à jusante e se conectam à rede de drenagem local.

Como tentativa de síntese, o Quadro 1 apresenta as principais constatações acerca das modificações geoecológicas e de conectividade dos hidrossistemas estudados.

**Quadro 1.** Síntese das alterações verificadas nos hidrossistemas.

Hidrossistema	Hidroecologia	Geoecologia	Conectividade longitudinal	Conectividade lateral	Conectividade vertical
i	Limnocreno	Lago artificial em zona côncava convergente, com vegetação ripária florestal (em sucessão)	Interrompida em certos pontos de desembocadura dos canais fluviais por assoreamento; mantida em outros pontos.	Majoritariamente mantida. Nota-se o aumento da densidade da cobertura ripária.	Mantida.
ii	Helocreno	Área úmida com solo hidromórfico e vegetação degradada, sem espelho d'água aparente.	Interrompida por aterro e despejo de material de construção a montante. Não há confluência ativa com o coletor.	Alterada por construções e depósitos espólicos.	Alterada pelos depósitos espólicos nas bordas.
iii	Reocreno-Helocreno	Nascente reocrena sob material coluvial recoberta por floresta secundária, conectada a canal lótico de leito rochoso.	Conexões nascente-canal e canal-área úmida mantidas, apesar do grande aporte de sedimentos a montante, o que deslocou a zona de exfiltração alguns metros a jusante.	Majoritariamente mantida, com aumento de vegetação na APP.	Mantida, exceto na porção terminal do hidrossistema (impermeabilização do substrato).
iv	Reocreno	Nascente reocrena em forte ruptura de declive sob vegetação florestal em estágio sucessional avançado.	Majoritariamente mantida. Apesar das construções próximas, o fluxo fluvial foi garantido pela artificialização do canal.	Alterada por construções, horticultura e depósitos espólicos.	Mantida.
v	Helocreno	Nascente helocrena associada a área úmida com barramento realizado pela estrada.	Alterada pela estrada, que gera barramento do fluxo e sua concentração em uma manilha.	Mantida.	Mantida.
vi	Reocreno-Helocreno	Nascente reocrena com vegetação predominantemente de pastagem e alguns poucos indivíduos lenhosos circundantes, drenando para área úmida com vegetação higrófitas.	Mantida no período, apesar da forte influência da estrada a montante da nascente.	Mantida.	Mantida.
vii	Helocreno	Nascente helocrena com funcionalidade de área úmida em vale de fundo chato, escavado em latossolo com morfologia alongada e presença de vegetação higrófitas.	Mantida.	Mantida.	Mantida.
viii	Reocreno-Helocreno	Nascente reocrena com vegetação florestal em regeneração no entorno, conectada a área úmida com vegetação higrófitas que drena para canal fluvial lótico margeado por vegetação florestal em regeneração.	Ampliada pelo aumento da vegetação nas cabeceiras.	Ampliada pelo aumento da vegetação ripária e afastamento da pastagem das margens dos hidrossistemas.	Mantida.
ix	Reocreno-Helocreno	Nascente helocrena drenando para canal fluvial que é sequentemente interrompido por zonas brejosas de fluxo difuso, com vegetação florestal em sucessão ecológica.	Majoritariamente mantida, com alteração notável apenas nas proximidades da foz, onde há uma manilha insuficiente para drenar toda a água, gerando acúmulo a montante da estrada.	Mantida.	Mantida.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## Considerações Finais

Hidrossistemas dispostos em locais mais afetados pela expansão urbana se mostram difíceis de serem avaliadas com clareza, já que estão situadas em áreas residenciais. As imagens de satélite mostram que a cobertura vegetal se manteve conservada, respeitando o que está disposto na legislação, além de ser do interesse dos proprietários a conservação dos mesmos.

Os hidrossistemas da outra margem do vale (direita), cujo uso e cobertura da terra na forma de pastagem ainda é predominante, possuem pequena extensão, associados fundamentalmente através de uma conectividade entre nascentes, cursos d'água, áreas úmidas e lagos. Os efeitos de alterações provenientes de alterações de cunho urbano para suas áreas certamente representam um risco considerável para sua integridade. A ausência de uma vegetação arbórea robusta, aliada a terrenos encharcados em grande parte do ano, são alvos fáceis para supressão e aterramento.

Deve-se atentar, portanto, para estabelecer medidas eficientes para a proteção e conservação desses hidrossistemas. Nascentes possuem medidas de proteção mais robustas previstas pela legislação, com o estabelecimento de APP em 50 metros aos seus arredores. Em contrapartida, áreas úmidas não possuem o mesmo cuidado em sua proteção, tendo como proteção prevista por meios legais apenas aquelas declaradas como de interesse internacional.

A construção de estradas já se mostrou um elemento responsável por interrupções na conectividade entre os hidrossistemas, alterando sua dinâmica hídrica e a disposição de água e sedimentos em superfície. Intensificar as alterações nas formas de uso e cobertura nos arredores dos hidrossistemas pode acarretar em sua supressão e desaparecimento.

A regeneração florestal e o aumento da cobertura florestal não necessariamente indicam uma maior integridade aos hidrossistemas, tampouco maior conectividade entre os elementos da paisagem, mas sim uma maior complexidade e diversidade das trocas geoecológicas. A conectividade não é afetada apenas por ações imediatas ao entorno de margens de cursos d'água, nascentes, áreas úmidas e/ou lagos, mas também por influência direta e indireta de atividades que geram desconectividade ao longo de toda a paisagem, alterando fluxos de matéria e energia associados aos hidrossistemas.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. v. 1. Ateliê Editorial, 2003.
- BARMUTA, L. et al. **The importance of headwater streams**. National Water Commission: Canberra, 2009.
- BRAVARD, J. P.; PETTS, G. E. Human impacts on fluvial hydrosystems. In: **The Fluvial Hydrosystems**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. p. 242-262.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Edgard Blucher: São Paulo, 1980. 2ª ed.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte-MG. **VI Encontro Nacional Sobre Migrações, Belo Horizonte. Anais**. Belo Horizonte: ABEP, 2009.

FRYIRS, K. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30-46, 2013. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3242>

GOUDIE, A.S. **Human impact on the natural environment**. John Wiley & Sons, 2018.

GOUDIE, A. S. The impacts of humans on geomorphology. *Geological Society*, v. 58, p. 121-134, 2022. <https://doi.org/10.1144/M58-2020-24>

GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**, v. 79, n. 3, p. 172-191, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.018>

GRENFELL, M. C.; ELLERY, W. N.; PRESTON-WHYTE, R. A. Wetlands as early warning (eco) systems for water resource management. **Water SA**, v. 31, n. 4, p. 465-472, 2005. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v31i4.5137>

JAPIASSÚ, L. A. T.; LINS, R. D. B. As diferentes formas de expansão urbana. **Revista Nacional de gerenciamento de cidades**, v. 2, n. 13, 2014. <http://dx.doi.org/10.17271/231884722132014764>

MARÇAL, M.; CASTRO, A. O. C.; NUNES, R. Geomorfologia fluvial e gestão dos rios no BRASIL. In: CARVALHO JÚNIOR, O. et al. **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2021.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP Espaço e Tempo (online)**, v. 15, n. 3, p. 30-43, 2011. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74230>

PEREZ FILHO, A.; QUARESMA, C. C. Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, 2011. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v12i0.261>

PIÉGAY, H.; SCHUMM, S. A. System Approaches in Fluvial Geomorphology. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in Fluvial Geomorphology**. John Wiley & Sons: Chichester, 2007. p. 105-134.

RICHARDS, A. Complexity in physical geography. **Geography**, v. 87, n. 2, p. 99-107, 2002.

RODRIGUEZ J.M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 2017.

WOHL, E.; MAGILLIGAN, F. J.; RATHBURN, S. L. Introduction to the special issue: Connectivity in Geomorphology. **Geomorphology**, v. 277, p. 1-5, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.005>