

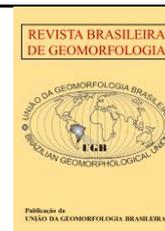


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, n° 3 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2273>



*Nota técnica*

# Articulações topográficas e conectividade dos hidrossistemas no Jardim Botânico da UFJF

## *Topographic articulations and hydrosystem connectivity at the UFJF Botanical Garden*

Rogério Rodrigues de Barros<sup>1</sup>, Larissa Rodrigues Gomes<sup>2</sup>, Miguel Fernandes Felipe<sup>3</sup>

<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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7031-3115>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, Curso de Geografia, Juiz de Fora, Brasil. E-mail: larissa.rodrigues@estudante.ufjf.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8728-1121>

<sup>3</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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0261-4298>

Recebido: 24/07/2022; Aceito: 18/07/2023; Publicado: 05/09/2023

**Resumo:** A concentração de água e sedimentos nas cabeceiras de drenagem perfaz condições ótimas para ocorrência de uma diversidade de hidrossistemas em escala local, devido à infiltração e acúmulo de água pluvial em determinados setores, e à exfiltração e escoamento superficial em outros. Porém, a conectividade entre esses hidrossistemas faz com que seja difícil compreendê-los separadamente. Nesse sentido, este trabalho tem objetivo de compreender a ocorrência e conectividade dos hidrossistemas no Jardim Botânico da UFJF, que ocupa uma área drenada por um complexo sistema flúvio-lacustre que coaduna uma expressiva densidade de nascentes e áreas úmidas. A partir de investigações de campo realizadas em pesquisas pretéritas, somadas a técnicas de geoprocessamento, foi possível constatar o controle litoestrutural da ocorrência de nascentes e áreas úmidas na área de estudo, as quais são associadas a processos hidrogeomorfológicos de baixa energia, configurando predominantemente ambientes helocrenos. Concluiu-se que os hidrossistemas helocrenos, reocrenos e limnocrenos encontrados possuem nítida conectividade entre si, porém a curvatura da vertente é um parâmetro fundamental para compreensão das disrupturas existentes.

**Palavras-chave:** Nascentes; áreas úmidas; cabeceira de drenagem; exfiltração.

**Abstract:** Water and sediments concentration in headwaters create optimal conditions for the occurrence of a diversity of hydrosystems on a local scale, due to the infiltration and accumulation of rainwater in certain sectors, and to exfiltration and surface runoff in others. However, the hydrosystems connectivity makes it difficult to understand them separately. This work aims to understand the occurrence and connectivity of the hydrosystems at the UFJF Botanical Garden, an area drained by a complex fluvial-lacustrine system that harbors an expressive density of springs and wetlands. With field investigations and geoprocessing techniques, it was possible to verify the lithostructural control of the occurrence of springs and wetlands in the study area, associated with hydrogeomorphological processes of low energy, configuring predominantly helocene environments. It was concluded that rheocrenes, helocrenes and limnocrenes hydrosystems have a clear connectivity with each other, however, the slope curvature is a fundamental parameter to comprehend the existent disruptions.

**Keywords:** Springs; wetlands; headwater; exfiltration.

---

## 1. Introdução

A conectividade é um dos princípios fundamentais para se compreender a dinâmica hidrogeomorfológica. A água (seja ela superficial ou subterrânea) cumpre o papel de relacionar espacialmente distintas unidades do sistema ambiental, seja para o intercâmbio de energia ou de matéria. Nesse contexto, os hidrossistemas se constituem pelas suas conectividades e desconectividades, como um par dialógico (WOHL et al., 2017; CADOL; WINE, 2017).

De uma forma geral, a conectividade reflete a movimentação de sedimentos e organismos no sistema geomorfológico a partir de fluxos laterais, longitudinais e verticais, conceitualmente configurando um continuum entre unidades totalmente conectadas até desconectadas em distintas escalas temporais e espaciais (WOHL, 2017).

Em outras palavras, enquanto alguns hidrossistemas caracterizam-se por diversas formas de conectividade (por exemplo, a intrínseca relação entre nascentes e canais de primeira ordem), outros só existem graças a descontinuidade, que os fazem capazes de reter matéria (por exemplo, áreas úmidas e lagos). Tendo hidrossistemas como objeto, a topografia ganha importância na compreensão da conectividade, por manifestar a energia gravitacional na dinâmica das águas superficiais. Parâmetros como a profundidade dos vales, declividade e curvatura das vertentes (convexidades e concavidades) são relevantes controles geomórficos nas conexões eco-hidrológicas (CADOL, WINE, 2017).

Cabeceiras de drenagem possuem uma complexa relação de conectividade e desconectividade entre suas unidades. Se em escala regional, há uma clara ligação (hidrológica, sedimentológica e ecológica) entre as cabeceiras e os canais fluviais à jusante, em escala local há diferentes funções ora de retenção ora de dispersão de matéria e energia no interior das cabeceiras, onde processos de vertente e fluviais se interpenetram (GOMI et al, 2002; FREEMAN et al., 2007). Em um contexto de relevo mamelonizado e de grande densidade de drenagem, com espessos mantos de alteração e sob ação de climas úmidos, as cabeceiras, tipicamente côncavas, com presença de nascentes, canais de primeira ordem e anfiteatros de acumulação sedimentar (COELHO-NETO, 2003; SILVA et al., 2006), denotam didaticamente a relevância da (des)conectividade dos hidrossistemas.

Nascentes e áreas úmidas são hidrossistemas que guardam grandes similaridades, porém, com funções distintas no sistema geomorfológico. As nascentes podem ser compreendidas como sistemas ambientais onde a água subterrânea é exposta na superfície de forma temporária ou perene, de maneira em que os fluxos subsuperficiais concentram-se em uma zona de baixo potencial hidrométrico e exfiltram em superfície (SPRINGER et al. 2008; FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2013). Áreas úmidas, por sua vez, são hidrossistemas saturados por água, encharcados de forma perene ou sazonal, sendo resultantes tanto da precipitação e escoamento superficial, como também de exfiltração do nível freático, de forma a promover a formação de solos hidromórficos e o desenvolvimento de comunidades vegetais e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica (RAMSAR, 1971; JACKSON; THOMPSON; KOLKA, 2014; JUNK; PIEDADE, 2015).

Em cabeceiras de drenagem, algumas nascentes de baixa energia formam áreas encharcadas sem gerar escoamento superficial concentrado, formando-se assim áreas brejosas, e comportando-se, portanto, como áreas úmidas (FELIPPE, 2009). Hidrogeomorfológicamente são nascentes difusas, comportando-se do ponto de vista ecológico, como ambientes helocrenos, com grande diversidade e abundância de fauna (FELIPPE, 2009; SPRINGER; STEVENS, 2009; GUIMARÃES, RODRIGUES, ALVES, 2018).

Ambos os hidrossistemas (nascentes e áreas úmidas) possuem complexidades e trocas de fluxos e energia próprias, sendo resultantes das condições climáticas, geológicas, hidrográficas, topográficas e atividades antrópicas, que influenciam na hidrodinâmica e nos processos hidrogeomorfológicos locais, como o escoamento subsuperficial, a exfiltração e a conectividade de fluxos superficiais e subsuperficiais provenientes do contato hidráulico. Além disso, possuem sua dinâmica condicionada e influenciada por elementos sociais (econômicos e culturais) dialogicamente associados à base físico-natural que os sustenta.

Portanto, a conectividade (longitudinal, vertical e lateral) aquático-terrestre presente em nascentes e áreas úmidas faz com que esses hidrossistemas sejam vistos como importantes fontes de recursos hídricos e também de grande importância ecossistêmica e ecológica, abrigando diversas espécies da fauna e da flora, fazendo com que esses sistemas sejam objeto de estudo para diversos campos da ciência (CUNHA, PIEDADE, JUNK, 2015; GUIMARÃES, RODRIGUES, ALVES, 2018).

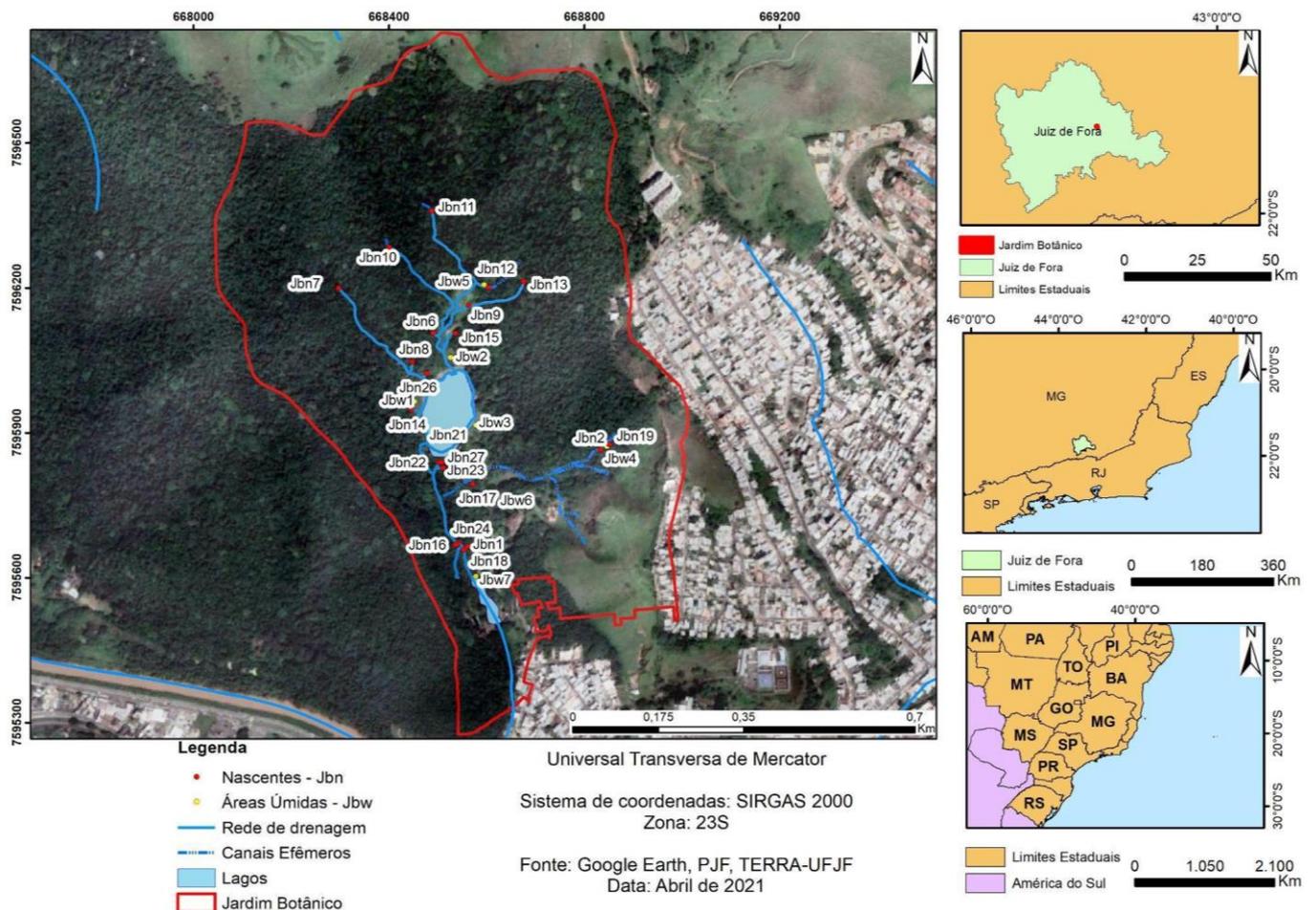
A área de estudo localiza-se no domínio dos Mares de Morro Florestados, no sudeste do estado de Minas Gerais. Por apresentar um escopo diverso de contextos geomorfológicos que atuam de formas distintas e

específicas, esse domínio acaba por compreender diferentes tipos de áreas úmidas e nascentes difusas, mais notoriamente em cabeceiras de drenagem ou ambientes de morfologias côncavas e suaves, que são propícios para a exfiltração de água de modo difuso devido ao menor gradiente dos fluxos subterrâneos nessas áreas (GOMES e MAGALHÃES JR., 2020; GUIMARÃES; FELIPPE, 2021).

Dentro dessa discussão, este trabalho tem como objetivo compreender a distribuição espacial e conectividade das nascentes e áreas úmidas no Jardim Botânico da UFJF, local que abriga diversos hidrossistemas de caráter helocreno, sendo assim de grande relevância e interesse para pesquisas focadas nesse escopo. Os objetivos específicos do trabalho consistem em: i) interpretar as influências topográficas nos processos hidrológicos de acumulação e dispersão da água; ii) identificar as conectividades existentes entre nascentes, áreas úmidas, canais fluviais e lagos no sistema fluviolacustre local.

## 2. Área de Estudo

O Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora possui uma área de aproximadamente 87ha (Figura 1), em uma região remanescente de Mata Atlântica, com fragmentos florestais somando 82ha e área antropizada com cerca de 5ha. Sua vegetação faz parte do domínio fitogeográfico da Floresta Atlântica, com fitofisionomia referente à Floresta Estacional Semidecidual Montana e também à Floresta Ombrófila Densa. Apresenta-se como uma unidade de paisagem heterogênea, constituída por diversas espécies em diferentes estágios de sucessão ecológica (FONSECA, CARVALHO, 2012; ALMEIDA et al., 2018).

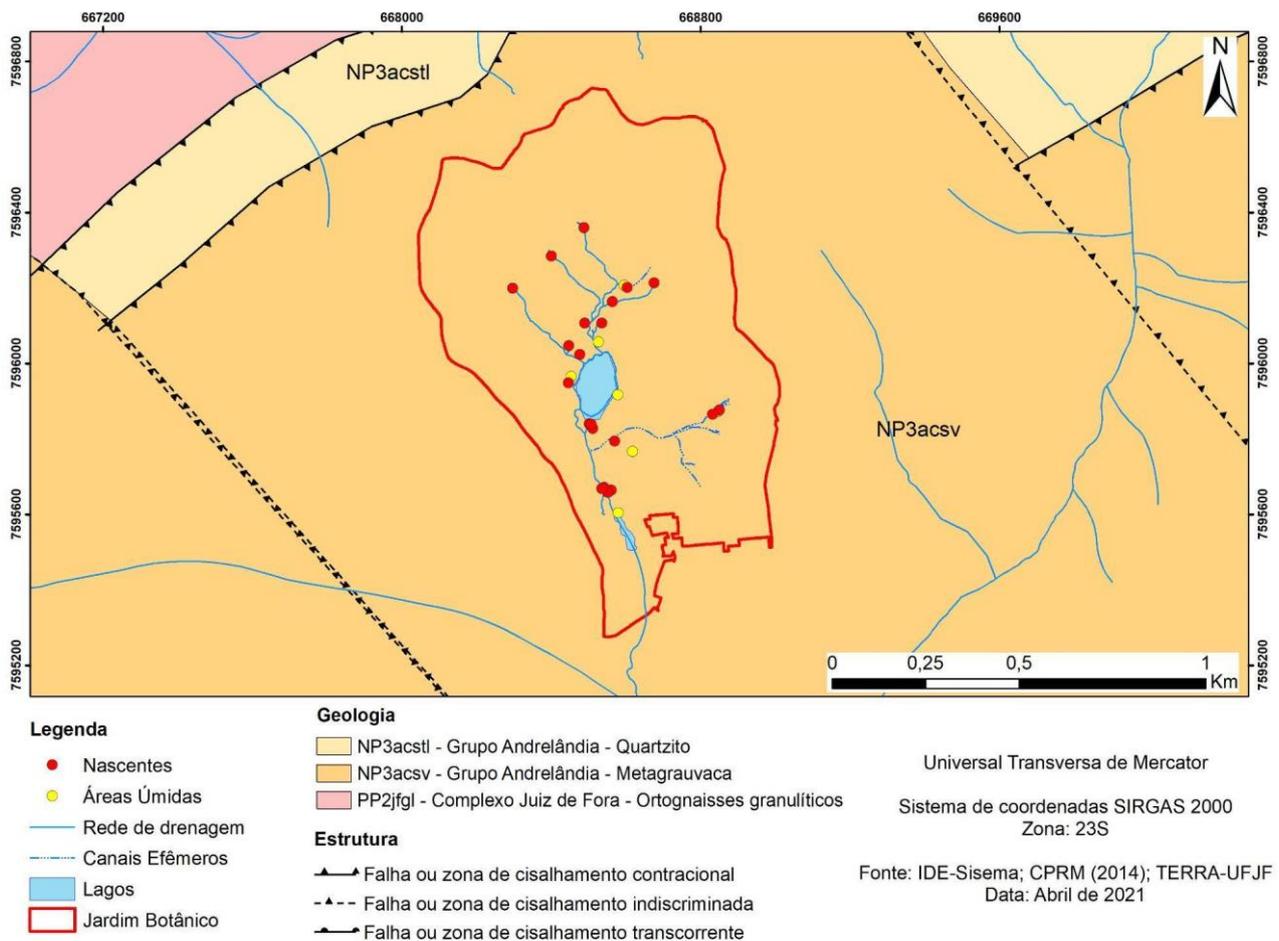


**Figura 1.** Localização do Jardim Botânico da UFJF e hidrossistemas mapeados. Fonte: Organizado pelos autores.

O município de Juiz de Fora, área onde o Jardim Botânico está inserido, se situa no domínio morfoclimático de Mares de Morros, caracterizado pelo relevo mamelonar, de caráter ondulado a montanhoso, com vertentes extensas e declivosas (AB'SABER, 2003). O clima regional, que por sua vez é influenciado pela disposição do relevo e amplitude topográfica característica da região, é do tipo Cwb na classificação de Köppen, apresentando certa

sazonalidade hídrica, com regimes pluviométricos marcados por duas estações definidas, e pluviosidade média anual próxima a 1500 mm (FONSECA, CARVALHO, 2012; MARTINS et al. 2018). Esse tipo de clima influencia os processos de intemperismo de decomposição das rochas, gerando solos espessos e bem desenvolvidos, sendo os solos predominantes no Jardim Botânico do tipo Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (FEAM, 2011).

A geologia regional se apresenta dominada por rochas paleo a neoproterozoicas, sendo constituída principalmente por gnaisses e granitos (RIBEIRO, 2009; FONSECA, CARVALHO, 2012). O embasamento é constituído por três unidades geológicas: o Complexo Mantiqueira, o Complexo Juiz de Fora e a Megassequência Andrelândia, sendo a área específica do Jardim Botânico assentada sobre uma sequência de rochas metassedimentares de idade neoproterozóica que constituem a Megassequência Andrelândia (TUPINAMBÁ et al., 2007, apud. MARQUES; FELIPPE, 2017). Circunvizinhos ao Jardim Botânico é possível perceber a ocorrência de falhamentos, no sentido NE-SW (ao norte) e NW-SE (ao leste e oeste), condicionando um alinhamento entre as vertentes, que configuram dois vales nessa porção norte que desembocam no lago principal no centro da área.



**Figura 2.** Unidades geológicas da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores com dados geológicos de CPRM (2014).

A área do Jardim Botânico está inserida em uma microbacia tributária do rio Paraibuna, um dos principais afluentes mineiros (margem esquerda) do rio Paraíba do Sul. Seus limites coincidem com interflúvios da própria bacia, sendo essas porções mais elevadas constituídas por vertentes vegetadas de formato côncavo, dando origem à cabeceiras de drenagem que resultam em nascentes e que concentram fluxos hídricos até o canal coletor principal da microbacia, onde se encontram dois lagos nas zonas mais baixas e centrais da área de estudo, sendo condicionados por ações antrópicas, como diques e barragens (MARQUES et al., 2018).

### 3. Materiais e Métodos

Através de revisão bibliográfica, foram revisitadas conceituações e formas de classificações de áreas úmidas e nascentes, com foco em nascentes difusas e sistemas helocrenos, tanto através da literatura nacional, como em Felipe (2009), como também da literatura internacional, como em Springer e Stevens (2009).

Os mapeamentos realizados na área do Jardim Botânico pautaram-se em imagens de satélite do software Google Earth Pro, do dia 03 de dezembro de 2020. Foram utilizados *shapefiles* de drenagem e curvas de nível de 5m da Prefeitura de Juiz de Fora (PJF), feitos pela empresa Esteio S.A (2007), que tornou possível a criação de Modelos Digitais de Elevação (MDE), modelos de direção de fluxo da drenagem e elaboração de lineamentos de drenagem e relevo, realizados no software ArcGIS 10.3.1. Somaram-se a isso, dados secundários obtidos em pesquisas prévias no Jardim Botânico, como a localização das nascentes e suas características fisiográficas, como a vegetação em seu entorno, morfologia, tipo de exfiltração e tipo de material, sendo adquiridas através de visitas de campo por parte dos autores dessas pesquisas pretéritas (MARQUES; FELIPPE, 2017; MARQUES et al., 2018) e em bancos de dados de órgãos governamentais (CPRM, 2014; IDE-SISEMA, 2019). Em seguida, por fotointerpretação das imagens de satélite, foram identificadas as áreas úmidas, através da verificação de elementos texturais, como a coloração de pixels de forma cinza-esverdeada mais escura em relação à vegetação padrão, podendo ser indicativos de solos encharcados.

Para auxiliar na interpretação dos resultados, foram elaborados sete perfis topográficos longitudinais e três perfis topográficos transversais, através do software ArcGIS 10.3.1 Os dados foram trabalhados no software Microsoft Excel para correção de eventuais erros dos modelos digitais de elevação (MDE) e para inserção de pontos referentes às nascentes e áreas úmidas, assim como seus rótulos.

De posse da coleção de dados obtidos via geoprocessamento, foram realizadas visitas de campo na área de estudo para verificação da fisiografia dos hidrossistemas e validação das informações remotas. Os fluxos hidrológicos longitudinais, bem como a ocorrência de zonas de estagnação da água foram pautas de observação, bem como as áreas de acumulação sedimentar. A compilação dos resultados passou pela compreensão da curvatura das vertentes em relação à concentração e dispersão dos fluxos hidrológicos. Com apoio dos perfis topográficos, foi possível verificar as conexões longitudinais e pontuar as unidades desconexas superficialmente.

### 4. Resultados

Foram encontrados dentro da área do Jardim Botânico 22 nascentes e 7 áreas úmidas, identificadas através de gabinete por meio de técnicas de fotointerpretação, somadas a atividades de campo realizadas em pesquisas anteriores no Jardim Botânico (MARQUES; FELIPPE, 2017; MARQUES et al., 2018) e validadas nesta pesquisa (FIGURA 1).

A maioria das nascentes possui exfiltração difusa e morfologia de concavidade, sendo este o perfil de nascentes mais usual dentro do Jardim Botânico. Tal configuração pode ser atribuída aos espessos mantos de intemperismo, associados à curvatura côncava de diversos segmentos de vertente, o que condiciona a exfiltração difusa das águas subsuperficiais com baixa energia. Há ainda, em menor número, nascentes pontuais (quatro) e múltiplas (três), com morfologia variando entre dutos, canais erosivos e afloramentos rochosos (MARQUES; FELIPPE, 2017) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características sobre as nascentes do JB-UFJF. Fonte: Marques e Felipe (2017); Marques et al. (2018).

| Nascentes | Vegetação          | Dossel      | Compartiment<br>o da vertente | Tipo de<br>material | Morfologia      | Exfiltração |
|-----------|--------------------|-------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|-------------|
| Jbn1      | Herbáceo-graminosa | Fechado     | Baixa-vertente                | Elúvio              | Concavidade     | Difusa      |
| Jbn2      | Sublenhosa         | Semi-aberto | Baixa-vertente                | Colúvio             | Duto horizontal | Pontual     |
| Jbn6      | Herbáceo-graminosa | Aberto      | Baixa-vertente                | Elúvio              | Concavidade     | Difusa      |

|              |                    |             |                |                      |                     |          |
|--------------|--------------------|-------------|----------------|----------------------|---------------------|----------|
| <b>Jbn7</b>  | Sublenhosa         | Semi-aberto | Média-vertente | Colúvio              | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn8</b>  | Herbáceo-graminosa | Semi-aberto | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn9</b>  | Herbáceo-graminosa | Aberto      | Calha          | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn10</b> | Lenhosa            | Semi-aberto | Cabeceira      | Colúvio              | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn11</b> | Sublenhosa         | Semi-aberto | Cabeceira      | Colúvio              | Duto horizontal     | Pontual  |
| <b>Jbn12</b> | Sublenhosa         | Fechado     | Baixa-vertente | Elúvio               | Afloramento rochoso | Pontual  |
| <b>Jbn13</b> | Sublenhosa         | Semi-aberto | Cabeceira      | Rocha matriz         | Afloramento rochoso | Múltipla |
| <b>Jbn14</b> | Herbáceo-graminosa | Aberto      | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Múltipla |
| <b>Jbn15</b> | Herbáceo-graminosa | Aberto      | Calha          | Elúvio               | Talvegue            | Difusa   |
| <b>Jbn16</b> | Herbáceo-graminosa | Semi-aberto | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Duto horizontal     | Difusa   |
| <b>Jbn17</b> | Herbáceo-graminosa | Aberto      | Calha          | Colúvio              | Talvegue            | Pontual  |
| <b>Jbn18</b> | Herbáceo-graminosa | Semi-aberto | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn19</b> | Lenhosa            | Semi-aberto | Calha          | Colúvio/Rocha matriz | Duto horizontal     | Difusa   |
| <b>Jbn21</b> | Sublenhosa         | Fechado     | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn22</b> | Sublenhosa         | Fechado     | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn23</b> | Herbáceo-graminosa | Semi-aberto | Baixa-vertente | Colúvio/Alúvio       | Duto vertical       | Pontual  |
| <b>Jbn24</b> | Sublenhosa         | Fechado     | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn26</b> | Herbáceo-graminosa | Aberto      | Baixa-vertente | Colúvio              | Concavidade         | Difusa   |
| <b>Jbn27</b> | Sublenhosa         | Fechado     | Baixa-vertente | Elúvio/Colúvio       | Concavidade         | Difusa   |

Entre as sete áreas úmidas reconhecidas, três se apresentam no remanso do lago central do Jardim Botânico, enquanto uma ocorre no baixo curso do canal principal, sendo áreas encharcadas por influência da drenagem superficial. Outras três áreas úmidas estão em cabeceiras de drenagem ou em vertentes côncavas, portanto associadas principalmente à exfiltração de fluxos subsuperficiais e à morfologia propícia para o acúmulo de água.

Várias dessas nascentes e áreas úmidas (Jbn6, Jbn8, Jbn9, Jbn10, Jbn11, Jbn13, Jbn14, Jbn19; Jbw1, Jbw2, Jbw3, Jbw6, Jbw7) se apresentam dispostas em segmentos côncavos de vertentes ou em fundo de vale, associadas ao lago principal presente no centro da área. É possível observar um certo controle altimétrico, já que esses hidrossistemas apresentam um nível potenciométrico semelhante (lido a partir da altitude), podendo-se assim inferir que tais sistemas são alimentados pelo mesmo escoamento de base. Evidencia-se assim, uma importante conexão vertical (superfície/subsuperfície), mas também, uma interação lateral dos fluxos subsuperficiais.

Outro conjunto de nascentes e áreas úmidas (Jbn1, Jbn2, Jbn6, Jbn7, Jbn8, Jbn12, Jbn14, Jbn16, Jbn18, Jbn21, Jbn22, Jbn23, Jbn24, Jbn26, Jbn27; Jbw4, Jbw5) ocorre em baixa ou média vertente, que se dispõe na área de forma suavemente inclinada. Nesses casos, a ocorrência de depósitos colúviais é um fator de grande influência nos processos hidrogeomorfológicos de escoamento superficial e subsuperficial e também na exfiltração da água subterrânea, condicionando assim a morfologia e disposição desses hidrossistemas.

Além disso, algumas nascentes e áreas úmidas (Jbn21-Jbn22-Jbn23-Jbn27; Jbn1-Jbn18-Jbn16-Jbn24; Jbn2-Jbn19-Jbw4) se mostram dispostas bem próximas entre si, tanto em áreas mais planas, quanto em vertentes, indicando o contato hidrológico entre esses sistemas. Tal conectividade pode estar associada aos fluxos associados às cheias decorrentes de períodos mais chuvosos, sendo assim responsáveis pela saturação do solo e pelo aumento do escoamento superficial.

A presença de canais fluviais efêmeros na porção leste (e a montante de algumas nascentes) indica que mudanças no regime hidrológico, principalmente associados às cheias ou secas resultantes da sazonalidade do clima local, são fatores que influenciam na formação desses hidrossistemas e em sua integração à estrutura da paisagem.

A maneira como o relevo se configura, com um notável alinhamento de vertentes em algumas zonas, principalmente na porção norte, faz com que algumas cabeceiras de drenagem (e também algumas nascentes e áreas úmidas) se formem de maneira relativamente alinhada, tornando possível presumir o controle estrutural na disposição espacial desses hidrossistemas.

Percebendo a influência da topografia para a conformação das nascentes e áreas úmidas encontradas, foram elaborados perfis transversais (Figura 3) e longitudinais (Figura 4), sendo os trechos escolhidos pela presença de notórios lineamentos de relevo e de drenagem que influenciam na disposição espacial dos hidrossistemas na área de estudo. Tal ferramenta contribui para um melhor entendimento da ocorrência de nascentes e áreas úmidas e de suas conexões com a paisagem como um todo (Figuras 5, 6 e 7).

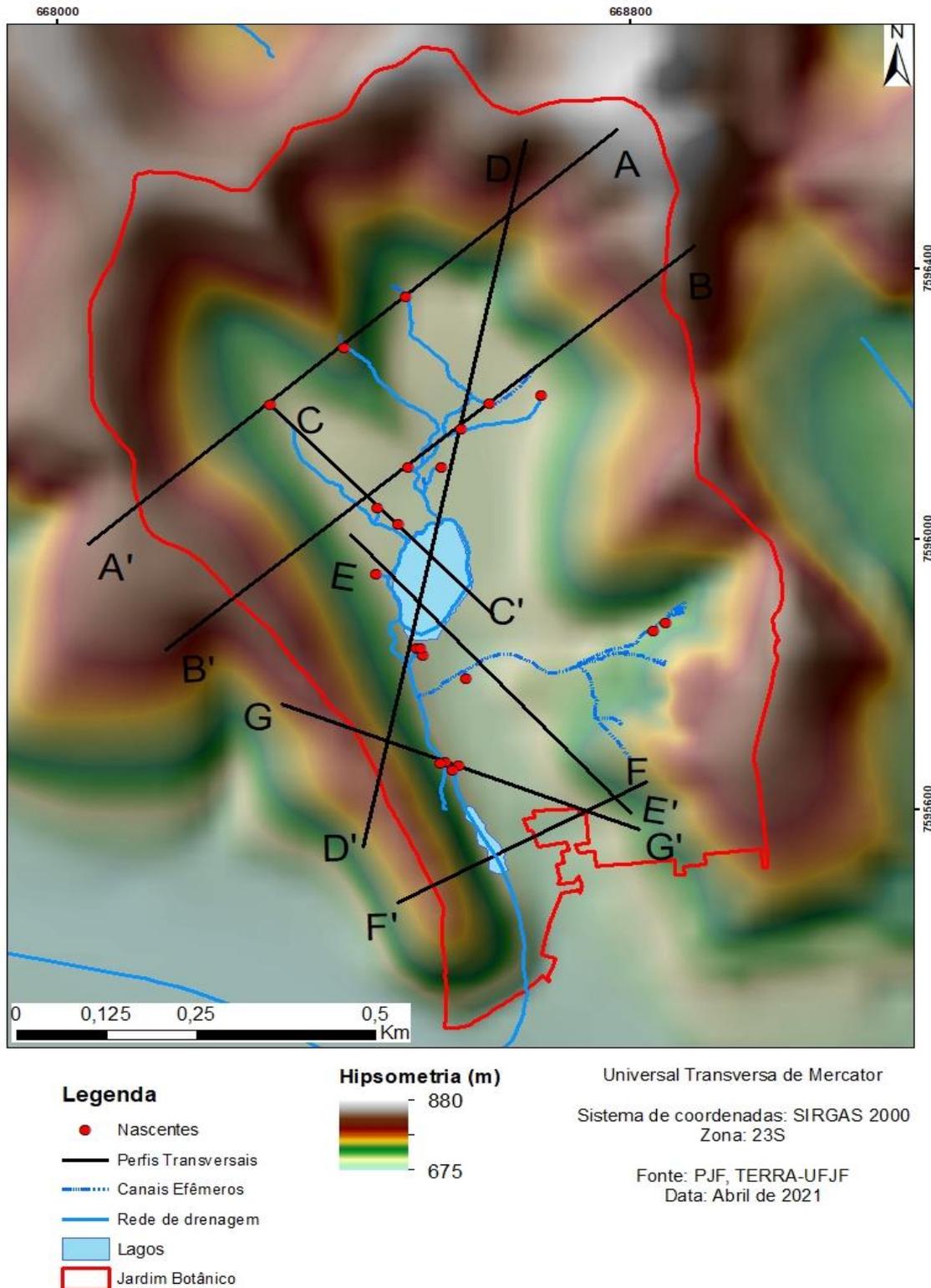
O perfil AA', de orientação Nordeste-Sudoeste, passa pelas nascentes Jbn11, Jbn10, Jbn7, localizadas em um alinhamento de mesmo sentido na porção norte do Jardim Botânico. O perfil se apresenta de forma perpendicular aos canais gerados pelas nascentes. A distribuição espacial desses hidrossistemas traz evidências de controle estrutural, provavelmente associados às falhas próximas à porção norte da área de estudo, sendo visível na área a partir dos lineamentos de relevo circunvizinhos, influenciando a disposição dos topos, a orientação das vertentes e cabeceiras e, conseqüentemente, das nascentes.

As três nascentes apresentam dossel semi-aberto e material colúvionar. A nascente Jbn11 aparece em uma cabeceira de drenagem, com vegetação sublenhosa. Nessa área, existe influência de controle litológico, na hidrodinâmica subsuperficial, denotado pela presença de afloramentos rochosos à jusante. Sua morfologia é de duto horizontal e sua exfiltração é pontual. Já Jbn10, também aparece em cabeceira de drenagem, mas apresenta vegetação lenhosa, e exfiltração difusa em concavidade. Jbn7 se forma em média-vertente, com vegetação sublenhosa, morfologia côncava e exfiltração difusa. Nota-se a altimetria similar de Jbn7 e Jbn11.

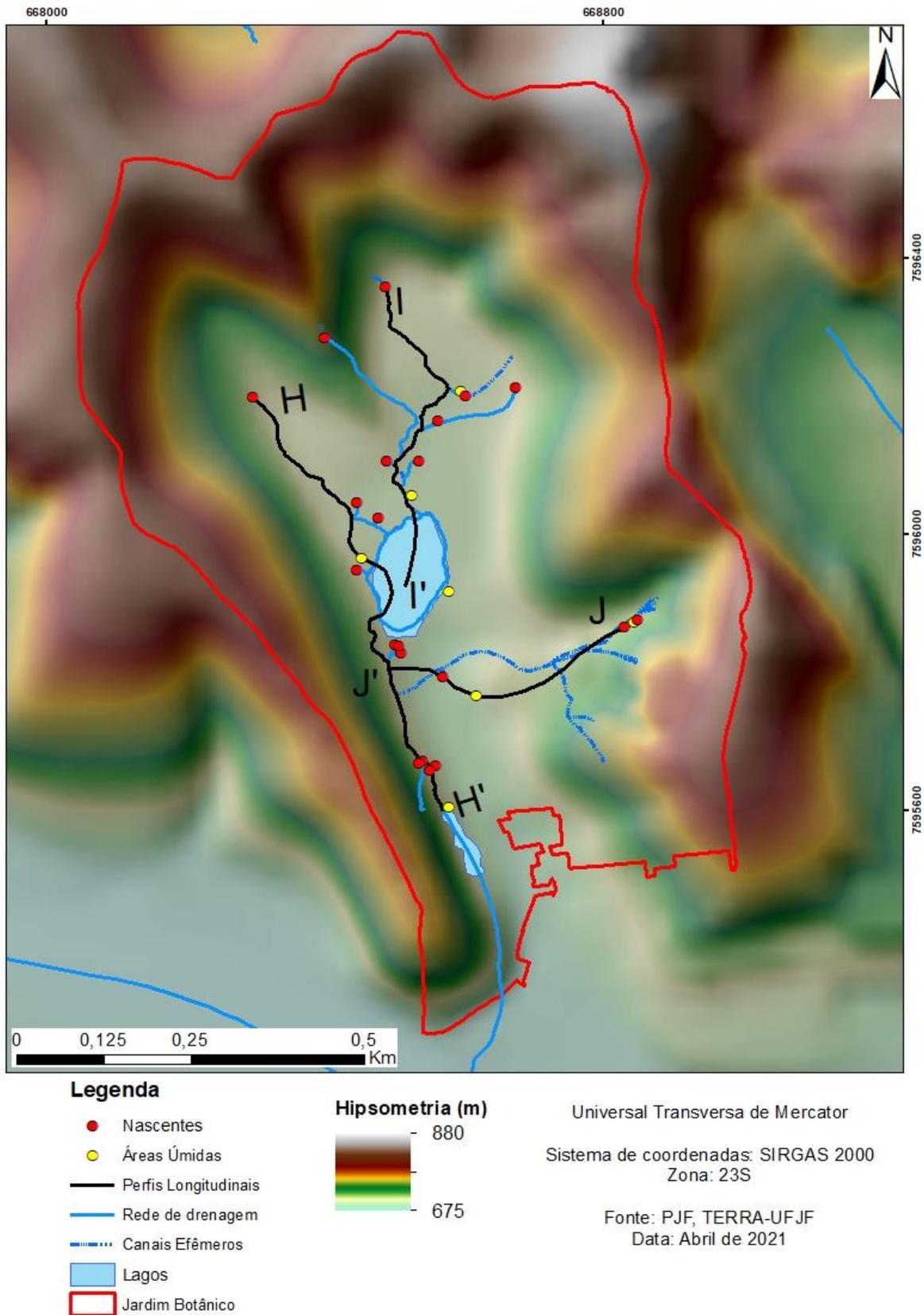
O perfil BB', também de orientação NE-SW, passa por quatro nascentes: Jbn12, Jbn9, Jbn6, Jbn8 e duas áreas úmidas: Jbw5 e Jbw2. A área úmida Jbw5 próxima à nascente Jbn12, ocorre em uma zona com a presença de afloramentos rochosos na nascente em um segmento côncavo da vertente, que proporciona o acúmulo de água e o surgimento desse hidrossistema. Já a área úmida Jbw2, que abarca uma zona nas proximidades das nascentes Jbn6 e Jbn9 e do lago principal nas regiões menos elevadas de todo o perfil, se configura em uma pequena planície no remanso do lago principal, em sua porção norte.

A nascente Jbn12 apresenta-se em baixa-vertente em material eluvial. Existe afloramento rochoso na zona da nascente e sua exfiltração é pontual. Próximo dessa nascente, existe uma área côncava que propicia o acúmulo de água, onde se forma uma área úmida (Jbw5). Jbn9 localiza-se em um fundo de vale chato e colmatado e apresenta uma morfologia côncava. Sua exfiltração é difusa em meio aos depósitos colúvio-aluviais. Jbn6 ocorre em um segmento côncavo da baixa-vertente, com afloramento rochoso à montante da nascente. Sua exfiltração é difusa e

há evidências de hidromorfismo. Jbn9 e Jbn6 formam tributários do curso d'água principal. Próximo delas, existe uma pequena área de planície na porção norte do lago que resulta na formação de uma área úmida (Jbw2). Jbn8, se forma em baixa-vertente e apresenta uma morfologia côncava, sendo o material presente elúvio/colúvio. Sua exfiltração é difusa.



**Figura 3.** Perfis topográficos transversais traçados sobre hipsimetria do Jardim Botânico. Fonte: Elaborado pelos autores.



**Figura 4.** Perfis topográficos longitudinais traçados sobre hipsometria do Jardim Botânico. Fonte: Elaborado pelos autores.

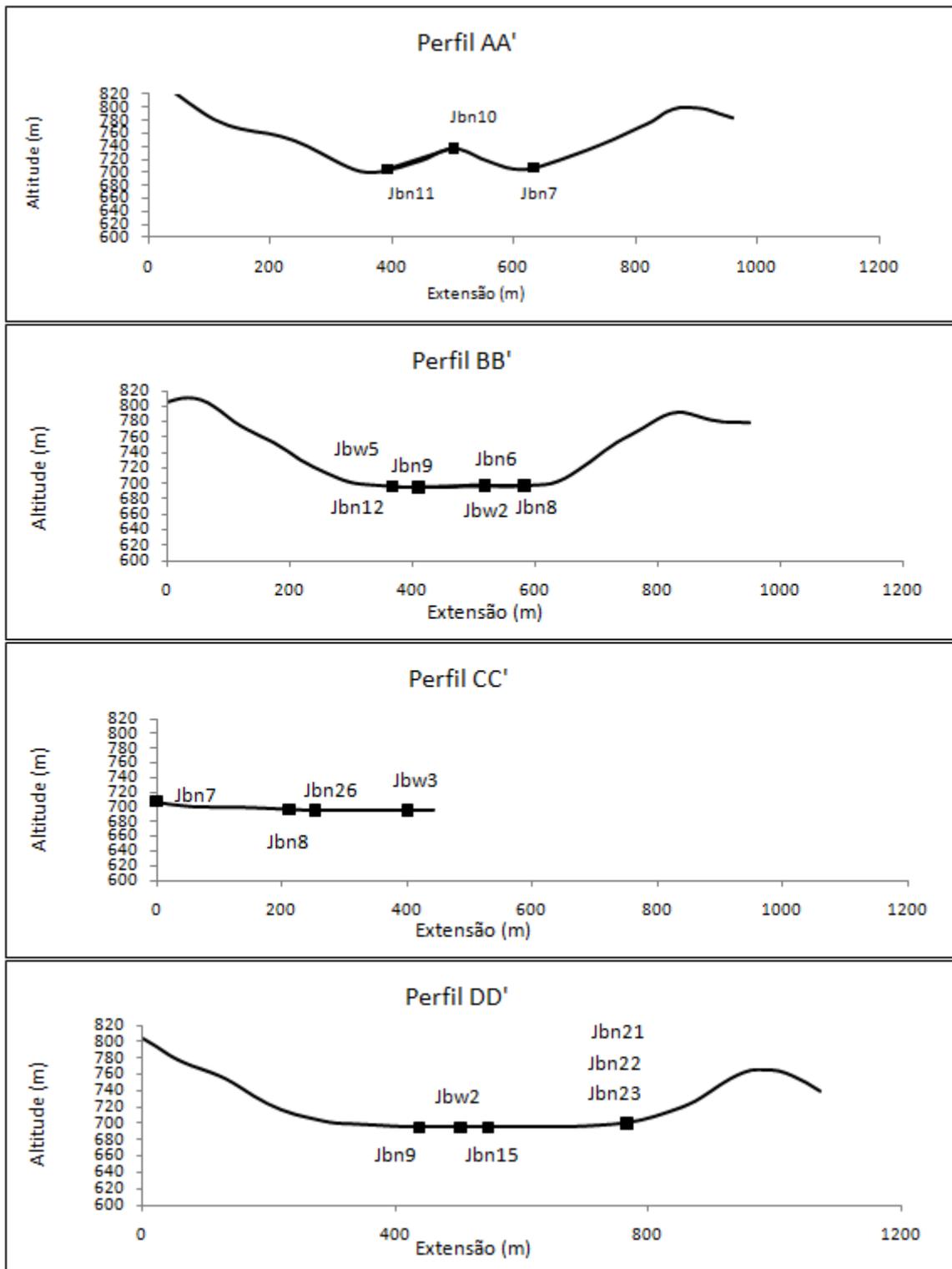


Figura 5. Mosaico dos perfis topográficos transversais da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

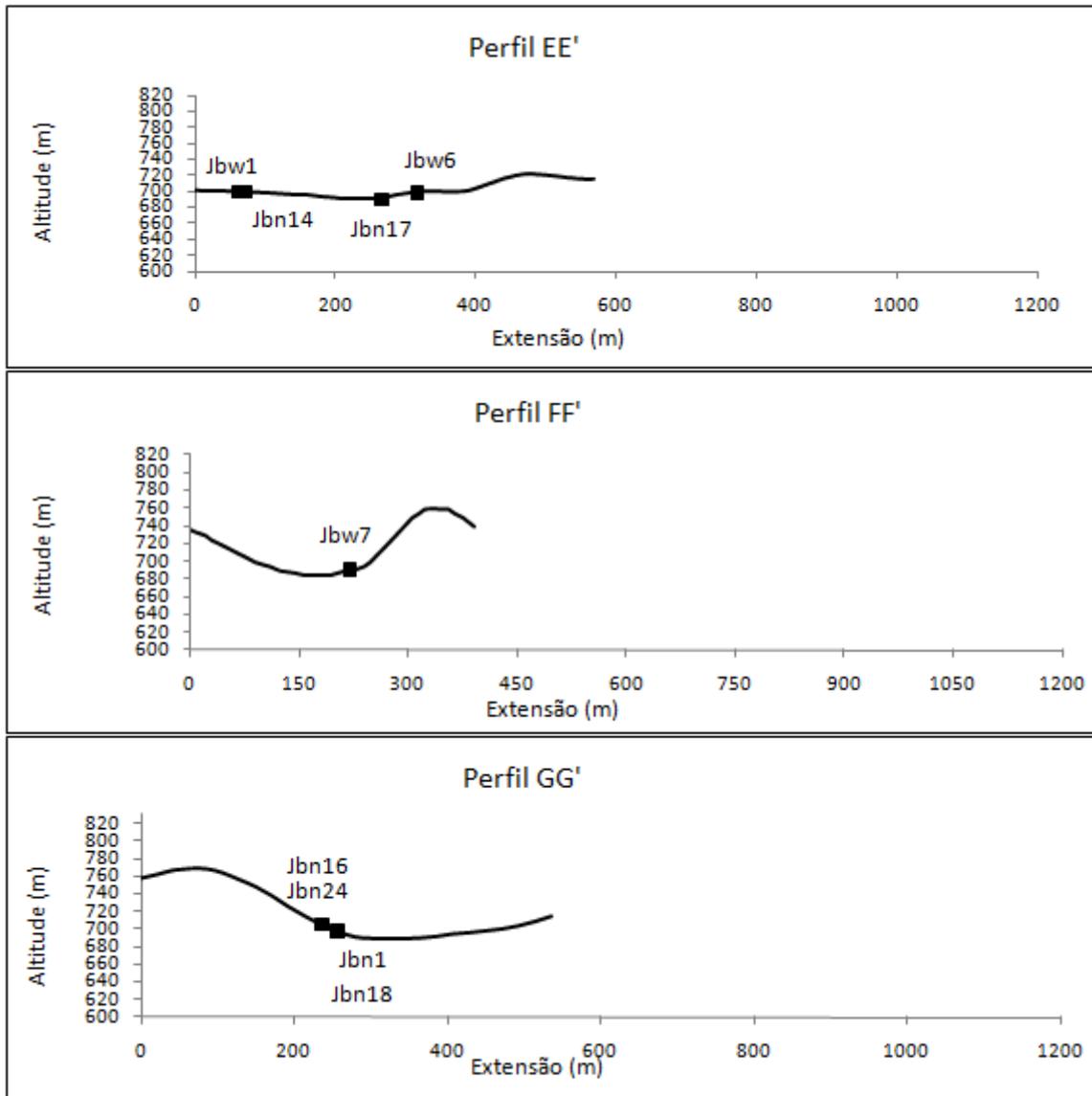
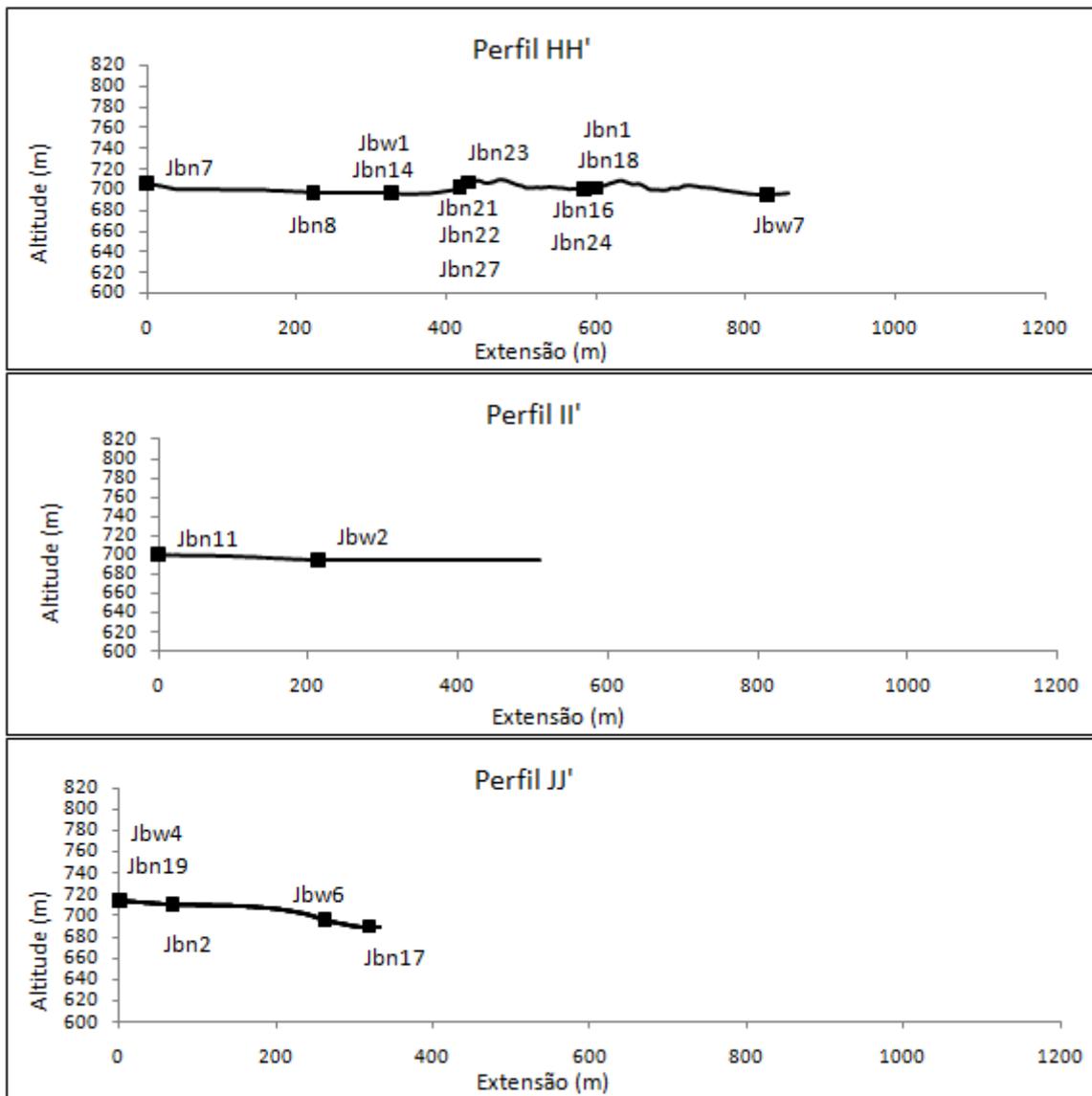


Figura 6. Mosaico dos perfis topográficos transversais da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.



**Figura 7.** Mosaico dos perfis topográficos longitudinais da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível notar no perfil que se configura um vale assimétrico, em que o topo da porção leste possui altimetria e gradientes de declividade mais acentuados. O fundo deste vale é chato e plano, onde se configuram hidrossistemas de nascentes e áreas úmidas (em um mesmo nível altimétrico). Jbn12 e Jbw5 aparecem juntas no perfil devido à sua proximidade, assim como o par Jbn6 e Jbw2.

O perfil CC' (de orientação NW-SE) passa pelas nascentes Jbn7, Jbn8, Jbn26 e por Jbw3 no remanso do lago principal. Essas nascentes apresentam um certo alinhamento, estando próximas ao canal onde escoo o curso d'água principal originado pela Jbn7. Dessa forma, as outras nascentes são responsáveis por gerar tributários da ordem de poucos metros de comprimento. Todas essas nascentes são topologicamente similares, estando dispostas em baixa-vertente, apresentando exfiltração difusa em concavidades.

Em seu trecho inicial, que se inicia em Jbn7, pode-se observar uma declividade bem acentuada, já que o perfil desce paralelamente à vertente da porção NW. Em seu trecho final atravessa o lago da margem esquerda para a direita. O perfil apresenta certa estabilidade em sua parte final por se tratar de uma planície onde se configura uma área úmida.

O perfil DD' (NNE-SSW) se inicia em uma vertente NNE, a acompanha paralelamente, passando pelo lago principal e pela área úmida Jbw2 em seu entorno. Também passa próximo às nascentes Jbn9 e Jbn15 na porção nordeste do lago. Em sua parte final, o perfil passa pelas nascentes Jbn21, Jbn22, Jbn23 na porção sul do lago até terminar em uma vertente na porção SSW do Jardim Botânico.

As nascentes Jbn9 e Jbn15 apresentam exfiltração difusa em morfologia côncava e em canal, respectivamente, ambas em material elúvio-coluvial. As nascentes Jbn21, Jbn22 e Jbn23 ocorrem em baixa vertente e possuem exfiltração difusa. Há duas áreas de nítida concentração desses hidrossistemas no perfil D: um à montante e outro à jusante do lago. A zona deprimida da porção central do Jardim Botânico explica esse fenômeno, uma vez que o lago principal concentra grande parte do escoamento superficial e subsuperficial do sistema flúvio-lacustre formado.

O perfil EE' (NW-SE), em sua porção noroeste, é possível encontrar Jbw1 ao redor do lago principal, na margem esquerda. Próximo a ela, está a nascente Jbn14, de morfologia côncava e exfiltração múltipla, sobre material coluvial/eluvial. A porção sudeste do perfil passa próximo à Jbn17, que se apresenta em uma morfologia de duto horizontal, em uma ravina com material coluvionar, e perto de Jbw6 em uma área de cabeceira/concavidade.

Na porção sudeste da extensão do perfil, estão as vertentes mais íngremes, enquanto as vertentes da porção inicial, para o norte, apresentam rampas mais suavizadas. Na faixa dos 200m de extensão é possível notar uma estabilidade altimétrica, onde se configura o lago e seu remanso. Na porção sul do lago se configura um platô antropogênico.

O perfil FF' (SE-SW) corta a faixa sul do Jardim Botânico, de forma ortogonal à drenagem, já no baixo curso do canal fluvial, próximo à confluência com o rio Paraibuna. No fundo do vale representado, se forma a Jbw7 nas proximidades do perfil, local que proporciona a acumulação de água (superficial e fluvial, mas também subsuperficial) e resulta na formação de uma área úmida nas margens do pequeno lago que se forma na porção sul do Jardim Botânico.

De direção NW-SE, o perfil GG' se inicia em uma vertente íngreme na porção nordeste e passa pelas nascentes Jbn24, Jbn16, Jbn18 e Jbn1, que se encontram relativamente próximas. As nascentes, configuradas nesse vale, apresentam morfologia côncava, exfiltração difusa, se formando em baixas vertentes sobre material eluvial/coluvial. Mais a jusante, no curso d'água tributário formado pelas nascentes já mencionadas e ortogonal a este perfil, se configura uma planície onde uma área úmida (Jbw7) é formada próxima ao pequeno lago presente em um local mais ao sul da área.

O perfil longitudinal HH' (NW-SE) se inicia em Jbn7, em média vertente, passando próxima à Jbn8 e por um vale formado na porção oeste do Jardim Botânico, acompanhando o curso d'água originado por essa nascente. Passa pelo remanso do lago em sua parte oeste, onde se encontram Jbw1 e Jbn14, até atingir o lago principal. Por fim, volta a acompanhar a drenagem e segue à jusante do curso d'água principal.

Após passar pelo lago e seguir à jusante do canal principal, o perfil passa próximo às nascentes Jbn21, Jbn22, Jbn27, todas próximas entre si e que apresentam características similares, como a morfologia côncava, composição em baixa vertente e exfiltração difusa. Um pouco mais abaixo, aparece Jbn23 com algumas características diferentes, como a morfologia de duto e exfiltração pontual. Essas quatro nascentes formam um pequeno canal que irá desembocar no canal fluvial principal. Mais à jusante, o perfil passa por Jbn24 e Jbn16, e um pouco mais abaixo, por Jbn18 e Jbn1. Para finalizar, o perfil termina no lago da porção sul do Jardim Botânico, onde se encontra Jbw7, na porção mais baixa do perfil.

O perfil II' (N-S) se inicia em Jbn11, em uma cabeceira de drenagem, e percorre todo o canal fluvial gerado por essa nascente até o lago principal no centro do Jardim Botânico. Passa por Jbw2, que se forma próxima ao remanso do lago, em sua porção norte. Com curvatura côncava em Jbn11, seguida por um trecho convexo, esse perfil mostra Jbw12 surgindo na ruptura de declive entre um segmento convexo e um retilíneo (plano), denotando a relevância da topografia no surgimento desses hidrossistemas.

O perfil JJ' (E-W) tem início na parte leste do Jardim Botânico, na nascente Jbn19, em um canal erosivo, e passa por Jbw4, em uma concavidade próxima, seguindo para Jbn2, percorrendo a direção dos canais efêmeros em seu início. Já se aproximando de sua parte final, passa por uma área úmida Jbw6 em uma cabeceira/concavidade próxima e, por fim, pela nascente Jbn17, próximo à jusante do canal efêmero e de onde desembocará no canal fluvial principal. Novamente nesse perfil, é possível reconhecer a prevalência de segmentos côncavos abrigando os hidrossistemas.

Jbn19, é a nascente principal que gera esse canal efêmero e se origina pela incisão vertical no talvegue. Essa nascente possui exfiltração múltipla, que junto com a morfologia propícia para a acumulação de água, resulta na formação da área úmida Jbw4. Na parte final do percurso, o perfil passa por Jbn17, de exfiltração pontual e se origina em canal erosivo com material coluvial, também gerando um afluente para o canal efêmero principal.

## 5. Discussão

Os hidrossistemas se apresentam fortemente conectados em sistemas de maior ordem, fundamentalmente condicionados pelos fluxos longitudinais de troca de matéria e energia. Desse modo, a geometria das vertentes cumpre papel primordial na forma de sistemas processo-resposta, com nítida retroalimentação entre a topografia e hidrografia local. A conectividade longitudinal, porém, não é um continuum, de modo que as áreas úmidas e os lagos criam desconexões a partir da retenção de sedimentos e água. Assim, um perfil esquemático sintético da área poderia ser compreendido a partir das nascentes helocrenas, abastecidas pela água subterrânea, que alimentam hidrossistemas reocrenos (canais de primeira e segunda ordens). Estes, por sua vez, são interrompidos por zonas côncavas que se configuram como armadilha de sedimentos e, conseqüentemente, formam áreas úmidas. O encharcamento do solo amplia-se gradualmente à jusante até a formação do lago. A disrupção encerra-se com o vertedouro do lago, dando início novamente, a um hidrossistema de caráter reocreno (curso fluvial).

Processos erosivos de dissecação são controlados pelo nível de base local, vulgarmente definido pela cota de 700m. A partir desse nível de base estabelecido, evidenciado pelas áreas úmidas Jbw1, Jbw2 e Jbw3 ao redor do lago principal, processos hidrogeomorfológicos de escoamento superficial/subsuperficial nas cabeceiras de drenagem e vertentes resultam no transporte de colúvio na forma de rampas na base de segmentos côncavos. Essa altitude marca o nível potenciométrico do aquífero que abastece boa parte das áreas úmidas e nascentes do Jardim Botânico.

As nascentes de maior altitude possuem sua formação associada a aspectos locais que promovem a ascensão do nível freático; o mesmo ocorre nas áreas úmidas. No entanto, apesar de serem alimentadas pelo mesmo aquífero, possuem respostas diferentes condicionadas por fatores topográficos, que promovem a acumulação ou dissipação das águas superficiais. Tais condições fazem com que uma grande parte das nascentes reconhecidas sejam helocrenas, configurando-se funcionalmente como áreas úmidas.

A morfologia local condiciona as características e formas de exfiltração das nascentes, que se apresentam como zonas dispersoras e reocrenas em segmentos convexos, e como áreas de acumulação de fluxos em áreas côncavas, formando assim ambientes helocrenos. Já as áreas úmidas são alimentadas pelo fluxo superficial (longitudinal) e pelo escoamento de base (como visto em Jbn1 para Jbw2). Desta forma, com o nível freático em superfície e com a incisão limitada por fatores topográficos, ambientes reocrenos conectam ambientes helocrenos.

Cabe destacar que as conexões laterais superficiais não são frequentes, mesmo quando os hidrossistemas se apresentam dispostos próximos entre si. Tal fator está associado à topografia e a morfologia de vertentes, responsáveis por interromper conexões e fluxos contínuos de água. Portanto, conexões verticais entre hidrossistemas são feitas de forma indireta, passando por conexões laterais subsuperficiais ligadas à sua alimentação pelo mesmo aquífero.

Apesar da nítida conectividade entre os hidrossistemas e os compartimentos da paisagem, com a transmissão contínua de fluxos de matéria e energia, existem também elementos de desconexão e ruptura em alguns casos. Algumas áreas de exfiltração se apresentam desconectadas da rede de drenagem local em parte do ano, formando nascentes helocrenas, que não geram fluxo superficial à jusante devido à baixa energia dos fluxos, associado ao baixo nível potenciométrico. Além disso, hidrossistemas helocrenos e limnocrenos funcionam como elementos de disrupção dos fluxos hídricos e de sedimentos advindos de hidrossistemas reocrenos.

## 6. Conclusões

Foi possível perceber que o Jardim Botânico abriga uma diversa gama de hidrossistemas, condicionados, sobretudo, pela morfologia deprimida da porção central da unidade de conservação, mas também, pelo controle estrutural do relevo. O sistema flúvio-lacustre que drena o Jardim Botânico possui uma complexa interação entre nascentes, canais de primeira e segunda ordem, lagos e áreas úmidas, conectados por fluxos hidrológicos superficiais e subsuperficiais.

A maioria das nascentes encontradas são hidrossistemas helocrenos, com exfiltração difusa em segmentos côncavos da vertente; embora também seja possível encontrar outros tipos de nascentes. Já as áreas úmidas estão majoritariamente relacionadas aos remansos dos lagos e às concavidades sem conexão superficial com a rede fluvial.

Como a área é de fácil acesso e aberta ao público, esses hidrossistemas estão suscetíveis a impactos da atuação dos visitantes. Eventuais danos causados podem acarretar mudanças na vegetação, na química das águas e também

em alterações morfológicas nesses hidrossistemas. Uma vez que a conectividade entre eles é notória, efeitos negativos podem ser propagados facilmente.

Devido às particularidades e características únicas do contexto geomorfológico do estado de Minas Gerais, abordagens de cunho hidrogeomorfológico para o estudo de nascentes e áreas úmidas situadas nesse recorte espacial são amplamente utilizadas, como em Felipe (2009), Gomes (2017), Gomes e Magalhães Jr (2020) e Guimarães e Felipe (2021), possibilitando a compreensão de sua integração na dinâmica da paisagem. Portanto, entender a evolução da paisagem e dos elementos que a constituem se faz necessário para o avanço dos estudos acerca de nascentes e áreas úmidas, sendo também de grande utilidade para adoção medidas de gestão mais adequadas para a proteção e conservação do Jardim Botânico.

**Contribuições dos Autores:** R.R.B.: redação - versão inicial, curadoria dos dados, software. L.R.G.: redação - revisão e edição, visualização. M. F.F.: supervisão, concepção, administração do projeto.

**Financiamento:** O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Juiz de Fora.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Vol. 1. Ateliê Editorial, 2003.
2. ALMEIDA, N. et al. Nascentes urbanas: espécies florestais com uso econômico potencial. In: **III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia Rio Paraíba do Sul**, 2018.
3. CADOL, D.; WINE, M.L. Geomorphology as a first order control on the connectivity of riparian ecohydrology. **Geomorphology**, v. 277, p. 154-170, 2017. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.06.022.
4. COELHO-NETTO, A.L. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, 2003. DOI: 10.20502/rbg.v4i2.25.
5. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) (Org.). **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Brasília: Cprm/codemig, 2014.
6. CUNHA, C.N.; PIEDADE, M.T.F.; JUNK, W.J. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015.
7. ESTEIO-S/A. Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Juiz de Fora. Curitiba: ESTEIO S/A, 2007.
8. FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso em 03/05/2021.
9. FELIPPE, M.F. Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais. 275 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
10. FELIPPE, M.F.; JÚNIOR, A.P.M. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Revista Geografias**, p. 70-81, 2013. DOI: 10.35699/2237-549X.13354
11. FONSECA, C.R.; CARVALHO, F.A. Aspectos florísticos e fitossociológicos da comunidade arbórea de um fragmento urbano de Floresta Atlântica (Juiz de Fora, MG, Brasil). **Bioscience journal**, v. 28, n. 5, p. 820-832, 2012.
12. FREEMAN, M.C.; PRINGLE, C.M.; JACKSON, C.R. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 1, p. 5-14, 2007. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x.
13. GOMES, C.S. Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
14. GOMES, C.S.; JUNIOR, A.M.P. CLASSES HIDROGEOMORFOLÓGICAS DE ÁREAS ÚMIDAS EM MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i2.1794.
15. GOMI, T.; SIDLE, R.C.; RICHARDSON, J.S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems: headwaters differ from downstream reaches by their close coupling to hillslope processes, more temporal and spatial variation, and their need for different means of protection from land use. **BioScience**, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0905:UPADLO]2.0.CO;2.

16. GUIMARAES, I. P. M. B.; FELIPPE, M.F. Abordagem hidrogeográfica da ocorrência e formação de áreas úmidas no domínio dos 'Mares de Morro'. **Revista Espaço e Geografia (UnB)**, v. 24, p. 109-131, 2021.
17. GUIMARÃES, L.P.; RODRIGUES, L.F.T; ALVES, R.G. Estudo das assembleias de oligoquetas em nascentes de Minas Gerais. **Ecologia, evolução e diversidade**. Atena Editora, 2018. cap 7. p. 96–108. DOI: 10.22533/at.ed.073181010
18. IDE-SISEMA. Estado de Minas Gerais (Org.). **WebGis**. 2019. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>>. Acesso em: 21 jun 2021.
19. JACKSON, C.R.; THOMPSON, J.A.; KOLKA, R.K. Wetland Soils, Hydrology, and Geomorphology. In: BATZER, Darold P.; SHARITZ, Rebecca R. (ed.). **Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands**. Berkeley: University Of California Press, 2014. Cap. 2. p. 23-60.
20. MARQUES, L.O; FELIPPE, M.F. Diversidade hidrogeomorfológica de nascentes nos domínios dos mares de morros: casos do jardim botânico da UFJF (Juiz de Fora–MG). **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 3293-3298, 2017. DOI: 10.20396/sbfga.v1i2017.2305.
21. MARQUES, L.O; CAETANO, G.M; FELIPPE, M.F. Aspectos fisiográficos das nascentes do Jardim Botânico da UFJF: um diálogo com a geodiversidade. In: XII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Crato – CE, 2018.
22. MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.60896.
23. RAMSAR (Iran). **Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat**. Ramsar, 2 February 1971. UN Treaty Series No. 14583. As amended by the Paris Protocol, 3 December 1982, and Regina Amendments, 28 May 1987.
24. RODRIGUEZ, J.M.M.; SILVA, E.D.; CAVALCANTI, A.P.B. Geoeecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222 p.
25. RIBEIRO, C.R. Avaliação da sustentabilidade hídrica do município de Juiz de Fora/MG: um subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos em âmbito municipal. **Monografia (Curso de Especialização em Análise Ambiental). Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia. Juiz de Fora**, 2009.
26. SPRINGER, A.E. et al. A comprehensive springs classification system. **Aridland springs in North America: ecology and conservation**. University of Arizona Press and Arizona–Sonora Desert Museum, Tucson, p. 49-75, 2008.
27. SPRINGER, A.E.; STEVENS, L.E. **Spheres of discharge of springs**. **Hydrogeology Journal**, v. 17, n. 1, p. 83-93, 2009. DOI: 10.1007/s10040-008-0341-y.
28. SILVA, T.M. et al. Drainage anomalies and landscape evolution in the Paraíba do Sul middle valley (RJ/SP). **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 210-224. ISSN 0101-9759 - Vol. 29 - 2 / 2006. DOI: 10.11137/2006\_2\_210-224.
29. WOHL, E. Connectivity in rivers. **Progress in Physical Geography**, v. 41, n. 3, p. 345-362, 2017. DOI: 10.1177/0309133317714972.
30. WOHL, E.; MAGILLIGAN, F.J.; RATHBURN, S.L. Introduction to the special issue: Connectivity in Geomorphology. **Geomorphology**, v. 277, p. 1-5, 2017. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.11.005.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.