

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Isadora Pinto Coelho de Pinho Tavares

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA DO CÓRREGO
SAMAMBAIA, REGIÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA – MG**

Nº 209

BELO HORIZONTE

DATA (24/01/2020)

Isadora Pinto Coelho de Pinho Tavares

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA DO CÓRREGO
SAMAMBAIA, REGIÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA – MG**

Versão final da dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de mestre em Geologia.

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada

Orientação: Leila Nunes Menegasse Velásquez

Co-orientação: Rodrigo Sérgio de Paula

Belo Horizonte
Instituto de Geociências
Janeiro de 2020

T231c Tavares, Isadora Pinto Coelho de Pinho
2020 Caracterização hidrológica da bacia do córrego Samambaia, região da APA
Carste de Lagoa Santa – MG [manuscrito] / Isadora Pinto Coelho de Pinho
Tavares. – 2020.
135 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Leila Nunes Menegasse Velásquez
Co-orientador: Rodrigo Sérgio de Paula.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de
Geociências, 2020.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.
Bibliografia: f. 67-73.

1. Aquíferos – Teses. 2. Carste – Lagoa Santa (MG) – Teses. 3. Hidrogeologia
– Teses. 4. Balanço hidrológico – Teses. 5. Áreas de conservação de recursos
naturais – Lagoa Santa (MG) – Teses. I. Velásquez, Leila Nunes Menegasse.
II. Paula, Rodrigo Sérgio de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto
de Geociências. IV. Título.

CDU: 556.3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Caracterização hidrológica e de interferências antrópicas da bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa - MG.

ISADORA PINTO COELHO DE PINHO TAVARES

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 24 de janeiro de 2020, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Leila Nunes Menegasse Velásquez - Orientadora
UFMG

Prof. Paulo César Horta Rodrigues
CDTN

Profa. Maria Antonieta Alcântara Mourão
CPRM

Prof. Paulo Henrique Ferreira Galvão
UFMG

Belo Horizonte, 24 de janeiro de 2020.

Agradecimentos

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmã, por todo apoio e carinho. Vocês são os meus grandes exemplos.

Ao Mateus, por todo amor, incentivo e companheirismo. Agradeço por estar sempre à disposição para me acompanhar nos trabalhos de campo, participar de diversas discussões e sugerir correções, além de entender os diversos momentos que estive ausente. Muito obrigada por tudo!

À professora Leila, pela orientação, auxílio e oportunidade de fazer parte desse projeto.

Ao Rodrigo, pelas incontáveis discussões técnicas, conselhos e ensinamentos. Meus sinceros agradecimentos por todo suporte, desde o início do trabalho.

Às equipes do Igam, especialmente Charles, Mário, Rodrigo e Letícia, e do IEF que me auxiliaram em diversas fases do trabalho.

Aos integrantes do *Projeto de Adequação e Implantação de uma Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Áreas com Cavidades Cársticas da Bacia do Rio São Francisco Aplicado à Área Piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais* pelas companhias em campo e discussões técnicas.

Aos órgãos financiadores ICMBio/CECAV e FAPEMIG (APQ 02049-14).

Resumo

Este estudo, realizado na área do córrego Samambaia, localizada na APA Carste de Lagoa Santa – MG, visou a caracterização hidrológica da bacia e suas interferências antrópicas a fim de contribuir para o aprimoramento da gestão de recursos hídricos em ambientes cársticos. A geologia local é composta por rochas calcárias recristalizadas pertencentes à Formação Sete Lagoas, com seus membros Pedro Leopoldo, representado pela ocorrência de calcários finos intercalados por pelitos, e Lagoa Santa, composto por calcarenitos puros. Essa formação representa o principal sistema aquífero da região, que apresenta estruturas típicas de um carste bem desenvolvido. Sobrepostas a ela, ocorrem rochas pelíticas e margosas da Formação Serra de Santa Helena e, no topo, as coberturas detrítico-lateríticas e aluvionares recentes. Tais terrenos carbonáticos possuem estruturas tipicamente cársticas (condutos, dolinas, sumidouros) que controlam o fluxo de água essencialmente subterrâneo. Na porção baixa da bacia ocorre a Lagoa do Sumidouro, a qual entrou em processo de esvaziamento a partir de 2004. O estudo envolveu o monitoramento automatizado de vazão de nascentes e do córrego por meio de cinco estações fluviométricas ao longo do ano hidrológico de 2018-2019, além do cálculo dos volumes da lagoa através de 4 imagens Google Earth Pro a partir de 2003. Também foram calculados os valores referentes às entradas e saídas de água da bacia, os parâmetros do balanço hídrico e climatológico, além da caracterização hidrológica das nascentes da área. Ainda foram sugeridas e analisadas hipóteses que poderiam explicar o esvaziamento da Lagoa do Sumidouro, exultório da bacia em questão. Os resultados confirmaram a classificação como uma bacia tipicamente cárstica, controlada essencialmente pelo escoamento de base (94%), com importantes saídas de água representadas por captações (1,35 milhões de m³/ano). A principal entrada de água é proveniente da chuva (24,18 milhões de m³/ano), sendo seguida pela contribuição das nascentes da área (4,12 milhões de m³/ano). Além disso, as nascentes apresentam respostas rápidas aos eventos de chuva, não superiores a um dia, com importante contribuição de água das bacias vizinhas. Assim, como não se observaram grandes alterações nos volumes de chuva e das nascentes que justificasse a perda de volume de água na lagoa, sugere-se que o aumento do número de interferências em recursos hídricos subterrâneos tenha causado uma conexão do sumidouro com condutos mais secos, o que possivelmente causou o aumento da sua capacidade de drenar a água contida na lagoa, fazendo com que esta não mais permaneça cheia.

Palavras-chave: Bacia do córrego Samambaia, aquíferos cársticos, balanço hídrico, Lagoa do Sumidouro, caracterização hidrológica.

Abstract

This study, carried out in the Samambaia stream area, located in the Lagoa Santa Karst APA - MG, aimed at the hydrological characterization of the basin and its anthropic interference in order to contribute to the improvement of water resources management in karst environments. The local geology is composed of recrystallized limestone rocks belonging to the Sete Lagoas Formation, with its members Pedro Leopoldo, represented by the occurrence of thin limestone interspersed with pelitic rocks, and Lagoa Santa, composed of pure calcarenites. This formation represents the main aquifer system in the region, which has typical structures of a well-developed karst. Overlying it there are pelitic and marl rocks of the Serra de Santa Helena Formation and, on top, the recent debris-lateritic and alluvial covers. Such carbonate terrain has typically karst structures (conduits, dolines, sinks) that control the mostly underground water flow. In the lower portion of the basin occurs the Sumidouro Lagoon, which began to empty from 2004. The study involved automated monitoring of spring and stream flow through five river stations throughout the hydrological year 2018- 2019, in addition to calculating the lagoon volumes through 4 Google Earth Pro images from 2003 on. Basin water inlet and outlet values, water and climate balance parameters and hydrological characterization of springs of this area were also calculated. Hypotheses that could explain the emptying of the Sumidouro Lagoon, exultory of the basin in question, were also suggested and analyzed. The results confirmed the classification as a typical karst basin, controlled mainly by the basin runoff (94%), with significant water outlets represented by catchments (1.35 million m³/year). The main water input comes from rain (24.18 million m³/year), followed by the contribution of the area's springs (4.12 million m³/year). In addition, the springs present rapid responses to rain events, not exceeding one day, with a large contribution of water from neighboring basins. Thus, as no major changes in rainfall and spring volume were found to justify the loss of water volume in the lagoon, it is suggested that the increased number of interferences in groundwater resources has caused a sink connection to drier conduits, which possibly caused an increase in its ability to drain the water contained in the lagoon, making it no longer full.

Keywords: Samambaia stream basin, karstic aquifers, water balance, Sumidouro lagoon, hydrological characterization.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Objetivos.....	9
1.1.1 Objetivo geral	9
1.1.2 Objetivos específicos	9
1.2 Justificativas	9
1.3 Estruturação da dissertação	10
1.4 Localização e vias de acesso	11
1.5 Revisão bibliográfica.....	13
1.5.1 Conceitos sobre o carste	13
1.5.2 Estudos anteriores na região da APA Carste de Lagoa Santa.....	15
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	18
2.1 Clima	18
2.2 Geomorfologia e vegetação	22
2.3 Geologia	22
2.4 Hidrologia superficial e subterrânea.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1 Levantamento de campo.....	29
3.2 Completação de falhas de monitoramento.....	33
3.3 Balanço de água na bacia.....	34
3.4 Caracterização das nascentes.....	37
3.5 Impacto pelo esvaziamento da Lagoa do Sumidouro	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Monitoramento fluviométrico.....	40
4.1.1 Curvas-chave	40
4.1.2 Completação de dados e hidrogramas	42
4.2 Caracterização das nascentes.....	46
4.3 Balanço de água na bacia.....	49
4.3.1 Balanço hídrico climatológico.....	49
4.3.2 Balanço hídrico.....	50
4.3.3 Balanço de massa	52
4.4 Esvaziamento da Lagoa do sumidouro.....	54
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ANEXO I - Artigo completo

ANEXO II - Vazões médias diárias monitoradas e calculadas

ANEXO III - Cálculos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso à área de estudo.	12
Figura 2: Bloco diagrama representando as principais feições típicas de um carste bem desenvolvido. Modificado de Goldscheider (2005).	13
Figura 3: Bloco diagrama ilustrando as formas de recarga que ocorrem em sistemas cársticos. Modificado de Goldscheider & Drew (2007).	15
Figura 4: Mapa geológico da bacia do córrego Samambaia. Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2016).	24
Figura 5: Coluna estratigráfica. Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2016).	25
Figura 6: Mapa de hidrografia da bacia do córrego Samambaia.	28
Figura 7: Mapa dos pontos de monitoramento da bacia do córrego Samambaia.	31
Figura 8: Pontos de monitoramento de vazão. A – Nascente Samambaia; B – Nascente Engenho; C – Nascente Gameleira; D – Córrego Samambaia V1 e E – Córrego Samambaia V2. Fotos tiradas em outubro de 2018.	32
Figura 9: Método de completação de falhas. Modificado de De Paula (2019).	34
Figura 10: Mapa de localização das captações cadastradas em relação à rede de monitoramento implantada.	36
Figura 11: Curvas-chave dos pontos de monitoramento. A - Engenho; B - Samambaia; C - Gameleira e D - Córrego Samambaia.	41
Figura 12: Completação de dados das nascentes. A - Samambaia; B - Engenho e C - Gameleira.	43
Figura 13: Hidrogramas das nascentes. A - Samambaia; B - Engenho e C - Gameleira.	45
Figura 14: Hidrogramas dos pontos de monitoramento do córrego Samambaia. A - V1 e B - V2.	46
Figura 15: Nascentes da bacia do córrego Samambaia. A - Engenho. B - Samambaia. C - Gameleira. Fotos tiradas em Setembro 2018.	47
Figura 16: Gráfico do extrato do balanço hidroclimatológico do período de 2018-2019.	50
Figura 17: Gráfico da separação de escoamento da bacia do córrego Samambaia na Estação V2.	51
Figura 18: Fluxograma da bacia do córrego Samambaia, ilustrando os pontos de entrada e saída de água, além das interferências antrópicas.	53
Figura 19: Gráfico da diminuição do aporte de água através das nascentes da área.	57
Figura 20: Imagens de satélite da Lagoa do Sumidouro em: A - período chuvoso de 2003, B - período seco de 2004, C - período seco de 2012, D - período seco de 2013, E - período chuvoso de 2019 e F - período seco de 2019. A seta vermelha indica a posição aproximada do sumidouro.	58
Figura 21: Áreas ocupadas pela Lagoa do Sumidouro – A: 2019; B: 2003; C: 2004 e D: 2012.	59
Figura 22: Fluxograma para se obter o volume anual, aproximado, drenado pelo sumidouro nos períodos analisados.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Série histórica pluviométrica da estação Ponte Raul Soares, município de Pedro Leopoldo (Código 01943049). Fonte Hidroweb (ANA, 2019).	20
Tabela 2: Localização dos pontos de monitoramento de vazão.....	29
Tabela 3: Valores resultantes do balanço climatológico para período analisado.	49
Tabela 4: Valores, mensais e anual, de recarga calculada para o ano hidrológico 2018-2019.....	51
Tabela 5: Comparação entre os valores obtidos por De Paula (2019) e pelo presente estudo.	52
Tabela 6: Valores de precipitação, escoamento superficial direto e volume de chuva na bacia do córrego Samambaia nos anos hidrológicos selecionados.	55
Tabela 7: Medições das vazões das nascentes realizadas por Auler (1994) e pelo presente estudo.....	55
Tabela 8: Comparação dos volumes anuais provenientes de cada nascente, em 1993-1994 e 2018-2019.	56
Tabela 9: Valores de área ocupada e volume de água armazenado na Lagoa do Sumidouro em 2003, 2004 e 2012.	60
Tabela 10: Valores calculados para o volume drenado pelo sumidouro em cada período considerado.....	62

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Vetor Norte tem sido uma das regiões que mais cresce na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Esse crescimento vem sendo notado, principalmente, pelo aumento no número de empreendimentos, de setores diversos da economia, que vêm se instalando e expandindo na região. Desses, pode-se destacar a construção da Cidade Administrativa de Minas Gerais, a ampliação do Aeroporto Internacional de Confins e seus inúmeros novos empreendimentos imobiliários. Além disso, a região é conhecida como sendo de grande importância para o setor de extração e beneficiamento de calcário, abrigando diversas empresas do ramo por mais de 60 anos.

No aspecto ambiental, o Vetor Norte tem parte do seu território localizado em um ambiente que apresenta grande importância biológica e espeleológica, e, em contrapartida, esse é naturalmente frágil. Essa fragilidade é uma característica intrínseca a esse tipo de ambiente, cárstico, uma vez que possui feições que propiciam maior vulnerabilidade à poluição, como dolinas, redes de condutos e sumidouros.

Devido a essa maior vulnerabilidade, desde os anos 80, o poder público vem se apresentando preocupado em relação à proteção de algumas áreas da região. Dessa forma, foram criadas as denominadas áreas protegidas, tanto de domínio estadual quanto federal, desde monumentos naturais (MONA) até áreas de proteção ambiental (APA). Dessas, pode-se destacar a Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa, criada através do Decreto Federal nº 98.881/1990, a qual apresenta limites coincidentes com a Área de Proteção Estadual Aeroporto Internacional, além do Parque Estadual do Sumidouro, instituído pelo Decreto Estadual nº 20.375/1980.

Permeando entre as duas principais vocações dessa área, se encontra o recurso hídrico, essencial para o abastecimento público, desenvolvimento econômico e para a preservação ambiental. Sendo assim, o conhecimento e a caracterização das fontes de água da região, e, conseqüentemente, uma gestão adequada desse recurso consiste de ferramentas essenciais para a coexistência harmônica desses setores tão importantes para a região.

A bacia do córrego Samambaia se destaca pelo forte efeito adverso que vem sofrendo em seus recursos hídricos, constituindo o palco desse estudo, a fim de se caracterizar e quantificar a sua dinâmica hídrica natural e antrópica, para que sejam compreendidos os fatores de antropização e de possíveis efeitos climáticos. Tal entendimento poderá contribuir para a gestão dos recursos hídricos locais e como ferramenta para ações preventivas nos demais cenários cársticos da região.

Esse trabalho é parte integrante do *“Projeto de adequação e implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da Bacia do Rio São*

Francisco, aplicado à área piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais”, produto de parceria entre Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), com financiamento do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) e, em menor escala, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), apoio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Instituto de Gestão das Águas (IGAM).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do córrego Samambaia, representativa da região da APA Carste de Lagoa Santa, visando o entendimento da dinâmica hídrica em ambientes cársticos antropizados.

1.1.2 Objetivos específicos

A fim de alcançar o objetivo geral desse estudo, foram desenvolvidas análises específicas, a saber:

- Caracterizar e quantificar as entradas e saídas de água naturais e antrópicas da bacia;
- Caracterizar hidrológicamente a bacia hidrográfica do córrego Samambaia, calculando-se a recarga aquífera, os escoamentos hídricos superficial e subterrâneo e demais parâmetros hidroclimatológicos;
- Analisar o comportamento hídrico sazonal das nascentes e do córrego Samambaia;
- Analisar o atual estágio de comprometimento hídrico sobre a Lagoa do Sumidouro e propor justificativas para tal.

1.2 Justificativas

A região da APA Carste de Lagoa Santa, conhecida por sua grande relevância ambiental, espeleológica e humanística, e, ao mesmo tempo, palco de intensa expansão urbana e industrial (Berbert-Born, 2002), é de suma importância que suas características e potenciais naturais sejam amplamente conhecidos, a fim de garantir um crescimento econômico sustentável.

Outro aspecto importante é a grande dependência da água subterrânea apresentada pela região. Essa fonte é responsável pelo atendimento da demanda de abastecimento de mais de 80% da população urbana (Ribeiro et al., 2003), além de suprir as necessidades de atividades agropecuárias e industriais (Viana et al., 1998; Meneses, 2003).

Além disso, existe uma grande dificuldade, por parte do poder público, de conhecer e controlar a totalidade dos usos de recursos hídricos. Esse empecilho faz com que a gestão não seja realizada de maneira efetiva, não sendo possível a garantia dos usos múltiplos de recursos hídricos.

Dessa forma, esse estudo pretende caracterizar uma bacia hidrográfica representativa da área, de comportamento tipicamente cárstico, através do entendimento da sua dinâmica hídrica e das intervenções e impactos sobre seus recursos hídricos, com o objetivo de contribuir com a geração de conhecimento básico para o aprimoramento da gestão desses recursos.

Para tal, a bacia do córrego Samambaia foi escolhida como área-piloto para o desenvolvimento das análises propostas. Essa escolha se justifica por ser uma bacia que apresenta usos diversos de recursos hídricos, desde usos tidos como insignificantes até grandes captações, utilizados tanto para atividades agropecuárias quanto para abastecimento público, além de fazer parte de uma importante área de preservação ambiental, o Parque Estadual do Sumidouro.

Além das características acima apresentadas, justifica-se ainda a utilização da área de drenagem do córrego Samambaia como área foco desse estudo pela existência de considerações realizadas em estudos anteriores que necessitavam de verificação, além do fato de existirem relatos de moradores do Distrito de Fidalgo e funcionários do parque sobre perdas sucessivas de volume da Lagoa do Sumidouro ao longo dos últimos anos.

1.3 Estruturação da dissertação

A presente dissertação de mestrado, “Caracterização hidrológica e de interferências antrópicas da bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa – MG,” encontra-se estruturada da seguinte maneira:

- Os capítulos 1 e 2 referem-se à, respectivamente, introdução e caracterização física da área, com o intuito de contextualizar e introduzir o trabalho, além de apresentar alguns conceitos básicos em relação ao carste, à região de estudo e aos objetivos propostos para o estudo;
- O capítulo 3 foi construído com o objetivo de apresentar os materiais e métodos utilizados durante o desenvolvimento dos estudos em questão.
- No capítulo 4 são apresentados os dados obtidos durante todo o estudo e, posteriormente, as discussões realizadas a partir destes, levando em consideração os resultados deste e de trabalhos anteriores.

Ainda são apresentados, nessa seção, os resultados apresentados no artigo “Caracterização hidrológica e das interferências antrópicas da bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa – MG, com ênfase no esvaziamento da Lagoa do Sumidouro.” submetido à revista *Águas Subterrâneas*. A íntegra do trabalho submetido é apresentada ao final deste trabalho, no Anexo I.

- O capítulo 6 finaliza o estudo, com a exposição das conclusões e recomendações resultantes do trabalho realizado.

Como documentos anexos a este volume são apresentados os demais dados utilizados, a saber:

ANEXO I – Artigo completo “Caracterização hidrológica e das interferências antrópicas da bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa – MG, com ênfase no esvaziamento da Lagoa do Sumidouro”.

ANEXO II – Tabelas de monitoramento.

ANEXO III – Tabelas de cálculos.

1.4 Localização e vias de acesso

A área objeto do estudo se localiza a cerca de 40 km a norte do município de Belo Horizonte, Minas Gerais, e tem limite concordante com a bacia do córrego Samambaia, com aproximadamente 48 km². Essa área está inserida no contexto da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa (APA Carste de Lagoa Santa) e abrange os distritos de Lapinha e Fidalgo, pertencentes, respectivamente, aos municípios de Lagoa Santa e Pedro Leopoldo (Figura 1).

O acesso à área estudada é realizado, saindo de Belo Horizonte, pelas rodovias Papa João Paulo II (MG-010), MG-424 e LMG-800, passando pelas cidades de São José da Lapa e Confins, até a cidade de Pedro Leopoldo. Após a saída da LMG-800, segue-se pelas estradas da Lapa Vermelha e Engenho – Maria Cândida, por aproximadamente 5 km.

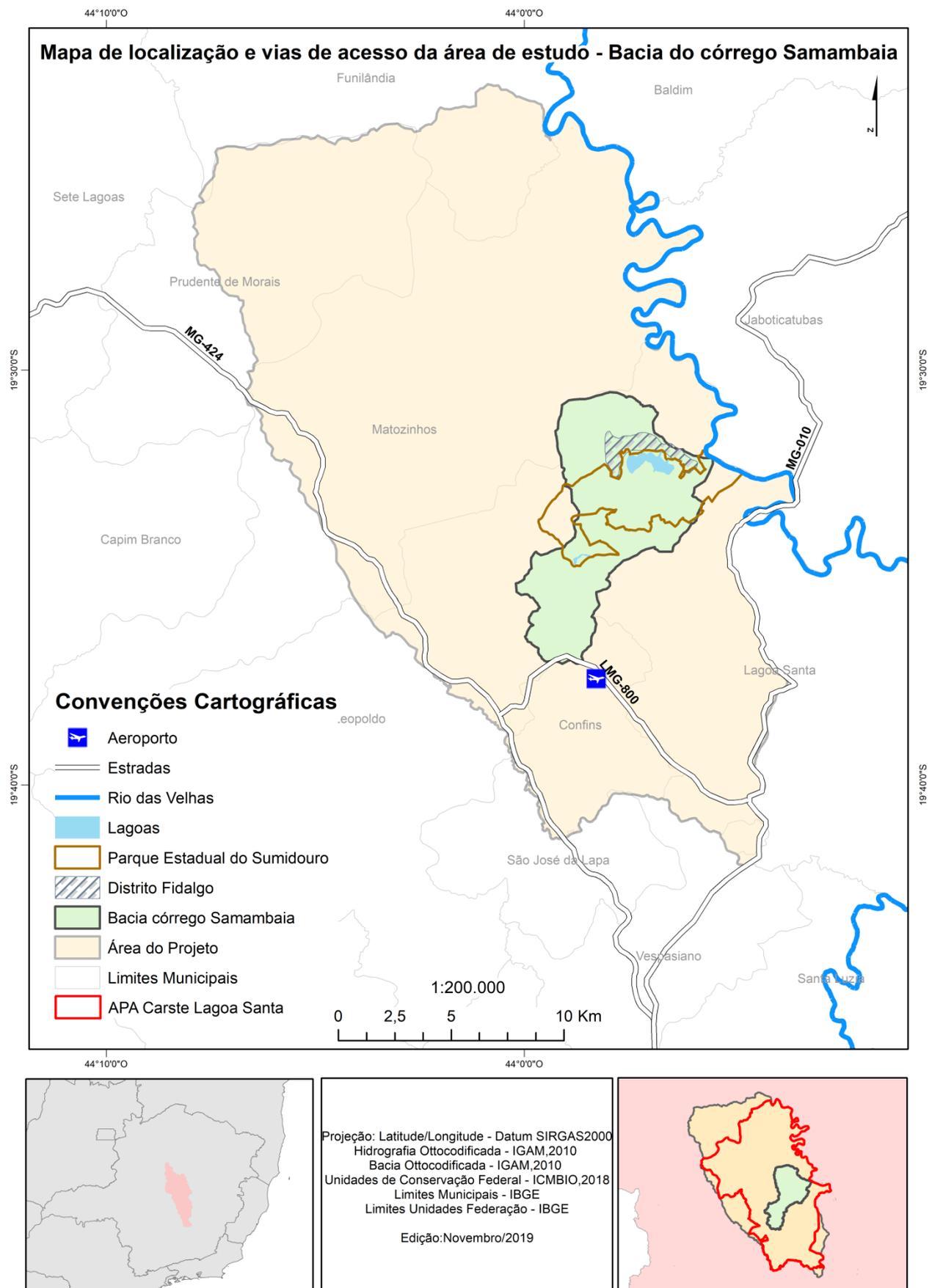


Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso à área de estudo.

1.5 Revisão bibliográfica

1.5.1 Conceitos sobre o carste

Relevos cársticos são tipificados pela presença de cavernas, grutas, vales cegos, dolinas, sumidouros, drenagem superficial pobre, ou inexistente, sistema de fluxo de água subterrâneo bem desenvolvido, além de alta conectividade entre águas superficiais e subterrâneas (Hollingsworth, 2009).

Christofolletti (1980) define o conceito de carste como sendo regiões formadas por uma topografia típica proveniente da dissolução de rochas dolomíticas e calcárias. As principais estruturas e feições características de um carste teórico bem desenvolvido estão sintetizadas na Figura 2.

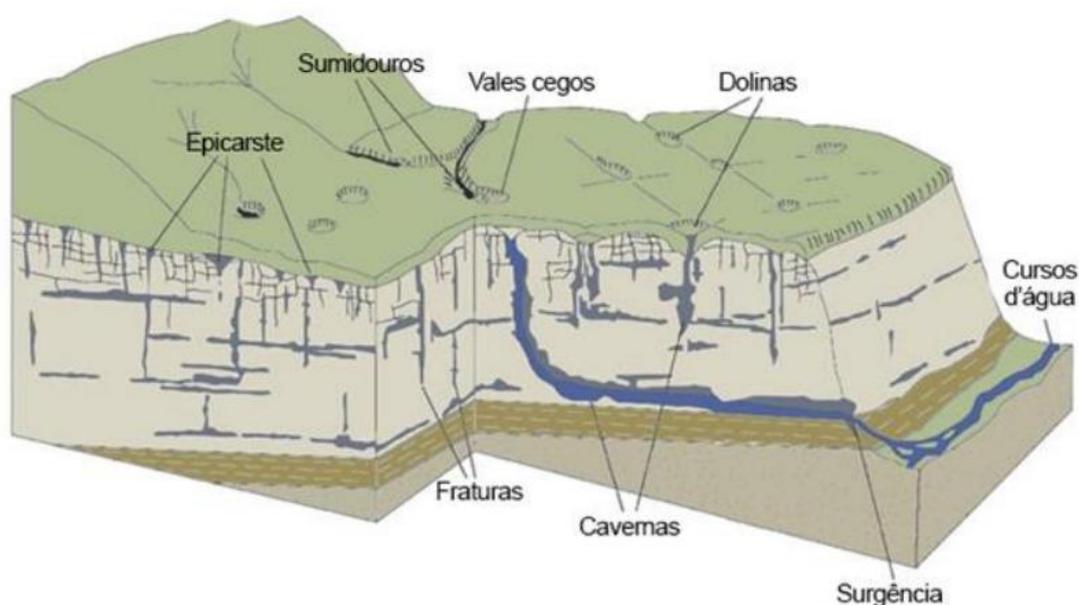


Figura 2: Bloco diagrama representando as principais feições típicas de um carste bem desenvolvido. Modificado de Goldscheider (2005).

Tendo em vista a grande dependência da população mundial (cerca de 20 a 25%) em relação aos recursos hídricos originados em sistemas cársticos (Ford & Williams, 2007), a ciência vem desenvolvendo o conhecimento voltado para um melhor entendimento de suas peculiaridades.

Ao mesmo tempo em que os ambientes cársticos abrigam uma importante fonte de água para o mundo, esse tipo de relevo apresenta-se em uma condição altamente vulnerável à ocorrência de eventos de contaminação, provenientes principalmente de atividades humanas, uma vez que a interação entre os recursos hídricos superficiais ocorre de maneira muito rápida e direta com os recursos subterrâneos (Ford et al., 1989).

Além da alta vulnerabilidade apresentada por esse tipo de terreno, os aquíferos formados pelo carste são tidos como de difícil entendimento, já que a circulação de suas águas se dá de maneira aleatória e pouco visível. Tal circulação é controlada pela distribuição caótica de superfícies de dissolução, formadas a partir de estruturas de acamamento e fraturas, permitindo a classificação desses aquíferos, geralmente, como anisotrópicos e heterogêneos (Legrand & Lamoreaux, 1975; Ford & Williams, 1991).

Além disso, a fim de descrever o comportamento do fluxo subterrâneo desses sistemas, foi concebida a ideia de “tripla permeabilidade”, a partir da qual se considera que o fluxo ocorre através da matriz, das fraturas e dos condutos (White, 2003). Sendo assim, os aquíferos cársticos são descritos por Goldscheider (2005) como uma rede de condutos que interagem com fraturas e uma matriz de rocha menos carstificada.

Para White (2003) e Ford & Willians (2007), o processo de carstificação é realizada pela junção da solubilidade do material com a porosidade secundária bem desenvolvida, uma vez que somente a alta solubilidade da rocha se mostra insuficiente para a evolução dos terrenos cársticos.

Segundo Kohler (1989), a quantidade de água, o clima, o teor de carbonato de cálcio da rocha, e sua estrutura de acamamento e fraturamento, representam as principais variáveis que resultam na solubilização das rochas carbonáticas e o favorecimento dos processos morfogenéticos responsáveis pela dinâmica e evolução desse tipo de relevo.

Goldscheider (2005) cita ainda duas formas nas quais ocorre o processo de recarga em aquíferos cársticos. A primeira é originada em zonas de absorção localizadas no próprio sistema, na qual a água pode se infiltrar através de sumidouros ou dolinas, ou de maneira difusa, por meio de fissuras na rocha e solos sobrejacentes sendo denominada como recarga autogênica (Figura 3). Já a outra, ocorre em áreas adjacentes não-cársticas, a qual leva o nome de recarga alogênica.

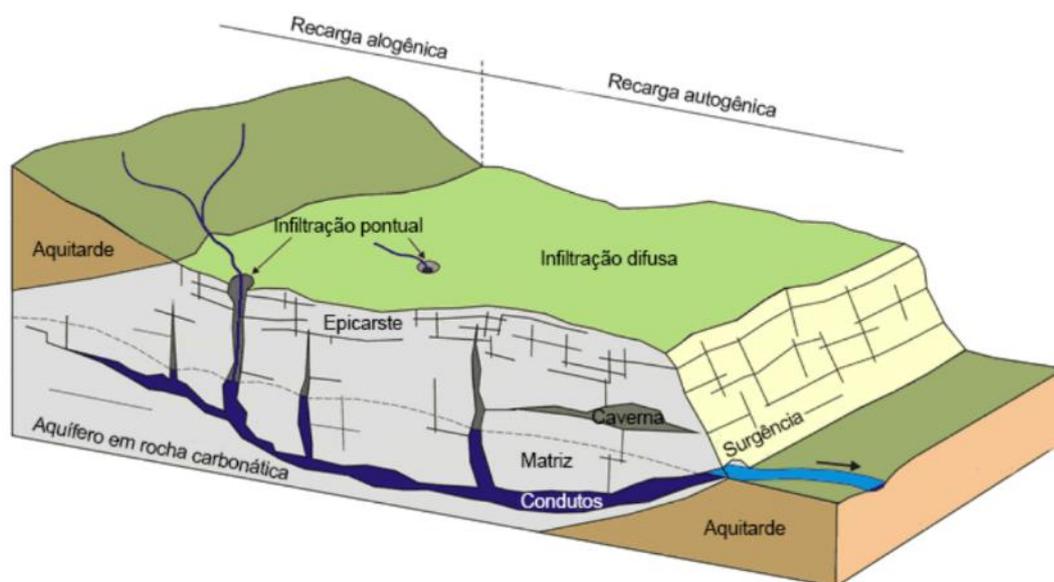


Figura 3: Bloco diagrama ilustrando as formas de recarga que ocorrem em sistemas cársticos. Modificado de Goldscheider & Drew (2007).

Outra característica importante de ambientes cársticos é a presença de uma zona sub-superficial, denominada epicarste, que apresenta maior permeabilidade, e mais bem distribuída, quando se comparada à rocha situada abaixo. Dessa forma, essa zona se comporta como sendo a principal em função de armazenamento de água e concentração de fluxo (Goldscheider & Drew, 2007).

Além do epicarste, existe uma zona mais profunda, conhecida como endocarste, a qual é caracterizada pela presença de cavernas e condutos subterrâneos. Para Piló (2000), a sua formação é controlada pelas estruturas da rocha em combinação com a relação geográfica entre as áreas de recarga e descarga hídrica.

1.5.2 Estudos anteriores na região da APA Carste de Lagoa Santa

Vários são os estudos já realizados na região da APA Carste de Lagoa Santa, sendo destacados aqui alguns que remetem às temáticas geológica e hidrogeológica.

No Projeto Vida, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, foram elaborados diversos estudos de cunho multidisciplinar em relação ao desenvolvimento socioeconômico e preservação do meio ambiente. Dentre outros trabalhos, foi elaborado por Tuller et al., (1992) um mapa geológico em escala 1:50.000 da região.

Auler (1994) conduziu estudos de caracterização hidroquímica e hidrológica sub-superficial na região dos municípios de Matozinhos e Pedro Leopoldo que abrangeram parte da região da APA e inteiramente a bacia do córrego Samambaia. Nesse trabalho, o autor condensou os oito domínios fisiográficos, anteriormente reconhecidos por Silva et. al., (1987), em seis. Outro aspecto

importante apresentado foi a descrição da região de Matozinhos-Pedro Leopoldo como sendo um carste bem desenvolvido, com típicas feições cársticas e com um importante fluxo subterrâneo. Esse fluxo foi caracterizado, através da aplicação de traçadores artificiais, em três principais direções, NW-SE, W-E e SW-NE. Além disso, concluíram que a recarga do aquífero cárstico é autogênica e que o rio das Velhas é o nível de base regional.

Posteriormente, Pessoa (1996) realizou uma investigação hidrogeológica na região da Lapa Vermelha, localizada no município de Lagoa Santa. Essa investigação produziu diversos resultados, dentre eles: a definição de rotas de fluxo de água subterrânea e suas velocidades e a identificação de um sistema aquífero integrado, uma vez que foi possível verificar a interconexão entre algumas das bacias estudadas, incluindo a bacia do córrego Samambaia.

Outro importante estudo multidisciplinar realizado na área, no ano de 1998, foi intitulado APA Carste de Lagoa Santa, concebido por CPRM e Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA, resultou na elaboração de relatórios que caracterizam o meio físico, meio biótico, o patrimônio espeleológico, histórico e cultural, aspectos socioeconômicos e zoneamento ambiental e gestão ambiental.

Berbert-Born (1998), define a “bacia cárstica de Matozinhos-Pedro Leopoldo” como formada por rochas muito solúveis, onde a maior parte da drenagem é complexa e é predominantemente subsuperficial. Também são descritas várias lagoas, de comportamento intermitente ou não. Por fim, a autora analisou sedimentos coletados de diversas lagoas na região compreendida entre os municípios de Sete Lagoas e Lagoa Santa. A partir dessa análise foi possível observar indícios de modificações recentes no sistema cárstico local. Dentre as lagoas estudadas, encontram-se as localizadas no domínio cárstico, sendo elas: a de Santo Antônio, Sumidouro e Confins.

No âmbito do projeto PAN Cavernas do São Francisco, Velásquez et al., (2018) vêm, desde 2015, estudando vários aspectos relacionados à hidrogeologia da região da APA Carste de Lagoa Santa, como a caracterização hidrogeoquímica e hidrodinâmica dos aquíferos, a vulnerabilidade intrínseca da área, além das características hidrológicas das bacias abarcadas pelo projeto. Esses estudos possuem o intuito de adequar e implantar uma rede de monitoramento de água subterrânea na região.

Tayer et al., (2017) realizaram uma avaliação de vulnerabilidade intrínseca do aquífero cárstico da área da APA Carste de Lagoa Santa, por meio da utilização do método COP, a partir da qual foi possível concluir que cerca de 7% da área estudada é classificada como sendo altamente vulnerável à contaminação de água subterrânea. Segundo os autores, essas áreas apresentam importantes zonas

de comunicação entre o meio superficial e o subterrâneo, com a ocorrência de cavernas, sumidouros e dolinas, através das quais a infiltração de água é facilitada.

Para Vieira (2018), por meio dos resultados obtidos pelos estudos hidroquímicos, foi possível constatar a grande influência do poder de dissolução e carstificação das águas de circulação mais rasa, característica proveniente da composição dessas, que acabam por controlar os parâmetros hidráulicos dessa porção do ambiente subterrâneo. Já para as águas mais profundas, os altos índices de produtividade e vazão dos poços estão diretamente ligados ao controle exercido por estruturas presentes nessa porção.

Ainda segundo a mesma autora, as maiores vazões apresentadas pelas nascentes localizadas em afloramentos do Membro Lagoa Santa são justificadas pela natureza mais pura dessas rochas, o que resulta em maior propensão à dissolução, quando comparadas às do Membro Pedro Leopoldo.

Amaral et al. (2019), com base nas características morfoestruturais, morfométricas e feições residuais, analisaram e caracterizaram o comportamento hídrico das depressões cársticas da área, concluindo que as feições que se apresentam sempre secas e as que se tornam secas ao final do período de estiagem apresentam grande potencial para a recarga hídrica subterrânea.

Através do estudo dos fluxos nos aquíferos cársticos da região, Ribeiro et al. (2019) concluíram que o acamamento e as fraturas E-W de alto ângulo são os principais controladores do fluxo regional de água subterrânea, o qual segue em direção ao nível de base regional, o Rio das Velhas.

Com base em análises de traçadores corantes, Teodoro et al. (2019) identificaram a proveniência da água de quatro principais surgências da área da APA, que dão origem às bacias dos córregos Palmeiras, Mocambo/Jaguara, Samambaia e Gordura. Especificamente para a bacia do córrego Samambaia, foram identificadas duas contribuições mais importantes, uma oriunda da Gruta Lapa Vermelha (bacia de Confins), perfazendo 13% da vazão da surgência Samambaia, e a outra da janela Cárstica Cocho D'água (bacia Mocambo/Jaguara), totalizando 70,2% da vazão da surgência do Engenho. Além disso, foram quantificadas outras contribuições para a nascente do Engenho, originadas da Gruta da Água Fria, que se mostram menos expressivas (7%). Os autores estimaram que cerca de 42% da origem do córrego Samambaia já tenha sido desvendada (Teodoro et al., 2019).

Em estudo de balanço hídrico realizado por De Paula et al. (2019), abrangendo toda a APA e arredores, os autores relacionaram, para cada bacia, os diferentes valores de produtividade e de recarga, com seus aspectos hidrogeológicos e grau de antropização. No total foram calculados 119 mm para a recarga (12% da pluviometria) e 91% de índice de escoamento subterrâneo. Esse

alto índice mostra a alta taxa de infiltração, justificada pelas excelentes condições criadas pela presença dos maciços fraturados, sumidouros e dolinas. Também foram identificadas bacias nas quais ocorrem mais exploração de água subterrânea do que a recarga, indicando assim a ocorrência de déficit hídrico. Além disso, o elevado índice de antropização das bacias é percebido através do número de captações realizadas diretamente dos córregos.

Para os mesmos autores, a bacia do córrego Samambaia é caracterizada por se enquadrar como uma bacia de nível de vazão intermediário, 0,159 m³/s, com resposta quase imediata aos eventos de chuva. Outro cálculo realizado foi o do índice de fluxo de base (BFI), o qual resultou em 99% para a bacia em questão. Esse valor elevado foi justificado como sendo devido à existência de um barramento que regulariza a vazão logo a jusante do ponto de monitoramento utilizado. E para a recarga, o valor calculado foi de 10,4% da pluviometria, 104 mm. Com esses valores e os dados de captações instaladas, os autores concluíram que o balanço hídrico da bacia é positivo, com um superávit de 68 mm.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Clima

A região da APA Carste de Lagoa Santa é caracterizada, climatologicamente, pela ocorrência de duas estações bem definidas, uma quente e úmida (período de outubro a março) e outra fria e seca (período de abril a setembro). Esse tipo de clima é associado ao domínio do sistema estacionário chamado Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, o qual apresenta alto grau de umidade absoluta com elevada temperatura interior, sendo associadas à intensa incidência de radiação solar (IEF, 2010).

Para o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) esse tipo de clima é enquadrado na categoria Tropical Brasil Central subquente a semi-úmido (Nimer, 1989), apresentando, em geral, as estações alternadas, com temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C e amplitudes térmicas anuais inferiores a 5°C (Ribeiro, 1995).

Em relação aos dados de pluviometria da área, tem-se a tabela a seguir (Tabela 1), que foi elaborada utilizando como provedor de dados a estação pluviométrica denominada Ponte Raul Soares, localizada no município de Pedro Leopoldo.

De acordo com os dados apresentados, a média pluviométrica anual é de 1.256,1 mm, considerando o período de 1975 a 2012. É sabido que após esse período, a porção centro-sul do país sofreu com intervalos de tempo mais secos que o normal, principalmente o ano de 2014. Mesmo que essa

ocorrência não esteja visível a partir da análise da estação em questão, já que esta se apresentou inoperantes entre maio de 2013 e maio de 2015, outras estações próximas à área registraram essa diminuição da quantidade de chuva.

Quanto à temperatura, tem-se para o município de Lagoa Santa, no período entre os anos de 1961 e 1990, o registro de temperatura média compensada anual de 21,4°C, sendo 12,5°C a média das mínimas, em meses mais frios, e 29,3°C correspondente a média das máximas, nos meses mais quentes. O mês de março é considerado o mês mais quente do ano, e julho o mais frio (Viana et al. 1998).

Em relação à caracterização da evaporação média anual para o município de Lagoa Santa, Viana et al. (1998) apresentaram um valor de 912 mm para o período de 1961 a 1970, sendo o mínimo de 55 mm medido em fevereiro e o máximo de 114 mm em setembro.

Já para o parâmetro de umidade, os mesmos autores chegaram ao valor de 69,8% para umidade relativa média compensada, com base em dados obtidos entre 1961 e 1990. Para os meses de maior umidade, referentes a dezembro, janeiro e fevereiro, o valor médio foi de 75,3%, enquanto que para os de menor umidade, agosto e setembro, 60,5%.

Tabela 1: Série histórica pluviométrica da estação Ponte Raul Soares, município de Pedro Leopoldo (Código 01943049). Fonte Hidroweb (ANA, 2019).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1975	168.2	194.6	40.0	121.6	29.0	1.4	33.8	0.0	3.1	134.0	196.2	95.0	1016.9
1976	41.6	90.4	63.2	7.7	11.8	0.0	57.5	1.4	99.0	103.0	280.4	247.3	1003.3
1977	438.6	8.3	158.8	77.4	16.1	3.6	19.0	0.0	73.6	49.5	164.4	187.9	1197.2
1978	159.8	255.9	166.7	57.7	58.0	0.0	24.5	0.0	28.2	83.2	230.7	191.4	1256.1
1979	533.1	463.7	186.7	43.2	65.8	1.0	26.1	34.8	63.9	62.3	290.2	261.8	2032.6
1980	355.8	99.0	27.0	210.0	0.0	29.5	2.0	0.0	20.0	64.0	154.0	283.0	1244.3
1981	198.0	75.0	71.2	22.2	7.0	24.2	0.0	15.4	12.7	223.6	418.9	260.7	1328.9
1982	290.3	21.0	294.6	34.3	28.5	0.0	3.5	0.3	5.4	73.7	85.9	224.3	1061.8
1983	353.0	224.0	231.8	120.3	56.5	1.6	24.0	3.8	59.4	139.8	260.2	332.3	1806.7
1984	107.8	5.9	93.0	15.5	0.3	0.0	1.0	45.6	65.0	117.3	119.3	322.6	893.3
1985	559.5	137.4	230.9	20.4	53.1	9.4	5.1	4.3	43.9	42.6	156.6	267.3	1530.5
1986	219.1	160.2	38.3	45.0	85.8	11.8	27.7	37.8	0.4	0.0	83.9	284.3	994.3
1987	173.8	18.5	84.5	165.0	19.4	19.0	4.2	4.5	53.0	108.3	129.2	408.2	1187.6
1988	176.4	297.4	136.2	57.0	33.0	10.0	0.6	0.5	66.5	39.2	173.4	287.4	1277.6
1989	195.7	162.2	165.1	0.0	0.2	72.6	24.2	10.2	18.3	118.4	264.3	323.8	1355
1990	46.3	158.8	95.3	0.0	24.2	0.0	33.7	17.9	51.0	67.4	232.9	112.4	839.9
1991	490.4	195.8	147.3	62.1	16.0	0.0	0.0	0.0	46.8	78.6	197.3	138.0	1372.3
1992	418.8	186.3	29.7	72.7	12.7	0.0	2.4	0.0	85.5	67.6	289.1	264.4	1429.2
1993	118.5	165.4	44.8	84.1	7.8	11.9	0.0	0.0	98.1	93.6	130.0	282.4	1036.6
1994	330.3	27.8	311.2	81.1	20.9	15.6	0.0	0.0	0.0	35.9	130.7	196.9	1150.4
1995	87.9	236.0	235.7	48.2	13.0	0.0	0.0	0.0	54.8	98.5	191.3	578.6	1544
1996	207.7	142.1	231.2	32.7	14.1	0.0	0.4	17.1	45.0	87.7	428.7	341.9	1548.6
1997	473.2	103.7	201.6	99.2	33.0	46.0	0.0	3.0	57.1	43.6	186.4	301.8	1548.6
1998	260.6	182.6	93.2	31.1	54.9	0.0	0.0	18.5	13.3	139.4	167.8	343.8	1305.2
1999	158.7	52.6	236.2	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	2.5	47.2	242.6	264.9	1006.2

2000	314.6	316.0	269.3	10.3	13.0	0.0	1.5	37.4	35.5	19.2	264.2	256.2	1537.2
2001	117.4	11.3	134.2	64.7	20.6	0.0	1.9	35.4	64.0	120.4	258.8	393.6	1222.3
2002	318.5	211.2	52.0	5.8	38.4	0.0	18.5	0.0	55.4	46.9	168.3	269.7	1184.7
2003	439.1	11.5	87.1	16.8	31.6	0.0	0.0	8.3	17.6	29.4	150.1	279.8	1071.3
2004	349.5	222.6	161.5	92.0	55.8	6.7	32.0	0.0	0.0	21.0	109.5	422.7	1473.3
2005	202.8	211.9	290.6	39.8	31.7	9.0	0.0	1.7	97.7	18.1	280.2	246.5	1430
2006	66.2	87.1	327.3	19.1	13.8	0.0	8.6	10.4	33.1	88.2	223.9	226.4	1104.1
2007	284.9	185.9	50.2	44.2	11.5	0.0	9.6	0.0	0.0	85.9	104.5	171.3	948
2008	235.9	130.4	170.6	52.2	0.0	0.0	0.0	24.1	75.8	50.0	139.8	318.0	1196.8
2009	292.7	133.3	212.7	50.3	2.8	3.8	0.0	20.6	66.7	168.7	105.9	506.8	1564.3
2010	121.3	12.2	142.6	28.4	39.2	1.6	0.0	0.0	21.3	107.5	308.5	262.9	1045.5
2011	117.0	18.9	265.6	77.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	140.1	227.7	215.2	1061.9
2012	318.8	20.7	223.6	30.6	39.7	20.8	0.0	0.0	3.2	20.5	194.7	52.9	925.5
2013	198.7	42.8	108.1	110.0	-	-	-	-	-	-	-	-	459.6
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	0.0	6.1	0.0	28.2	65.7	135.2	120.5	355.7
2016	456.6	65.3	78.8	73.2	0.1	8.6	0.0	6.1	65.9	65.7	312.7	227.0	1360
2017	64.4	173.0	147.6	8.1	24.9	33.8	0.0	0.0	0.0	63.5	201.0	224.7	941
2018	149.3	277.1	178.0	24.9	5.7	0.0	0.0	39.4	72.1	119.5	198.3	213.9	1278.2
2019	95.2	268.5	104.5	37.6	59.3	0.0	0.0	0.0	4.2	-	-	-	569,3

* dados não disponíveis.

2.2 Geomorfologia e vegetação

Na região da APA Carste de Lagoa Santa existem dois domínios de relevo identificados por Viana et al. (1998), os quais se apresentam fortemente relacionados à geologia local.

Um deles é caracterizado como sendo um relevo cárstico, o qual engloba todas as suas estruturas típicas, como dolinas, uvalas e paredões rochosos. Tal relevo ocupa principalmente a área central da área e, conseqüentemente, a maior parte da bacia do córrego Samambaia. Esse drena sobre os calcários da Formação Sete Lagoas, apresentando um número elevado de cavernas e reentrâncias que mostram o resultado da interação dos condutos de água subterrânea com a superfície (Berbert-Born, 2002).

O segundo domínio, menos expressivo que o primeiro, está relacionado com as rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena e tem sua ocorrência restrita à porção sudeste da APA e suas bordas. Sua característica principal é a presença de colinas convexas e alongadas, em cotas superiores a 850 metros (Meneses, 2003).

Em relação à vegetação, a região da APA Carste de Lagoa Santa se enquadra na classificação de Floresta Estacional Decidual (Meneses, 2003), inserida no bioma de Mata Atlântica e Cerrado, com ocorrência relacionada aos maciços rochosos, dolinas e uvalas.

Considerando a ação do homem, a vegetação primária foi fortemente substituída por áreas de pastagens e culturas, ou até totalmente removida para dar lugar a instalações de cavas de mineração e construções.

2.3 Geologia

A área da APA Carste de Lagoa Santa está inserida no contexto regional da bacia do rio São Francisco, que, por sua vez, se localiza na porção sudeste do Cráton São Francisco. Essa tem seu embasamento, de natureza cristalina, formado por rochas arqueanas pertencentes a um complexo gnáissico-migmatítico denominado Complexo Belo Horizonte, o qual não está exposto na área estudada.

O Complexo Belo Horizonte é caracterizado pela presença de rochas de composição que variam de granítica a granodiorítica, de granulação média a grossa, com evidências de retrometamorfismo de fácies xisto verde.

Em escala regional, sobreposta ao embasamento, é descrita, por Almeida (1977), Dardenne (1978), Alkmim & Martins-Neto (2001) e Alkmim (2004), a ocorrência de sequências metassedimentares, sendo o Grupo Macaúbas e Formação Jequitai de origem detrítico-glacial, e o Grupo Bambuí de composição pelítico-carbonática.

Localmente, na bacia do córrego Samambaia (Figura 4), são encontradas rochas formadas por sedimentos plataformais da sequência basal do Grupo Bambuí, pertencentes à Formação Sete Lagoas. Essas são divididas em dois membros, um basal denominado Pedro Leopoldo e outro de topo, denominado Lagoa Santa, conforme divisão estabelecida por Schöll (1972, 1973) e modificada por Dardenne (1978). Os pacotes rochosos desses dois membros apresentam contato do tipo gradacional e, por vezes, tectônico.

O Membro Pedro Leopoldo tem sua ocorrência restrita ao extremo nordeste e leste da área. Esse é composto por metacalcários impuros, intercalados com metapelitos, composto principalmente por calcita, sericita e quartzo, com sulfetos disseminados. Essas rochas possuem granulação muito fina, por vezes microcristalina, de coloração acinzentada (Vieira et al., 2018), apresentando uma espessura aproximada de 150 metros (Cabral, 1994).

Já o Membro Lagoa Santa é constituído por calcários puros, com granulação fina a média, de composição essencialmente calcítica, com ocorrência de sulfetos disseminados (Vieira et al., 2018). Essas rochas apresentam coloração acinzentada e ocupam quase que a totalidade da área de estudo, comumente observadas em afloramentos de maciços rochosos com alto índice de carstificação. Também segundo Cabral (1994), esse pacote rochoso tem espessura aproximada de 100 metros, na porção central da área da APA.

Além das rochas da Formação Sete Lagoas, a área de estudo ainda apresenta outros afloramentos característicos da porção superior do Grupo Bambuí, pertencentes à Formação Serra de Santa Helena, a qual se encontra sobreposta a Formação Sete Lagoas por meio de falha de descolamento (Ribeiro et al., 2003). Estas rochas têm ocorrência restrita ao extremo sudeste e nordeste da área.

Para Berbert-Born et al. (2002), Zalán e Romeiro-Silva (2007) e Ribeiro et al. (2016), a Formação Serra de Santa Helena é caracterizada pela presença de metapelitos

(metassiltitos e metargilitos) com composição de quartzo e sericita, além de argila e óxidos de ferro. As rochas apresentam coloração tipicamente amarelada, com a presença de veios de quartzo, e geralmente intensamente intemperizadas.

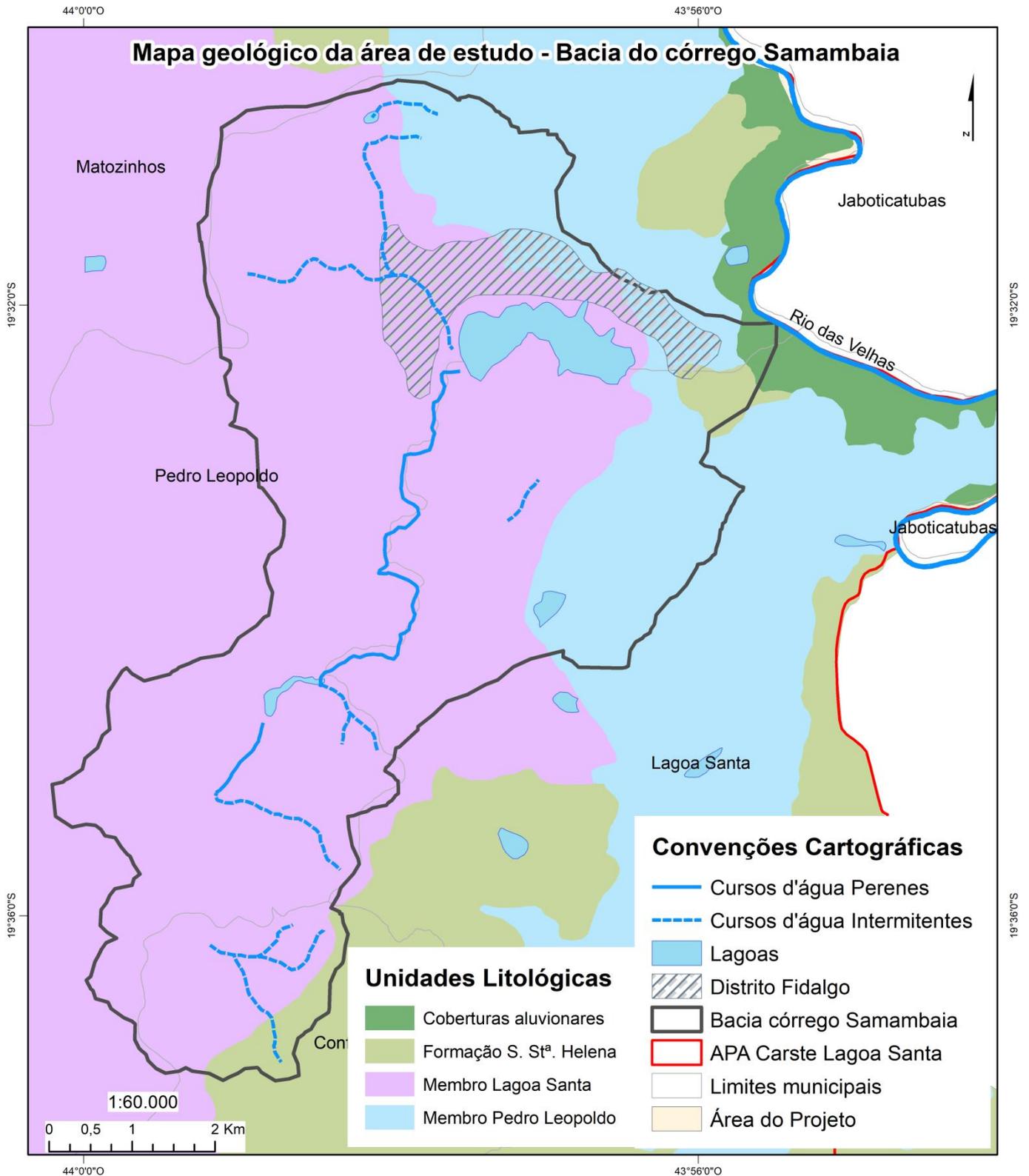


Figura 4: Mapa geológico da bacia do córrego Samambaia. Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2016).

Fechando o topo da sequência estratigráfica (Figura 5), as coberturas cenozóicas detrítico-lateríticas e aluvionares ocorrem de maneira restrita na região, conforme descrito por Vieira et al. (2018), geralmente associadas a cursos d'água.

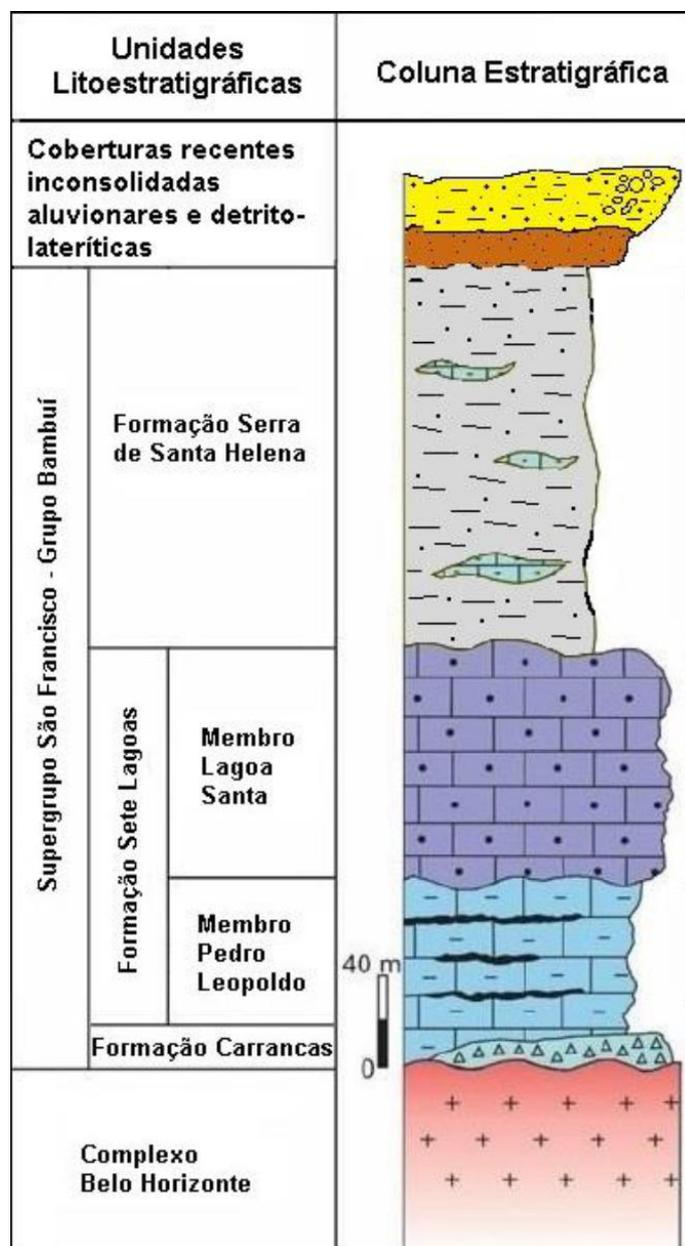


Figura 5: Coluna estratigráfica. Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2016).

2.4 Hidrologia superficial e subterrânea

A região da APA Carste de Lagoa Santa está localizada na bacia do rio das Velhas, pertencente à porção do Alto-Médio rio São Francisco (IBGE, 2006), o qual representa o principal curso d'água da área, juntamente com o seu afluente, ribeirão da Mata, que

por sua vez se encontra no limite sul da referida área de proteção ambiental (Meneses, 2003).

A drenagem da região é classificada como sendo típica de ambientes cársticos, com forte interação entre os cursos d'água e suas feições cársticas, como condutos, cavernas, dolinas, surgências e sumidouros (Viana et al., 1998). Esse padrão fortemente interconectado resulta na mistura entre fluxo de água superficial e subterrâneo, onde as redes de drenagem superficiais são, comumente, interrompidas por formações cársticas, o que acaba por causar um importante desvio de escoamento superficial para o sistema subterrâneo (Darnault, 2008).

Em função dessas características, o sistema de drenagem da área, o qual ocorre, geralmente, associado ao sistema cárstico, é predominantemente subterrâneo, com poucas ocorrências de cursos superficiais (Viana et al., 1998). Dessa maneira, o entendimento da sua dinâmica hídrica é complexo, o que implica na realização de diversas ações de monitoramento e de estudos hidrológicos mais aprofundados.

As principais sub-bacias da APA são representadas pelos córregos Samambaia, Palmeira, Flor, Jaguará e Gordura. Esses cursos d'água têm suas nascentes localizadas em terrenos carbonáticos, a partir das quais a água escoá superficialmente formando a drenagem da água superficial, que, juntamente com as pluviais, fluem para o meio subterrâneo, através de estruturas como sumidouros e dolinas (Ribeiro et al., 2016). Os limites dessas bacias (hidrogeológicas) ainda não estão perfeitamente reconhecidos, uma vez que muitas rotas de fluxo subterrâneo ainda são desconhecidas (CETEC, 1984).

Para Ribeiro et al. (2016), é possível identificar um forte controle estrutural de um dos principais sistemas de fraturas de alto ângulo em relação à direção de desenvolvimento das principais drenagens, dolinas e escarpas. Esse sistema é caracterizado por apresentar fraturas com ângulos iguais ou maiores que 45°, que compartimentam os calcários presentes na área. É possível notar ainda que, seguindo o alinhamento das estruturas citadas anteriormente, a água subterrânea escoá de oeste para leste, em direção ao rio das Velhas, reconhecido como o nível de base regional.

A sub-bacia do córrego Samambaia, área-foco deste estudo (Figura 6), é geralmente classificada como sendo do tipo cárstica, devido à alta concentração de feições típicas

desse meio, principalmente surgências e ressurgências, como as denominadas Samambaia, Gameleira, Palestina e Engenho. Segundo Meneses (2003), o curso d'água principal possui orientação SW-NE e extensão aproximada de 9,1 km, até a sua descarga na Lagoa do Sumidouro, da qual é o principal contribuinte.

As águas captadas desse córrego são utilizadas principalmente em propriedades rurais, nas quais a utilizam para consumo humano, dessedentação de animais e irrigação.

Na região da APA Carste de Lagoa Santa predominam aquíferos cársticos, que variam de livres a semi confinados, desenvolvidos nas rochas pelítico-carbonáticas do Grupo Bambuí. Segundo IBAMA (1998), a maioria dos poços presentes na região exploram água da Formação Sete Lagoas, principalmente do Membro Lagoa Santa, mas também do Membro Pedro Leopoldo.

O aquífero formado pelos calcários do Membro Lagoa Santa é classificado como um sistema carbonato-cárstico, que se apresenta melhor desenvolvido, uma vez que é composto por calcários mais puros, ricos em calcita, fator que facilita a ocorrência de dissolução. Já o membro Pedro Leopoldo, é representado por aquíferos cárstico-fissurais, formados em metassiltitos, filitos, calciofilitos e calcários silicosos, que possuem maior potencial hídrico vinculado à ocorrência de atividades tectônicas, com o desenvolvimento de permeabilidade secundária (Mourão et al. 2001).

Para De Paula (2019) o modelo hidrogeológico conceitual da área da APA Carste de Lagoa Santa apresenta suas condições de contorno representadas pelos rios que margeiam a região, os quais se encontram em cotas inferiores às das áreas onde ocorrem entradas de água das unidades aquíferas estudadas, sendo uma exceção a continuidade do fluxo proveniente de oeste para leste próximo a bacia do córrego Palmeiras. Em relação à unidade aquífera representada pela Formação Sete Lagoas, o mesmo autor definiu uma espessura média de 200 metros para a maior parte do pacote encontrado na área do estudo, mesmo este tendo sido depositado acima do sistema *rift-graben* do embasamento, o qual se aprofunda para leste.

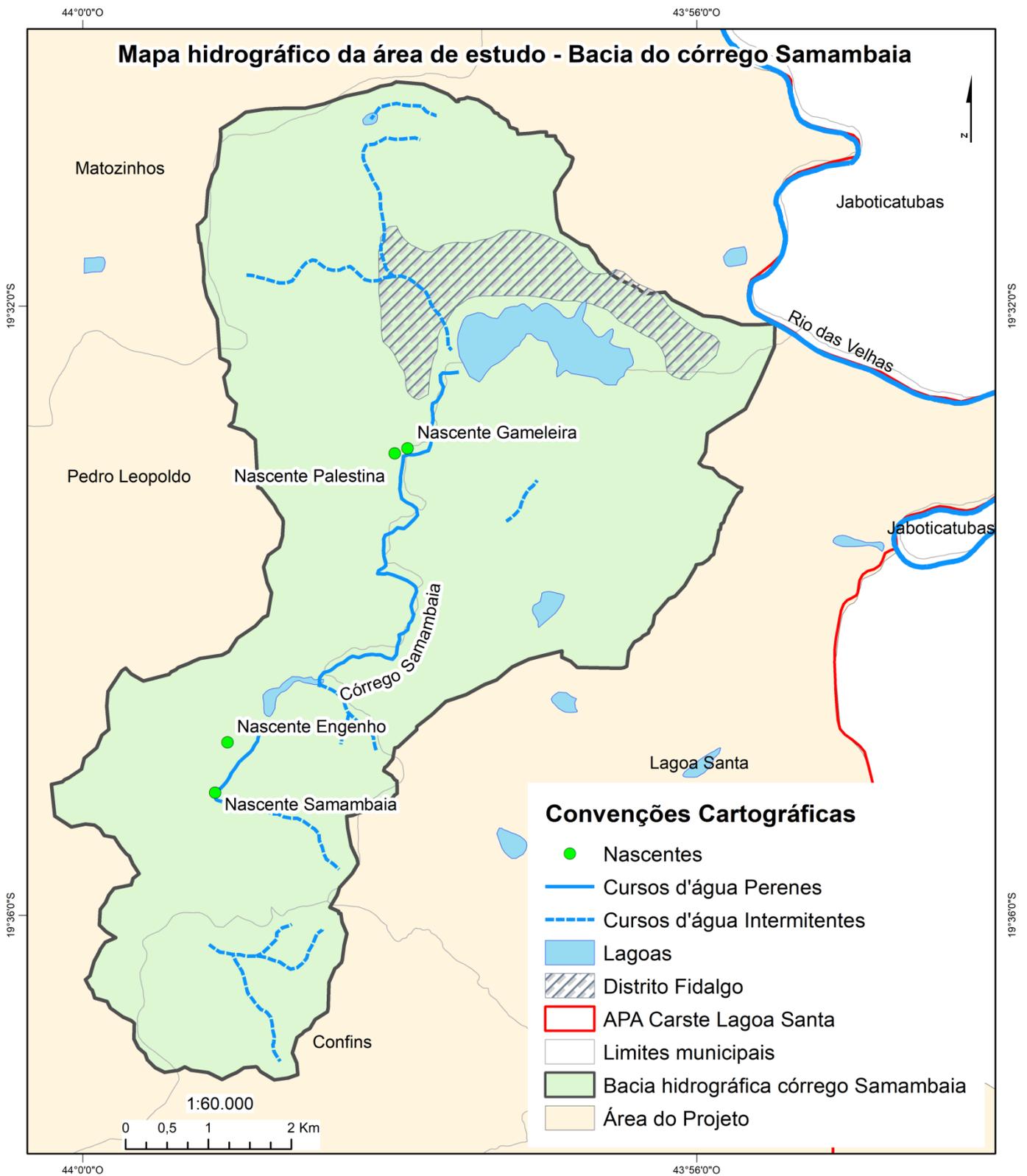


Figura 6: Mapa de hidrografia da bacia do córrego Samambaia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de caracterizar a hidrologia superficial e subsuperficial da bacia do córrego Samambaia, tanto em relação às suas especificidades naturais quanto às interferências antrópicas sobre ela, foram realizados monitoramentos de vazão de água proveniente das nascentes e de pontos do córrego. A partir desses dados, foi possível realizar o balanço hídrico da bacia, a caracterização de suas nascentes e o levantamento de hipóteses que possam explicar o esvaziamento da Lagoa do Sumidouro, exultório da bacia em questão.

Pelo fato da metodologia relativa à análise da situação da lagoa estar apresentada de maneira detalhada no artigo sobre esse tema (Anexo I), esta será tratada simplificada e nessa seção.

3.1 Levantamento de campo

A escolha dos locais de instalação dos pontos de monitoramento das vazões das nascentes e do córrego Samambaia foi realizada numa campanha de campo na segunda quinzena de setembro de 2018.

A seleção dos pontos foi realizada de forma que as estações fluviométricas fossem instaladas em locais estratégicos da bacia hidrográfica, para que fosse possível proceder com a contabilização de todo o aporte de água que entra e que sai da bacia, além das retiradas e demais interferências em recursos hídricos produzidas pelo homem.

Foram implantados quatro pontos de monitoramento na bacia do córrego Samambaia, sendo três instalados nas nascentes (Engenho, Samambaia e Gameleira) e um quarto na porção final do córrego (Córrego Samambaia V2). Além dessas estações, também foi considerada uma anteriormente instalada (Córrego Samambaia V1), igualmente localizada no córrego, logo a jusante de um importante barramento existente na bacia. A Figura 7 e Tabela 2 ilustram a localização dos pontos de monitoramento analisados ao longo do presente estudo.

Tabela 2: Localização dos pontos de monitoramento de vazão.

Nascente Engenho	19°34'51.80"S	43°59'03.35"W
Nascente Samambaia	19°35'11.60"S	43°59'08.20"W
Nascente Gameleira	19°32'56.00"S	43°57'53.00"W
Córrego Samambaia V1	19°34'26.00"S	43°58'27.00"W
Córrego Samambaia V2	19°33'16.60"S	43°57'50.70"W

É importante salientar que, mesmo representando um ponto mapeado de entrada de água da bacia, não foi possível proceder com a instalação de uma estação fluviométrica na nascente Palestina. Essa impossibilidade se deve à dificuldade de acesso ao ponto da surgência, além do fato de esse se apresentar de maneira difusa, com vários pontos de contribuição direta para área brejada da Lagoa do Sumidouro. Mesmo assim, essa foi considerada nos cálculos do presente trabalho.

Após a seleção dos locais, as estações fluviométricas utilizadas foram construídas a partir da instalação de uma régua graduada, de seção de medição de vazão demarcada por pontaletes metálicos, de transdutor de pressão posicionado em um suporte com trava de segurança e dois cadeados. Tanto as réguas quanto os suportes para os transdutores de pressão foram confeccionados em material metálico. As réguas possuem graduação, com precisão centimétrica, no intervalo de 20 a 100 centímetros e são apoiadas em uma estrutura de madeira, do tipo cavalete (Figura 8).

Os transdutores de pressão utilizados para o monitoramento são do fabricante Heron, os quais suportam uma coluna d'água de no máximo 30,0 metros. Amarrados a eles, se encontram fios de tecido que são acoplados a tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ de polegada que são inseridos no suporte metálico. A fim de se garantir a integridade dos dispositivos de medição, a tampa do suporte é fechada através do acionamento de duas travas laterais, que por sua vez são trancadas com cadeados.

O monitoramento dos pontos implantados em 2018 foi iniciado no dia 16 de setembro, com a realização de leituras automáticas de pressão de coluna d'água em intervalos de hora em hora, além do monitoramento manual de vazão com periodicidade mensal. Já em relação ao ponto instalado anteriormente, tem-se o registro dos dados de vazão horária desde 05 de maio de 2018.

A medição de vazão manual foi realizada através da utilização de micromolinete ao longo de seções pré-determinadas, com o objetivo de se definirem curvas-chaves características de cada porção do recurso hídrico monitorada, a fim de que fosse possível associá-las às medidas automáticas feitas pelos transdutores de pressão e então estabelecer uma série de dados de vazão característica da bacia.

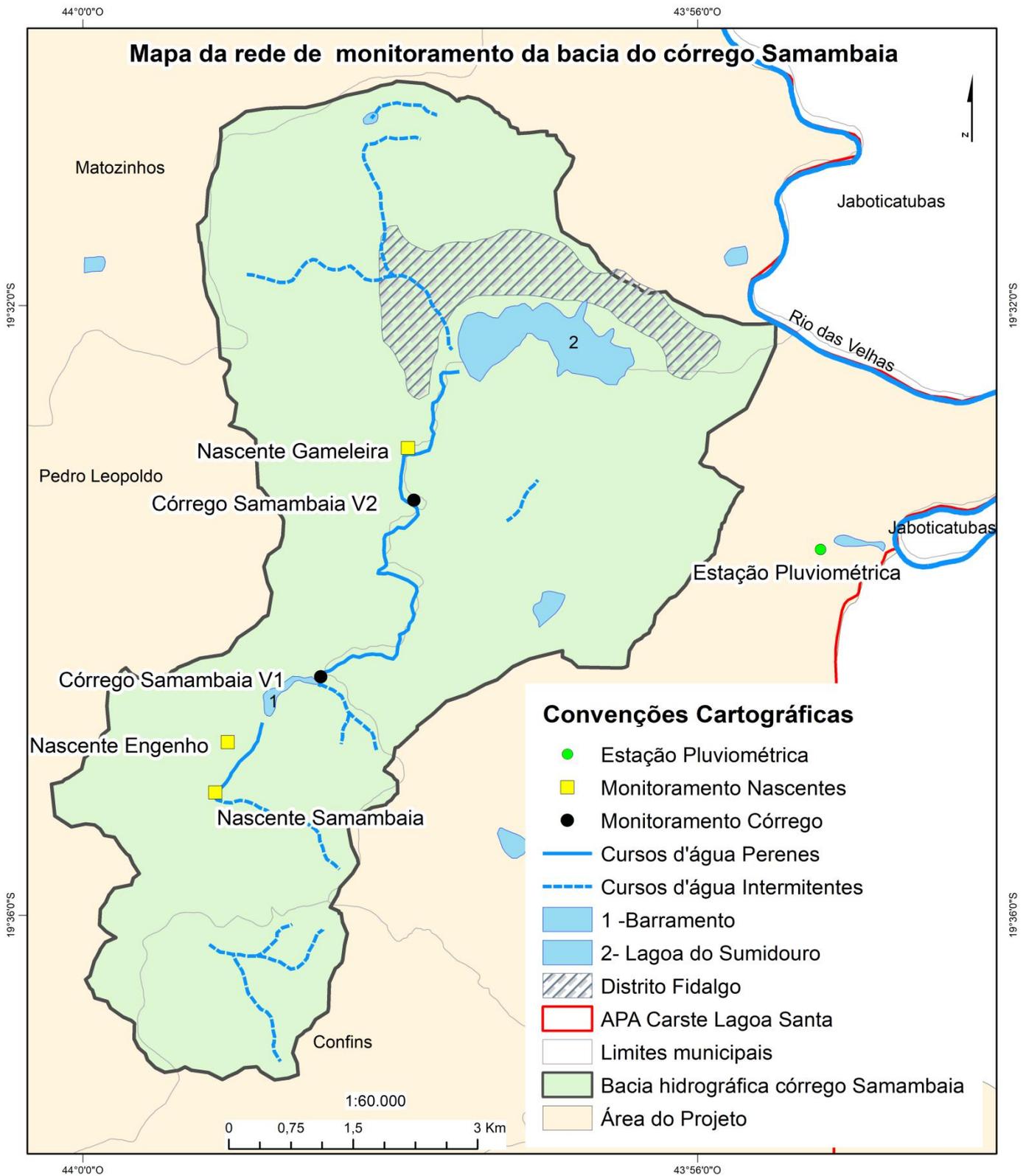


Figura 7: Mapa dos pontos de monitoramento da bacia do córrego Samambaia.

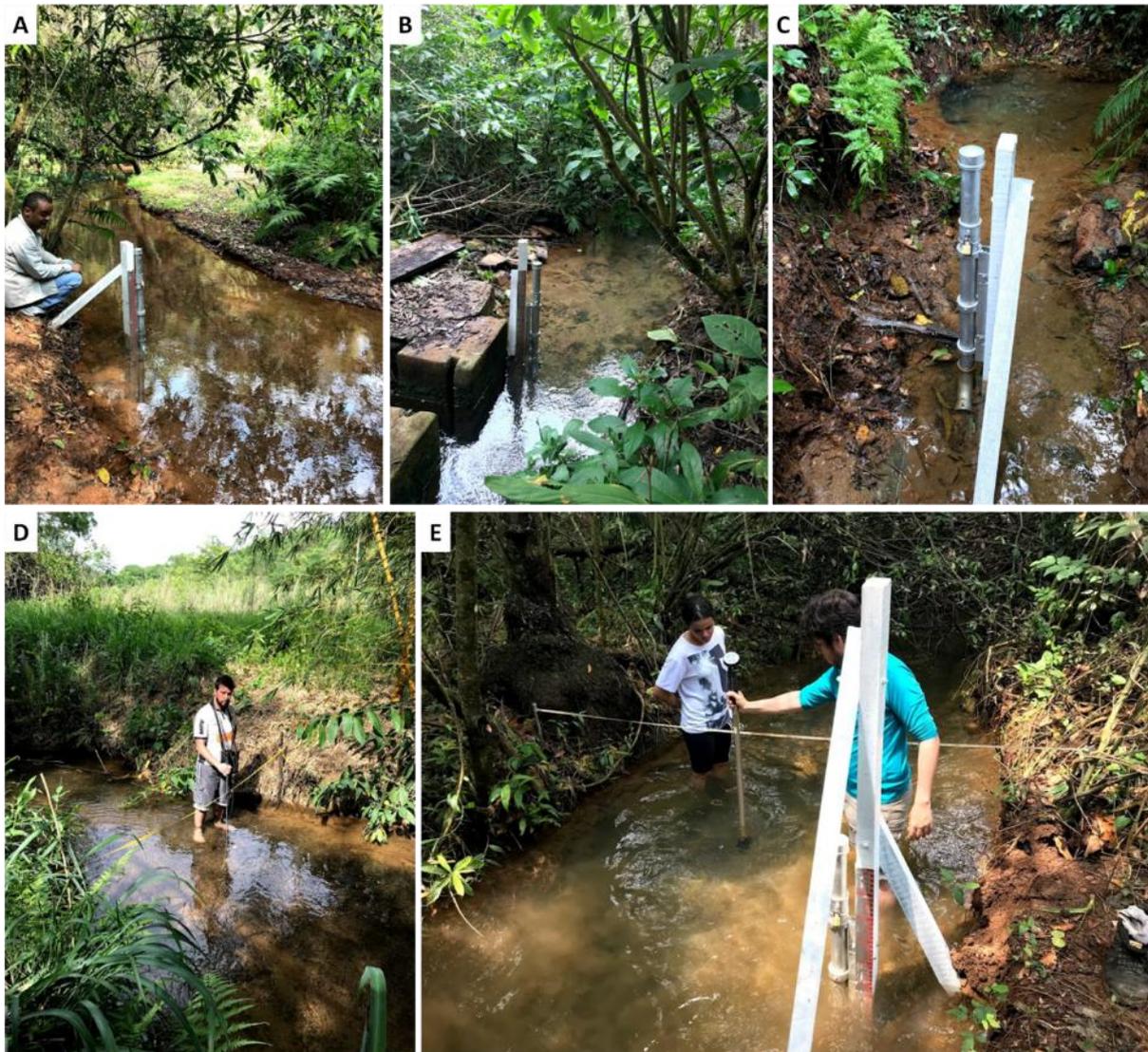


Figura 8: Pontos de monitoramento de vazão. A – Nascente Samambaia; B – Nascente Engenho; C – Nascente Gameleira; D – Córrego Samambaia V1 e E – Córrego Samambaia V2. Fotos tiradas em outubro de 2018.

Após cada coleta de dados das estações, os valores de pressão exercida pela coluna d'água eram compensados pelos dados extraídos do transdutor de pressão barométrica (00681-2004), a fim de se retirar a interferência causada pela variação da pressão atmosférica. Esse instrumento foi instalado, anteriormente, no âmbito do “*Projeto de adequação e implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da Bacia do Rio São Francisco, aplicado à área piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais*” e apresenta área de abrangência que inclui a bacia considerada.

Depois de realizada a compensação, os dados de pressão são transformados em valores de altura de coluna d'água. Esses últimos são correlacionados com o nível de água

atingido nas réguas linimétricas, o que permite a conversão desses dados em valores de vazão através da utilização da curva-chave de cada seção.

Para a elaboração das curvas-chave de cada porção de recurso hídrico monitorada foram utilizadas sete leituras de vazão realizadas manualmente. Essas leituras relacionadas aos valores de nível de água correspondentes, no momento do monitoramento, fornecem o traçado de curva, a qual é utilizada para a conversão dos dados de altura da coluna d'água, obtidos automaticamente, em valores de vazão.

A relação existente entre valor de cota e vazão é proveniente de uma avaliação linear, a qual pode ser calculada por diversos métodos, que podem ser do tipo gráfico, matemático ou através de tabelas de calibragem. Neste trabalho, foi adotada a forma gráfica internacional cota-vazão h/Q (equação 1), a qual foi calculada através da utilização do aplicativo Solver do *software* Excel.

$$Q = a(h - h_0)^b \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q = vazão monitorada (m^3/s);

h = nível de água medido na régua (m);

h_0 = altura (m) onde a vazão é nula;

a e b = constantes lineares determinadas para o local de monitoramento

As planilhas de cálculo dos valores de vazão diária durante o ano hidrológico de 2018-2019 e das curvas-chave são apresentadas no Anexo II deste volume.

3.2 Completação de falhas de monitoramento

Ao longo do período de monitoramento, alguns pontos apresentaram falhas de leitura ou de armazenamento dos dados. Dessa forma, para que não houvesse lacunas nas séries de dados de vazão durante o monitoramento, optou-se por empregar a metodologia desenvolvida por De Paula (2019) para que os hidrogramas destes pontos fossem completados.

O autor formulou esse método, baseado na relação de causa e efeito de autocorrelação e correlação cruzada proposta por Ferrari & Karmann (2008) aplicada para sistemas

carbonáticos, com o objetivo de se obter um equacionamento matemático que fosse capaz de transformar cada evento de chuva em uma vazão de referência para o curso de água (Figura 9).

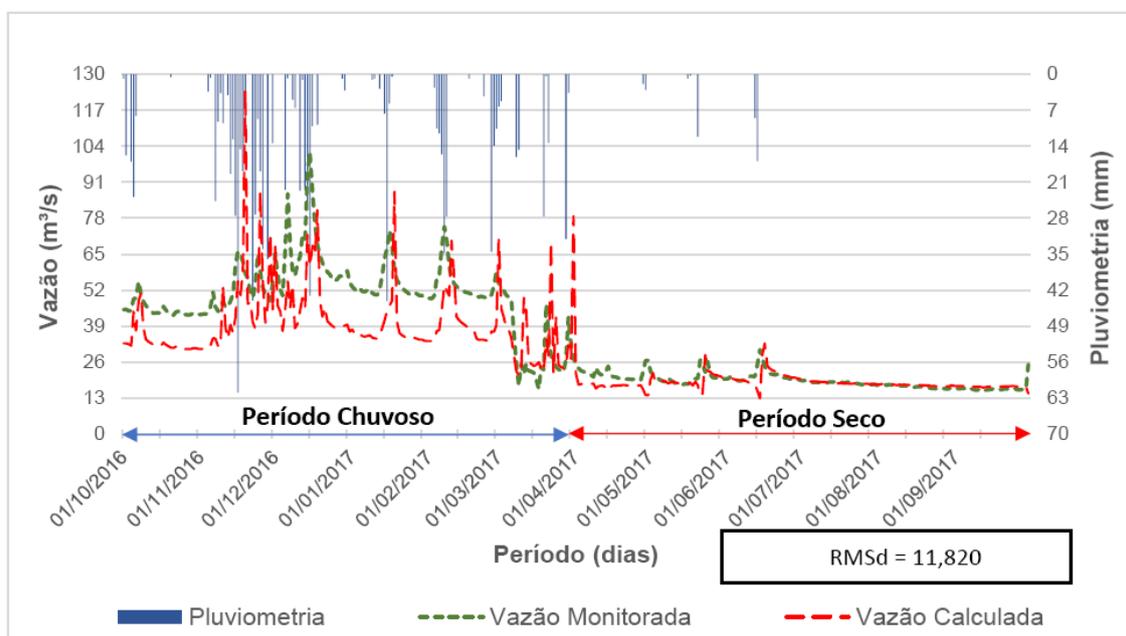


Figura 9: Método de completção de falhas. Modificado de De Paula (2019).

O emprego desse método no estudo em questão se justifica pelo fato de esta ter sido criada, e validada, para aplicação em sistemas cársticos da região. Dessa forma, foram completados os hidrogramas das três nascentes da área, as quais tiveram seus monitoramentos interrompidos por falhas na operação do transdutor de pressão.

3.3 Balanço de água na bacia

Para a contabilização e caracterização das entradas e saídas do sistema, primeiramente foi realizada uma etapa de determinação do balanço climatológico da bacia do córrego Samambaia, que foi procedido pelo cálculo do balanço hídrico da bacia.

Ainda nesse contexto, o cálculo do balanço climatológico seguiu a metodologia Thornthwaite e Mather (1955), a partir da qual foi possível obter, dentre outros parâmetros (ETP, EXC, DEF e DEF), o valor de evapotranspiração real - ETR. Esses foram obtidos a partir da utilização dos dados de temperatura média mensal, média da quantidade de horas de sol por mês, além dos dados de pluviosidade mensal. Os dados de entrada são originados das estações pluviométrica de Ponte Raul Soares (Código 01943049), localizada no município de Lagoa Santa, e meteorológica de Sete Lagoas

(Código OMM: 8670), consultados nos sites da Agência Nacional de Águas – ANA (2019) e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2019).

Os cálculos referentes à recarga aquífera da área foram realizados por intermédio da utilização do USGS GW-Toolbox desenvolvido por Barlow et al. (2014) e Barlow et al. (2017). Para tal, o software utilizou três sub-rotinas internas: HYSEP, RECESS e RORA, através das quais são obtidos o hidrograma, a separação das componentes superficial e subterrânea do escoamento e a curva mestra de recessão.

O software empregado utiliza o método Rutledge e Daniel (1994), o qual propõe que a curva mestra de recessão (CRM) é composta pelo deslocamento de pequenos períodos de recessão do hidrograma. Com base na curva, é possível se obter o valor do índice de recessão médio e da recarga.

Além desses métodos, ainda foi realizado outro cálculo de recarga, a fim de validar o resultado encontrado pelo método computacional. Essa validação foi realizada através da soma das entradas de água, realizadas pelas nascentes, de origem externa ao sistema, distribuída pela área total da bacia. Essa operação se justifica pelo fato de as nascentes representarem mais de 95% do aporte de água do córrego Samambaia, quando se compara a vazão medida no ponto mais a jusante do córrego com as vazões monitoradas das nascentes.

Em relação às interferências em recursos hídricos localizadas na bacia hidrográfica, foram levantadas captações de água regularizadas junto ao órgão gestor de recursos hídricos e um barramento, localizado na porção média da bacia, que exerce a funcionalidade de regularização de vazão do córrego. A localização dessas intervenções está ilustrada no mapa da Figura 10.

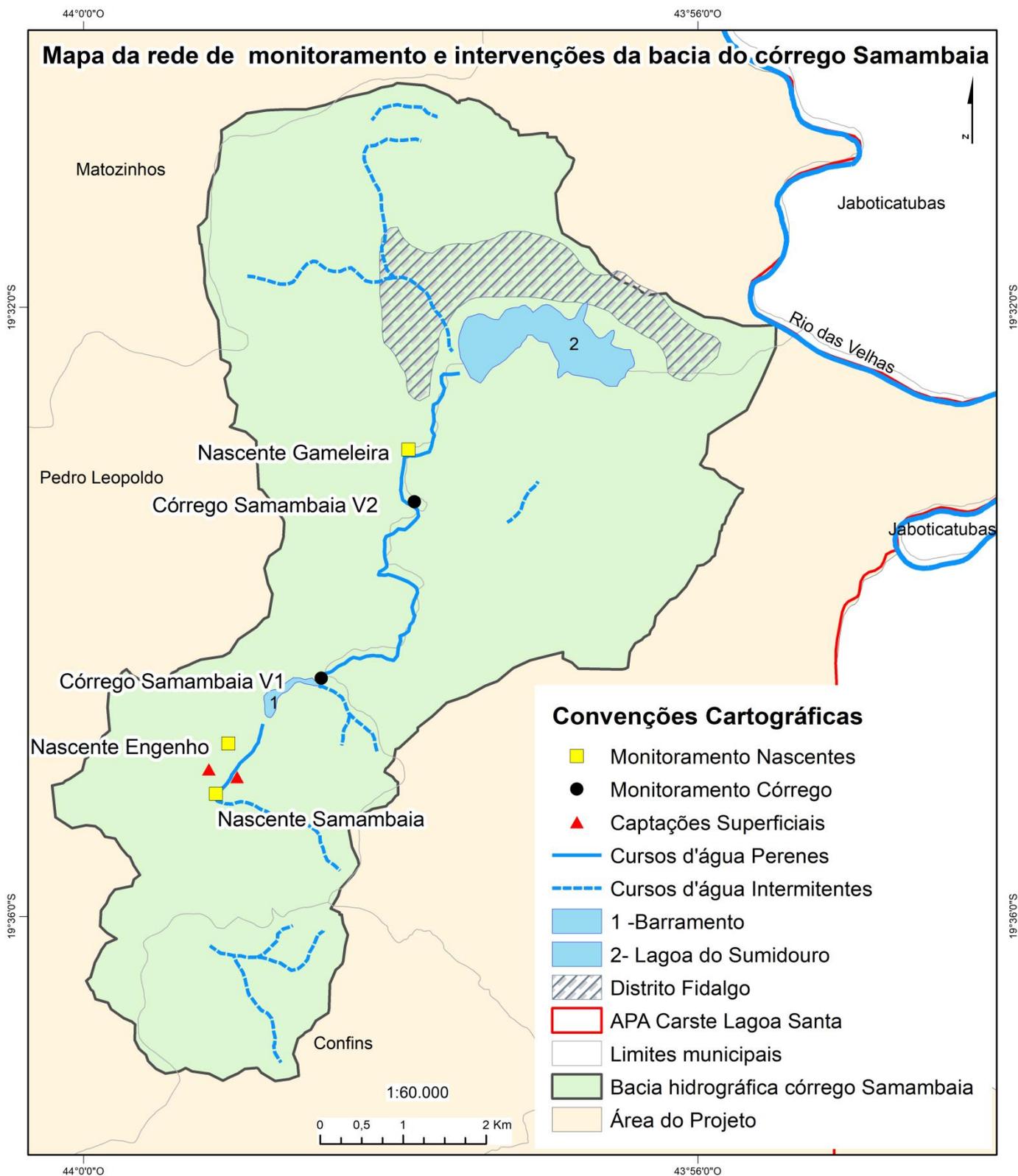


Figura 10: Mapa de localização das captações cadastradas em relação à rede de monitoramento implantada.

3.4 Caracterização das nascentes

Após a consistência dos dados de vazão monitorada e as fases de conversão e completção de dados, os hidrogramas característicos de cada nascente foram correlacionados com a pluviometria da área.

Dessa forma, foram avaliados os comportamentos quantitativos de cada nascente monitorada em relação aos eventos pluviométricos ocorridos ao longo do ano hidrológico de 2018-2019. Além disso, foram levados em consideração os resultados obtidos por meio da análise de causa e efeito de autocorrelação e correlação cruzada desenvolvida por Ferrari & Karmann (2008), com o objetivo de obter o tempo de resposta de cada nascente em relação à chuva.

Adicionalmente a essa análise, também foram considerados os valores obtidos por Teodoro et al. (2019) e Ribeiro et al. (2019), os quais obtiveram, através de análises de traçadores corantes e dos isótopos ^{18}O , ^2H e ^3H , respectivamente, as contribuições externas à bacia para as nascentes estudadas, as características dos fluxos e suas idades relativas.

3.5 Impacto pelo esvaziamento da Lagoa do Sumidouro

É importante salientar que se convencionou denominar alta e média bacia do córrego Samambaia a porção de contribuição desde o limite a montante até o ponto de entrada do córrego na lagoa, e de baixa bacia a porção de contribuição imediata à lagoa, incluindo a área ocupada por ela.

O questionamento da(s) causa(s) do esvaziamento de água da Lagoa do Sumidouro tem suscitado a comunidade e os órgãos ambientais ao debate, porém os fatores possíveis não se encontram facilmente manifestos e requerem estudos específicos para elucidação do impacto.

Nesse estudo, procurou-se equacionar todas as entradas e saídas de água para a Lagoa do Sumidouro, comparando esses quantitativos no presente com os dados disponíveis da década de 1990.

Admitiu-se como entradas: água do córrego Samambaia, água do escoamento superficial direto do entorno imediato à lagoa e a água pluvial direta sobre a área de depressão. E como saídas o escoamento através do sumidouro existente dentro da lagoa e a evaporação direta, além das captações de água detectadas.

Na hipótese da diminuição do volume de água transferido para a lagoa pelo córrego Samambaia, foi realizado um estudo hidrológico da bacia homônima, visando comparar o escoamento atual do córrego à época em que a lagoa se encontrava cheia. Dessa forma, foram analisados os dados produzidos pelo monitoramento de vazão dos pontos da bacia e pelos balanços hídrico e climatológico, além do balanço de água da bacia.

Procedeu-se assim com o balanço do volume de água atual, ou seja, o que entra e o que sai das porções alta e média da bacia, isto é, até o ponto de sua entrada na lagoa, através do comparativo das vazões atuais de entrada das nascentes com as da época em que a lagoa se encontrava plenamente cheia (Auler, 1994), bem como da avaliação dos impactos antrópicos das retiradas e do barramento.

A análise hidrológica da baixa bacia inclui a lagoa e a sua porção contribuinte imediata. A medida do volume da lagoa em fev/2003, o mais antigo registro nas imagens Google Earth Pro, representa, portanto, o cenário em que a lagoa encontrava em suas condições plenas de capacidade volumétrica, de contribuições e de vazão de saída através do sumidouro.

Assim, com base nessa informação do monitoramento fluviométrico das três nascentes, do córrego Samambaia (dois pontos), da precipitação, e das retiradas antrópicas, foi possível avaliar as contribuições do escoamento superficial direto (ES), do córrego Samambaia e da precipitação direta sobre a lagoa em três cenários evolutivos do esvaziamento da lagoa: 2003, 2004 e 2012. Em 2013 o lago já se encontrava totalmente seco e não se recuperou mais.

Salienta-se que, para as três nascentes contribuintes, foram admitidos para 2003 os mesmos valores de vazão medidos por Auler em 1994, na estação seca.

Mediante utilização das imagens de satélite disponíveis no software Google Earth Pro e da ferramenta Volume Raster do *software* QGIS 2.18.20, além da base topográfica disponível, elaborada através do Modelo Digital de Elevação – GDEM ASTER, foram calculados os valores das áreas ocupadas pela lagoa e os volumes de água correspondentes a 2003 (imagem de época chuvosa), 2004 e 2012 (imagem de época de estiagem).

O volume total de água proveniente da chuva (escoamento superficial e precipitação direta no lago) que alimentaria a lagoa nos períodos analisados foi analisado a partir da

pluviometria medida na estação Ponte Raul Soares (Código 01943049), localizada no município de Pedro Leopoldo, a qual possui uma série histórica com medições desde 1975. Estes dados foram obtidos através de consulta ao site da Agência Nacional de Águas – ANA (2019). Para tal análise foram utilizados os valores correspondentes aos anos hidrológicos de 1993-1994, 2002-2003, 2003-2004, 2011-2012, 2012-2013 e 2018-2019.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos que contemplam a análise do monitoramento, balanço de água na bacia e caracterização das nascentes, além da avaliação das possíveis causas do esvaziamento da Lagoa do Sumidouro.

4.1 Monitoramento fluviométrico

Foram elaboradas as curvas-chave e hidrogramas característicos de cada ponto de monitoramento. Para esse último, foi necessário o emprego da técnica de completção de dados para os períodos em que ocorreu a perda de leituras.

4.1.1 Curvas-chave

São apresentadas, a seguir, as curvas-chave para cada um dos quatro pontos monitorados: nascentes Samambaia, Engenho e Gameleira, além do último ponto do córrego Samambaia (V2). Como De Paula (2019) já havia calculado recentemente a curva-chave para o primeiro ponto do córrego Samambaia (V1), essa foi considerada para o presente estudo, não havendo necessidade de ser refeita.

Dessa forma, para a confecção das curvas-chave, foram utilizadas, sete medidas realizadas, representando pares de valores vazão x altura da lâmina d'água, para cada ponto considerado (Figura 11).

É importante ressaltar o formato distinto assumido pela curva chave característica da nascente Gameleira. Enquanto as medidas dos outros pontos de monitoramento foram ajustadas seguindo padrões lineares, as da Gameleira se ajustaram conforme um padrão exponencial.

A diferença entre o somatório das vazões observadas e calculadas através da utilização das curvas chave foi menor que 1% em todos os pontos de monitoramento, assegurando uma ótima aderência das curvas calculadas e, portanto, uma alta confiabilidade nos dados de vazão monitorada.

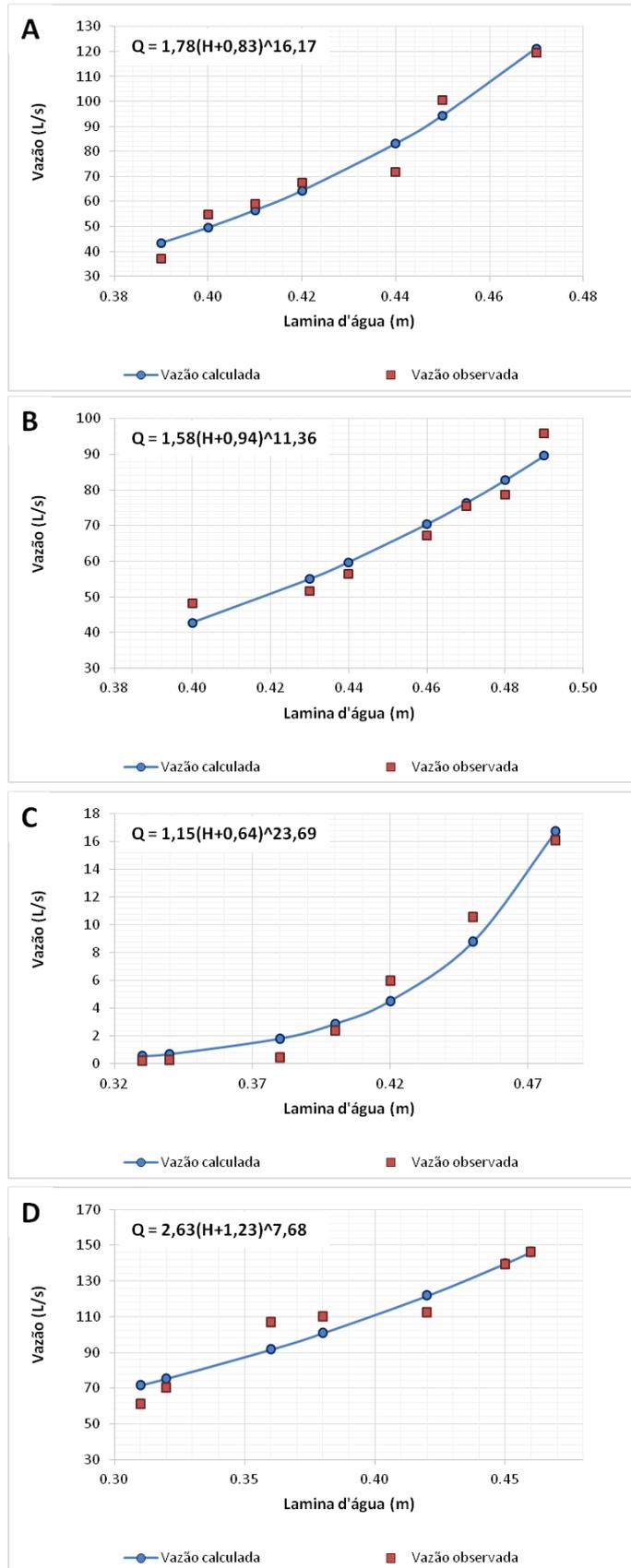


Figura 11: Curvas-chave dos pontos de monitoramento. A - Engenho; B - Samambaia; C - Gameleira e D - Córrego Samambaia.

4.1.2 Completação de dados e hidrogramas

Ao longo do ano hidrológico de 2018-2019, os transdutores de pressão instalados nas nascentes Samambaia, Engenho e Gameleira apresentaram falhas em sua operação. Dessa forma, leituras de pressão, que seriam convertidas em vazão, foram perdidas. Aplicou-se, então, o método de completção proposto por De Paula (2019) (item 3.2), para a região em estudo, o que resultou nas séries de dados completados ilustradas na Figura 12.

Para tal, foi realizada a análise de autocorrelação e correlação cruzada, para os pontos que apresentaram essas falhas, a saber: nascentes Samambaia, Engenho e Gameleira. Essa análise resultou na existência de relação entre as vazões medidas e os eventos de pluviometria para todos os pontos testados, obtendo-se o tempo de resposta dos pontos de monitoramento aos eventos pluviométricos. Foi possível verificar um padrão de resposta próximo ao do monitorado, evidenciando assim uma boa aplicabilidade desses métodos para os pontos estudados. Ou seja, as nascentes analisadas se comportaram de maneira semelhante à previsão realizada pela curva de completção.

A nascente Samambaia (Figura 12 – A) apresentou um grande intervalo de tempo sem o armazenamento de dados do monitoramento. Mesmo assim, foi possível verificar que o método de completção de dados empregado respondeu com sucesso tanto no período de seca quanto no de chuva. Além disso, ficou evidente o pequeno intervalo de tempo, de 1 dia, no qual a nascente leva para responder após a ocorrência de um evento pluviométrico.

Para a nascente Engenho (Figura 12 – B), a curva se distanciou mais das medidas realizadas logo após os eventos de chuva, ou seja, os picos previstos pelo método tiveram amplitude maior do que os realmente medidos. O comportamento real pode sugerir um maior armazenamento, a partir do qual a água não é totalmente liberada logo após os eventos de chuva. Mesmo a nascente apresentando essa característica, como houve perda de informação em um período pequeno de tempo e este ocorreu ao final da época de seca, o método também foi considerado aplicável para esse ponto de monitoramento.

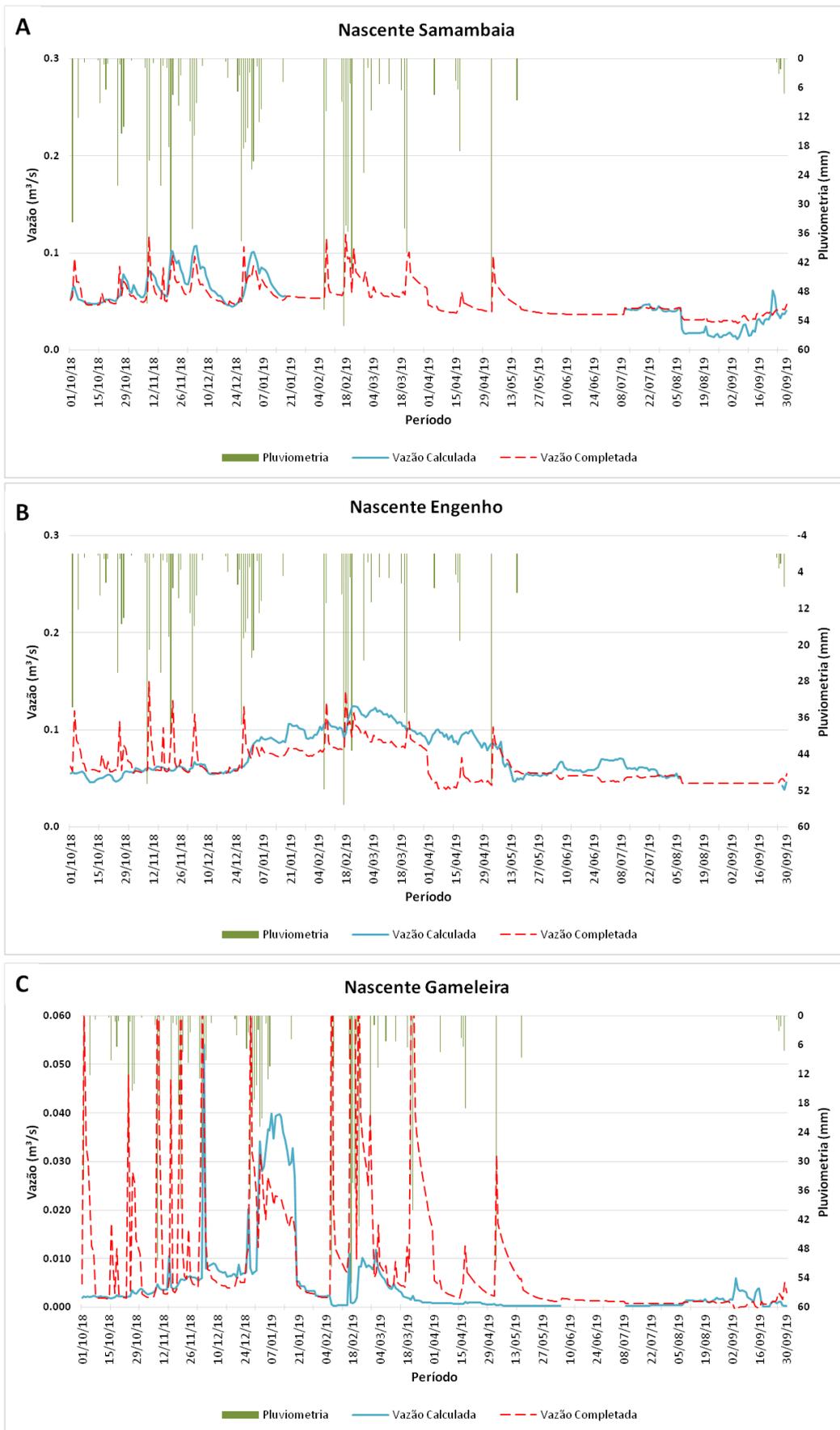


Figura 12: Completação de dados das nascentes. A - Samambaia; B - Engenho e C - Gameleira.

Na curva da nascente Gameleira (Figura 12 – C) também não foi possível verificar o acompanhamento da vazão monitorada na amplitude que foi prevista pelo método empregado. Porém, por mais que os picos reais não se apresentaram de maneira acentuada, a sua geometria foi bem semelhante à desenhada pela curva de completção, principalmente nos períodos com vazões mais altas. De maneira semelhante ao que ocorreu com a nascente Engenho, a Gameleira apresenta falta de dados no período de seca, por um intervalo de tempo restrito, o que faz com que o resultado completado seja considerado satisfatório, sem a implicação de ocorrência de grandes erros para a análise.

Verifica-se que a metodologia necessita de adequações quando se trata de nascentes com características que se diferem do sistema cárstico convencional, como a Engenho que apresenta maior armazenamento ou a Gameleira que parece ter um contribuinte fissural e de confinamento importante na sua dinâmica.

Após a aplicação do método de completção de curvas, os dados completados foram integrados aos medidos de 2018-2019 nos hidrogramas. Além desses, também foram elaborados os hidrogramas característicos dos pontos de córrego monitorados (V1 e V2). A Figura 13 representa graficamente os resultados dos monitoramentos realizados nas nascentes, bem como as completções realizadas. Já a Figura 14 ilustra os hidrogramas dos pontos de monitoramento localizados no córrego.

Baseado nos hidrogramas construídos a partir do monitoramento dos pontos localizados no córrego (V1 e V2), foi possível identificar um comportamento semelhante em ambos os pontos, com picos de mesma forma e tempos de resposta aos eventos de precipitação muito próximos. Porém, esses picos apresentam amplitudes completamente distintas. Isso se deve ao fato do ponto V1, localizado logo a jusante de um importante barramento, está sob o efeito de regularização da vazão do córrego. Portanto, tal estação é menos sensível à variação de vazão, ocorrida ao longo do ano, quando é comparada com a estação V2.

As interpretações dos hidrogramas das nascentes são objeto da seção seguinte, juntamente com a sua caracterização.

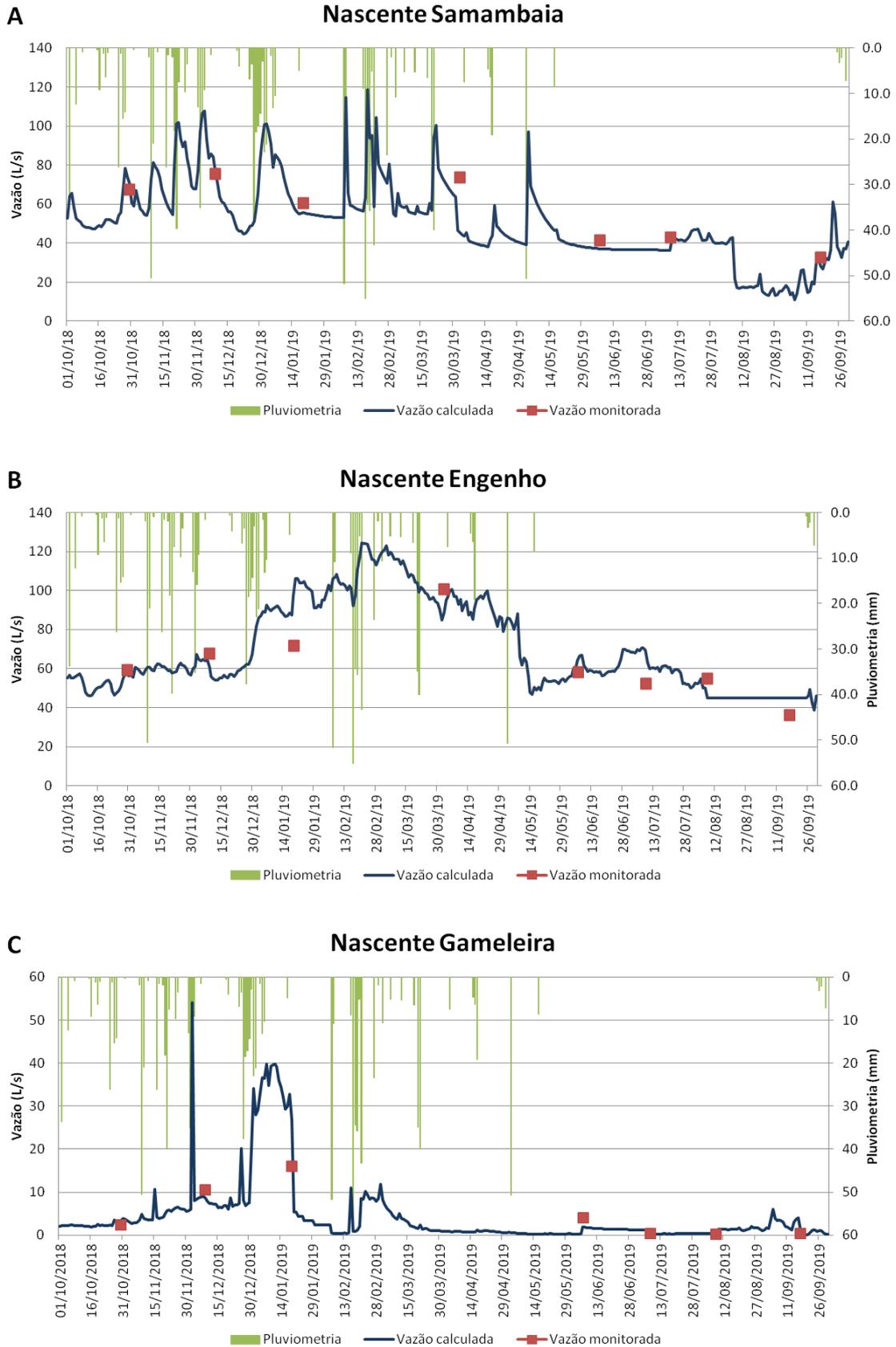


Figura 13: Hidrogramas das nascentes. A - Samambaia; B - Engenho e C - Gameleira.

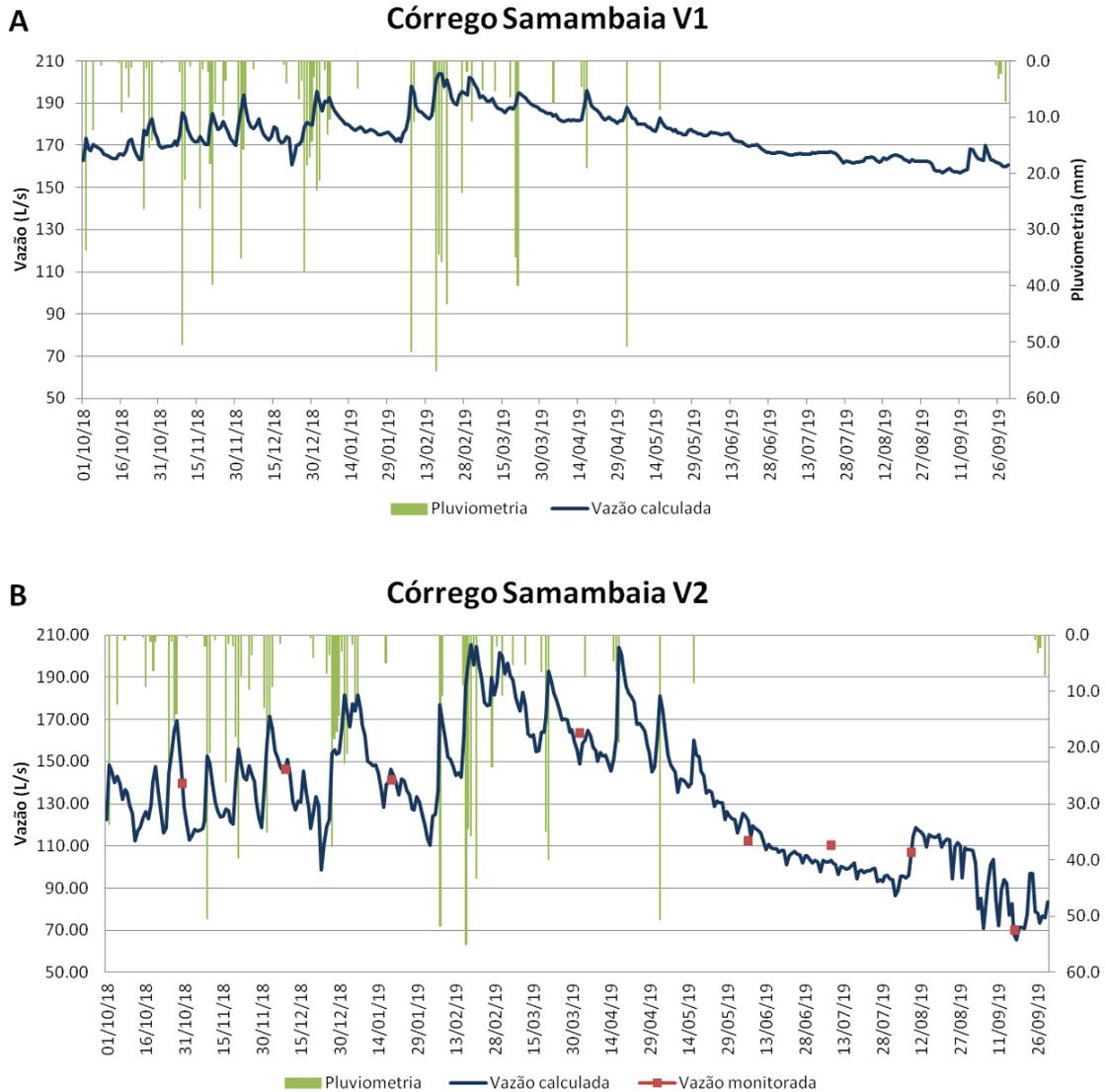


Figura 14: Hidrogramas dos pontos de monitoramento do córrego Samambaia. A - V1 e B - V2.

4.2 Caracterização das nascentes

A partir dos hidrogramas das nascentes monitoradas (Figura 13), foi possível caracterizar o comportamento hidrológico de cada uma, além de estabelecer algumas diferenças entre elas em relação aos eventos de pluviometria.

A nascente Samambaia (Figura 15 – B) apresentou picos de elevação de vazão muito acentuados após os eventos de chuva, sendo procedidos por reduções abruptas de vazão. Além disso, não se observou uma ascensão contínua do hidrograma durante o período chuvoso do ano hidrológico, motivos pelos quais pode-se interpretar condições de não confinamento e de baixo armazenamento de água, o que resulta em descargas mais imediatas e distribuídas durante o ano.



Figura 15: Nascentes da bacia do córrego Samambaia. A - Engenho. B - Samambaia. C - Gameleira. Fotos tiradas em Setembro 2018.

Já a nascente Engenho (Figura 15 – A) apresentou um armazenamento maior durante o período chuvoso do ano hidrológico, promovendo considerável alcance da descarga de água até a estação seca. Dessa forma, são observados picos com pequenas amplitudes de vazão em resposta aos eventos chuvosos, o que gera um traçado ascendente mais constante do hidrograma. De forma análoga, a porção descendente da curva tem inclinação suave, não sendo observadas descidas abruptas como na nascente Samambaia.

A nascente Gameleira (Figura 15 – C) apresenta um hidrograma bastante diferente dos demais (Figura 13 – C). Ao longo do ano hidrológico as suas vazões variam pouco, exceto em situações pontuais nas quais a vazão varia de 5 L/s até 55 L/s, o que pode indicar a ocorrência de despressurização da água proveniente dessa surgência. Esse fato, inclusive, foi observado visualmente e relatado por outros integrantes do projeto.

Ainda em relação ao hidrograma da Gameleira, foi possível observar outros picos de vazão que formam patamares através da manutenção dos altos de vazão por um determinado tempo. Esse comportamento sugere uma conexão de fluxo com outra fonte de água, localizada em outro nível, que mantém as vazões elevadas durante esse período. Outra característica importante dessa nascente é que ela está localizada a poucos metros de um pequeno sumidouro, situado em uma depressão de pequenas dimensões, o que pode exercer influência em relação à sua dinâmica hídrica.

A partir do cálculo de autocorrelação e correlação cruzada, conforme Ferrari & Karmann (2008), foi observado que as três nascentes monitoradas apresentam uma boa relação entre as alterações nas medidas de vazão e os eventos de chuva, além de ter sido possível o cálculo do tempo de resposta observado pela elevação da vazão nos pontos de monitoramento, a partir de eventos pluviométricos. Dessa forma, constatou-se que os tempos decorrentes entre as chuvas e as elevações de vazão observados são bastante similares, sendo de 1 dia para as nascentes Samambaia e Engenho, e de menos de 1 dia para a Gameleira. Esses valores podem ser considerados condizentes com os tempos de trânsito obtidos por Teodoro et. al., (2019), sendo de 28 horas e 44 minutos na conexão Lapa Vermelha - Samambaia e 15 horas e 50 minutos na conexão Cocho D'água - Engenho.

Ribeiro et. al. (2019) classificaram, a partir de resultados de análises isotópicas, as três nascentes como fontes de águas evaporadas. Essa classificação se deve ao fato das três ocorrências apresentarem assinatura isotópica de enriquecimento em isótopos pesados, sugerindo assim um escoamento superficial, no qual passaram por processos evaporativos. Esses dados também vão ao encontro com os obtidos por Teodoro et. al. (2019) que definem que as nascentes Samambaia e Engenho apresentam expressivas contribuições de outras bacias, sendo 13% da água da Samambaia proveniente da Gruta Lapa Vermelha, e 70% de Engenho resultante da janela cárstica Cocho D'água. Dessa forma, esses resultados também corroboram as interpretações resultantes do presente

trabalho, as quais caracterizam as nascentes como ressurgências que recebem água e são influenciadas por fontes externas à bacia. Quanto às nascentes Gameleira e Palestina, as suas origens são ainda desconhecidas.

4.3 Balanço de água na bacia

4.3.1 Balanço hídrico climatológico

Através do cálculo do balanço climatológico, conforme método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), foram obtidos os valores referentes à evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP), o excedente (EXC) e o déficit hídrico (DEF) da bacia hidrográfica do córrego Samambaia (Tabela 3).

Considerando a pluviometria da área de 1.101 mm anuais, no ano hidrológico 2018-2019, o valor de ETR foi de 642,1 mm (58%), de ETP de 695,7 mm (63%), de EXC de 588,2 mm (53%) e de déficit hídrico de 53,6 mm (5%).

Tabela 3: Valores resultantes do balanço climatológico para período analisado.

Balanço Climatológico (mm)					
	2003	2004	2012	2013	2018-2019
Pluviometria	1096,9	1379,4	1240,4	804,1	1101,0
Evapotranspiração Real (ETR)	548,6	526,3	494,7	572,2	642,1
Evapotranspiração Potencial (ETP)	638,7	566,2	559,5	634,8	695,7
Excedente Hídrico (EXC)	699,0	966,6	882,4	365,3	588,2
Déficit Hídrico (DEF)	90,1	39,9	64,8	62,6	53,6
ALT	-150,7	-113,5	-136,7	-133,4	-129,3

O período no qual ocorre excedente hídrico foi o referente aos meses de outubro a março, excetuando o mês de janeiro (provavelmente de maneira excepcional) que apresentou um déficit de 0,3 mm. Dessa forma, o período de DEF mais expressivo ocorreu entre abril e setembro, com o maior índice nesse último (28 mm), conforme ilustrado pela Figura 16.

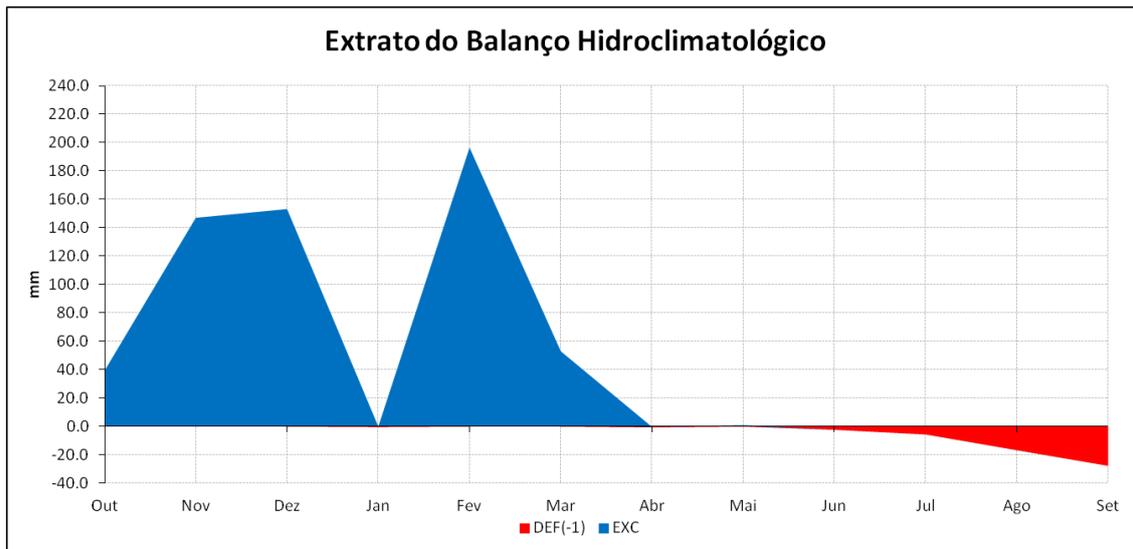


Figura 16: Gráfico do extrato do balanço hidroclimatológico do período de 2018-2019.

4.3.2 Balanço hídrico

A fim de se chegar ao cálculo do quantitativo que representa especificamente a recarga aquífera e a contribuição de água subterrânea total (escoamento de base), optou-se, respectivamente, pelo método de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo e do índice de recessão do hidrograma do ponto V2, o mais a jusante das porções alta e média da bacia.

Dessa forma, através da utilização do *software* USGS GW-Toolbox carregado com os valores de vazão monitorada no ponto V2 do córrego, foi possível constatar que o escoamento de base da bacia (BFI) representa 94% (45,66 m³/s) de um total de 48,67 m³/s, e o escoamento superficial responde por 6% (3,01 m³/s). A Figura 17 ilustra a separação dos escoamentos da bacia em questão.

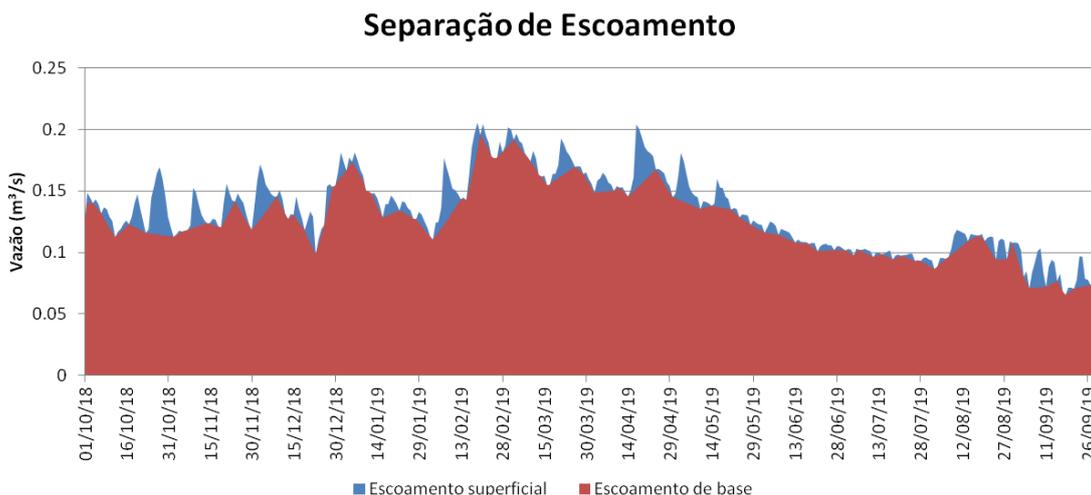


Figura 17: Gráfico da separação de escoamento da bacia do córrego Samambaia na Estação V2.

Após a separação do escoamento, o número de recessões em resposta aos eventos de chuva foi de 28, resultando em um índice de recessão (K) correspondente a 74 dias/ciclo log.

Em relação à recarga, obteve-se, através da utilização do programa interno RORA do USGS GW-Toolbox, um valor total de 85,10 mm anuais, sendo o mínimo registrado em setembro (0,03 mm) e o máximo em abril (0,43 mm). Quando comparado com o valor total da precipitação da área (1101 mm), a recarga representa 7,46% desta (Tabela 4).

Tabela 4: Valores, mensais e anual, de recarga calculada para o ano hidrológico 2018-2019.

Mês	Recarga (mm)
Outubro	4,621
Novembro	7,316
Dezembro	8,976
Janeiro	7,355
Fevereiro	9,925
Março	10,916
Abril	9,074
Maio	7,318
Junho	5,215
Julho	7,382
Agosto	6,125
Setembro	0,878
Total	85,101

Com a finalidade de validar o valor de recarga encontrado através da ferramenta computacional, e partindo do pressuposto de que as nascentes da área (Samambaia, Engenho, Gameleira e Palestina) representam a totalidade de entrada de água que alimenta o córrego, a soma do volume anual fornecido por elas foi dividida pela área total da bacia e resultou em 7,29%; valor esse muito próximo do encontrado pelo software utilizado, 7,46%.

Os valores encontrados para os escoamentos, índice de recessão e recarga divergem um pouco em relação aos obtidos por De Paula (2019), possivelmente, pelo fato do autor ter considerado, para esses cálculos, as medidas realizadas na estação fluviométrica localizada logo após o barramento, V1, o que fez com que as medidas sofressem grande interferência da ação regularizadora dessa estrutura (Tabela 5). Sendo assim, considerou-se que os cálculos realizados no presente estudo representam com maior fidedignidade à condição da bacia.

Tabela 5: Comparação entre os valores obtidos por De Paula (2019) e pelo presente estudo.

*BFI		Recessão (mm)		Recarga (mm)	
De Paula (2019)	Presente estudo	De Paula (2019)	Presente estudo	De Paula (2019)	Presente estudo
99%	94%	240,0	74,0	104,0	85,1

*BFI – Índice de fluxo de base.

4.3.3 Balanço de massa

A Figura 18 ilustra a dinâmica do funcionamento da bacia. As entradas de água para o sistema são realizadas através das nascentes Samambaia, Engenho, Gameleira e Palestina e os pontos de saída conhecidos (outorgados) representados por duas captações de água superficial na alta bacia. Além dessas, existe uma faixa do córrego, localizada abaixo de um barramento, onde ocorre uma importante perda de água. Essa grande estrutura de regularização ocorre na porção média da bacia. O córrego deságua na lagoa, através da qual a água flui no sentido do sumidouro.

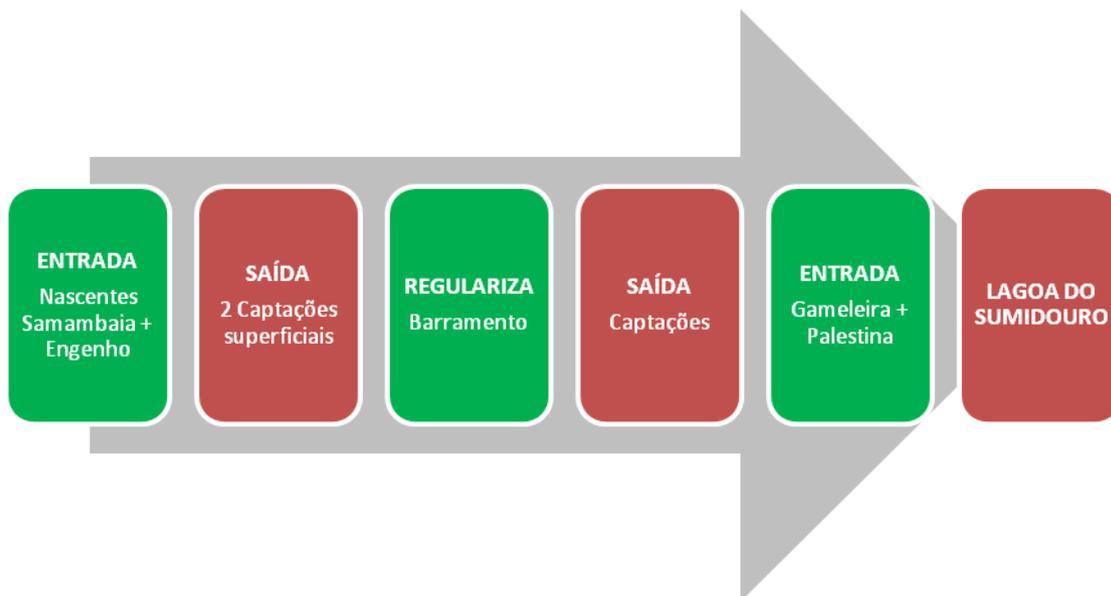


Figura 18: Fluxograma da bacia do córrego Samambaia, ilustrando os pontos de entrada e saída de água, além das interferências antrópicas.

As quatro nascentes somam atualmente um volume anual de 4,12 milhões de m³, sendo Samambaia e Engenho responsáveis por mais de 95% desse total. Os cálculos de volume foram realizados a partir da multiplicação das vazões médias diárias (m³/s) pela quantidade total de segundos que um dia possui. Dessa forma, foram somados os volumes diários ao longo de todo o ano monitorado, resultando assim no volume anual cedido por cada nascente. Para a nascente Palestina, como ela representava em 1994 a mesma porcentagem de contribuição da Gameleira (16%), foram admitidos os mesmos valores monitorados dessa última.

No trecho entre as duas principais nascentes e o barramento, existem duas captações de água superficial cadastradas junto ao órgão gestor de recursos hídricos (Figura 10). Juntas, essas captações representam uma saída anual de 94,61 mil m³.

A jusante dessas duas captações, a aproximadamente 1,5 km, ocorre um barramento, cuja vazão de saída foi monitorada. Essa estrutura regulariza uma média de 58% da vazão recebida, porém com alta variabilidade ao longo do ano, partindo de 9% no mês de fevereiro, atingindo até 148% em agosto. Essa variação é devida à oscilação da altura do vertedouro da barragem, através do qual, propositalmente, se permite uma maior ou menor liberação de água, dependendo da demanda e das condições do reservatório. Os cálculos dos valores mensais de regularização de vazão são apresentados no Anexo III deste volume.

Na porção média da bacia, entre o barramento e o último ponto de monitoramento do córrego (V2 – Figura 10), provavelmente, existem captações de água que não são conhecidas pelo órgão gestor. Essa hipótese é levantada com base nos dados de monitoramento que indicam uma região de importante saída de água da bacia. Essas captações representam uma saída mensal, variável, de 5 a 38% em relação ao volume medido logo após a barragem (V1 – Figura 10). Os cálculos referentes ao volume captado são apresentados no Anexo III do presente volume.

Após as intervenções levantadas e a contribuição das nascentes Gameleira e Palestina, o córrego descarrega na lagoa um volume anual de 4,55 milhões de m³, a partir de onde o sumidouro drena esse volume para um destino ainda desconhecido.

4.4 Esvaziamento da Lagoa do sumidouro

Com o objetivo de sinalizar e discutir os motivos pelos quais a Lagoa do Sumidouro vem se esvaziando foram estimadas para anos selecionados a partir de 2003, as contribuições provenientes das chuvas e das nascentes, bem como os volumes armazenados na lagoa e descarregados pelo sumidouro existente dentro da mesma.

- ***Volume proveniente da chuva***

A Tabela 6 apresenta os valores calculados de volume anual de água proveniente da chuva que escoaria para a lagoa em cada período analisado. Nos cálculos foram considerados os valores de pluviometria anual correspondente ao período de 12 meses antes das datas das imagens de satélite nos anos de 2003, 2004, 2012, 2013 e 2019. Os valores de evapotranspiração real – ETR e excedente hídrico – EXC em relação à precipitação em cada ano hidrológico. Foram obtidos por meio do balanço climatológico e os valores de escoamento superficial imediato à lagoa – ESC são resultantes da diferença entre o EXC e a recarga – REC. Ressalta-se que o valor da ETR foi desconsiderado para a área ocupada pela lagoa, quando esta apresentava um volume de água armazenado.

Tabela 6: Valores de precipitação, escoamento superficial direto e volume de chuva na bacia do córrego Samambaia nos anos hidrológicos selecionados.

Mês/Ano	PLU (m)	ETR (m)	EXC (m)	REC* (m)	ESC (m)	Área da bacia sem a lagoa (m ²)	Vol. escoamento direto (m ³)	Área da lagoa (m ²)	Vol. Precipitado no espelho d'água (m ³)	Volume total (m ³)
Fev 2003	1,09	0,54	0,69	0,08	0,61	46.547.489,96	28.727.773,03	1.242.510,04	681.268,3	29.409.041,28
Set 2004	1,37	0,52	0,96	0,10	0,86	47.309.612,00	40.861.158,60	480.388,00	409.819,0	41.270.977,60
Out 2012	1,24	0,49	0,88	0,09	0,78	47.411.379,00	37.448.643,87	378.621,00	282.337,7	37.730.981,55
Ago 2013	0,84	0,57	0,36	0,06	0,30	47.790.000,00	14.435.522,91	-	0	14.435.522,91
Set 2019	1,10	0,64	0,58	0,08	0,50	47.790.000,00	24.184.865,47	-	0	24.184.865,47

*7,46% da precipitação

A pluviometria nos anos considerados foi bastante variável, de 847 a 1379 mm. Interessante notar que a diferença de 38,6% nesses valores de precipitação resultou numa queda de 35% no volume escoado (14,5 e 41,5 milhões de m³) confirmando a estreita relação entre ambos.

Em 2004, a precipitação foi a maior dentre as analisadas, entretanto, neste mesmo ano, a lagoa sofreu um impacto hídrico considerável, como visto pela área do espelho d'água na Tabela 6.

- **Volume proveniente das nascentes**

Os volumes anuais das quatro nascentes correspondentes às entradas de água nas porções alta e média da bacia são mostrados para o cenário atual e para o cenário em que a lagoa estava plenamente cheia, no ano de 1994 (medidas de Auler em 1994). Na realidade, esse autor realizou somente duas medidas pontuais, uma no período seco (outubro de 1993) e outra no período chuvoso (fevereiro de 1994), conforme ilustrado pela Tabela 7:

Tabela 7: Medições das vazões das nascentes realizadas por Auler (1994) e pelo presente estudo

Nascente	Vazão medida (m ³ /s)			
	Período seco		Período chuvoso	
	4 a 7 de out. de 1993 ¹ (Auler)	Média set. /2018 ²	2 e 3 de fev. de 1994 ³ (Auler)	Média jan /2019 ⁴
Samambaia	0,15	0,03	0,15	0,07
Engenho	0,05	0,04	0,15	0,09
Gameleira	0,05	0,002	0,05	0,02
Palestina	0,05	0,002	0,35	0,02

¹ Total de chuva em setembro de 1993: 25,5 mm

² Total de chuva em setembro de 2018: 72,1 mm

³ Total de chuva em janeiro de 1994: 349,5 mm

⁴ Total de chuva em janeiro de 2019: 95,2 mm

Destaca-se que os montantes precipitados durante as medições de vazões no período chuvoso foram muito contrastantes entre si: 3,7 vezes (349,5 mm em janeiro de 1994 e 95,2 mm em janeiro de 2019), comprometendo a comparação entre esses valores.

Já as medidas de vazão no período seco puderam ser comparadas, pois, embora as chuvas de setembro de 2019 (72,1 mm) representem 2,8 vezes as de setembro de 1993 (25,5 mm), é razoável considerar que, na prática, esses precipitados estão apenas promovendo a reposição hídrica. Assim, adotaram-se as vazões de estiagem para se avaliar os impactos das vazões das surgências entre os dois cenários temporais.

A partir da comparação dos valores apresentados pela Tabela 7, a surgência Samambaia apresentou uma queda de vazão mínima, de estiagem, de 77%, a do Engenho de 20%, e de Gameleira e Palestina 98% entre 1993 e 2019.

Partindo do valor de contribuição das quatro nascentes em 2019, conforme os dados de monitoramento, 4,12 milhões de m³, o cálculo do volume de suas contribuições das mesmas para 1994 foi, então, realizado adotando-se o volume encontrado para 2019 somado do valor referente à porcentagem de redução de vazão observado em cada nascente, obtendo-se, assim, um valor total de 6,10 milhões de m³ (Tabela 8). É importante ressaltar a grande participação das nascentes Samambaia e Engenho, que juntas representam cerca de 95% do aporte de água para a bacia.

Tabela 8: Comparação dos volumes anuais provenientes de cada nascente, em 1993-1994 e 2018-2019.

Volume Anual Nascentes (m ³)		
	1993-1994	2018-2019
Engenho	2.694.119,20	2.245.099,33
Samambaia	2.839.399,40	1.604.180,45
Gameleira	273.200,97	137.980,29
Palestina	273.200,97	137.980,29
Soma	6.079.920,54	4.125.240,36

Com base na comparação dos dados obtidos, percebe-se uma redução de aproximadamente 32% do volume de entrada na década de 1990 em relação aos valores atuais, para as porções alta e média da bacia (Figura 19).

Aporte das nascentes

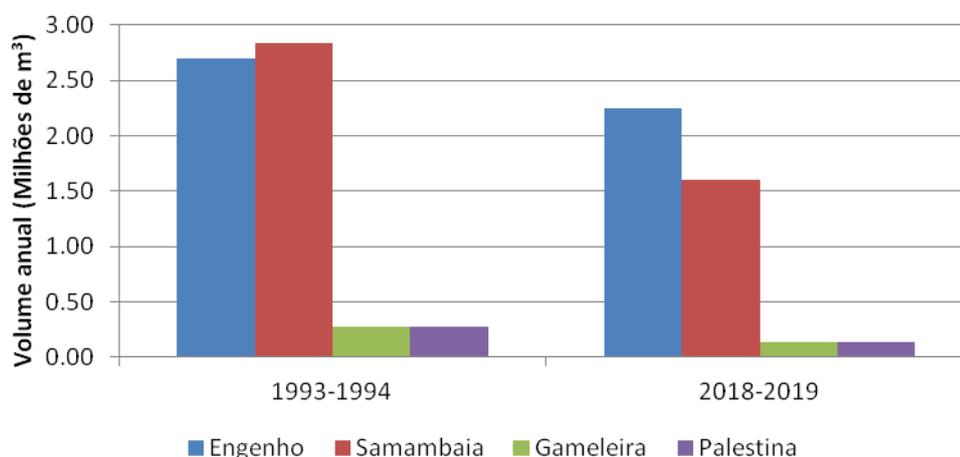


Figura 19: Gráfico da diminuição do aporte de água através das nascentes da área.

Ao se compararem os valores anuais recentes de excedente hídrico ($0,09 \text{ m}^3/\text{s}$), escoamento total ($0,13 \text{ m}^3/\text{s}$) e entrada de nascentes ($0,13 \text{ m}^3/\text{s}$), atesta-se um alto nível de compatibilidade entre eles, em torno de $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$. Dessa forma, considerou-se que os cenários relatados nas próximas seções são condizentes com a realidade hídrica da bacia.

- ***Variação do volume da lagoa***

Por meio da análise da Figura 20 é possível verificar a evolução da perda de volume de água da Lagoa do Sumidouro ao longo do tempo. Constata-se uma acentuada retração entre 2003 e 2004, prosseguindo gradativamente até o seu completo desaparecimento em 2013, estado esse que permanece até hoje.

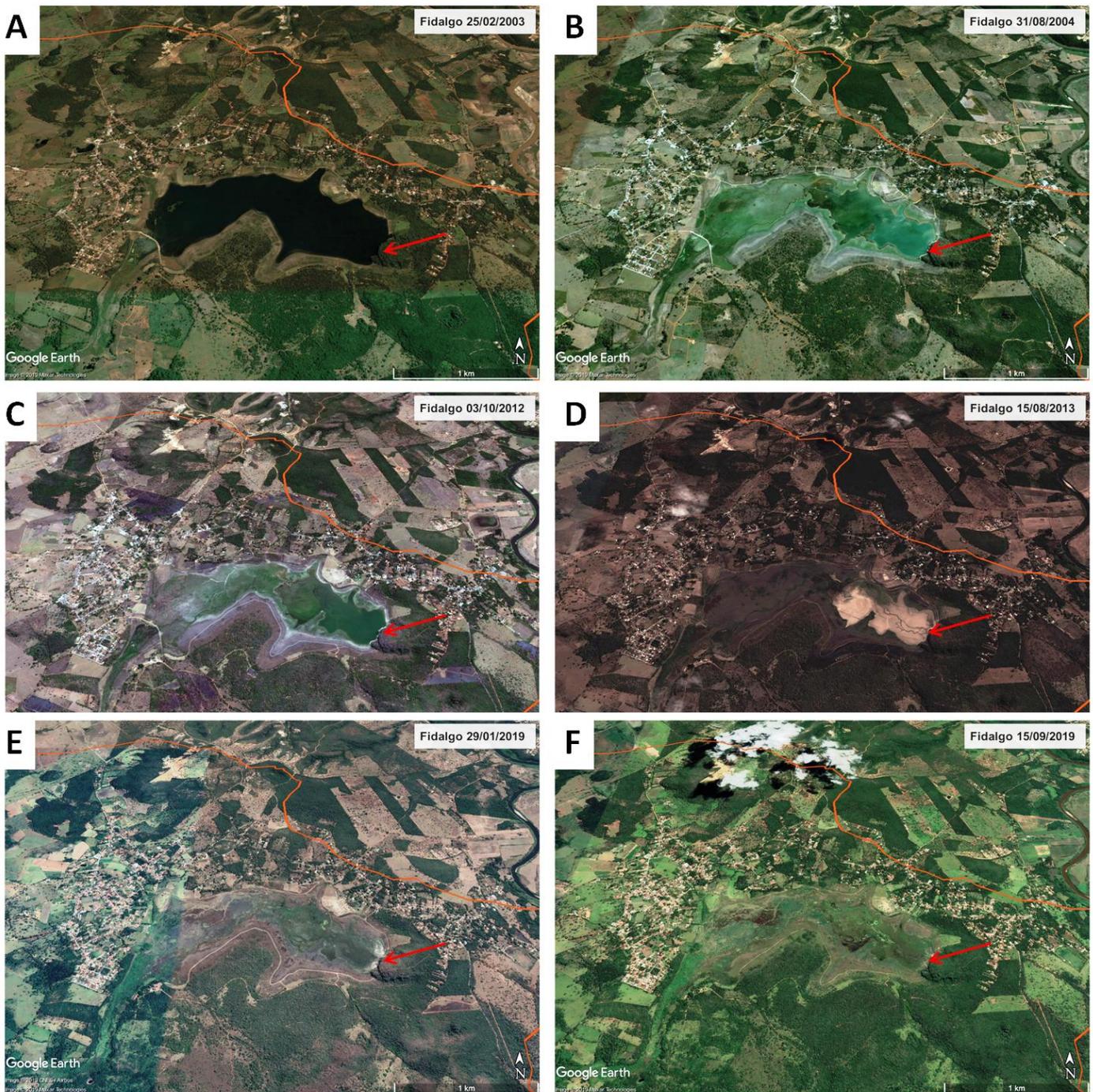


Figura 20: Imagens de satélite da Lagoa do Sumidouro em: A - período chuvoso de 2003, B - período seco de 2004, C - período seco de 2012, D - período seco de 2013, E - período chuvoso de 2019 e F - período seco de 2019. A seta vermelha indica a posição aproximada do sumidouro.

Essas imagens foram avaliadas e serviram de base para o cálculo da área molhada e do volume de água que se encontrava em cada cenário. Portanto, foram analisadas as situações em que a lagoa estava cheia, durante o período chuvoso de 2003, e os dois eventos principais de redução de volume: 2004 (seca) e 2012 (seca). As áreas ocupadas

pela lagoa nos períodos avaliados estão ilustradas na Figura 21 - A, sendo o traçado azul correspondente ao ano de 2003, o verde de 2004 e o vermelho de 2012.

No período chuvoso do ano de 2003 a Lagoa do Sumidouro apresentava uma área de aproximadamente, 1,24 milhões de metros quadrados, com profundidade máxima em torno de 20 m e volume correspondente de 10,37 milhões de metros cúbicos de água, considerando o nível de água no patamar da cota 650 m (Figura 21 – B).

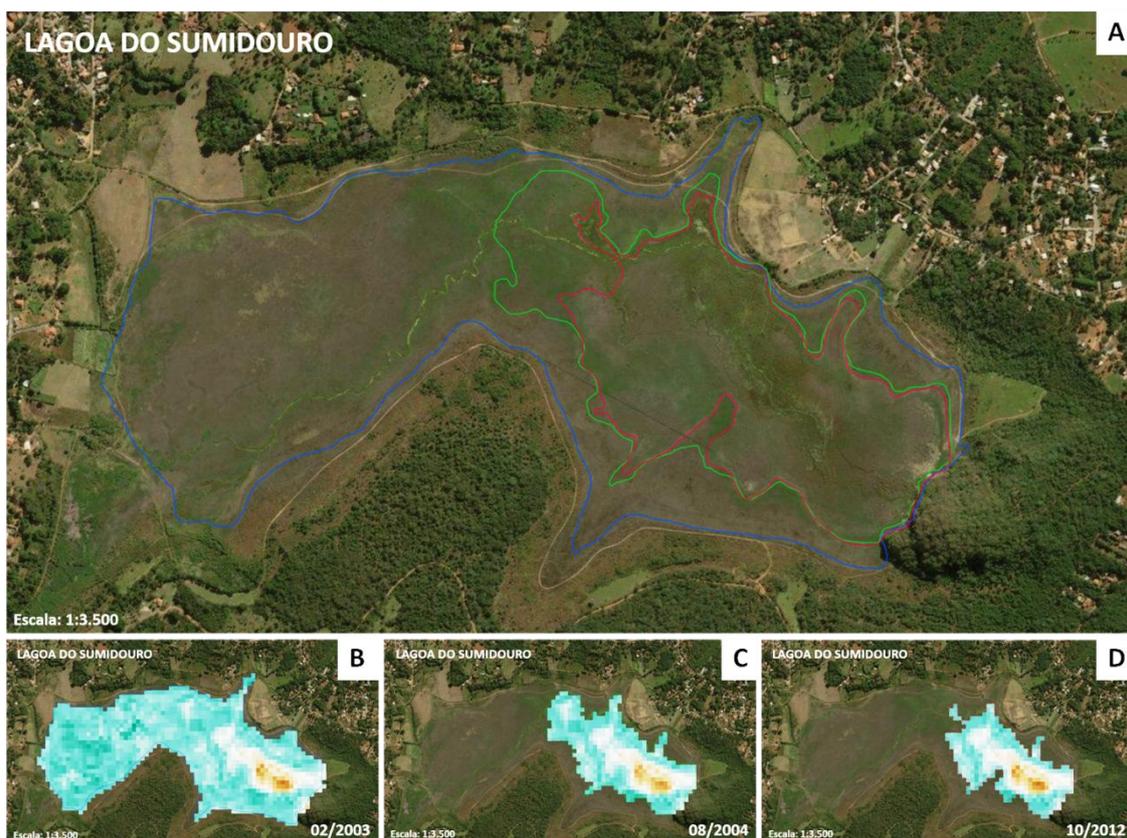


Figura 21: Áreas ocupadas pela Lagoa do Sumidouro – A: 2019; B: 2003; C: 2004 e D: 2012.

Na estiagem de 2004 observou-se uma redução de, aproximadamente, 61% da área da lagoa (480 mil m²) e, conseqüentemente, uma diminuição de 73% do volume de água estocado por ela (2.825.508,35 m³), Figura 21 - C.

Já na estiagem de 2012, identificou-se mais uma diminuição de, aproximadamente, 21% da área da lagoa e de 32% do volume de água estocado por ela, quando comparado com a situação em 2004. E, em relação à situação de 2003, reduções de 70% de área e 82% de volume. As medidas de 2012 em valores absolutos correspondem a 378.621 m² de área e 1.916.316,07 m³ de volume de água (Figura 21 - D). Os valores correspondentes

estão apresentados na Tabela 9, bem como a relação de diminuição do volume e área em relação ao ano de 2003.

Tabela 9: Valores de área ocupada e volume de água armazenado na Lagoa do Sumidouro em 2003, 2004 e 2012.

Ano	Área da lagoa (m ²)	Volume da lagoa (m ³)	Redução em relação a 2003	
			Área	Volume
2003	1.242.510,04	10.377.995,33	-	-
2004	480.388,00	2.825.508,35	61%	73%
2012	378.621,00	1.916.316,07	70%	82%
2019	0,00	0,00	100%	100%

Após o segundo semestre de 2013 não foi possível mais identificar água armazenada na lagoa, nem mesmo no período chuvoso, ou seja, naquele ano houve a perda dos restantes 18% do volume em relação a 2003. Identifica-se apenas o traçado do curso d'água do córrego Samambaia no sentido do sumidouro existente dentro da depressão da lagoa. Assim, toda água que escoar para a lagoa é drenada pelo sumidouro, sem o armazenamento de volume que seja detectável através de análise de imagem de satélite e trabalhos de campo. Por isso, os demais anos não foram tratados matematicamente por não mais ter sido possível identificar áreas com concentração de água que pudesse ser delimitada e, conseqüentemente, ser gerado o volume de água referente a essa porção.

Através da análise temporal da situação da lagoa entre os anos de 2003 e 2019 foi possível identificar dois eventos distintos de redução expressiva do volume de água da Lagoa do Sumidouro. O primeiro ocorre durante o período seco de 2004, sendo sucedido pelo período seco de 2013. Durante o intervalo entre esses dois marcos, a lagoa apresenta pequenas variações de volume, consideradas imperceptíveis quando se procede com a análise das imagens de satélite na resolução disponível.

- ***Volume drenado pelo sumidouro***

A partir dos dados referentes ao volume armazenado na lagoa e do aporte de água proveniente da chuva (escoamento superficial e precipitação direta na lagoa) e das nascentes nos anos estudados, foi calculado o valor aproximado para o volume drenado pelo sumidouro, de modo que fosse mantido o volume da lagoa conforme identificado através das imagens de satélite. O fluxograma apresentado pela Figura 22 representa o

raciocínio utilizado para a presente análise. Os volumes indicados se referem ao acúmulo de água durante 365 dias imediatamente antes da data da imagem.



Figura 22: Fluxograma para se obter o volume anual, aproximado, drenado pelo sumidouro nos períodos analisados.

Para fins de comparação e, considerando que durante este trabalho não foi possível a obtenção de imagem de satélite que retratasse a situação da Lagoa do Sumidouro em datas anteriores a 2003, as medidas de vazão realizadas por Auler (1994) serão atribuídas ao cenário analisado do ano de 2003. Essa extrapolação se justifica também pelo fato de ter sido relatado, por moradores locais, que antes dessa data a lagoa permanecia cheia, com nível aproximado ao que foi calculado para 2003.

O cálculo do volume drenado pelo sumidouro foi realizado para 2018/2019, período em que houve monitoramento das entradas de água através das nascentes para a bacia do córrego Samambaia. Para os períodos antecedentes, assumiu-se que as entradas através das nascentes permaneceram as mesmas em relação às medidas em 2019, exceto para 2004 em que se atribuiu o mesmo valor calculado para 2003. Para as saídas através das captações, admitiu-se que essas eram iguais as de 2019 para os anos de 2012 e 2013, e 30% menores para os demais períodos.

Os valores correspondentes às captações consideradas nesse cálculo foram obtidos através da soma dos volumes anuais das duas captações cadastradas junto ao órgão gestor e das saídas de água localizadas entre os pontos V1 e V2 de monitoramento. Os cálculos relativos a esse montante se encontram no Anexo III deste volume.

No período chuvoso de 2003, o sumidouro drenou 26,76 milhões de m³. Já em 2019, o sumidouro teve a capacidade de drenar 26,67 milhões de m³, uma vez que a lagoa já se encontrava seca (Tabela 10).

Tabela 10: Valores calculados para o volume drenado pelo sumidouro em cada período considerado.

Ano	ENTRADAS		ARMAZENAMENTO	SAÍDAS	
	Volume chuva (m ³)	Volume nascentes (m ³)	Volume calculado na lagoa (m ³)	Volume de captações (m ³)	Volume sumidouro (m ³)
2003	29.409.041,28	6.079.920,54	10.377.995,33	946.409,24	24.164.557,25*
2004	41.270.977,60	6.079.920,54	2.825.508,35	946.409,24	43.578.980,55*
2012	37.730.981,55	3.965.329,98	1.916.316,07	1.352.013,20	39.779.995,46*
2013	14.435.522,91	3.965.329,98	0,00	1.352.013,20	17.048.839,69*
2019	24.184.865,47	3.965.329,98	0,00	1.352.013,20	26.798.182,25

**Valores obtidos através da extrapolação das nascentes e captações nos períodos correspondentes.*

Mesmo não sendo possível o cálculo mais assertivo dos valores drenados pelo sumidouro nos anos de 2004, 2012 e 2013, pelo fato da lagoa não mais apresentar os volumes anteriormente observados, é possível que o sumidouro tenha aumentado, consideravelmente, sua capacidade de drenagem. Essa indicação se deve também ao fato de os valores de pluviometria dos anos de 2004 e 2012 terem sido superiores aos de 2003, no entanto, constata-se uma severa taxa de diminuição do volume armazenado na lagoa desde então. Para 2013, mesmo a pluviometria tendo ficado abaixo do observado nos outros anos, o fato da lagoa se apresentar completamente seca também corrobora a hipótese de o sumidouro ter seu poder de drenagem aumentado.

A partir dos resultados obtidos durante a realização do presente estudo, essa seção se destina ao levantamento e discussão de hipóteses que possam elucidar os motivos pelos quais a Lagoa do Sumidouro apresentou reduções importantes de seu volume desde os anos 2000, chegando a se apresentar seca nos dias atuais.

Hipótese 01: Expansão urbana do Distrito de Fidalgo

A partir de imagens de satélite, notam-se áreas da comunidade que sofreram adensamento e expansão urbana, principalmente nos setores oeste e norte, ao longo dos anos analisados.

Essas atividades incluem desde calçamento de ruas até construções de novas edificações, obras que certamente representam impermeabilização do terreno, implantação de redes de drenagens e desvios de drenagens naturais.

Porém, mesmo que essas modificações sejam perceptíveis através das imagens utilizadas e possam representar alterações do fluxo de água superficial e da taxa de infiltração da água para o sistema aquífero, acredita-se que a intensidade dessa expansão

e adensamento urbano de Fidalgo não seja o responsável, por si só, pela grande diminuição do volume da lagoa, conforme observado através dos dados produzidos.

Essa constatação é justificada pela taxa de urbanização se apresentar de maneira restrita a alguns setores do distrito, além de ser pouco representativa em relação à grandiosidade de redução de volume de água armazenado na lagoa, o que corresponde a milhões de m³.

Hipótese 02: Diminuição do aporte de água superficial do córrego Samambaia

Com base no monitoramento das nascentes e a sua comparação com os valores obtidos na década de 1990 fica nítida a redução do volume de água fornecida pelas nascentes Engenho, Samambaia, Gameleira e Palestina. Essa redução representa um total de 1,95 milhões de m³ a menos fornecidos, por ano, à lagoa, ou seja, o equivalente a 19% do volume total armazenado em 2003.

No entanto, considerando somente a diminuição do aporte de água realizado pelas nascentes, não é possível concluir que essa mudança nas entradas do sistema seria a explicação para o esvaziamento da Lagoa do Sumidouro. Isso se deve ao fato de, por mais que a redução de volume ofertado seja considerável, ela não apresenta valor similar ao volume da lagoa cheia, o qual é de, aproximadamente, 10,4 milhões de m³.

Hipótese 03: Rebaixamento do nível de água subterrânea e conexão com condutos inferiores

Por meio de informações colhidas junto ao órgão gestor de recursos hídricos, foram levantadas duas outorgas de poços tubulares profundos vigentes na região próxima à lagoa, que somadas, representam uma retirada de 70,2 m³/h.

Porém, por meio de informações de moradores da região, tomou-se conhecimento de que existem diversos outros poços perfurados ao longo de toda a extensão da bacia, tanto na área urbana, quanto na rural, mas que não são regularizados.

Outro fator que corrobora com a hipótese de existir muito mais poços perfurados em relação aos cadastrados, é a escassa rede hidrográfica superficial, característica essa de regiões cársticas. Sendo assim, é comum que a população lance mão da captação de água proveniente de aquíferos.

Dessa forma, pode-se supor que uma grande quantidade de poços, que opera há muito tempo e de maneira desordenada, possa representar um rebaixamento considerável do nível de água subterrânea do aquífero local.

Considerando ainda a análise das imagens aéreas utilizadas, é possível identificar que existiram dois momentos críticos para o esvaziamento da lagoa. O primeiro, ocorrido em 2004, reduziu em mais de 70% o seu volume, sendo procedido por um segundo que representou uma perda de mais 11% do volume inicial.

Tendo em vista o fato da bacia do córrego Samambaia estar em uma região estritamente cárstica, com o seu exultório sendo representado por um sumidouro, entende-se que a alta conectividade entre água superficial e subterrânea é uma importante característica desse tipo de ambiente. Dessa forma, essa especificidade típica de ambientes cársticos deve ser considerada como um possível facilitador no processo da diminuição do volume da lagoa.

Além disso, os ambientes cársticos apresentam, com relativa frequência, atividades de ativação de condutos, que anteriormente estavam isolados em relação ao nível de água subterrânea local, e que, quando induzidos por fatores externos, são conectados a estruturas que possuem água, criando um novo caminho de fluxo.

Sendo assim, diante do pouco conhecimento em relação às intervenções em recursos hídricos subterrâneos existentes na área investigada e à grande dimensão do volume de água existente na lagoa na década de 2000, além do fato da diminuição do volume ter ocorrido, primeiramente, de maneira considerada brusca, sugere-se que o contínuo rebaixamento de nível de água subterrânea, possivelmente causado por um grande número de poços irregulares, possa ter induzido a conexão do sumidouro com condutos menos saturados, fazendo com que a sua capacidade de drenar a água da lagoa fosse potencializada. A partir daí, é provável que fora estabelecido um novo nível de base para a bacia, para o qual toda água que chega ao sumidouro é direcionada, não sendo possível o armazenamento desse volume no local onde antes se localizava a lagoa.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões apresentadas nessa seção estão divididas em duas partes: a primeira se refere às análises da dinâmica hidrológica da bacia; a segunda, dedicada à avaliação do esvaziamento da Lagoa do Sumidouro.

Caracterização hidrológica da bacia do córrego Samambaia

As análises realizadas ao longo do estudo permitiram proceder com a identificação e quantificação das entradas e saídas, tanto naturais quanto antrópicas, de água da bacia em questão.

Os valores obtidos através dos balanços hídrico, climatológico e de massa de água, propiciam a classificação da área de estudo como uma bacia tipicamente cárstica, que vem sofrendo importantes ações de antropização. Essa classificação se deve, principalmente, ao índice de fluxo de base correspondente a 94% da vazão total do córrego e os valores médios de captações referentes a 30% da recarga.

Também com base nos dados obtidos pelo balanço hídrico, foi possível aprimorar as análises realizadas por outros autores, uma vez que as interferências em recursos hídricos foram levantadas a partir de relatos de moradores locais.

Em relação às nascentes da área, estas foram classificadas como sendo típicas de ambientes cársticos, sendo na verdade ressurgências com alto índice de contribuição de bacias vizinhas. Além disso, elas apresentam respostas muito rápidas em relação aos eventos de chuva, tendo assim seu comportamento altamente influenciado pela pluviometria.

Os métodos de análise se mostraram eficazes para a caracterização do sistema hidrológico da bacia do córrego Samambaia. Além disso, os resultados obtidos são considerados condizentes com sistemas tipicamente cársticos. Porém, se considera importante a continuação e aprofundamento de estudos referentes a essa área, uma vez que, pelo alto índice de contribuição de águas externas ao sistema, recomenda-se a revisão dos limites da bacia, ou até mesmo, integração desta com outras. Outra recomendação diz respeito à necessidade de maior conhecimento e controle em relação aos usos de recursos hídricos, tanto subterrâneos quanto superficiais, realizados na bacia, o que certamente representaria um grande ganho para que haja uma gestão mais eficiente.

Esvaziamento da Lagoa do Sumidouro

A partir das hipóteses consideradas, e com base nas análises realizadas, conclui-se pela indicação da hipótese nº 03 como sendo a mais provável de ter ocorrido. Ou seja, o aumento de captação de água subterrânea por meio de poços tubulares profundos pode ter induzido a conexão do sumidouro com outros condutos.

Essa indicação se deve ao fato dessa hipótese permitir a elucidação da maior parte dos acontecimentos, principalmente do comportamento frente aos dois eventos de esvaziamento da lagoa, sendo o primeiro mais brusco e o último gradual.

Ainda durante este trabalho, foi possível verificar que o aporte de água proveniente das nascentes da bacia sofreu considerável diminuição. Além disso, não se sabe como se comportou a questão das retiradas de água, tanto superficial quanto subterrânea, do sistema durante os anos anteriores a 2019. Dessa forma, é importante considerar uma possível ocorrência de sobreposição das causas descritas ao longo do trabalho, contribuindo para a potencialização dos efeitos observados.

Finalmente, como o atual estudo representa uma abordagem inicial sobre o tema, faz-se recomendação em relação à necessidade de realização de atividades de fiscalização de usos de recursos hídricos, além de monitoramento e estudos mais aprofundados referentes às diversas vertentes levantadas, a fim de que seja possível a elaboração de conclusões mais assertivas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F.F.; Brito Neves, B.B. & Castro Alves, J.A. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão, SBG - Núcleo BA/SE: 45-62.
- Alkmim F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: V. Mantesso-Net; A. Bartorelli; C.D.R. Carneiro; B.B. Brito Neves (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, p. 17–35.
- Alkmim F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.). A Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais. SBG: Belo Horizonte, p. 9-30.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7, 349-364.
- Amaral, D.G.P, Velásquez, L.N.M., Rodrigues, P.C.H. 2019. Comportamento hídrico das depressões cársticas da região de Lagoa Santa, MG. Rev. Águas Subterrâneas, 33, 2, 196-209.
- Amorim Neto, M. da S. 1989. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955). Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- ANA – Agência Nacional de Águas. 2019. Disponível em: <<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/Estacao.aspx?est=193343540>>. Último acesso em: 12 nov. de 2019.
- Auler, A. 1994. Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos Pedro Leopoldo Karst, Brazil. Western Kentucky University. Dissertação de Mestrado, 110 p.
- Barbosa, G.V. 1961. Notícia sobre o karst na mata de Pains. Boletim Mineiro de Geografia, Belo Horizonte, n. 2 e 3, 3-21.
- Barlow, P.M., Cunningham, W.L., Zhai, Tong, and Gray, Mark. 2014. U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data (version 1.0): User guide for estimation of base flow, runoff, and groundwater recharge from streamflow data: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 3, chap. B10, 2014, 27 p.
- Barlow, P.M., Cunningham, W.L., Zhai, Tong, and Gray, Mark. 2017. U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox version 1.3.1, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data: U.S. Geological Survey Software Release, 26 May 2017.
- Berbert-Born, M.L.C. 1998. Geoquímica dos Sedimentos Superficiais da Região Cárstica de Sete Lagoas-Lagoa Santa (MG), e os indícios de Interferências Antrópicas. DEGEO/UFOP. Dissertação de Mestrado.

Berbert-Born, M.L.C. 2002. Carste de Lagoa Santa, MG: Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil, vol. 1, Brasília. Bower, H. and R.C. Rice. 1976. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, Water Resources Research, vol. 12, no. 3, pp. 423-428.

Cabral, J.A.L. 1994. Informações Básicas para a Gestão Territorial; Inventário de Cavidades Naturais Região de Matozinhos Mocambo. Vol.1. Belo Horizonte, 121 p.

CETEC, F.C. 1984. Estudos Integrados de Recursos Naturais - Bacia do Alto São Francisco e parte central da área mineira da SUDENE: hidrologia superficial. 1984: CETEC.

Christofolletti, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher.

Costa F. M., 2005. Análise por Métodos Hidrológicos e Hidrogeoquímico de Fatores Condicionantes do Potencial Hídrico de Bacias Hidrográficas – Estudo de Caso no Quadrilátero Ferrífero – MG. Dissertação de Mestrado, em Ciências Florestais – Universidade Federal de Ouro Preto, 147p.

Dardenne, M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, 2, 597-610.

Darnault, C. 2008. Overexploitation and contamination of shared groundwater resources. B.V.: Springer Science+business media.

Davis, S.N., DeWiest, R.J.M. 1966. Hydrogeology. New York: John Wiley, 463 p.
Feitosa, F.A.C. 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3 ed. rev e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 812p.

De Paula, R.S. de, Velásquez, L.N.M. 2019. Balanço hídrico em sistema hidrogeológico cárstico, região de Lagoa Santa, Minas Gerais. Rev. Águas Subterrâneas, 33, 2, 119-133.

Ferrari, J. A. & Karmann, I. 2008. Comportamento Hidrodinâmico de Sistemas Cáísticos na Bacia do Rio Betari, Município de Iporanga – SP. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP. Revista do Instituto de Geociências – USP. V.8, n.1: 1-13.
Fetter, C., 2001. Applied Hydrogeology, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 3 rd ed., 691p.

Filho, K. Z., Silva, R. M., Porto, R. L. L. 2001. Medição de Vazão e Curva Chave. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD – 307 Hidrologia aplicada, 48p.

Ford, D.C., Williams, P.W. 1989. Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman, London, 601 p.

- Ford, D.C., Williams, P.W. 1991. Karst geomorphology and hidrology. London: Chapman-Hall.
- Ford, D.C. & Williams, P.W. 2007. Karst geomorphology and hydrology. 2 ed. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. 562 p.
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs [Estados Unidos]: Prentice-Hall, xvi, 604 p.
- Galvão, P., Hirata, R., Cordeiro, A., Barbati, D. & Peñharanda, J. 2016. Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 88, n. 1, p. 35-53.
- Goldscheider, N. 2005. Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany. 4.
- Goldscheider N. & Drew, D. 2007. Methods in Karst Hydrogeology. International Contributions to Hydrogeology, 26, London, Taylor & Francis, 264 p.
- Hollingsworth, E. 2009. Karst Regions of the World (Krow) - Populating Global Karst Datasets and Generating Maps to Advance the Understanding of Karst Occurrence and Protection of Karst Species and Habitats Worldwide. University of Arkansas. Msc Thesis.
- IBAMA, I. B. 1998. Série APA Carste de Lagoa Santa - MG. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM - GERIDE.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Mapa de unidades de relevo do Brasil. Escala 1:5.000.000. Brasília: IBGE.
- IEF – Instituto Estadual de Florestas. 2010. Plano de Manejo do Parque Estadual do Sumidouro. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, Belo Horizonte.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Último acesso em: 12 nov. de 2019.
- Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M. 2011. Groundwater Hydrology: Engineering, Planning, and Management. CRC Press. Taylor & Francis Group. 649 p.
- King, L.C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, 18, 2, 147–266.
- Kohler, H.C. 1978. A Evolução Morfogênica da Lagoa Santa - MG. Anais 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1, 147-153.

Kohler, H. C. 1989. Geomorfologia Cárstica na Região de Lagoa Santa - MG. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 113p.

Legrand, H. E.; Lamoreaux, P. E. 1975. Hydrogeology and hydrology of karst. In: Burger A.; Dubertret, L. Hydrogeology of karstic terrains, (Ed.), Paris:IAH, Lousada, E. O., Campos, J. E. G. 2005. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal, Revista Brasileira de Geociências, Volume 35.

Machado, D.A. 2011. Caracterização hidrogeológica e vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – Sete Lagoas/MG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 230 p.

Magalhães, L. 1988. Análise Estrutural Qualitativa dos sedimentos do Grupo Bambuí, região da bacia do São Francisco (Faixa Sete Lagoas-Serra do Cipó). DEGEO/EM/UFOP, Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, 109 p.

Manoel Filho, J. 2008. Ocorrência das águas subterrâneas. In: Feitosa, F. A. C. e Filho, J. M. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p.53-75

Meneses, I.C.R.R.C. de. 2003. Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG. PUC-MG, Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, 187 p.

Mourão, M.A.A., Cruz, W.B., Gonçalves, R.LF. 2001. Caracterização hidrogeológica da porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco. In: Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. Belo Horizonte, p. 327 – 349.

Nimer, E. 1989. Climatologia do Brasil. IBGE, Departamento de Recursos Minerais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 421 p.

Noce, C. M.; Teixeira, W.; Machado, N. 1997. Geoquímica dos gnaisses TTG e granitoides neoarqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, 27(1): 25-32.

Peñaranda-Salgado, J.R. 2016. Condicionamento estrutural e litológico da porosidade cárstica da formação Sete Lagoas, Município de Sete Lagoas (MG). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente).

Pessoa, P.F.P. 1996. Caracterização Hidrogeológica da Região Cárstica de Sete Lagoas, MG: Potencialidades e Riscos. Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado, 101 p.

- Pessoa, P.F.P. 2005. Hidrogeologia dos Aquíferos Cársticos Cobertos de Lagoa Santa, MG. SMARH/UFMG, Belo Horizonte. Tese de Doutorado, 375 p.
- Piló, L.B. 1998. Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú, carste de Lagoa Santa, MG. Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 269 p.
- Piló, L.B. 2000. Geomorfologia Cárstica - Revisão de Literatura. Revista Brasileira de Geomorfologia, 1, 1, 88-102.
- Piscocya, R. C. C. C.; Lopes, W. T. A.; Lemos, G. M.; Silva, L. S.; Silva, M. C. A. M. 2013. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (rios Solimões, Javari e Itaquai) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Ribeiro, C. 1995. O clima no Planalto de Lagoa Santa-MG. Em: Estudos ambientais e propostas de manejo, na região do carste, no Planalto de Lagoa Santa. Belo Horizonte: Projeto FAPEMIG: CEX-1133/90. Relatório Final.
- Ribeiro, C.G.; Meireles, C.G.; Lopes, N.H.B.; Arcos, R.E.C. 2016. Levantamento Geológico estrutural Aplicado aos Fluxos dos Aquíferos Cárstico-Fissurais da Região da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Trabalho Geológico de Graduação.
- Ribeiro, C.G.; Velásquez, L.N.M.; de Paula, R.S., Meireles; C.G., Lopes; N.H.B, Arcos; R.E.C., Amaral; D.G.P. 2019. Análise de fluxos nos aquíferos cárstico-fissurais da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Rev. Águas Subterrâneas, 33, 1, 12-21.
- Ribeiro, J.H.; Tuller, M.P.; Filho, A.D.; Padilha, A.V.; Córdoba, C.V. 2003. Projeto VIDA: mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Moraes, Confins e Funilândia, Minas Gerais - Relatório final, escala 1:50.000. 2ª ed.; Belo Horizonte: CPRM, 54p., Mapas e anexos (Série Programa Informações Básicas para Gestão Territorial - GATE, versão digital).
- Rolim, G.S.; Sentelhas, P.C.; Barbieri, V. 1998. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133-137.
- Rutledge, A. T., Daniel, C. C. 1994. Testing an automated method to estimate ground-water recharge from streamflow records. Ground Water 32 (2): 180-189.
- Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derza, G.R.; Asmus, G.E. 1984. Geologia do Brasil. Texto Explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000. 501p. Ilustrado.

Scholl W.U. 1976. Sedimentologia e geoquímica do Grupo Bambuí na parte sudeste da Bacia do São Francisco. In: SBG: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Anais, 207 - 231.

Shinzato, E. 1998. O Carste da Área de Proteção Ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação dos solos. UENF/CCTA, Campo dos Goytacazes. Dissertação de Mestrado.

Silva, J.C.S. 2003. Caracterização hidrogeológica ambiental da área de influência da Mina Lapa Vermelha, na região cárstica de Lagoa Santa, MG. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), 303 p.

Silva, A.B. da. 2008. Hidrogeologia de Meios Cársticos. In: Feitosa, F. A. C. e Filho, J. M. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p.153-174.

Silva, A.B.; Moreira, C. V. R.; Cesar, F. M.; Auler, 1987. A. Estudo da Dinâmica dos Recursos Hídricos da Região Cárstica dos Municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos. Unpublished technical report, CETEC, p.32.

Tayer, T.C., 2016. Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca do Aquífero Cárstico da APA de Lagoa Santa MG, Utilizando o Método COP. Dissertação de Mestrado (Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 146p.

Tayer T.C., Velásquez L.N.M., 2017. Assessment of intrinsic vulnerability to the contamination of karst aquifer using the COP method in the Carste Lagoa Santa Environmental Protection Unit Brazil. Environ Earth Sci 76(13):445. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6760-0>.

Teodoro, M. I. P., Velásquez, L. N. M., Fleming, P. M., Paula, R. S., Souza, R. T., Doi, B. B. 2019. Interconexões e Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Cárstico Bambuí, com uso de Traçadores Corantes, na Região de Lagoa Santa, Minas Gerais.

Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev, v.38, p.55-94.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

Tricart, J. 1956. O Karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte (Minas Gerais). Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 4, 3-20.

Tucci, C.E.M.; Beltrame, L.F.S. 2001. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, p. 253-288.

- Tucci, C.E.M. 2001. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, p. 391-442.
- Tuller, M. P., Ribeiro, J. H. & Danderfer Filho, A. 1992. Mapeamento Geológico da área do Projeto Vida. CPRM, Belo Horizonte.
- Tuller M.P., Ribeiro J.H., Signorelli N., Féboli W.L., Pinho J.M.M. 2010. Projeto Sete Lagoas - Abaeté. Belo Horizonte, Convênio Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil, 160 p.
- Velásquez, L.N.M.; Andrade, I.B.; Ribeiro, C.G.; Amaral, D.G.P.; Vieira, L.C.M.; Cardoso, F.A.; Paula, R.S.; Silva, P.H.P.; Souza, R.T.; Almeida, S.B.S. 2018. Projeto de adequação e implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da Bacia do Rio São Francisco aplicado à Área Piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Relatório interno parcial. PROCESSO FUNDEP/GERDAU/UFMG n 22.317. Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do São Francisco. Pan Cavernas do São Francisco.
- Viana, H.S., Kohler, H.C., Tavares, V.P. (Org.). 1998. APA Carste de Lagoa Santa - Meio Físico. Volume I. IBAMA/CPRM, Belo Horizonte, 301p.
- Vieira L.C., Trindade R.I.F., Nogueira A.C.R., Ader M. 2007. Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*, 339, 240–258.
- Vieira, L.C.M. 2018. Hidrogeoquímica dos Aquíferos da Região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 111 p.
- Vieira, L.C.M.; Dussin, T.M.; Velásquez, L.N.M. 2018. Geoquímica e condições paleoambientais de deposição das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na região da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa, MG. *Geochimica Brasiliensis*, 32, 1, 1-19.
- White, W.B. 2002. Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology* 65, 85-105.
- White, W.B. 2003. Conceptual models for karstic aquifers. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 1, 1, 6p.
- Worthington, S.R.H. 1991. Karst hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains. Ph.D. thesis, McMaster University, Hamilton, Ontario. 227 p.
- Zalán, P.V.; Romeiro-Silva, P.C. 2007. Bacia do São Francisco. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. V.15, p.561-571.

ANEXO I

Artigo completo

Caracterização hidrológica da bacia do córrego Samambaia, região da APA Carste de Lagoa Santa – MG, com ênfase no esvaziamento da Lagoa do Sumidouro.

RESUMO: Os estudos realizados na bacia do córrego Samambaia, localizada na APA Carste de Lagoa Santa – MG, visaram a caracterização hidrológica da bacia e suas interferências antrópicas, a fim de explicar o esvaziamento permanente da Lagoa do Sumidouro. A Formação Sete Lagoas, com seus membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa, composta essencialmente por rochas carbonáticas, representa um importante aquífero da região, com estruturas típicas de um carste bem desenvolvido. Esses terrenos carbonáticos apresentam características específicas, altamente controladas por estruturas tipicamente cársticas que controlam o fluxo de água essencialmente subterrâneo. A metodologia empregada envolveu o cálculo de parâmetros dos balanços hídrico e climatológico, além da avaliação da variação desses parâmetros ao longo de três décadas. Ainda foram sugeridas e analisadas hipóteses que poderiam explicar o esvaziamento da Lagoa do Sumidouro, exultório da bacia em questão. Os resultados confirmaram a classificação como uma bacia tipicamente cárstica, controlada essencialmente pelo escoamento de base (94%), com importantes saídas de água representadas por captações (1,35 milhões de m³/ano). A principal entrada de água é proveniente da chuva (24,18 milhões de m³/ano), sendo seguida pela contribuição das nascentes da área (4,12 milhões de m³/ano). Assim, como não se observaram grandes alterações nos volumes de chuva e das nascentes que justificasse a perda de volume de água na lagoa, sugere-se que o aumento do número de interferências em recursos hídricos subterrâneos tenha causado uma conexão do sumidouro com condutos mais secos, o que possivelmente causou o aumento da sua capacidade de drenar a água contida na lagoa, fazendo com que esta não mais permaneça cheia.

Palavras-chave: Bacia do córrego Samambaia, aquíferos cársticos, balanço hídrico, Lagoa do Sumidouro, caracterização hidrológica.

ABSTRACT: The studies carried out in the Samambaia stream basin, located in the Lagoa Santa Karst APA - MG, aimed at the hydrological characterization of the basin and its anthropogenic interference, in order to explain the permanent emptying of the Sumidouro Lagoon. The Sete Lagoas Formation, with its members Pedro Leopoldo and Lagoa Santa, consisting mainly of carbonate rocks, represents an important aquifer for the region, with typical structures of a well-developed karst. These carbonate terrains have specific characteristics, highly controlled by typically karst structures that control the, mainly underground, water flow. The applied methodology involved the calculation of water and climatological balance parameters, as well as the evaluation of these parameters variation over three decades. Were also suggested and analyzed some hypotheses that could explain the emptying of Sumidouro Lagoon, exultory of the basin in question. The results confirmed the classification as a typical karst basin, controlled mainly by the basin runoff (94%), with significant water outlets represented by catchments (1.35 million m³ / year). The main water input comes from rain (24.18 million m³ / year), followed by the contribution of the area's springs (4.12 million m³ / year). Thus, as no major changes in rainfall and spring volume were found to justify the loss of water volume in the lagoon, it is suggested that the increased number of interferences in groundwater resources has caused a sink connection to drier conduits, which possibly caused an increase in its ability to drain the water contained in the lagoon, making it no longer full.

Keywords: Samambaia stream basin, karst aquifers, water balance, Sumidouro lagoon, hydrological characterization.

INTRODUÇÃO

1. LOCALIZAÇÃO

A Lagoa do Sumidouro, localizada no Parque Estadual do Sumidouro e na porção baixa da bacia do córrego Samambaia (Figura 1), é conhecida por ser uma área com importante vocação ambiental e turística, além de representar uma fonte de lazer para os habitantes das comunidades próximas. Ocupando uma área de, aproximadamente, 1,2 milhões de m², a lagoa ainda é largamente conhecida por abrigar grandes paredões rochosos que apresentam inscrições de pinturas rupestres.

A bacia do córrego Samambaia apresenta uma área de, aproximadamente, 48 km², que abrange porções dos municípios de Confins, Lagoa Santa e Pedro Leopoldo, e se encontra na porção central da área delimitada pelo projeto *“Projeto de adequação e implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas em áreas com cavidades cársticas da Bacia do Rio São Francisco, aplicado à área piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais”*.

Ainda em relação à sua localização, o córrego Samambaia pertence à bacia do rio das Velhas, o qual, provavelmente, recebe, indiretamente, o fluxo de água proveniente deste córrego.

Toda água que escoar pelo córrego Samambaia vai em direção à Lagoa do Sumidouro, localizada nas imediações de Fidalgo, distrito de Pedro Leopoldo. A partir do deságue nessa lagoa, o fluxo de água se torna subterrâneo, logo após sua passagem pelo sumidouro, localizado na base da lagoa.

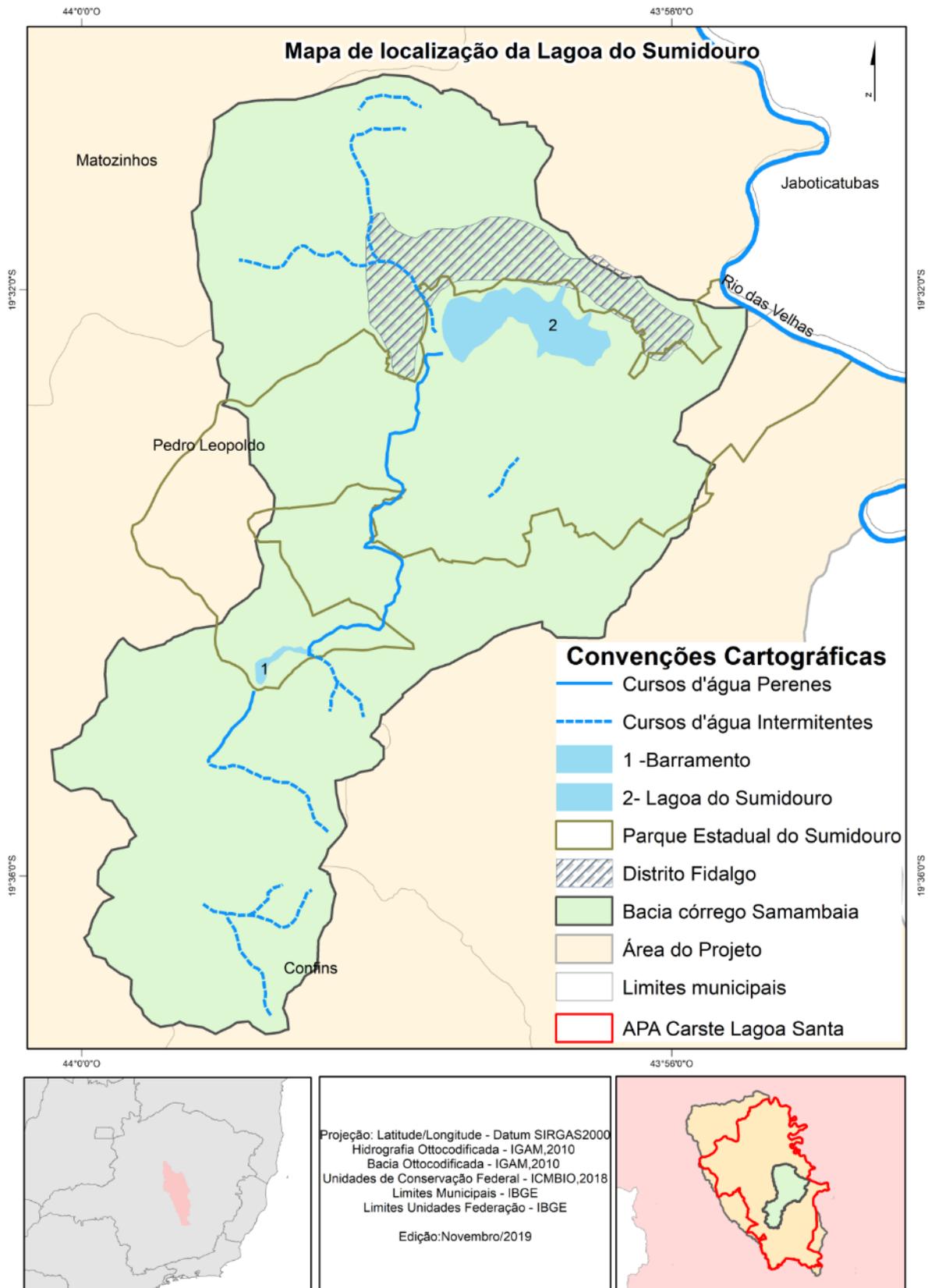


Figura 1: Mapa de localização da Lagoa do Sumidouro em relação à bacia do córrego Samambaia, ao Parque Estadual do Sumidouro e à bacia do Rio das Velhas

a. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA

Localmente, na bacia do córrego Samambaia, sobrepostas ao Complexo Belo Horizonte, são encontradas rochas formadas por sedimentos plataformais da sequência basal do Grupo Bambuí, pertencentes à Formação Sete Lagoas (Figura 2). Estas são divididas em dois membros, um basal denominado Pedro Leopoldo e outro de topo, denominado Lagoa Santa, conforme divisão estabelecida por Schöll (1976) e modificada por Dardenne (1978).

Os pacotes rochosos destes dois membros são representados por ocorrência de metacalcários impuros, intercalados com metapelitos, no Membro Pedro Leopoldo, e calcários mais puros, com granulação fina a média, de composição essencialmente calcítica, no Membro Lagoa Santa. Além disso, o contato entre essas rochas se dá de forma gradacional e, por vezes, tectônico.

Além das rochas da Formação Sete Lagoas, a área de estudo ainda apresenta outros afloramentos característicos da porção superior do Grupo Bambuí, pertencentes à Formação Serra de Santa Helena, a qual se encontra sobreposta a Formação Sete Lagoas por meio de uma falha de descolamento (Ribeiro et al. 2003). Estas rochas têm ocorrência restrita ao extremo sudeste e nordeste da área.

Finalmente, fechando o topo da sequência estratigráfica, as coberturas cenozóicas detrítico-lateríticas e aluvionares ocorrem de maneira restrita na região, conforme descrito por Vieira et al. (2018), geralmente associadas a cursos d'água.

Geomorfologicamente, a bacia do córrego Samambaia se localiza no domínio cárstico, o qual engloba todas as estruturas comuns ao mesmo, como dolinas, uvalas e paredões. Este drena sobre os calcários da Formação Sete Lagoas, apresentando um número elevado de cavernas e reentrâncias que mostram o

resultado da interação dos condutos de água subterrânea com a superfície (Berbert-Born, 2002). Dentre essas estruturas se encontra a Lagoa do Sumidouro, a qual foi detectada por Amaral et. al. (2019) como sendo uma depressão cárstica.

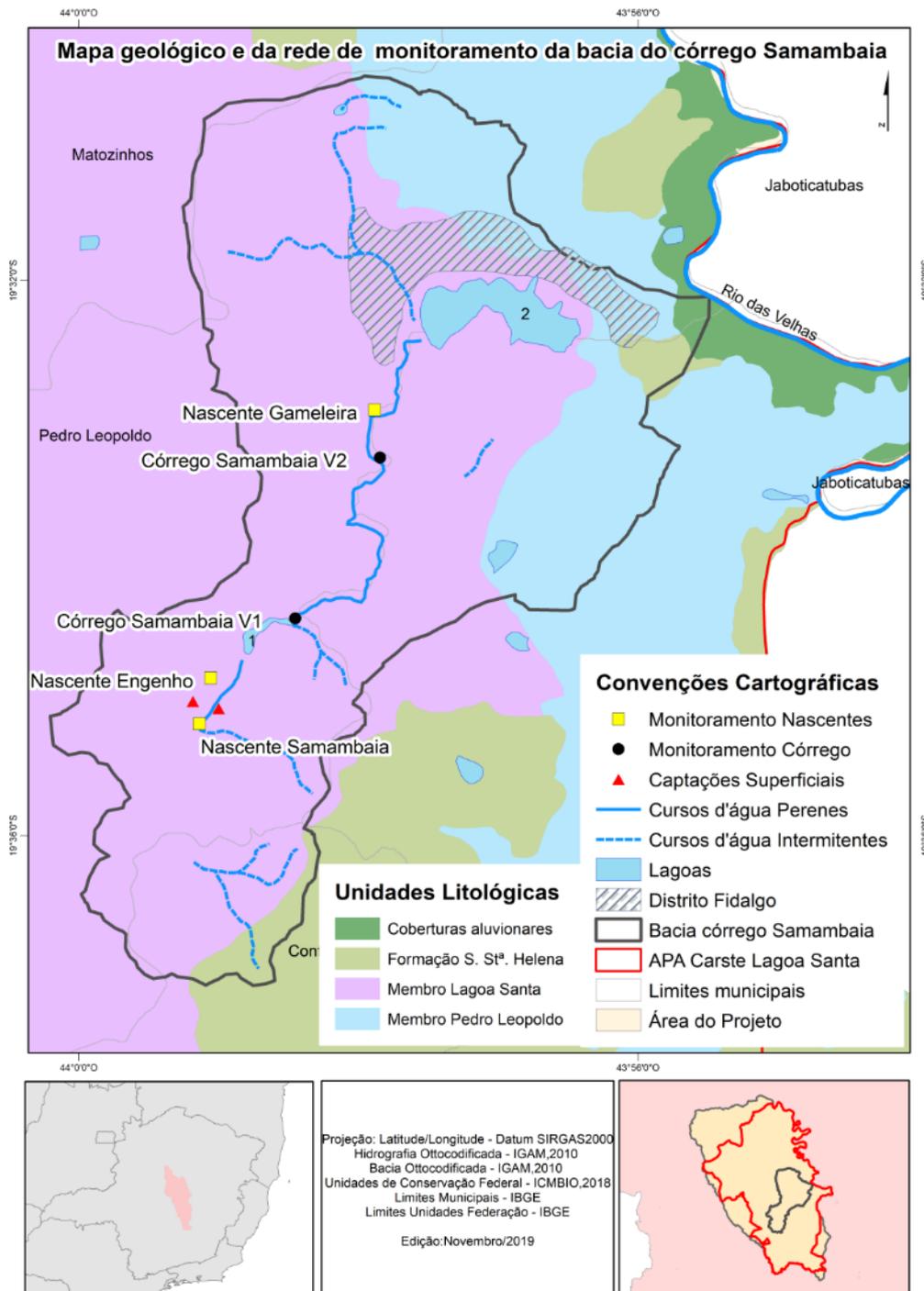


Figura 2: Mapa geológico e de localização dos pontos da rede de monitoramento, pontos de captação e barramento da bacia do córrego Samambaia.

O córrego Samambaia tem início nas nascentes Samambaia e Engenho, que constituem as suas principais entradas de água. A partir daí, ele percorre uma distância de, aproximadamente, 8 km até desaguar na Lagoa do Sumidouro, onde a água flui para o ambiente subterrâneo através de um sumidouro, caracterizando assim uma bacia fechada. Além dessas nascentes citadas, a bacia é ainda alimentada pelas nascentes Gameleira e Palestina, localizadas em sua porção final.

As principais nascentes formadoras da bacia recebem contribuições expressivas de outras bacias da região. Segundo Teodoro et. al (2019), com base em análises de traçadores corantes, foi possível identificar que cerca de 13% da nascente Samambaia é proveniente da Gruta Lapa Vermelha (bacia de Confins), e 70,2% da água da nascente do Engenho vem da Janela Cárstica Cocho D'água (bacia Mocambo/Jaguara). Além disso, foram quantificadas outras contribuições, originadas da Gruta da Água Fria, que se mostraram menos expressivas (7%). Dessa forma, os autores estimaram que 42,5% da origem do córrego Samambaia já tenha sido desvendada.

Além das entradas de água descritas acima, que formam o córrego Samambaia, a Lagoa do Sumidouro ainda recebe contribuição de águas provenientes de eventos de precipitação que ocorrem na área da bacia.

Toda essa água, que alimenta a lagoa, escoar, posteriormente, para um sumidouro, localizado no extremo oeste do reservatório (Figura 3), a partir do qual é realizada a conexão entre os ambientes superficial e subterrâneo.

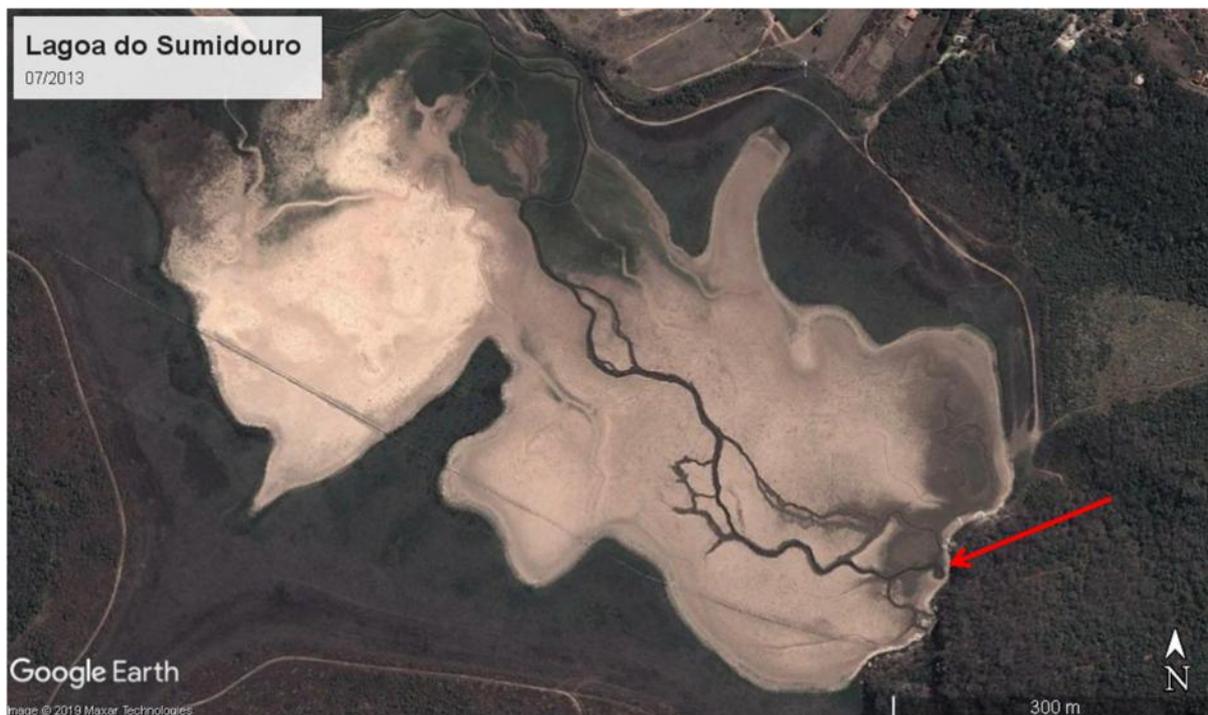


Figura 3: Localização do sumidouro da Lagoa do Sumidouro.

b. O PROBLEMA

De acordo com relatos dos moradores do Distrito de Fidalgo e funcionários do parque, a lagoa vem sofrendo sucessivas perdas de seu volume nos últimos anos, e que, atualmente, permanece seca durante todo o ano. Tal fato foi constatado em trabalho de campo realizado em outubro de 2018 (período seco), observando-se que a única água dentro da depressão cárstica era o percurso que o córrego Samambaia fazia por meio de um estreito leito até desaguar para o interior do sumidouro. Além disso, foram identificadas marcas, em um paredão rochoso, indicativas do nível que a água atingiu no passado, chegando a patamares de duas dezenas de metros (Figura 4).

Imagens de satélite disponíveis no Google Earth a partir de 2003 ilustram o fenômeno da retração do espelho d'água, inicialmente abrupta em 2014, prosseguindo gradativamente até o seu completo desaparecimento em 2013. Dessa

forma, foram levantadas algumas hipóteses que poderiam contribuir para tal fenômeno:

- i) Diminuição do aporte de água superficial proveniente do córrego Samambaia, principal curso d'água alimentador da lagoa, por causas naturais e ou antrópicas;
- ii) Aumento da taxa de impermeabilização do solo devido à expansão urbana da comunidade de Fidalgo, distrito do município de Pedro Leopoldo, diminuindo a infiltração da água da chuva e prejudicando a recarga.
- iii) Rebaixamento do nível de água subterrânea causado pelo aumento do número de captações de água subterrânea por meio de poços tubulares, induzindo conexões do sumidouro com condutos mais secos em relação aos que mantinham o nível da lagoa.

Salienta-se que um ou vários fatores podem estar atuando em conjunto para o cenário atual da lagoa.

As hipóteses levantadas serão abordadas consoantes os métodos expostos a seguir.

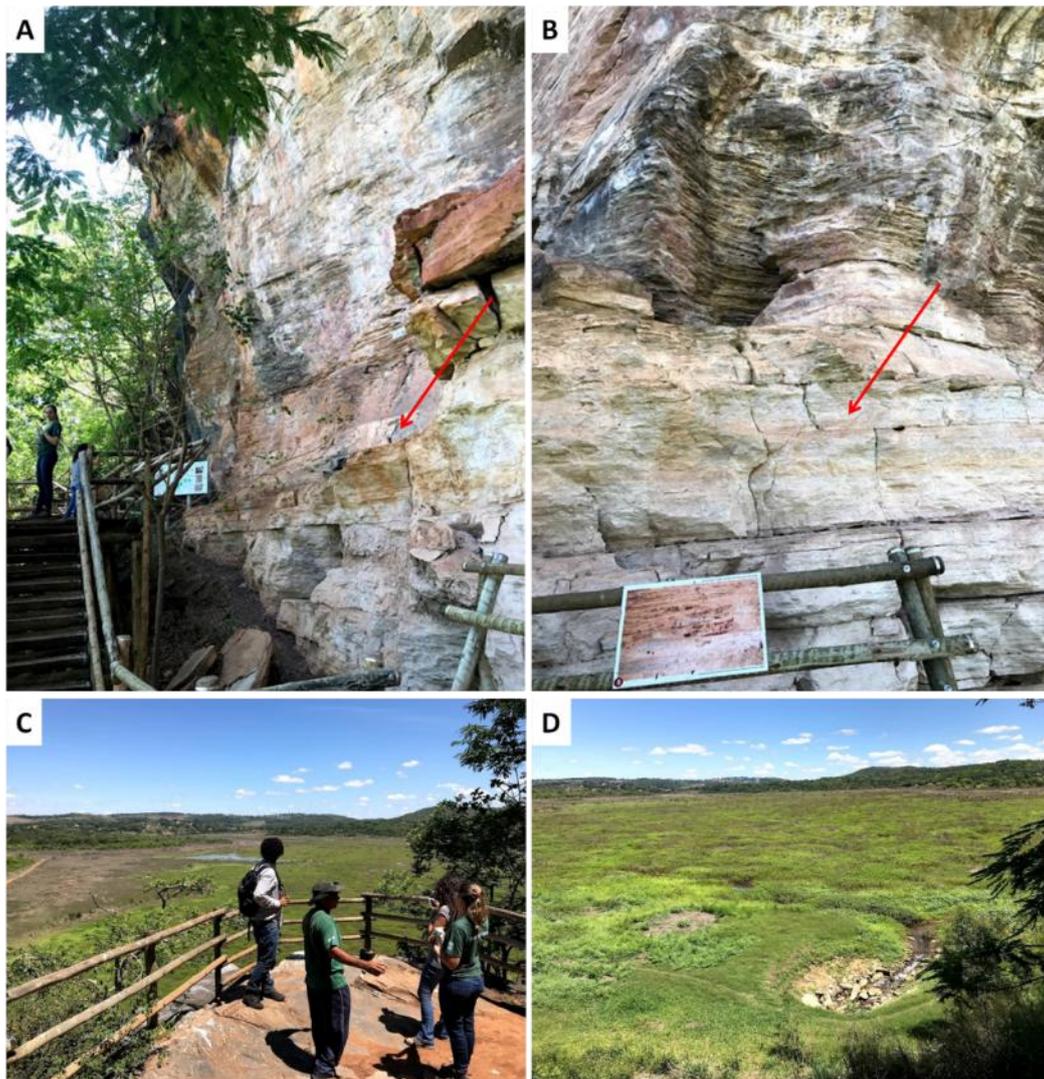


Figura 4: A e B - Paredão rochoso com marcas de nível que a água da lagoa atingiu no passado, indicadas pelas setas vermelhas. C - Vista do local onde se localiza a Lagoa do Sumidouro. D - Curso de água que alimenta o sumidouro. Fotografias tiradas em 23/10/2018 – Parque Estadual do Sumidouro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O questionamento da(s) causa(s) do esvaziamento de água da Lagoa do Sumidouro tem suscitado a comunidade e os órgãos ambientais ao debate, porém os fatores possíveis não se encontram facilmente manifestos e requerem estudos específicos para elucidação do impacto.

É importante salientar que se convencionou denominar alta e média bacia do Samambaia a porção de contribuição desde o limite à montante até o ponto de

entrada do córrego na lagoa, e de baixa bacia a porção de contribuição imediata à lagoa, incluindo a área ocupada pela mesma.

Análise do sistema alta e média bacia

Seguindo a hipótese da diminuição do volume de água transferido para a lagoa pelo córrego Samambaia, foi realizado um estudo hidrológico da bacia homônima, visando comparar o escoamento do córrego à época em que a lagoa se encontrava cheia e com os dias atuais.

Assim, objetivando caracterizar a porção da bacia hidrográfica que alimenta a lagoa, foram realizados monitoramentos fluviométricos automatizados das três nascentes contribuintes (Samambaia, Engenho e Gameleira) e de dois pontos distintos do córrego Samambaia, sendo um logo a jusante de uma barragem e outro próximo à lagoa, durante o ano hidrológico de 2018-2019 (Figura 5).

É importante salientar que, mesmo representando um ponto mapeado de entrada de água da bacia, não foi possível proceder com a instalação de uma estação fluviométrica na nascente Palestina. Essa impossibilidade se deve à dificuldade de acesso ao ponto da surgência, além do fato de esse se apresentar de maneira difusa, com vários pontos de contribuição direta para área brejada da Lagoa do Sumidouro. Mesmo assim, essa foi considerada nos cálculos do presente trabalho.

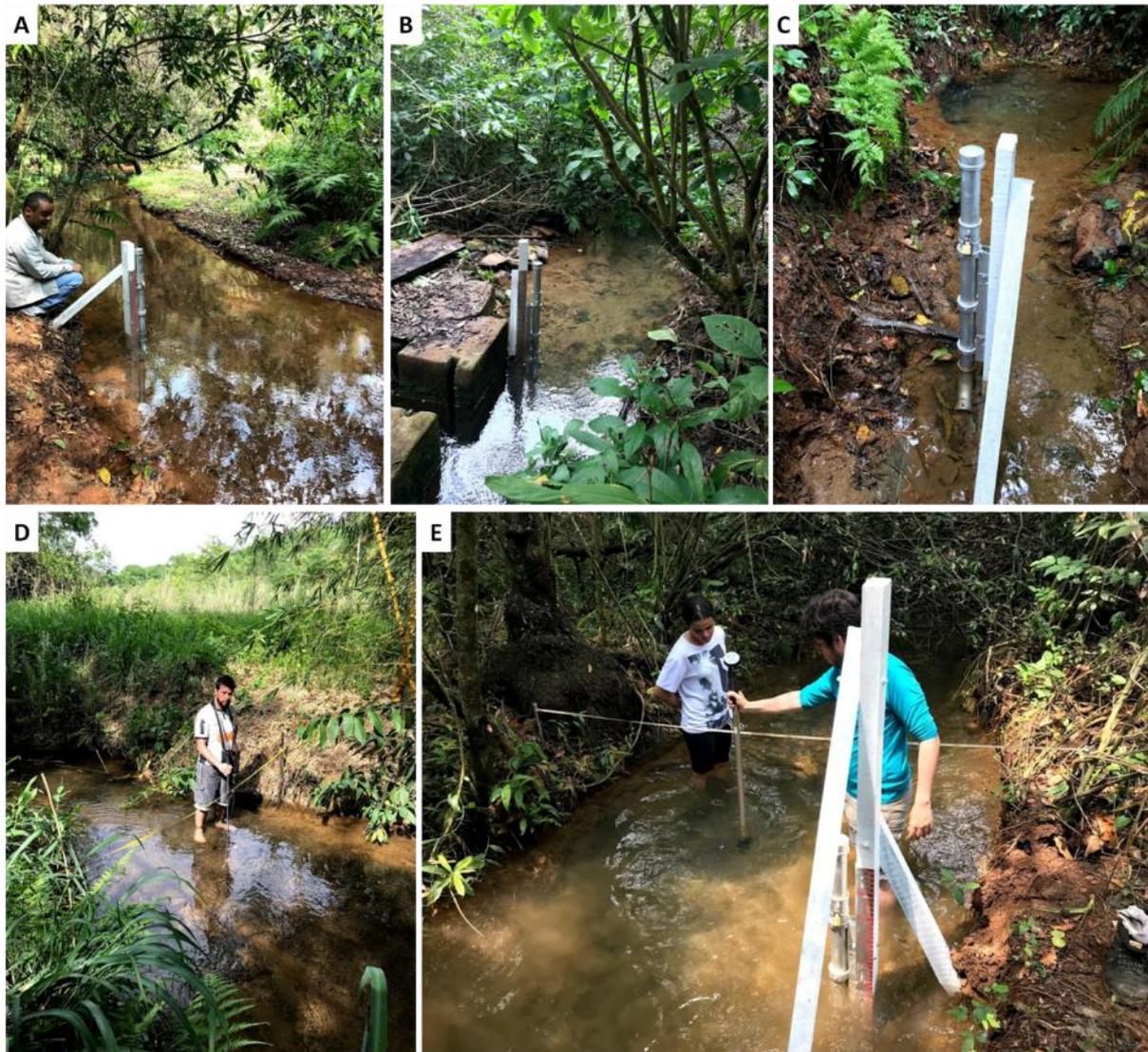


Figura 5: Pontos de monitoramento de vazão. Fotos tiradas em outubro de 2018.

Além disso, foram levantadas as captações de água superficial e demais intervenções que poderiam representar interferências antrópicas nos recursos hídricos à montante da lagoa.

Ainda nesse contexto, foi realizado o cálculo do balanço climatológico segundo a metodologia Thornthwaite e Mather (1955), a partir do qual foi possível obter, dentre outros parâmetros, o valor de evapotranspiração real - ETR. Estes foram obtidos a partir da utilização dos dados de temperatura média mensal, média da quantidade de horas de sol por mês, além dos dados de pluviometria mensal. Os dados de

entrada são originados das estações pluviométrica de Ponte Raul Soares (Código 01943049) e meteorológica de Sete Lagoas (Código OMM: 8670), consultados nos sites da Agência Nacional de Águas – ANA (2019) e Instituto Nacional de Meteorologia –INMET (2019).

Por fim, foram realizados os cálculos referentes à recarga da área, através da utilização do *USGS GW-Toolbox* desenvolvido por Barlow et al. (2014) e Barlow et al. (2017). Para se obter o valor de recarga, o *software* utilizou três programas internos, *HYSEP*, *RECESS* e *RORA*, através dos quais são obtidos o hidrograma, a separação das componentes superficial e subterrânea do escoamento e a curva mestra de recessão.

O *software* empregado utiliza o método Rutledge e Daniel (1994), o qual propõe que a curva mestra de recessão (CRM) é composta pelo deslocamento de pequenos períodos de recessão do hidrograma. Com base na curva, é possível se obter o valor do índice de recessão médio e a recarga.

Dessa forma obteve-se o balanço do volume de água atual que entra e que sai da bacia até o ponto de sua entrada na lagoa, um comparativo das vazões atuais de entrada das nascentes com as da época em que a lagoa se encontrava plena (Auler, 1994), bem como dos impactos antrópicos das retiradas e do barramento.

Análise do sistema baixa bacia

A análise hidrológica de toda bacia inclui ainda a lagoa e a sua porção contribuinte imediata. A medida do volume da lagoa em fev/2003, único registro do período chuvoso nas imagens Google Earth Pro, representa a sua capacidade plena. Com base nessa informação, do monitoramento fluviométrico das nascentes, do córrego Samambaia (dois pontos), da precipitação, e das retiradas antrópicas, foi possível

avaliar as contribuições do escoamento superficial direto, do córrego Samambaia e da precipitação direta sobre o lago em três cenários: 2003, 2004 e 2012. Em 2013 o lago já se encontrava totalmente seco e não se recuperou mais. O somatório das contribuições em 2003, menos o volume armazenado no reservatório, representam a vazão plena de saída da lagoa através do sumidouro, e os volumes correspondentes no período de um ano.

Salienta-se que, para as quatro nascentes contribuintes, foram admitidos para 2003 os mesmos valores de vazão medidos por Auler em 1994.

Mediante utilização das imagens de satélite disponíveis no *software* Google Earth Pro, e da ferramenta *Volume Raster* do QGIS 2.18.20, além da base topográfica disponível, elaborada através do Modelo Digital de Elevação – GDEM ASTER, foram calculados os valores das áreas ocupadas pela lagoa e os volumes de água correspondentes a 2003 (imagem de época chuvosa), 2004 e 2012 (imagem de época de estiagem).

O volume total de água proveniente da chuva (escoamento superficial e precipitação direta no lago) que alimentaria a lagoa nos períodos analisados, foi analisado a partir da pluviometria medida na estação Ponte Raul Soares (Código 01943049), localizada no município de Pedro Leopoldo, a qual possui uma série histórica com medições desde 1975. Estes dados foram obtidos através de consulta ao site da Agência Nacional de Águas – ANA (2019).

Para tal análise foram utilizados os valores correspondentes aos anos hidrológicos de 1993-1994, 2002-2003, 2003-2004, 2011-2012, 2012-2013 e 2018-2019.

RESULTADOS

Considerando o cenário atual, por meio da análise dos dados de monitoramento realizado durante o período de 2018 e 2019, foi possível a caracterização da bacia do córrego Samambaia. Além da quantificação das vazões de entrada e deságue na Lagoa do Sumidouro, foi importante a identificação das interferências realizadas ao longo dessa bacia. A Figura 2 ilustra a localização dos pontos de monitoramento, além das captações e do barramento inventariados durante a etapa de reconhecimento da área.

As entradas de água para o sistema são realizadas através das nascentes Samambaia, Engenho, Gameleira e Palestina. Entre os pontos de contribuição das mesmas são encontradas duas captações de água superficial, além de um grande barramento na porção média da bacia. O córrego deságua na lagoa, através da qual a água flui no sentido do sumidouro. A Figura 6 ilustra dinâmica do funcionamento da bacia.

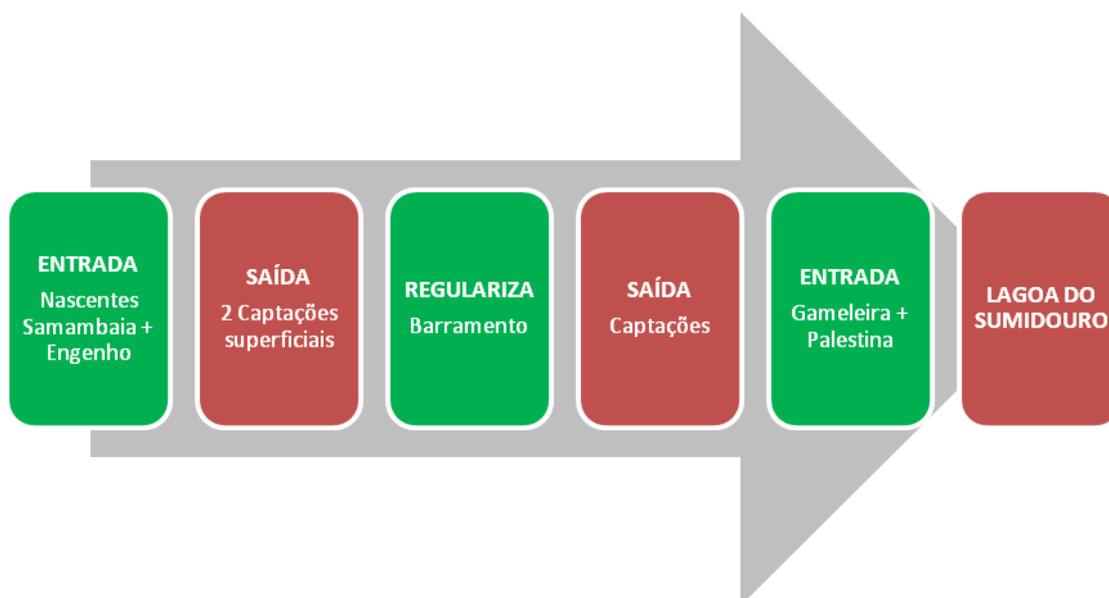


Figura 6: Fluxograma da bacia do córrego Samambaia, ilustrando os pontos de entrada e saída de água, além das interferências antrópicas.

No trecho entre as duas principais nascentes e o barramento, foram levantadas duas captações, de água superficial, cadastradas junto ao órgão gestor de recursos hídricos (Figura 2). Juntas, essas captações representam uma saída anual de 94,61 mil m³.

À jusante dessas duas captações, à aproximadamente 1,5 km, ocorre um barramento, cuja vazão de saída foi monitorada. Essa estrutura regulariza uma média de 58% da vazão recebida, porém com alta variabilidade ao longo do ano, partindo de 9% no mês de fevereiro, atingindo até 148% em agosto. Essa variação é devida à oscilação da altura do vertedouro da barragem, através do qual, propositalmente, se permite uma maior ou menor liberação de água, dependendo da demanda e das condições do reservatório.

Na porção média da bacia, entre o barramento e o último ponto de monitoramento do córrego (V2 – Figura 2), provavelmente, existem captações de água que não são conhecidas pelo órgão gestor. Essa hipótese é levantada com base nos dados de monitoramento que indicam uma região de importante saída de água da bacia. Estas captações representam uma saída mensal, variável, de 5 a 38% em relação ao volume medido logo após a barragem (V1 – Figura 2).

Após as intervenções levantadas e a contribuição da nascente Gameleira, o córrego descarrega na lagoa um volume anual de 4,55 milhões de m³.

Por intermédio do balanço hídrico climatológico obteve-se o valor da evapotranspiração real de 642,1 mm, o que representa 58,3% do total da pluviometria considerada (1.101 mm/ano); a evapotranspiração potencial de 695,7 mm (63%); o excedente hídrico de 588,2 mm (53%) e déficit hídrico de 53,6 mm (4%) – Tabela 1.

Tabela 1: Valores resultantes do balanço climatológico para os períodos analisados.

Balanço Climatológico (mm)					
	2003	2004	2012	2013	2018-2019
Pluviometria	1096,9	1379,4	1240,4	804,1	1101,0
Evapotranspiração Real (ETR)	548,6	526,3	494,7	572,2	642,1
Evapotranspiração Potencial (ETP)	638,7	566,2	559,5	634,8	695,7
Excedente Hídrico (EXC)	699,0	966,6	882,4	365,3	588,2
Déficit Hídrico (DEF)	90,1	39,9	64,8	62,6	53,6
ALT	-150,7	-113,5	-136,7	-133,4	-129,3

Para o balanço hídrico, foram considerados os valores monitorados de vazão do último ponto do córrego, que concentrava a maior parcela de contribuição para a lagoa, medidos durante o ano hidrológico de 2018-2019. Após os cálculos, foram retornados os valores de índice de fluxo de base (%BFI) correspondente a 94% do escoamento total da bacia, e da recarga de 85,10 mm, o que equivale a 7,46% da pluviometria local.

Ao se comparar os valores anuais atuais de excedente hídrico (0,09 m³/s), escoamento total (0,13 m³/s) e entrada de nascentes (0,13 m³/s), atesta-se um alto nível de compatibilidade entre os mesmos em torno de 0,10 m³/s. Dessa forma considerou-se que as operações realizadas nas próximas seções são condizentes com a realidade hídrica da bacia.

A partir dos dados referentes ao volume armazenado na lagoa e do aporte de água proveniente da chuva (escoamento superficial e precipitação direta na lagoa) e das nascentes nos anos estudados, foi calculado o valor aproximado para o volume drenado pelo sumidouro, de modo que fosse mantido o volume da lagoa conforme identificado através das imagens de satélite. O fluxograma apresentado pela Figura 7 representa o raciocínio utilizado para a presente análise. Os volumes indicados se

referem ao acúmulo de água durante 365 dias imediatamente antes da data da imagem.



Figura 7: Representação do raciocínio utilizado para se obter o volume anual, aproximado, drenado pelo sumidouro nos períodos analisados.

- *Volume proveniente da chuva*

A Tabela 2 apresenta os valores calculados de volume anual de água proveniente da chuva que escoaria para a lagoa em cada período analisado. Nos cálculos foram considerados os valores de pluviometria anual correspondente ao período de 12 meses antes das datas das imagens de satélite nos anos de 2003, 2004, 2012, 2013 e 2019. Os valores de ETR e EXC em relação à precipitação em cada ano hidrológico foram obtidos por meio do balanço climatológico, e os valores de escoamento superficial imediato à lagoa (ESC) são resultantes da diferença entre o EXC e a REC (recarga). Ressalta-se que o valor da ETR foi desconsiderado para a área ocupada pela lagoa, quando esta apresentava um volume de água armazenado.

Tabela 2: Valores de precipitação, escoamento superficial direto e volume de chuva na bacia do córrego Samambaia nos anos hidrológicos selecionados.

Mês/Ano	PLU (m)	ETR (m)	EXC (m)	REC* (m)	ESC (m)	Área da bacia sem a lagoa (m ²)	Vol. escoamento direto (m ³)	Área da lagoa (m ²)	Vol. Precipitado no espelho d'água (m ³)	Volume total (m ³)
Fev 2003	1,09	0,54	0,69	0,08	0,61	46.547.489,96	28.727.773,03	1.242.510,04	681.268,3	29.409.041,28
Set 2004	1,37	0,52	0,96	0,10	0,86	47.309.612,00	40.861.158,60	480.388,00	409.819,0	41.270.977,60
Out 2012	1,24	0,49	0,88	0,09	0,78	47.411.379,00	37.448.643,87	378.621,00	282.337,7	37.730.981,55
Ago 2013	0,84	0,57	0,36	0,06	0,30	47.790.000,00	14.435.522,91	-	0	14.435.522,91
Set 2019	1,10	0,64	0,58	0,08	0,50	47.790.000,00	24.184.865,47	-	0	24.184.865,47

*7,46% da precipitação

A pluviometria nos anos considerados foi bastante variável, de 847 a 1379 mm. Interessante notar que a diferença de 38,6% nesses valores de precipitação resultou numa queda de 35% no volume escoado (14,5 e 41,5 milhões de m³) confirmando a estreita relação entre ambos.

Em 2004 a precipitação foi a maior dentre as analisadas, entretanto, neste mesmo ano, a lagoa sofreu um impacto hídrico considerável, como visto pela área do espelho d'água na Tabela 2.

- *Volume proveniente das nascentes*

Os volumes anuais das quatro nascentes correspondentes às entradas de água nas porções alta e média da bacia são mostradas para o cenário atual e para o cenário em que a lagoa se encontrava plenamente cheia, no ano de 1994 (medidas de Auler, 1994) - Tabela 4.

Na realidade, como esse autor possui somente duas medidas pontuais, uma no período chuvoso (fevereiro de 1994) e outra no seco (outubro de 1994), adotou-se as vazões de estiagem para se avaliar os impactos das vazões das surgências entre os dois cenários temporais, uma vez que estas não sofrem grandes alterações pela ação da pluviometria.

A partir da comparação dos valores de vazão Tabela 3, a surgência Samambaia sofreu uma queda de vazão mínima, de estiagem, de 77%, a do Engenho de 20%, e de Gameleira e Palestina 98% entre 1993 e 2019.

Tabela 3: Medições das vazões das nascentes realizadas por Auler (1994) e pelo presente estudo.

Nascente	Vazão medida (m ³ /s)			
	4 a 7 de out. de 1993 (Auler)	Média set. /2018	2 e 3 de fev. de 1994 (Auler)	Média jan /2019
Samambaia	0,15	0,03	0,15	0,07
Engenho	0,05	0,04	0,15	0,09
Gameleira	0,05	0,002	0,05	0,02
Palestina	0,05	0,0025	0,35	0,025

As quatro nascentes somam atualmente um volume anual de 4,12 milhões de m³, sendo Samambaia e Engenho responsáveis por mais de 95% desse total. Os cálculos de volume foram realizados a partir da multiplicação das vazões médias diárias (m³/s) pela quantidade total de segundos que um dia possui. Dessa forma foram somados os volumes diários ao longo de todo o ano monitorado, resultando assim no volume anual cedido por cada nascente. Para a nascente Palestina, como ela representava em 1994 a mesma porcentagem de contribuição da Gameleira (16%), foram admitidos os mesmos valores monitorados dessa última.

Partindo do valor de contribuição das quatro nascentes em 2019, conforme os dados de monitoramento, 4,12 milhões de m³, o cálculo do volume de contribuição das mesmas para 1994 foi, então, realizado adotando-se o volume encontrado para 2019 somado do valor referente à porcentagem de redução de vazão observado em cada nascente, obtendo-se, assim, um valor total de 6,10 milhões de m³ (Tabela 4). Ou seja, percebe-se uma redução de aproximadamente 32% do volume de entrada na década de 90 em relação aos valores atuais, para as porções alta e média da bacia (Figura 8).

Tabela 4: Comparação entre os volumes anuais das nascentes, em 1994 e 2018-2019.

Volume Anual Nascentes (m³)		
	1993-1994	2018-2019
Engenho	2.694.119,20	2.245.099,33
Samambaia	2.839.399,40	1.604.180,45
Gameleira	273.200,97	137.980,29
Palestina	273.200,97	137.980,29
Soma	6.079.920,54	4.125.240,36

Aporte das nascentes

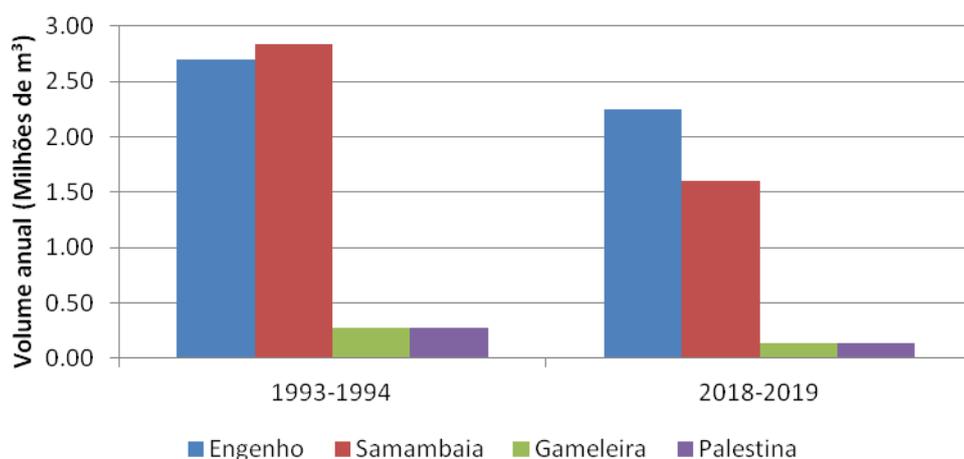


Figura 8: Gráfico da diminuição do aporte de água através das nascentes da área.

- *Variação do volume da lagoa*

Por meio da análise da Figura 9 é possível verificar a evolução da perda de volume de água da Lagoa do Sumidouro ao longo do tempo. Constata-se uma acentuada retração entre no ano de 2004, e a partir daí prossegue gradativamente até o seu completo desaparecimento em 2013, permanecendo até hoje.

Essas imagens foram avaliadas e serviram de base para o cálculo da área molhada e do volume de água que se encontrava em cada cenário. Portanto, foram analisadas as situações em que a lagoa estava cheia, durante o período chuvoso de 2003, e os dois eventos principais de redução de volume: 2004 (seca) e 2012 (seca). As áreas ocupadas pela lagoa nos períodos avaliados estão ilustradas na Figura 10 -

A, sendo o traçado azul correspondente ao ano de 2003, o verde de 2004 e o vermelho de 2012.

No período chuvoso do ano de 2003 a Lagoa do Sumidouro apresentava uma área de, aproximadamente, 1,24 milhões de metros quadrados, com profundidade máxima em torno de 20m e volume correspondente de 10,37 milhões de metros cúbicos de água, considerando o nível de água no patamar da cota 650m. Os resultados são apresentados na Figura 10 – B.

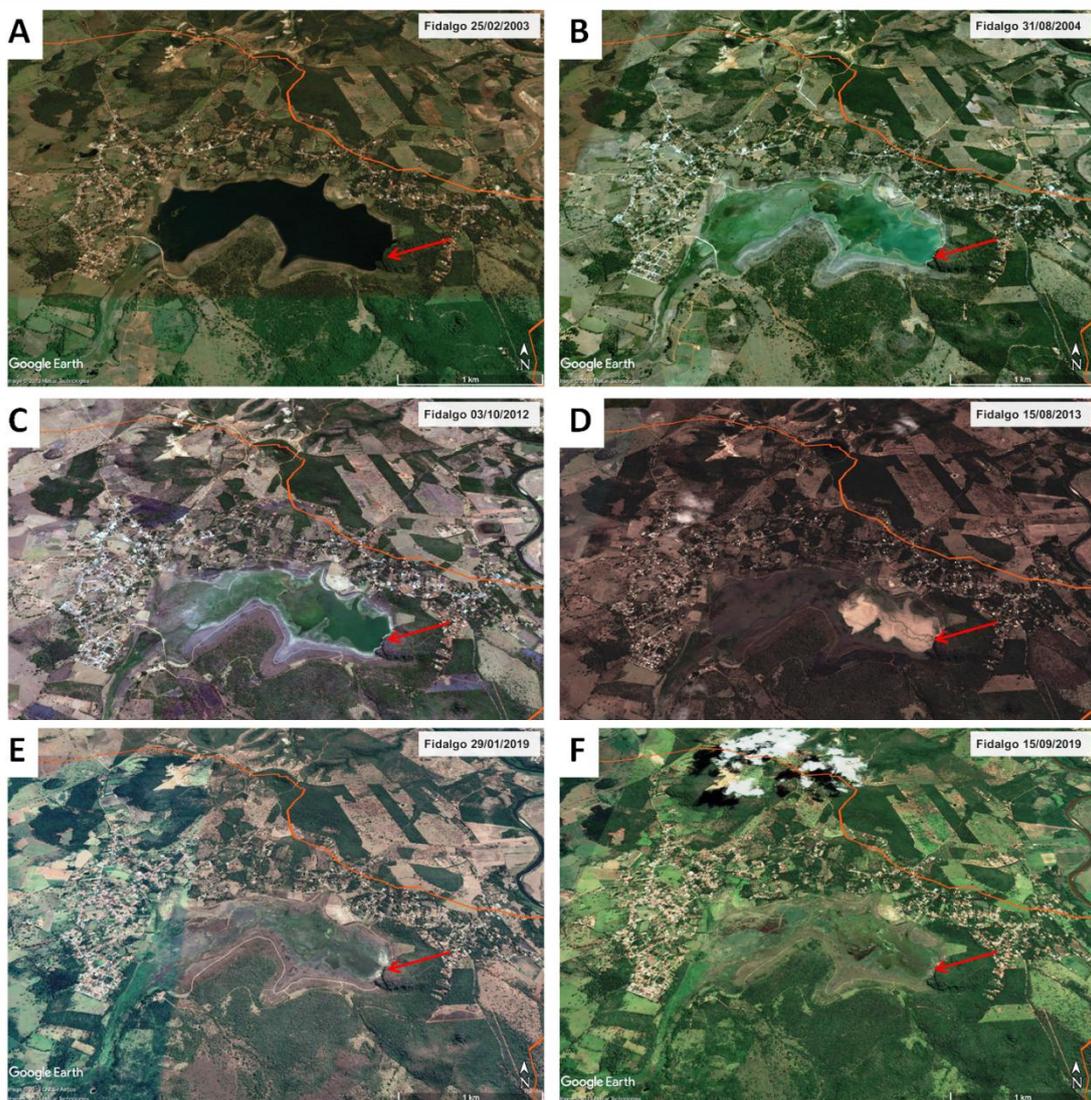


Figura 9: Imagens de satélite da Lagoa do Sumidouro em: A - período chuvoso de 2003, B - período seco de 2004, C - período seco de 2012, D - período seco de 2013, E - período chuvoso de 2019 e F - período seco de 2019. A seta vermelha indica a posição aproximada do sumidouro.

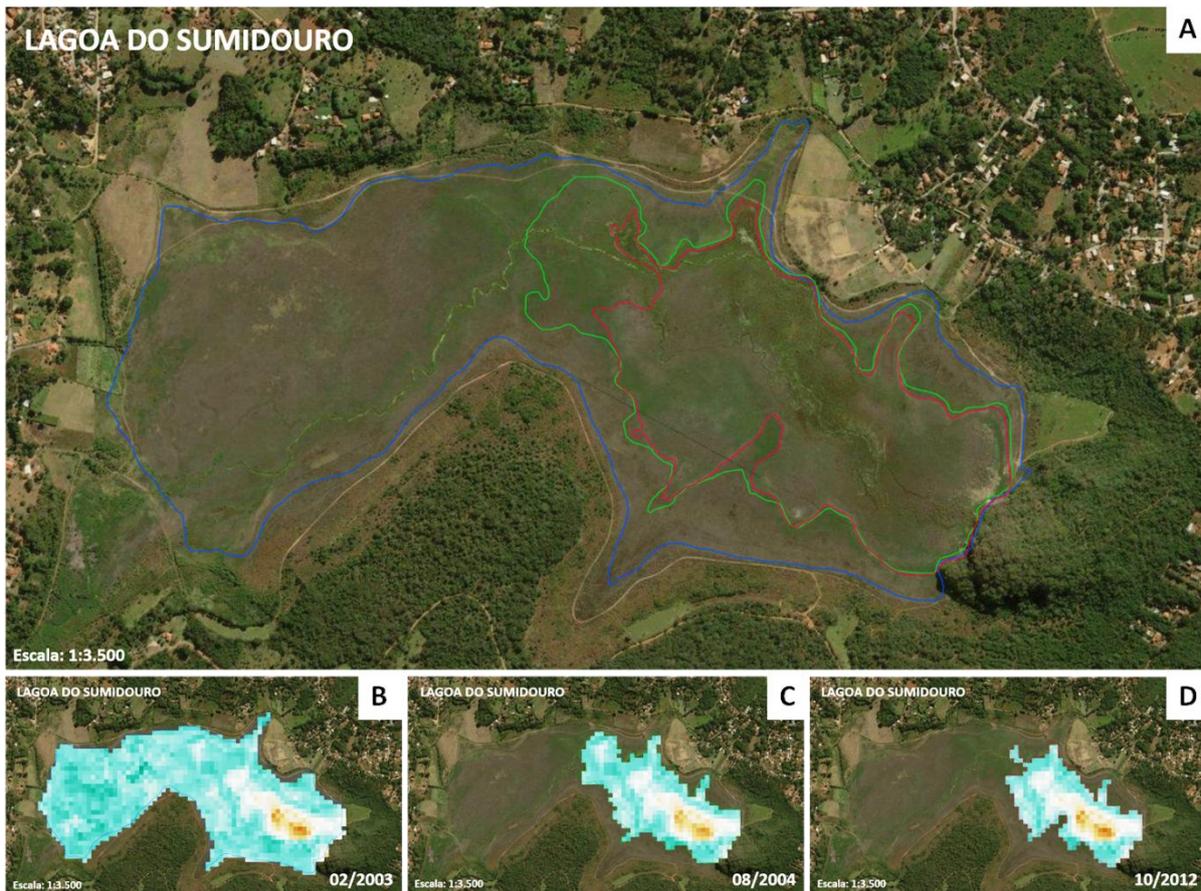


Figura 10: Áreas ocupadas pela Lagoa do Sumidouro – A: 2019; B: 2003; C: 2004 e D: 2012.

Na estiagem de 2004 observou-se uma redução de, aproximadamente, 61% da área da lagoa (480 mil m²) e, conseqüentemente, uma diminuição de 73% do volume de água estocado por ela (2.825.508,35 m³), Figura 10 - C.

Já na estiagem de 2012, identificou-se mais uma diminuição de, aproximadamente, 21% da área da lagoa e de 32% do volume de água estocado por ela, quando comparado com a situação em 2004. E, em relação à situação de 2003, reduções de 70% de área e 82% de volume. As medidas de 2012 em valores absolutos correspondem a 378.621 m² de área e 1.916.316,07 m³ de volume de água (Figura 10 - D). Os valores correspondentes estão apresentados na Tabela 5, bem como a relação de diminuição do volume e área em relação ao ano de 2003.

Tabela 5: Valores de área ocupada e volume de água armazenado na Lagoa do Sumidouro em 2003, 2004 e 2012.

Ano	Área da lagoa (m ²)	Volume da lagoa (m ³)	Redução em relação a 2003	
			Área	Volume
2003	1.242.510,04	10.377.995,33	-	-
2004	480.388,00	2.825.508,35	61%	73%
2012	378.621,00	1.916.316,07	70%	82%
2019	0,00	0,00	100%	100%

Após o segundo semestre de 2013 não é possível mais identificar água armazenada na lagoa, nem mesmo no período chuvoso, ou seja, neste ano houve a perda dos restantes 18% do volume em relação a 2003. Somente é identificado o traçado do curso d'água que alimenta o sumidouro. Assim, toda água que escoar para a lagoa é drenada pelo sumidouro, sem o armazenamento de volume que seja detectável através de análise de imagem de satélite. Por isso, os demais anos não foram tratados matematicamente por não mais ter sido possível identificar áreas com concentração de água que desse para ser delimitada e, conseqüentemente, ser gerado o volume de água referente a essa porção.

Através da análise temporal da situação da lagoa entre os anos de 2003 e 2019 foi possível identificar dois eventos distintos de redução expressiva do volume de água da Lagoa do Sumidouro. O primeiro ocorre durante o período seco de 2004, sendo sucedido pelo período seco de 2013. Durante o intervalo entre esses dois marcos, a lagoa sofre pequenas variações de volume, consideradas imperceptíveis quando se procede com a análise das imagens de satélite na resolução disponível.

- *Volume drenado pelo sumidouro*

A partir dos dados referentes ao volume armazenado na lagoa e do aporte de água proveniente da chuva (escoamento superficial e precipitação direta na lagoa) e das

nascentes nos anos estudados, foi calculado o valor aproximado para o volume drenado pelo sumidouro, de modo que fosse mantido o volume da lagoa conforme identificado através das imagens de satélite.

Para fins de comparação e, considerando que durante este trabalho não foi possível a obtenção de imagem de satélite que retratasse a situação da Lagoa do Sumidouro em datas anteriores a 2003, as medidas de vazão realizadas por Auler (1994) serão atribuídas ao cenário analisado do ano de 2003. Essa extrapolação se justifica também pelo fato de ter sido relatado, por moradores locais, que antes dessa data a lagoa permanecia cheia, com nível aproximado ao que foi calculado para 2003.

O cálculo do volume drenado pelo sumidouro foi realizado para 2018/2019, período em que houve monitoramento das entradas de água através das nascentes para a bacia do córrego Samambaia. Para os períodos antecedentes, assumiu-se que as entradas através das nascentes permaneceram as mesmas em relação às medidas em 2019, exceto para 2004 em que se atribuiu o mesmo valor calculado para 2003. Para as saídas através das captações, admitiu-se que estas eram iguais de as de 2019 para os anos de 2012 e 2013, e 30% menores para os demais períodos.

Os valores correspondentes às captações consideradas nesse cálculo foram obtidos através da soma dos volumes anuais das duas captações cadastradas junto ao órgão gestor e das saídas de água localizadas entre os pontos V1 e V2 de monitoramento. Os cálculos relativos a esse montante se encontram no Anexo III deste volume.

No período chuvoso de 2003, o sumidouro drenou 26,76 milhões de m³. Já em 2019, o sumidouro teve a capacidade de drenar 26,67 milhões de m³, uma vez que a lagoa já se encontrava seca. Os resultados obtidos são apresentados através da Tabela 6.

Tabela 6: Valores calculados para o volume drenado pelo sumidouro em cada período considerado.

Ano	ENTRADAS		ARMAZENAMENTO	SAÍDAS	
	Volume chuva (m³)	Volume nascentes (m³)	Volume medido na lagoa (m³)	Captações (m³)	Volume sumidouro (m³)
2003	29.409.041,28	6.079.920,54	10.377.995,33	946.409,24	24.164.557,25*
2004	41.270.977,60	6.079.920,54	2.825.508,35	946.409,24	43.578.980,55*
2012	37.730.981,55	3.965.329,98	1.916.316,07	1.352.013,20	39.779.995,46*
2013	14.435.522,91	3.965.329,98	0,00	1.352.013,20	17.048.839,69*
2019	24.184.865,47	3.965.329,98	0,00	1.352.013,20	26.798.182,25

*Valores obtidos através da extrapolação das nascentes e captações nos períodos correspondentes.

Mesmo não sendo possível o cálculo mais assertivo dos valores drenados pelo sumidouro nos anos de 2004, 2012 e 2013, pelo fato da lagoa não mais apresentar os volumes anteriormente observados, é possível que o sumidouro tenha aumentado, consideravelmente, sua capacidade de drenagem. Essa indicação se deve também ao fato de os valores de pluviometria dos anos de 2004 e 2012 terem sido superiores aos de 2003, no entanto, constata-se uma severa taxa de diminuição do volume armazenado na lagoa desde então. Para 2013, mesmo a pluviometria tendo ficado abaixo do observado nos outros anos, o fato da lagoa se apresentar completamente seca também corrobora com a hipótese de o sumidouro ter seu poder de drenagem aumentado.

DISCUSSÕES

A partir dos resultados obtidos durante a realização do presente estudo, essa seção se destina ao levantamento e discussão de hipóteses que possam elucidar os motivos pelos quais a Lagoa do Sumidouro apresentou reduções importantes de seu volume desde os anos 2000, chegando a se apresentar seca nos dias atuais.

Hipótese 01: Expansão urbana do Distrito de Fidalgo

Com base nas imagens de satélite levantadas durante esse estudo, é possível verificar áreas da comunidade que sofreram adensamento e expansão urbana, principalmente nos setores oeste e norte, ao longo dos anos analisados.

Essas atividades incluem desde calçamento de ruas até construções de novas edificações, obras que certamente representam impermeabilização do terreno, implantação de redes de drenagens e desvios de drenagens naturais.

Porém, mesmo que essas modificações sejam perceptíveis através das imagens utilizadas e possam representar alterações do fluxo de água superficial e da taxa de infiltração da água para o sistema aquífero, acredita-se que a intensidade dessa expansão e adensamento urbano de Fidalgo não seja o responsável, por si só, pela grande diminuição do volume da lagoa, conforme observado através dos dados produzidos.

Essa constatação é justificada pela taxa de urbanização se apresentar de maneira restrita a alguns setores do distrito, além de ser pouco representativa em relação à grandiosidade de redução de volume de água armazenado na lagoa, o que corresponde a milhões de m³.

Hipótese 02: Diminuição do aporte de água superficial do córrego Samambaia

Através dos dados do monitoramento das nascentes e a sua comparação com os valores obtidos na década de 90 fica nítida a redução do volume de água fornecida pelas nascentes Engenho, Samambaia, Gameleira e Palestina. Essa redução representa um total de 1,95 milhões de m³ a menos fornecidos, por ano, à lagoa, ou seja, o equivalente a 19% do volume total armazenado em 2003.

No entanto, considerando somente a diminuição do aporte de água realizado pelas nascentes, não é possível concluir que essa mudança nas entradas do sistema seria a explicação para o esvaziamento da Lagoa do Sumidouro. Isso se deve ao fato de, por mais que a redução de volume ofertado seja considerável, ela não apresenta valor similar ao volume da lagoa cheia, o qual é de, aproximadamente, 10,4 milhões de m³.

Hipótese 03: Rebaixamento do nível de água subterrânea e conexão com condutos inferiores

Por meio de informações colhidas junto ao órgão gestor de recursos hídricos, foram levantadas duas outorgas de poços tubulares profundos vigentes na região próxima à lagoa, que somadas, representam uma retirada de 70,2 m³/h.

Porém, por meio de informações de moradores da região, tomou-se conhecimento de que existem diversos outros poços perfurados ao longo de toda a extensão da bacia, tanto na área urbana, quanto na rural, mas que não são regularizados.

Outro fator que corrobora com a hipótese de existir muito mais poços perfurados em relação aos cadastrados, é a escassa rede hidrográfica superficial, característica essa de regiões cársticas. Sendo assim, é comum que a população lance mão da captação de água proveniente de aquíferos.

Dessa forma, pode-se supor que uma grande quantidade de poços, que operam há muito tempo e de maneira desordenada, possa representar um rebaixamento considerável do nível de água subterrânea do aquífero local.

Considerando ainda a análise das imagens aéreas utilizadas, é possível identificar que existiram dois momentos críticos para o esvaziamento da lagoa. O primeiro,

ocorrido em 2004, reduziu em mais de 70% o seu volume, sendo precedido por um segundo que representou uma perda de mais 11% do volume inicial.

Tendo em vista o fato da bacia do córrego Samambaia estar localizada em uma região estritamente cárstica, com o seu exultório sendo representado por um sumidouro, entende-se que a alta conectividade entre água superficial e subterrânea é uma importante característica desse tipo de ambiente. Dessa forma, essa especificidade típica de ambientes cársticos deve ser considerada como um possível facilitador no processo estudado pelo presente trabalho, ou seja, a diminuição do volume da Lagoa do Sumidouro.

Além disso, os ambientes cársticos apresentam, com relativa frequência, atividades de ativação de condutos, que anteriormente se encontravam isolados em relação ao nível de água subterrânea local, e que, quando induzidos por fatores externos, são conectados a estruturas que possuem água, criando um novo caminho de fluxo.

Sendo assim, diante do pouco conhecimento em relação às intervenções em recursos hídricos subterrâneos existentes na área investigada e à grande dimensão do volume de água existente na lagoa na década de 2000, além do fato da diminuição do volume ter ocorrido, primeiramente, de maneira considerada brusca, sugere-se que o contínuo rebaixamento de nível de água subterrânea, possivelmente causado por um grande número de poços irregulares, possa ter induzido a conexão do sumidouro com condutos menos saturados, fazendo com que a sua capacidade de drenar a água da lagoa fosse potencializada. A partir daí, é provável que fora estabelecido um novo nível de base para a bacia, para o qual toda água que chega ao sumidouro é direcionada, não sendo possível o armazenamento desse volume no local onde antes se encontrava a lagoa.

CONCLUSÕES

A partir das hipóteses consideradas, e com base nas análises realizadas, conclui-se pela indicação da hipótese nº 03 como sendo a mais provável de ter ocorrido. Ou seja, o aumento de captação de água subterrânea por meio de poços tubulares profundos pode ter induzido a conexão do sumidouro com condutos inferiores.

Essa indicação se deve ao fato dessa hipótese permitir a elucidação da maior parte dos acontecimentos, principalmente o comportamento frente aos dois eventos de esvaziamento da lagoa, sendo o primeiro mais brusco e o último gradual.

Ainda durante esse trabalho, foi possível verificar que o aporte de água proveniente das nascentes da bacia sofreu considerável diminuição. Além disso, não se sabe como se comportou a questão das retiradas de água, tanto superficial quanto subterrânea, do sistema durante os anos anteriores a 2019. Dessa forma, é importante considerar uma possível ocorrência de sobreposição das causas descritas ao longo do trabalho, o que pode ter contribuído para a potencialização dos efeitos observados.

Finalmente, como o atual estudo representa uma abordagem inicial sobre o tema, faz-se recomendação em relação à necessidade de realização de atividades de fiscalização de usos de recursos hídricos, além de monitoramento e estudos mais aprofundados referentes às diversas vertentes levantadas, a fim de que seja possível a elaboração de conclusões mais assertivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, D.G.P, Velásquez, L.N.M., Rodrigues, P.C.H. 2019. Comportamento hídrico das depressões cársticas da região de Lagoa Santa, MG. Rev. Águas Subterrâneas, 33, 2, 196-209.

ANA.2019. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/Estacao.aspx?est=193343540>>. Último acesso em: 12 nov. de 2019.

Auler, A. 1994. Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos Pedro Leopoldo Karst, Brazil. Western Kentucky University. Dissertação de Mestrado, 110 p.

Barlow, P.M., Cunningham, W.L., Zhai, Tong, and Gray, Mark. 2014. U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data (version 1.0): User guide for estimation of base flow, runoff, and groundwater recharge from streamflow data: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 3, chap. B10, 2014, 27 p.

Barlow, P.M., Cunningham, W.L., Zhai, Tong, and Gray, Mark. 2017. U.S. Geological Survey Groundwater Toolbox version 1.3.1, a graphical and mapping interface for analysis of hydrologic data: U.S. Geological Survey Software Release, 26 May 2017.

Berbert-Born, M.L.C. 2002. Carste de Lagoa Santa, MG: Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil, vol. 1, Brasília. Bower, H. and R.C. Rice. 1976. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, Water Resources Research, vol. 12, no. 3, pp. 423-428.

Dardenne, M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, 2, 597-610.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Último acesso em: 12 nov. de 2019.

Ribeiro, J.H.; Tuller, M.P.; Filho, A.D.; Padilha, A.V.; Córdoba, C.V. 2003. Projeto VIDA: mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Moraes, Confins e Funilândia, Minas Gerais - Relatório final, escala 1:50.000. 2ª ed.; Belo Horizonte: CPRM, 54p., Mapas e anexos (Série Programa Informações Básicas para Gestão Territorial - GATE, versão digital).

Rutledge, A. T., Daniel, C. C. 1994. Testing an automated method to estimate ground-water recharge from streamflow records. *Ground Water* 32 (2): 180-189.

Scholl W.U. 1976. Sedimentologia e geoquímica do Grupo Bambuí na parte sudeste da Bacia do São Francisco. In: SBG: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Anais, 207 - 231.

Teodoro, M. I. P., Velásquez, L. N. M., Fleming, P. M., Paula, R. S., Souza, R. T., Doi, B. B. 2019. Interconexões e Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Cárstico Bambuí, com uso de Traçadores Corantes, na Região de Lagoa Santa, Minas Gerais. (no prelo).

Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev*, v.38, p.55-94.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

Vieira, L.C.M. 2018. Hidrogeoquímica dos Aquíferos da Região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 111 p.

ANEXO II

Vazões médias diárias monitoradas e calculadas

Vazões médias diárias monitoradas (m³/s) – Nascente Samambaia

01/10/2018	0.05281	03/11/2018	0.06188	06/12/2018	0.08363	08/01/2019	0.08209	10/02/2019	15/03/2019	17/04/2019
02/10/2018	0.06402	04/11/2018	0.05750	07/12/2018	0.08583	09/01/2019	0.07900	11/02/2019	16/03/2019	18/04/2019
03/10/2018	0.06543	05/11/2018	0.05631	08/12/2018	0.08418	10/01/2019	0.07352	12/02/2019	17/03/2019	19/04/2019
04/10/2018	0.05841	06/11/2018	0.05465	09/12/2018	0.07676	11/01/2019	0.06921	13/02/2019	18/03/2019	20/04/2019
05/10/2018	0.05265	07/11/2018	0.05423	10/12/2018	0.07088	12/01/2019	0.06536	14/02/2019	19/03/2019	21/04/2019
06/10/2018	0.05175	08/11/2018	0.05798	11/12/2018	0.06394	13/01/2019	0.06301	15/02/2019	20/03/2019	22/04/2019
07/10/2018	0.05096	09/11/2018	0.07306	12/12/2018	0.06126	14/01/2019	0.06001	16/02/2019	21/03/2019	23/04/2019
08/10/2018	0.04918	10/11/2018	0.08147	13/12/2018	0.06032	15/01/2019	0.05737	17/02/2019	22/03/2019	24/04/2019
09/10/2018	0.04827	11/11/2018	0.07933	14/12/2018	0.05832	16/01/2019	0.05595	18/02/2019	23/03/2019	25/04/2019
10/10/2018	0.04812	12/11/2018	0.07746	15/12/2018	0.05603	17/01/2019	0.05506	19/02/2019	24/03/2019	26/04/2019
11/10/2018	0.04809	13/11/2018	0.07370	16/12/2018	0.05593	18/01/2019	0.05548	20/02/2019	25/03/2019	27/04/2019
12/10/2018	0.04756	14/11/2018	0.06757	17/12/2018	0.05412	19/01/2019		21/02/2019	26/03/2019	28/04/2019
13/10/2018	0.04730	15/11/2018	0.06413	18/12/2018	0.05054	20/01/2019		22/02/2019	27/03/2019	29/04/2019
14/10/2018	0.04730	16/11/2018	0.06098	19/12/2018	0.04721	21/01/2019		23/02/2019	28/03/2019	30/04/2019
15/10/2018	0.04835	17/11/2018	0.05818	20/12/2018	0.04622	22/01/2019		24/02/2019	29/03/2019	01/05/2019
16/10/2018	0.04895	18/11/2018	0.05630	21/12/2018	0.04621	23/01/2019		25/02/2019	30/03/2019	02/05/2019
17/10/2018	0.04852	19/11/2018	0.05478	22/12/2018	0.04484	24/01/2019		26/02/2019	31/03/2019	03/05/2019
18/10/2018	0.05001	20/11/2018	0.07827	23/12/2018	0.04522	25/01/2019		27/02/2019	01/04/2019	04/05/2019
19/10/2018	0.05218	21/11/2018	0.10103	24/12/2018	0.04645	26/01/2019		28/02/2019	02/04/2019	05/05/2019
20/10/2018	0.05186	22/11/2018	0.10202	25/12/2018	0.04874	27/01/2019		01/03/2019	03/04/2019	06/05/2019
21/10/2018	0.05211	23/11/2018	0.09339	26/12/2018	0.04920	28/01/2019		02/03/2019	04/04/2019	07/05/2019
22/10/2018	0.05131	24/11/2018	0.08932	27/12/2018	0.05145	29/01/2019		03/03/2019	05/04/2019	08/05/2019
23/10/2018	0.05062	25/11/2018	0.09191	28/12/2018	0.05654	30/01/2019		04/03/2019	06/04/2019	09/05/2019
24/10/2018	0.05032	26/11/2018	0.08312	29/12/2018	0.06536	31/01/2019		05/03/2019	07/04/2019	10/05/2019
25/10/2018	0.05440	27/11/2018	0.07797	30/12/2018	0.08247	01/02/2019		06/03/2019	08/04/2019	11/05/2019
26/10/2018	0.05569	28/11/2018	0.06927	31/12/2018	0.09298	02/02/2019		07/03/2019	09/04/2019	12/05/2019

27/10/2018	0.06697	29/11/2018	0.06765	01/01/2019	0.10069	03/02/2019	08/03/2019	10/04/2019	13/05/2019
28/10/2018	0.07841	30/11/2018	0.06790	02/01/2019	0.10118	04/02/2019	09/03/2019	11/04/2019	14/05/2019
29/10/2018	0.07411	01/12/2018	0.07717	03/01/2019	0.09726	05/02/2019	10/03/2019	12/04/2019	15/05/2019
30/10/2018	0.07067	02/12/2018	0.09724	04/01/2019	0.09099	06/02/2019	11/03/2019	13/04/2019	16/05/2019
31/10/2018	0.06083	03/12/2018	0.10648	05/01/2019	0.07895	07/02/2019	12/03/2019	14/04/2019	17/05/2019
01/11/2018	0.05883	04/12/2018	0.10771	06/01/2019	0.08526	08/02/2019	13/03/2019	15/04/2019	18/05/2019
02/11/2018	0.06697	05/12/2018	0.09321	07/01/2019	0.08398	09/02/2019	14/03/2019	16/04/2019	19/05/2019
20/05/2019		22/06/2019		25/07/2019	0.04137	27/08/2019	0.01327	29/09/2019	0.03693
21/05/2019		23/06/2019		26/07/2019	0.04187	28/08/2019	0.01355	30/09/2019	0.04070
22/05/2019		24/06/2019		27/07/2019	0.04518	29/08/2019	0.01555		
23/05/2019		25/06/2019		28/07/2019	0.04304	30/08/2019	0.01553		
24/05/2019		26/06/2019		29/07/2019	0.04073	31/08/2019	0.01683		
25/05/2019		27/06/2019		30/07/2019	0.03997	01/09/2019	0.01842		
26/05/2019		28/06/2019		31/07/2019	0.04008	02/09/2019	0.01697		
27/05/2019		29/06/2019		01/08/2019	0.04012	03/09/2019	0.01374		
28/05/2019		30/06/2019		02/08/2019	0.04018	04/09/2019	0.01479		
29/05/2019		01/07/2019		03/08/2019	0.03990	05/09/2019	0.01116		
30/05/2019		02/07/2019		04/08/2019	0.03942	06/09/2019	0.01403		
31/05/2019		03/07/2019		05/08/2019	0.04075	07/09/2019	0.01978		
01/06/2019		04/07/2019		06/08/2019	0.04252	08/09/2019	0.02594		
02/06/2019		05/07/2019		07/08/2019	0.04300	09/09/2019	0.02655		
03/06/2019		06/07/2019		08/08/2019	0.02175	10/09/2019	0.01952		
04/06/2019		07/07/2019		09/08/2019	0.01733	11/09/2019	0.01450		
05/06/2019		08/07/2019		10/08/2019	0.01700	12/09/2019	0.01529		
06/06/2019		09/07/2019		11/08/2019	0.01720	13/09/2019	0.02032		
07/06/2019		10/07/2019	0.04200	12/08/2019	0.01774	14/09/2019	0.01887		
08/06/2019		11/07/2019	0.04176	13/08/2019	0.01718	15/09/2019	0.03069		
09/06/2019		12/07/2019	0.04201	14/08/2019	0.01724	16/09/2019	0.03201		

10/06/2019	13/07/2019	0.04138	15/08/2019	0.01761	17/09/2019	0.02830
11/06/2019	14/07/2019	0.04194	16/08/2019	0.01748	18/09/2019	0.02661
12/06/2019	15/07/2019	0.04124	17/08/2019	0.01712	19/09/2019	0.03057
13/06/2019	16/07/2019	0.04099	18/08/2019	0.01799	20/09/2019	0.03230
14/06/2019	17/07/2019	0.04229	19/08/2019	0.01836	21/09/2019	0.03142
15/06/2019	18/07/2019	0.04354	20/08/2019	0.02410	22/09/2019	0.03658
16/06/2019	19/07/2019	0.04600	21/08/2019	0.01522	23/09/2019	0.06102
17/06/2019	20/07/2019	0.04696	22/08/2019	0.01438	24/09/2019	0.05480
18/06/2019	21/07/2019	0.04700	23/08/2019	0.01365	25/09/2019	0.03812
19/06/2019	22/07/2019	0.04716	24/08/2019	0.01306	26/09/2019	0.03579
20/06/2019	23/07/2019	0.04451	25/08/2019	0.01526	27/09/2019	0.03257
21/06/2019	24/07/2019	0.04141	26/08/2019	0.01697	28/09/2019	0.03752

Vazões médias diárias calculadas (m³/s) – Nascente Samambaia

01/10/2018	0.05281	03/11/2018	0.06188	06/12/2018	0.08363	08/01/2019	0.08209	10/02/2019	0.05954	15/03/2019	0.05566	17/04/2019	0.04410
02/10/2018	0.06402	04/11/2018	0.05750	07/12/2018	0.08583	09/01/2019	0.07900	11/02/2019	0.05885	16/03/2019	0.05535	18/04/2019	0.05934
03/10/2018	0.06543	05/11/2018	0.05631	08/12/2018	0.08418	10/01/2019	0.07352	12/02/2019	0.05822	17/03/2019	0.05507	19/04/2019	0.04873
04/10/2018	0.05841	06/11/2018	0.05465	09/12/2018	0.07676	11/01/2019	0.06921	13/02/2019	0.05766	18/03/2019	0.05482	20/04/2019	0.04750
05/10/2018	0.05265	07/11/2018	0.05423	10/12/2018	0.07088	12/01/2019	0.06536	14/02/2019	0.05715	19/03/2019	0.06038	21/04/2019	0.04639
06/10/2018	0.05175	08/11/2018	0.05798	11/12/2018	0.06394	13/01/2019	0.06301	15/02/2019	0.05669	20/03/2019	0.05677	22/04/2019	0.04540
07/10/2018	0.05096	09/11/2018	0.07306	12/12/2018	0.06126	14/01/2019	0.06001	16/02/2019	0.05628	21/03/2019	0.09446	23/04/2019	0.04450
08/10/2018	0.04918	10/11/2018	0.08147	13/12/2018	0.06032	15/01/2019	0.05737	17/02/2019	0.06326	22/03/2019	0.10058	24/04/2019	0.04369
09/10/2018	0.04827	11/11/2018	0.07933	14/12/2018	0.05832	16/01/2019	0.05595	18/02/2019	0.11870	23/03/2019	0.07837	25/04/2019	0.04296
10/10/2018	0.04812	12/11/2018	0.07746	15/12/2018	0.05603	17/01/2019	0.05506	19/02/2019	0.09386	24/03/2019	0.07579	26/04/2019	0.04231
11/10/2018	0.04809	13/11/2018	0.07370	16/12/2018	0.05593	18/01/2019	0.05548	20/02/2019	0.09542	25/03/2019	0.07347	27/04/2019	0.04172

12/10/2018	0.04756	14/11/2018	0.06757	17/12/2018	0.05412	19/01/2019	0.05574	21/02/2019	0.05870	26/03/2019	0.07138	28/04/2019	0.04119
13/10/2018	0.04730	15/11/2018	0.06413	18/12/2018	0.05054	20/01/2019	0.05542	22/02/2019	0.10454	27/03/2019	0.06950	29/04/2019	0.04071
14/10/2018	0.04730	16/11/2018	0.06098	19/12/2018	0.04721	21/01/2019	0.05514	23/02/2019	0.08050	28/03/2019	0.06781	30/04/2019	0.04028
15/10/2018	0.04835	17/11/2018	0.05818	20/12/2018	0.04622	22/01/2019	0.05488	24/02/2019	0.07771	29/03/2019	0.06629	01/05/2019	0.03990
16/10/2018	0.04895	18/11/2018	0.05630	21/12/2018	0.04621	23/01/2019	0.05465	25/02/2019	0.07519	30/03/2019	0.06492	02/05/2019	0.03955
17/10/2018	0.04852	19/11/2018	0.05478	22/12/2018	0.04484	24/01/2019	0.05445	26/02/2019	0.07293	31/03/2019	0.06368	03/05/2019	0.03924
18/10/2018	0.05001	20/11/2018	0.07827	23/12/2018	0.04522	25/01/2019	0.05426	27/02/2019	0.07090	01/04/2019	0.04641	04/05/2019	0.09726
19/10/2018	0.05218	21/11/2018	0.10103	24/12/2018	0.04645	26/01/2019	0.05409	28/02/2019	0.08078	02/04/2019	0.04541	05/05/2019	0.06911
20/10/2018	0.05186	22/11/2018	0.10202	25/12/2018	0.04874	27/01/2019	0.05394	01/03/2019	0.06773	03/04/2019	0.04451	06/05/2019	0.06584
21/10/2018	0.05211	23/11/2018	0.09339	26/12/2018	0.04920	28/01/2019	0.05381	02/03/2019	0.05486	04/04/2019	0.04370	07/05/2019	0.06290
22/10/2018	0.05131	24/11/2018	0.08932	27/12/2018	0.05145	29/01/2019	0.05368	03/03/2019	0.05381	05/04/2019	0.04542	08/05/2019	0.06025
23/10/2018	0.05062	25/11/2018	0.09191	28/12/2018	0.05654	30/01/2019	0.05357	04/03/2019	0.06542	06/04/2019	0.04125	09/05/2019	0.05787
24/10/2018	0.05032	26/11/2018	0.08312	29/12/2018	0.06536	31/01/2019	0.05347	05/03/2019	0.05948	07/04/2019	0.04077	10/05/2019	0.05572
25/10/2018	0.05440	27/11/2018	0.07797	30/12/2018	0.08247	01/02/2019	0.05338	06/03/2019	0.05879	08/04/2019	0.04034	11/05/2019	0.05379
26/10/2018	0.05569	28/11/2018	0.06927	31/12/2018	0.09298	02/02/2019	0.05330	07/03/2019	0.05817	09/04/2019	0.03994	12/05/2019	0.05205
27/10/2018	0.06697	29/11/2018	0.06765	01/01/2019	0.10069	03/02/2019	0.05323	08/03/2019	0.05882	10/04/2019	0.03959	13/05/2019	0.05049
28/10/2018	0.07841	30/11/2018	0.06790	02/01/2019	0.10118	04/02/2019	0.05317	09/03/2019	0.05593	11/04/2019	0.03927	14/05/2019	0.04908
29/10/2018	0.07411	01/12/2018	0.07717	03/01/2019	0.09726	05/02/2019	0.05311	10/03/2019	0.05560	12/04/2019	0.03899	15/05/2019	0.04782
30/10/2018	0.07067	02/12/2018	0.09724	04/01/2019	0.09099	06/02/2019	0.05306	11/03/2019	0.05530	13/04/2019	0.03873	16/05/2019	0.04668
31/10/2018	0.06083	03/12/2018	0.10648	05/01/2019	0.07895	07/02/2019	0.05301	12/03/2019	0.05503	14/04/2019	0.03850	17/05/2019	0.04674
01/11/2018	0.05883	04/12/2018	0.10771	06/01/2019	0.08526	08/02/2019	0.11462	13/03/2019	0.05894	15/04/2019	0.03829	18/05/2019	0.04196
02/11/2018	0.06697	05/12/2018	0.09321	07/01/2019	0.08398	09/02/2019	0.06554	14/03/2019	0.05600	16/04/2019	0.04194	19/05/2019	0.04141
20/05/2019	0.04091	22/06/2019	0.03656	25/07/2019	0.04137	27/08/2019	0.01327	29/09/2019					
21/05/2019	0.04046	23/06/2019	0.03654	26/07/2019	0.04187	28/08/2019	0.01355	30/09/2019					
22/05/2019	0.04006	24/06/2019	0.03653	27/07/2019	0.04518	29/08/2019	0.01555						
23/05/2019	0.03969	25/06/2019	0.03652	28/07/2019	0.04304	30/08/2019	0.01553						
24/05/2019	0.03937	26/06/2019	0.03651	29/07/2019	0.04073	31/08/2019	0.01683						
25/05/2019	0.03907	27/06/2019	0.03650	30/07/2019	0.03997	01/09/2019	0.01842						

26/05/2019	0.03881	28/06/2019	0.03649	31/07/2019	0.04008	02/09/2019	0.01697
27/05/2019	0.03857	29/06/2019	0.03649	01/08/2019	0.04012	03/09/2019	0.01374
28/05/2019	0.03835	30/06/2019	0.03648	02/08/2019	0.04018	04/09/2019	0.01479
29/05/2019	0.03816	01/07/2019	0.03647	03/08/2019	0.03990	05/09/2019	0.01116
30/05/2019	0.03798	02/07/2019	0.03647	04/08/2019	0.03942	06/09/2019	0.01403
31/05/2019	0.03783	03/07/2019	0.03646	05/08/2019	0.04075	07/09/2019	0.01978
01/06/2019	0.03769	04/07/2019	0.03646	06/08/2019	0.04252	08/09/2019	0.02594
02/06/2019	0.03756	05/07/2019	0.03645	07/08/2019	0.04300	09/09/2019	0.02655
03/06/2019	0.03745	06/07/2019	0.03645	08/08/2019	0.02175	10/09/2019	0.01952
04/06/2019	0.03734	07/07/2019	0.03645	09/08/2019	0.01733	11/09/2019	0.01450
05/06/2019	0.03725	08/07/2019	0.03644	10/08/2019	0.01700	12/09/2019	0.01529
06/06/2019	0.03717	09/07/2019	0.03644	11/08/2019	0.01720	13/09/2019	0.02032
07/06/2019	0.03709	10/07/2019	0.04200	12/08/2019	0.01774	14/09/2019	0.01887
08/06/2019	0.03703	11/07/2019	0.04176	13/08/2019	0.01718	15/09/2019	0.03069
09/06/2019	0.03696	12/07/2019	0.04201	14/08/2019	0.01724	16/09/2019	0.03201
10/06/2019	0.03691	13/07/2019	0.04138	15/08/2019	0.01761	17/09/2019	0.02830
11/06/2019	0.03686	14/07/2019	0.04194	16/08/2019	0.01748	18/09/2019	0.02661
12/06/2019	0.03682	15/07/2019	0.04124	17/08/2019	0.01712	19/09/2019	0.03057
13/06/2019	0.03678	16/07/2019	0.04099	18/08/2019	0.01799	20/09/2019	0.03230
14/06/2019	0.03674	17/07/2019	0.04229	19/08/2019	0.01836	21/09/2019	0.03142
15/06/2019	0.03671	18/07/2019	0.04354	20/08/2019	0.02410	22/09/2019	0.03658
16/06/2019	0.03668	19/07/2019	0.04600	21/08/2019	0.01522	23/09/2019	0.06102
17/06/2019	0.03665	20/07/2019	0.04696	22/08/2019	0.01438	24/09/2019	0.05480
18/06/2019	0.03663	21/07/2019	0.04700	23/08/2019	0.01365	25/09/2019	0.03812
19/06/2019	0.03661	22/07/2019	0.04716	24/08/2019	0.01306	26/09/2019	0.03579
20/06/2019	0.03659	23/07/2019	0.04451	25/08/2019	0.01526	27/09/2019	0.03257
21/06/2019	0.03657	24/07/2019	0.04141	26/08/2019	0.01697	28/09/2019	0.03752

Vazões médias diárias monitoradas (m³/s) – Nascente Engenho

01/10/2018	0.05524	03/11/2018	0.06058	06/12/2018	0.06471	08/01/2019	0.08977	10/02/2019	0.10474	15/03/2019	0.11012	17/04/2019	0.09084
02/10/2018	0.05662	04/11/2018	0.05993	07/12/2018	0.06416	09/01/2019	0.09077	11/02/2019	0.10308	16/03/2019	0.10684	18/04/2019	0.09505
03/10/2018	0.05532	05/11/2018	0.05901	08/12/2018	0.06423	10/01/2019	0.09154	12/02/2019	0.10351	17/03/2019	0.10852	19/04/2019	0.09640
04/10/2018	0.05537	06/11/2018	0.05764	09/12/2018	0.06083	11/01/2019	0.09208	13/02/2019	0.10267	18/03/2019	0.10778	20/04/2019	0.09737
05/10/2018	0.05601	07/11/2018	0.05716	10/12/2018	0.05606	12/01/2019	0.09083	14/02/2019	0.10045	19/03/2019	0.10428	21/04/2019	0.09603
06/10/2018	0.05652	08/11/2018	0.05923	11/12/2018	0.05481	13/01/2019	0.08925	15/02/2019	0.10255	20/03/2019	0.10378	22/04/2019	0.09839
07/10/2018	0.05747	09/11/2018	0.06082	12/12/2018	0.05421	14/01/2019	0.08816	16/02/2019	0.10135	21/03/2019	0.09932	23/04/2019	0.09989
08/10/2018	0.05521	10/11/2018	0.06078	13/12/2018	0.05422	15/01/2019	0.08675	17/02/2019	0.09227	22/03/2019	0.10193	24/04/2019	0.09590
09/10/2018	0.05101	11/11/2018	0.05936	14/12/2018	0.05534	16/01/2019	0.08699	18/02/2019	0.09730	23/03/2019	0.10053	25/04/2019	0.09217
10/10/2018	0.04800	12/11/2018	0.05882	15/12/2018	0.05532	17/01/2019	0.08872	19/02/2019	0.11087	24/03/2019	0.09893	26/04/2019	0.08884
11/10/2018	0.04639	13/11/2018	0.06089	16/12/2018	0.05666	18/01/2019	0.08736	20/02/2019	0.11722	25/03/2019	0.09819	27/04/2019	0.08557
12/10/2018	0.04590	14/11/2018	0.06246	17/12/2018	0.05589	19/01/2019	0.09736	21/02/2019	0.12448	26/03/2019	0.09561	28/04/2019	0.08174
13/10/2018	0.04633	15/11/2018	0.06229	18/12/2018	0.05516	20/01/2019	0.10598	22/02/2019	0.12400	27/03/2019	0.09600	29/04/2019	0.08667
14/10/2018	0.04824	16/11/2018	0.06118	19/12/2018	0.05696	21/01/2019	0.10599	23/02/2019	0.12400	28/03/2019	0.09667	30/04/2019	0.08598
15/10/2018	0.04952	17/11/2018	0.06124	20/12/2018	0.05718	22/01/2019	0.10406	24/02/2019	0.12371	29/03/2019	0.09455	01/05/2019	0.07893
16/10/2018	0.05058	18/11/2018	0.05996	21/12/2018	0.05580	23/01/2019	0.10403	25/02/2019	0.12011	30/03/2019	0.09380	02/05/2019	0.08279
17/10/2018	0.05047	19/11/2018	0.05904	22/12/2018	0.05757	24/01/2019	0.10480	26/02/2019	0.11588	31/03/2019	0.09025	03/05/2019	0.08606
18/10/2018	0.05135	20/11/2018	0.05915	23/12/2018	0.05903	25/01/2019	0.10196	27/02/2019	0.11551	01/04/2019	0.08497	04/05/2019	0.08557
19/10/2018	0.05274	21/11/2018	0.05793	24/12/2018	0.05918	26/01/2019	0.10124	28/02/2019	0.11323	02/04/2019	0.08871	05/05/2019	0.08361
20/10/2018	0.05391	22/11/2018	0.05800	25/12/2018	0.06031	27/01/2019	0.10064	01/03/2019	0.11487	03/04/2019	0.09503	06/05/2019	0.08009
21/10/2018	0.05410	23/11/2018	0.05865	26/12/2018	0.06114	28/01/2019	0.09956	02/03/2019	0.11775	04/04/2019	0.09668	07/05/2019	0.08413
22/10/2018	0.05214	24/11/2018	0.06154	27/12/2018	0.06204	29/01/2019	0.09123	03/03/2019	0.11979	05/04/2019	0.09995	08/05/2019	0.08825
23/10/2018	0.04845	25/11/2018	0.06272	28/12/2018	0.06226	30/01/2019	0.09108	04/03/2019	0.12088	06/04/2019	0.10060	09/05/2019	0.06616
24/10/2018	0.04652	26/11/2018	0.06192	29/12/2018	0.06481	31/01/2019	0.09247	05/03/2019	0.12289	07/04/2019	0.09696	10/05/2019	0.06186
25/10/2018	0.04761	27/11/2018	0.06139	30/12/2018	0.06726	01/02/2019	0.09132	06/03/2019	0.11832	08/04/2019	0.09681	11/05/2019	0.06562
26/10/2018	0.04869	28/11/2018	0.06010	31/12/2018	0.07525	02/02/2019	0.09499	07/03/2019	0.11985	09/04/2019	0.09287	12/05/2019	0.06380

27/10/2018	0.05084	29/11/2018	0.05727	01/01/2019	0.08185	03/02/2019	0.09519	08/03/2019	0.11852	10/04/2019	0.09553	13/05/2019	0.05585
28/10/2018	0.05485	30/11/2018	0.05668	02/01/2019	0.08602	04/02/2019	0.09888	09/03/2019	0.11593	11/04/2019	0.08982	14/05/2019	0.04784
29/10/2018	0.05741	01/12/2018	0.06003	03/01/2019	0.08700	05/02/2019	0.10297	10/03/2019	0.11592	12/04/2019	0.09268	15/05/2019	0.04681
30/10/2018	0.05709	02/12/2018	0.06096	04/01/2019	0.08914	06/02/2019	0.09988	11/03/2019	0.11622	13/04/2019	0.09433	16/05/2019	0.05028
31/10/2018	0.05648	03/12/2018	0.06724	05/01/2019	0.08888	07/02/2019	0.10630	12/03/2019	0.11339	14/04/2019	0.08752	17/05/2019	0.04889
01/11/2018	0.05651	04/12/2018	0.06455	06/01/2019	0.09255	08/02/2019	0.10704	13/03/2019	0.11515	15/04/2019	0.08881	18/05/2019	0.05026
02/11/2018	0.05556	05/12/2018	0.06412	07/01/2019	0.09086	09/02/2019	0.10849	14/03/2019	0.11244	16/04/2019	0.08510	19/05/2019	0.04915
20/05/2019	0.05342	22/06/2019	0.05840	25/07/2019	0.05938	27/08/2019		29/09/2019	0.03877				
21/05/2019	0.05513	23/06/2019	0.05870	26/07/2019	0.05766	28/08/2019		30/09/2019	0.04612				
22/05/2019	0.05391	24/06/2019	0.05868	27/07/2019	0.05227	29/08/2019							
23/05/2019	0.05345	25/06/2019	0.05992	28/07/2019	0.05278	30/08/2019							
24/05/2019	0.05338	26/06/2019	0.06146	29/07/2019	0.05193	31/08/2019							
25/05/2019	0.05367	27/06/2019	0.06463	30/07/2019	0.05206	01/09/2019							
26/05/2019	0.05364	28/06/2019	0.06996	31/07/2019	0.05023	02/09/2019							
27/05/2019	0.05304	29/06/2019	0.06984	01/08/2019	0.05068	03/09/2019							
28/05/2019	0.05225	30/06/2019	0.06904	02/08/2019	0.05259	04/09/2019							
29/05/2019	0.05406	01/07/2019	0.06915	03/08/2019	0.05235	05/09/2019							
30/05/2019	0.05472	02/07/2019	0.06828	04/08/2019	0.05255	06/09/2019							
31/05/2019	0.05338	03/07/2019	0.06839	05/08/2019	0.05498	07/09/2019							
01/06/2019	0.05500	04/07/2019	0.06813	06/08/2019	0.05010	08/09/2019							
02/06/2019	0.05598	05/07/2019	0.07004	07/08/2019	0.05010	09/09/2019							
03/06/2019	0.05645	06/07/2019	0.06914	08/08/2019		10/09/2019							
04/06/2019	0.05953	07/07/2019	0.07059	09/08/2019		11/09/2019							
05/06/2019	0.05943	08/07/2019	0.07056	10/08/2019		12/09/2019							
06/06/2019	0.06439	09/07/2019	0.06959	11/08/2019		13/09/2019							
07/06/2019	0.06672	10/07/2019	0.06328	12/08/2019		14/09/2019							
08/06/2019	0.06684	11/07/2019	0.05994	13/08/2019		15/09/2019							
09/06/2019	0.06141	12/07/2019	0.06047	14/08/2019		16/09/2019							

12/10/2018	0.04590	14/11/2018	0.06246	17/12/2018	0.05589	19/01/2019	0.09736	21/02/2019	0.12448	26/03/2019	0.09561	28/04/2019	0.08174
13/10/2018	0.04633	15/11/2018	0.06229	18/12/2018	0.05516	20/01/2019	0.10598	22/02/2019	0.12400	27/03/2019	0.09600	29/04/2019	0.08667
14/10/2018	0.04824	16/11/2018	0.06118	19/12/2018	0.05696	21/01/2019	0.10599	23/02/2019	0.12400	28/03/2019	0.09667	30/04/2019	0.08598
15/10/2018	0.04952	17/11/2018	0.06124	20/12/2018	0.05718	22/01/2019	0.10406	24/02/2019	0.12371	29/03/2019	0.09455	01/05/2019	0.07893
16/10/2018	0.05058	18/11/2018	0.05996	21/12/2018	0.05580	23/01/2019	0.10403	25/02/2019	0.12011	30/03/2019	0.09380	02/05/2019	0.08279
17/10/2018	0.05047	19/11/2018	0.05904	22/12/2018	0.05757	24/01/2019	0.10480	26/02/2019	0.11588	31/03/2019	0.09025	03/05/2019	0.08606
18/10/2018	0.05135	20/11/2018	0.05915	23/12/2018	0.05903	25/01/2019	0.10196	27/02/2019	0.11551	01/04/2019	0.08497	04/05/2019	0.08557
19/10/2018	0.05274	21/11/2018	0.05793	24/12/2018	0.05918	26/01/2019	0.10124	28/02/2019	0.11323	02/04/2019	0.08871	05/05/2019	0.08361
20/10/2018	0.05391	22/11/2018	0.05800	25/12/2018	0.06031	27/01/2019	0.10064	01/03/2019	0.11487	03/04/2019	0.09503	06/05/2019	0.08009
21/10/2018	0.05410	23/11/2018	0.05865	26/12/2018	0.06114	28/01/2019	0.09956	02/03/2019	0.11775	04/04/2019	0.09668	07/05/2019	0.08413
22/10/2018	0.05214	24/11/2018	0.06154	27/12/2018	0.06204	29/01/2019	0.09123	03/03/2019	0.11979	05/04/2019	0.09995	08/05/2019	0.08825
23/10/2018	0.04845	25/11/2018	0.06272	28/12/2018	0.06226	30/01/2019	0.09108	04/03/2019	0.12088	06/04/2019	0.10060	09/05/2019	0.06616
24/10/2018	0.04652	26/11/2018	0.06192	29/12/2018	0.06481	31/01/2019	0.09247	05/03/2019	0.12289	07/04/2019	0.09696	10/05/2019	0.06186
25/10/2018	0.04761	27/11/2018	0.06139	30/12/2018	0.06726	01/02/2019	0.09132	06/03/2019	0.11832	08/04/2019	0.09681	11/05/2019	0.06562
26/10/2018	0.04869	28/11/2018	0.06010	31/12/2018	0.07525	02/02/2019	0.09499	07/03/2019	0.11985	09/04/2019	0.09287	12/05/2019	0.06380
27/10/2018	0.05084	29/11/2018	0.05727	01/01/2019	0.08185	03/02/2019	0.09519	08/03/2019	0.11852	10/04/2019	0.09553	13/05/2019	0.05585
28/10/2018	0.05485	30/11/2018	0.05668	02/01/2019	0.08602	04/02/2019	0.09888	09/03/2019	0.11593	11/04/2019	0.08982	14/05/2019	0.04784
29/10/2018	0.05741	01/12/2018	0.06003	03/01/2019	0.08700	05/02/2019	0.10297	10/03/2019	0.11592	12/04/2019	0.09268	15/05/2019	0.04681
30/10/2018	0.05709	02/12/2018	0.06096	04/01/2019	0.08914	06/02/2019	0.09988	11/03/2019	0.11622	13/04/2019	0.09433	16/05/2019	0.05028
31/10/2018	0.05648	03/12/2018	0.06724	05/01/2019	0.08888	07/02/2019	0.10630	12/03/2019	0.11339	14/04/2019	0.08752	17/05/2019	0.04889
01/11/2018	0.05651	04/12/2018	0.06455	06/01/2019	0.09255	08/02/2019	0.10704	13/03/2019	0.11515	15/04/2019	0.08881	18/05/2019	0.05026
02/11/2018	0.05556	05/12/2018	0.06412	07/01/2019	0.09086	09/02/2019	0.10849	14/03/2019	0.11244	16/04/2019	0.08510	19/05/2019	0.04915
20/05/2019	0.05342	22/06/2019	0.05840	25/07/2019	0.05938	27/08/2019	0.04502	29/09/2019	0.03877				
21/05/2019	0.05513	23/06/2019	0.05870	26/07/2019	0.05766	28/08/2019	0.04502	30/09/2019	0.04612				
22/05/2019	0.05391	24/06/2019	0.05868	27/07/2019	0.05227	29/08/2019	0.04502						
23/05/2019	0.05345	25/06/2019	0.05992	28/07/2019	0.05278	30/08/2019	0.04502						
24/05/2019	0.05338	26/06/2019	0.06146	29/07/2019	0.05193	31/08/2019	0.04502						
25/05/2019	0.05367	27/06/2019	0.06463	30/07/2019	0.05206	01/09/2019	0.04502						

26/05/2019	0.05364	28/06/2019	0.06996	31/07/2019	0.05023	02/09/2019	0.04502
27/05/2019	0.05304	29/06/2019	0.06984	01/08/2019	0.05068	03/09/2019	0.04502
28/05/2019	0.05225	30/06/2019	0.06904	02/08/2019	0.05259	04/09/2019	0.04502
29/05/2019	0.05406	01/07/2019	0.06915	03/08/2019	0.05235	05/09/2019	0.04502
30/05/2019	0.05472	02/07/2019	0.06828	04/08/2019	0.05255	06/09/2019	0.04502
31/05/2019	0.05338	03/07/2019	0.06839	05/08/2019	0.05498	07/09/2019	0.04502
01/06/2019	0.05500	04/07/2019	0.06813	06/08/2019	0.05010	08/09/2019	0.04502
02/06/2019	0.05598	05/07/2019	0.07004	07/08/2019	0.05010	09/09/2019	0.04502
03/06/2019	0.05645	06/07/2019	0.06914	08/08/2019	0.04502	10/09/2019	0.04502
04/06/2019	0.05953	07/07/2019	0.07059	09/08/2019	0.04502	11/09/2019	0.04502
05/06/2019	0.05943	08/07/2019	0.07056	10/08/2019	0.04502	12/09/2019	0.04502
06/06/2019	0.06439	09/07/2019	0.06959	11/08/2019	0.04502	13/09/2019	0.04502
07/06/2019	0.06672	10/07/2019	0.06328	12/08/2019	0.04502	14/09/2019	0.04502
08/06/2019	0.06684	11/07/2019	0.05994	13/08/2019	0.04502	15/09/2019	0.04502
09/06/2019	0.06141	12/07/2019	0.06047	14/08/2019	0.04502	16/09/2019	0.04502
10/06/2019	0.05982	13/07/2019	0.06029	15/08/2019	0.04502	17/09/2019	0.04502
11/06/2019	0.05862	14/07/2019	0.05984	16/08/2019	0.04502	18/09/2019	0.04502
12/06/2019	0.05926	15/07/2019	0.06070	17/08/2019	0.04502	19/09/2019	0.04502
13/06/2019	0.05899	16/07/2019	0.05839	18/08/2019	0.04502	20/09/2019	0.04502
14/06/2019	0.05817	17/07/2019	0.06120	19/08/2019	0.04502	21/09/2019	0.04502
15/06/2019	0.05851	18/07/2019	0.06133	20/08/2019	0.04502	22/09/2019	0.04502
16/06/2019	0.05800	19/07/2019	0.06127	21/08/2019	0.04502	23/09/2019	0.04502
17/06/2019	0.05860	20/07/2019	0.06045	22/08/2019	0.04502	24/09/2019	0.04502
18/06/2019	0.05643	21/07/2019	0.06074	23/08/2019	0.04502	25/09/2019	0.04502
19/06/2019	0.05660	22/07/2019	0.05791	24/08/2019	0.04502	26/09/2019	0.04606
20/06/2019	0.05759	23/07/2019	0.05934	25/08/2019	0.04502	27/09/2019	0.04918
21/06/2019	0.05839	24/07/2019	0.05950	26/08/2019	0.04502	28/09/2019	0.04261

Vazões médias diárias monitoradas (m³/s) – Nascente Gameleira

01/10/2018	0.00202	03/11/2018	0.00297	06/12/2018	0.00860	08/01/2019	0.03472	10/02/2019	0.00035	15/03/2019	0.00300	17/04/2019	0.00113
02/10/2018	0.00219	04/11/2018	0.00267	07/12/2018	0.00877	09/01/2019	0.03935	11/02/2019	0.00038	16/03/2019	0.00219	18/04/2019	0.00087
03/10/2018	0.00212	05/11/2018	0.00284	08/12/2018	0.00909	10/01/2019	0.03964	12/02/2019	0.00040	17/03/2019	0.00205	19/04/2019	0.00091
04/10/2018	0.00227	06/11/2018	0.00290	09/12/2018	0.00873	11/01/2019	0.03974	13/02/2019	0.00044	18/03/2019	0.00192	20/04/2019	0.00095
05/10/2018	0.00216	07/11/2018	0.00308	10/12/2018	0.00777	12/01/2019	0.03916	14/02/2019	0.00043	19/03/2019	0.00176	21/04/2019	0.00096
06/10/2018	0.00228	08/11/2018	0.00347	11/12/2018	0.00737	13/01/2019	0.03600	15/02/2019	0.00045	20/03/2019	0.00150	22/04/2019	0.00096
07/10/2018	0.00232	09/11/2018	0.00479	12/12/2018	0.00727	14/01/2019	0.03451	16/02/2019	0.01096	21/03/2019	0.00233	23/04/2019	0.00091
08/10/2018	0.00227	10/11/2018	0.00392	13/12/2018	0.00713	15/01/2019	0.03217	17/02/2019	0.00093	22/03/2019	0.00142	24/04/2019	0.00094
09/10/2018	0.00215	11/11/2018	0.00364	14/12/2018	0.00719	16/01/2019	0.02927	18/02/2019	0.00085	23/03/2019	0.00145	25/04/2019	0.00092
10/10/2018	0.00222	12/11/2018	0.00353	15/12/2018	0.00631	17/01/2019	0.02988	19/02/2019	0.00117	24/03/2019	0.00144	26/04/2019	0.00072
11/10/2018	0.00223	13/11/2018	0.00360	16/12/2018	0.00645	18/01/2019	0.03279	20/02/2019	0.00205	25/03/2019	0.00122	27/04/2019	0.00063
12/10/2018	0.00215	14/11/2018	0.00359	17/12/2018	0.00641	19/01/2019	0.02675	21/02/2019	0.00843	26/03/2019	0.00098	28/04/2019	0.00062
13/10/2018	0.00210	15/11/2018	0.01062	18/12/2018	0.00680	20/01/2019	0.00532	22/02/2019	0.00841	27/03/2019	0.00097	29/04/2019	0.00051
14/10/2018	0.00205	16/11/2018	0.00413	19/12/2018	0.00682	21/01/2019	0.00532	23/02/2019	0.01015	28/03/2019	0.00096	30/04/2019	0.00051
15/10/2018	0.00195	17/11/2018	0.00381	20/12/2018	0.00607	22/01/2019	0.00433	24/02/2019	0.00933	29/03/2019	0.00096	01/05/2019	0.00051
16/10/2018	0.00186	18/11/2018	0.00396	21/12/2018	0.00872	23/01/2019	0.00433	25/02/2019	0.00827	30/03/2019	0.00095	02/05/2019	0.00066
17/10/2018	0.00194	19/11/2018	0.00411	22/12/2018	0.00668	24/01/2019	0.00434	26/02/2019	0.00867	31/03/2019	0.00089	03/05/2019	0.00044
18/10/2018	0.00207	20/11/2018	0.00487	23/12/2018	0.00694	25/01/2019	0.00333	27/02/2019	0.00843	01/04/2019	0.00086	04/05/2019	0.00048
19/10/2018	0.00257	21/11/2018	0.00575	24/12/2018	0.00699	26/01/2019	0.00333	28/02/2019	0.00776	02/04/2019	0.00078	05/05/2019	0.00050
20/10/2018	0.00217	22/11/2018	0.00578	25/12/2018	0.00728	27/01/2019	0.00331	01/03/2019	0.00857	03/04/2019	0.00082	06/05/2019	0.00036
21/10/2018	0.00227	23/11/2018	0.00554	26/12/2018	0.02019	28/01/2019	0.00330	02/03/2019	0.01187	04/04/2019	0.00080	07/05/2019	0.00033
22/10/2018	0.00218	24/11/2018	0.00604	27/12/2018	0.00806	29/01/2019	0.00331	03/03/2019	0.00814	05/04/2019	0.00077	08/05/2019	0.00032
23/10/2018	0.00215	25/11/2018	0.00632	28/12/2018	0.00685	30/01/2019	0.00230	04/03/2019	0.00696	06/04/2019	0.00077	09/05/2019	0.00032
24/10/2018	0.00212	26/11/2018	0.00644	29/12/2018	0.00731	31/01/2019	0.00231	05/03/2019	0.00622	07/04/2019	0.00078	10/05/2019	0.00030
25/10/2018	0.00227	27/11/2018	0.00619	30/12/2018	0.00754	01/02/2019	0.00230	06/03/2019	0.00583	08/04/2019	0.00078	11/05/2019	0.00024
26/10/2018	0.00226	28/11/2018	0.00608	31/12/2018	0.02001	02/02/2019	0.00230	07/03/2019	0.00526	09/04/2019	0.00080	12/05/2019	0.00024

27/10/2018	0.00352	29/11/2018	0.00596	01/01/2019	0.03414	03/02/2019	0.00230	08/03/2019	0.00445	10/04/2019	0.00077	13/05/2019	0.00024
28/10/2018	0.00292	30/11/2018	0.00549	02/01/2019	0.02798	04/02/2019	0.00229	09/03/2019	0.00396	11/04/2019	0.00074	14/05/2019	0.00024
29/10/2018	0.00282	01/12/2018	0.00576	03/01/2019	0.02906	05/02/2019	0.00231	10/03/2019	0.00370	12/04/2019	0.00076	15/05/2019	0.00024
30/10/2018	0.00329	02/12/2018	0.00606	04/01/2019	0.03297	06/02/2019	0.00231	11/03/2019	0.00494	13/04/2019	0.00075	16/05/2019	0.00026
31/10/2018	0.00383	03/12/2018	0.05414	05/01/2019	0.03667	07/02/2019	0.00051	12/03/2019	0.00392	14/04/2019	0.00073	17/05/2019	0.00026
01/11/2018	0.00370	04/12/2018	0.00793	06/01/2019	0.03645	08/02/2019	0.00032	13/03/2019	0.00366	15/04/2019	0.00073	18/05/2019	0.00026
02/11/2018	0.00328	05/12/2018	0.00835	07/01/2019	0.03984	09/02/2019	0.00035	14/03/2019	0.00340	16/04/2019	0.00076	19/05/2019	0.00028
20/05/2019	0.00027	22/06/2019		25/07/2019	0.00040	27/08/2019	0.00173	29/09/2019	0.00021				
21/05/2019	0.00028	23/06/2019		26/07/2019	0.00037	28/08/2019	0.00175	30/09/2019	0.00024				
22/05/2019	0.00028	24/06/2019		27/07/2019	0.00038	29/08/2019	0.00137						
23/05/2019	0.00027	25/06/2019		28/07/2019	0.00040	30/08/2019	0.00105						
24/05/2019	0.00027	26/06/2019		29/07/2019	0.00043	31/08/2019	0.00121						
25/05/2019	0.00026	27/06/2019		30/07/2019	0.00044	01/09/2019	0.00174						
26/05/2019	0.00026	28/06/2019		31/07/2019	0.00044	02/09/2019	0.00160						
27/05/2019	0.00027	29/06/2019		01/08/2019	0.00037	03/09/2019	0.00366						
28/05/2019	0.00027	30/06/2019		02/08/2019	0.00036	04/09/2019	0.00596						
29/05/2019	0.00027	01/07/2019		03/08/2019	0.00037	05/09/2019	0.00379						
30/05/2019	0.00028	02/07/2019		04/08/2019	0.00036	06/09/2019	0.00341						
31/05/2019	0.00028	03/07/2019		05/08/2019	0.00040	07/09/2019	0.00354						
01/06/2019	0.00027	04/07/2019		06/08/2019	0.00042	08/09/2019	0.00333						
02/06/2019	0.00027	05/07/2019		07/08/2019	0.00043	09/09/2019	0.00309						
03/06/2019	0.00026	06/07/2019		08/08/2019	0.00078	10/09/2019	0.00208						
04/06/2019	0.00027	07/07/2019		09/08/2019	0.00140	11/09/2019	0.00187						
05/06/2019	0.00028	08/07/2019		10/08/2019	0.00139	12/09/2019	0.00149						
06/06/2019		09/07/2019	0.00024	11/08/2019	0.00136	13/09/2019	0.00116						
07/06/2019		10/07/2019	0.00023	12/08/2019	0.00135	14/09/2019	0.00306						
08/06/2019		11/07/2019	0.00023	13/08/2019	0.00133	15/09/2019	0.00374						
09/06/2019		12/07/2019	0.00021	14/08/2019	0.00122	16/09/2019	0.00395						

10/06/2019	13/07/2019	0.00027	15/08/2019	0.00128	17/09/2019	0.00120
11/06/2019	14/07/2019	0.00028	16/08/2019	0.00132	18/09/2019	0.00010
12/06/2019	15/07/2019	0.00028	17/08/2019	0.00135	19/09/2019	0.00007
13/06/2019	16/07/2019	0.00027	18/08/2019	0.00128	20/09/2019	0.00009
14/06/2019	17/07/2019	0.00028	19/08/2019	0.00169	21/09/2019	0.00018
15/06/2019	18/07/2019	0.00027	20/08/2019	0.00113	22/09/2019	0.00066
16/06/2019	19/07/2019	0.00026	21/08/2019	0.00102	23/09/2019	0.00121
17/06/2019	20/07/2019	0.00031	22/08/2019	0.00115	24/09/2019	0.00117
18/06/2019	21/07/2019	0.00034	23/08/2019	0.00135	25/09/2019	0.00083
19/06/2019	22/07/2019	0.00038	24/08/2019	0.00152	26/09/2019	0.00105
20/06/2019	23/07/2019	0.00041	25/08/2019	0.00200	27/09/2019	0.00105
21/06/2019	24/07/2019	0.00040	26/08/2019	0.00165	28/09/2019	0.00046

Vazões médias diárias calculadas (m³/s) – Nascente Gameleira

01/10/2018	0.00202	03/11/2018	0.00297	06/12/2018	0.00860	08/01/2019	0.03472	10/02/2019	0.00035	15/03/2019	0.00300	17/04/2019	0.00113
02/10/2018	0.00219	04/11/2018	0.00267	07/12/2018	0.00877	09/01/2019	0.03935	11/02/2019	0.00038	16/03/2019	0.00219	18/04/2019	0.00087
03/10/2018	0.00212	05/11/2018	0.00284	08/12/2018	0.00909	10/01/2019	0.03964	12/02/2019	0.00040	17/03/2019	0.00205	19/04/2019	0.00091
04/10/2018	0.00227	06/11/2018	0.00290	09/12/2018	0.00873	11/01/2019	0.03974	13/02/2019	0.00044	18/03/2019	0.00192	20/04/2019	0.00095
05/10/2018	0.00216	07/11/2018	0.00308	10/12/2018	0.00777	12/01/2019	0.03916	14/02/2019	0.00043	19/03/2019	0.00176	21/04/2019	0.00096
06/10/2018	0.00228	08/11/2018	0.00347	11/12/2018	0.00737	13/01/2019	0.03600	15/02/2019	0.00045	20/03/2019	0.00150	22/04/2019	0.00096
07/10/2018	0.00232	09/11/2018	0.00479	12/12/2018	0.00727	14/01/2019	0.03451	16/02/2019	0.01096	21/03/2019	0.00233	23/04/2019	0.00091
08/10/2018	0.00227	10/11/2018	0.00392	13/12/2018	0.00713	15/01/2019	0.03217	17/02/2019	0.00093	22/03/2019	0.00142	24/04/2019	0.00094
09/10/2018	0.00215	11/11/2018	0.00364	14/12/2018	0.00719	16/01/2019	0.02927	18/02/2019	0.00085	23/03/2019	0.00145	25/04/2019	0.00092
10/10/2018	0.00222	12/11/2018	0.00353	15/12/2018	0.00631	17/01/2019	0.02988	19/02/2019	0.00117	24/03/2019	0.00144	26/04/2019	0.00072
11/10/2018	0.00223	13/11/2018	0.00360	16/12/2018	0.00645	18/01/2019	0.03279	20/02/2019	0.00205	25/03/2019	0.00122	27/04/2019	0.00063

12/10/2018	0.00215	14/11/2018	0.00359	17/12/2018	0.00641	19/01/2019	0.02675	21/02/2019	0.00843	26/03/2019	0.00098	28/04/2019	0.00062
13/10/2018	0.00210	15/11/2018	0.01062	18/12/2018	0.00680	20/01/2019	0.00532	22/02/2019	0.00841	27/03/2019	0.00097	29/04/2019	0.00051
14/10/2018	0.00205	16/11/2018	0.00413	19/12/2018	0.00682	21/01/2019	0.00532	23/02/2019	0.01015	28/03/2019	0.00096	30/04/2019	0.00051
15/10/2018	0.00195	17/11/2018	0.00381	20/12/2018	0.00607	22/01/2019	0.00433	24/02/2019	0.00933	29/03/2019	0.00096	01/05/2019	0.00051
16/10/2018	0.00186	18/11/2018	0.00396	21/12/2018	0.00872	23/01/2019	0.00433	25/02/2019	0.00827	30/03/2019	0.00095	02/05/2019	0.00066
17/10/2018	0.00194	19/11/2018	0.00411	22/12/2018	0.00668	24/01/2019	0.00434	26/02/2019	0.00867	31/03/2019	0.00089	03/05/2019	0.00044
18/10/2018	0.00207	20/11/2018	0.00487	23/12/2018	0.00694	25/01/2019	0.00333	27/02/2019	0.00843	01/04/2019	0.00086	04/05/2019	0.00048
19/10/2018	0.00257	21/11/2018	0.00575	24/12/2018	0.00699	26/01/2019	0.00333	28/02/2019	0.00776	02/04/2019	0.00078	05/05/2019	0.00050
20/10/2018	0.00217	22/11/2018	0.00578	25/12/2018	0.00728	27/01/2019	0.00331	01/03/2019	0.00857	03/04/2019	0.00082	06/05/2019	0.00036
21/10/2018	0.00227	23/11/2018	0.00554	26/12/2018	0.02019	28/01/2019	0.00330	02/03/2019	0.01187	04/04/2019	0.00080	07/05/2019	0.00033
22/10/2018	0.00218	24/11/2018	0.00604	27/12/2018	0.00806	29/01/2019	0.00331	03/03/2019	0.00814	05/04/2019	0.00077	08/05/2019	0.00032
23/10/2018	0.00215	25/11/2018	0.00632	28/12/2018	0.00685	30/01/2019	0.00230	04/03/2019	0.00696	06/04/2019	0.00077	09/05/2019	0.00032
24/10/2018	0.00212	26/11/2018	0.00644	29/12/2018	0.00731	31/01/2019	0.00231	05/03/2019	0.00622	07/04/2019	0.00078	10/05/2019	0.00030
25/10/2018	0.00227	27/11/2018	0.00619	30/12/2018	0.00754	01/02/2019	0.00230	06/03/2019	0.00583	08/04/2019	0.00078	11/05/2019	0.00024
26/10/2018	0.00226	28/11/2018	0.00608	31/12/2018	0.02001	02/02/2019	0.00230	07/03/2019	0.00526	09/04/2019	0.00080	12/05/2019	0.00024
27/10/2018	0.00352	29/11/2018	0.00596	01/01/2019	0.03414	03/02/2019	0.00230	08/03/2019	0.00445	10/04/2019	0.00077	13/05/2019	0.00024
28/10/2018	0.00292	30/11/2018	0.00549	02/01/2019	0.02798	04/02/2019	0.00229	09/03/2019	0.00396	11/04/2019	0.00074	14/05/2019	0.00024
29/10/2018	0.00282	01/12/2018	0.00576	03/01/2019	0.02906	05/02/2019	0.00231	10/03/2019	0.00370	12/04/2019	0.00076	15/05/2019	0.00024
30/10/2018	0.00329	02/12/2018	0.00606	04/01/2019	0.03297	06/02/2019	0.00231	11/03/2019	0.00494	13/04/2019	0.00075	16/05/2019	0.00026
31/10/2018	0.00383	03/12/2018	0.05414	05/01/2019	0.03667	07/02/2019	0.00051	12/03/2019	0.00392	14/04/2019	0.00073	17/05/2019	0.00026
01/11/2018	0.00370	04/12/2018	0.00793	06/01/2019	0.03645	08/02/2019	0.00032	13/03/2019	0.00366	15/04/2019	0.00073	18/05/2019	0.00026
02/11/2018	0.00328	05/12/2018	0.00835	07/01/2019	0.03984	09/02/2019	0.00035	14/03/2019	0.00340	16/04/2019	0.00076	19/05/2019	0.00028
20/05/2019	0.00027	22/06/2019	0.00132	25/07/2019	0.00040	27/08/2019	0.00173	29/09/2019	0.00021				
21/05/2019	0.00028	23/06/2019	0.00131	26/07/2019	0.00037	28/08/2019	0.00175	30/09/2019	0.00024				
22/05/2019	0.00028	24/06/2019	0.00130	27/07/2019	0.00038	29/08/2019	0.00137						
23/05/2019	0.00027	25/06/2019	0.00129	28/07/2019	0.00040	30/08/2019	0.00105						
24/05/2019	0.00027	26/06/2019	0.00128	29/07/2019	0.00043	31/08/2019	0.00121						
25/05/2019	0.00026	27/06/2019	0.00127	30/07/2019	0.00044	01/09/2019	0.00174						

26/05/2019	0.00026	28/06/2019	0.00127	31/07/2019	0.00044	02/09/2019	0.00160
27/05/2019	0.00027	29/06/2019	0.00126	01/08/2019	0.00037	03/09/2019	0.00366
28/05/2019	0.00027	30/06/2019	0.00125	02/08/2019	0.00036	04/09/2019	0.00596
29/05/2019	0.00027	01/07/2019	0.00125	03/08/2019	0.00037	05/09/2019	0.00379
30/05/2019	0.00028	02/07/2019	0.00124	04/08/2019	0.00036	06/09/2019	0.00341
31/05/2019	0.00028	03/07/2019	0.00124	05/08/2019	0.00040	07/09/2019	0.00354
01/06/2019	0.00027	04/07/2019	0.00124	06/08/2019	0.00042	08/09/2019	0.00333
02/06/2019	0.00027	05/07/2019	0.00123	07/08/2019	0.00043	09/09/2019	0.00309
03/06/2019	0.00026	06/07/2019	0.00123	08/08/2019	0.00078	10/09/2019	0.00208
04/06/2019	0.00027	07/07/2019	0.00123	09/08/2019	0.00140	11/09/2019	0.00187
05/06/2019	0.00028	08/07/2019	0.00122	10/08/2019	0.00139	12/09/2019	0.00149
06/06/2019	0.00187	09/07/2019	0.00024	11/08/2019	0.00136	13/09/2019	0.00116
07/06/2019	0.00181	10/07/2019	0.00023	12/08/2019	0.00135	14/09/2019	0.00306
08/06/2019	0.00175	11/07/2019	0.00023	13/08/2019	0.00133	15/09/2019	0.00374
09/06/2019	0.00169	12/07/2019	0.00021	14/08/2019	0.00122	16/09/2019	0.00395
10/06/2019	0.00164	13/07/2019	0.00027	15/08/2019	0.00128	17/09/2019	0.00120
11/06/2019	0.00160	14/07/2019	0.00028	16/08/2019	0.00132	18/09/2019	0.00010
12/06/2019	0.00156	15/07/2019	0.00028	17/08/2019	0.00135	19/09/2019	0.00007
13/06/2019	0.00152	16/07/2019	0.00027	18/08/2019	0.00128	20/09/2019	0.00009
14/06/2019	0.00149	17/07/2019	0.00028	19/08/2019	0.00169	21/09/2019	0.00018
15/06/2019	0.00146	18/07/2019	0.00027	20/08/2019	0.00113	22/09/2019	0.00066
16/06/2019	0.00144	19/07/2019	0.00026	21/08/2019	0.00102	23/09/2019	0.00121
17/06/2019	0.00141	20/07/2019	0.00031	22/08/2019	0.00115	24/09/2019	0.00117
18/06/2019	0.00139	21/07/2019	0.00034	23/08/2019	0.00135	25/09/2019	0.00083
19/06/2019	0.00137	22/07/2019	0.00038	24/08/2019	0.00152	26/09/2019	0.00105
20/06/2019	0.00135	23/07/2019	0.00041	25/08/2019	0.00200	27/09/2019	0.00105
21/06/2019	0.00134	24/07/2019	0.00040	26/08/2019	0.00165	28/09/2019	0.00046

Vazões médias diárias monitoradas (m³/s) – Córrego Samambaia V1

01/10/2018	0.16285	03/11/2018	0.16932	06/12/2018	0.17888	08/01/2019	0.18616	10/02/2019	0.18622	15/03/2019	0.18686	17/04/2019	0.19608
02/10/2018	0.17317	04/11/2018	0.16934	07/12/2018	0.17804	09/01/2019	0.18462	11/02/2019	0.18580	16/03/2019	0.18554	18/04/2019	0.19360
03/10/2018	0.16845	05/11/2018	0.16994	08/12/2018	0.17967	10/01/2019	0.18311	12/02/2019	0.18452	17/03/2019	0.18709	19/04/2019	0.18859
04/10/2018	0.16737	06/11/2018	0.17209	09/12/2018	0.18254	11/01/2019	0.18169	13/02/2019	0.18313	18/03/2019	0.18787	20/04/2019	0.18771
05/10/2018	0.17047	07/11/2018	0.16991	10/12/2018	0.17868	12/01/2019	0.18012	14/02/2019	0.18262	19/03/2019	0.18714	21/04/2019	0.18661
06/10/2018	0.16934	08/11/2018	0.17467	11/12/2018	0.17553	13/01/2019	0.17992	15/02/2019	0.18407	20/03/2019	0.18917	22/04/2019	0.18541
07/10/2018	0.16864	09/11/2018	0.18525	12/12/2018	0.17364	14/01/2019	0.17900	16/02/2019	0.19118	21/03/2019	0.19479	23/04/2019	0.18340
08/10/2018	0.16763	10/11/2018	0.18330	13/12/2018	0.17262	15/01/2019	0.17803	17/02/2019	0.20136	22/03/2019	0.19463	24/04/2019	0.18218
09/10/2018	0.16584	11/11/2018	0.17740	14/12/2018	0.17422	16/01/2019	0.17705	18/02/2019	0.20385	23/03/2019	0.19357	25/04/2019	0.18232
10/10/2018	0.16541	12/11/2018	0.17460	15/12/2018	0.17877	17/01/2019	0.17787	19/02/2019	0.20393	24/03/2019	0.19246	26/04/2019	0.18340
11/10/2018	0.16476	13/11/2018	0.17286	16/12/2018	0.17797	18/01/2019	0.17865	20/02/2019	0.19792	25/03/2019	0.19083	27/04/2019	0.18213
12/10/2018	0.16400	14/11/2018	0.17177	17/12/2018	0.17276	19/01/2019	0.17763	21/02/2019	0.20100	26/03/2019	0.18949	28/04/2019	0.18149
13/10/2018	0.16373	15/11/2018	0.17166	18/12/2018	0.17102	20/01/2019	0.17629	22/02/2019	0.19679	27/03/2019	0.18884	29/04/2019	0.18057
14/10/2018	0.16381	16/11/2018	0.17425	19/12/2018	0.17161	21/01/2019	0.17684	23/02/2019	0.19256	28/03/2019	0.18851	30/04/2019	0.18155
15/10/2018	0.16561	17/11/2018	0.17199	20/12/2018	0.17415	22/01/2019	0.17747	24/02/2019	0.19014	29/03/2019	0.18790	01/05/2019	0.18185
16/10/2018	0.16569	18/11/2018	0.17034	21/12/2018	0.17337	23/01/2019	0.17704	25/02/2019	0.18930	30/03/2019	0.18680	02/05/2019	0.18389
17/10/2018	0.16548	19/11/2018	0.17038	22/12/2018	0.16087	24/01/2019	0.17611	26/02/2019	0.19381	31/03/2019	0.18626	03/05/2019	0.18796
18/10/2018	0.16741	20/11/2018	0.17877	23/12/2018	0.16547	25/01/2019	0.17510	27/02/2019	0.19542	01/04/2019	0.18564	04/05/2019	0.18536
19/10/2018	0.17209	21/11/2018	0.18492	24/12/2018	0.16989	26/01/2019	0.17503	28/02/2019	0.19448	02/04/2019	0.18510	05/05/2019	0.18277
20/10/2018	0.17282	22/11/2018	0.18101	25/12/2018	0.17021	27/01/2019	0.17545	01/03/2019	0.19367	03/04/2019	0.18519	06/05/2019	0.18242
21/10/2018	0.16830	23/11/2018	0.17754	26/12/2018	0.17216	28/01/2019	0.17563	02/03/2019	0.20214	04/04/2019	0.18383	07/05/2019	0.17991
22/10/2018	0.16545	24/11/2018	0.17813	27/12/2018	0.17866	29/01/2019	0.17610	03/03/2019	0.20150	05/04/2019	0.18459	08/05/2019	0.18001
23/10/2018	0.16315	25/11/2018	0.18131	28/12/2018	0.18102	30/01/2019	0.17476	04/03/2019	0.19873	06/04/2019	0.18232	09/05/2019	0.18013
24/10/2018	0.16338	26/11/2018	0.17816	29/12/2018	0.18008	31/01/2019	0.17360	05/03/2019	0.19657	07/04/2019	0.18175	10/05/2019	0.18012
25/10/2018	0.17722	27/11/2018	0.17660	30/12/2018	0.17952	01/02/2019	0.17220	06/03/2019	0.19260	08/04/2019	0.18113	11/05/2019	0.17893
26/10/2018	0.17512	28/11/2018	0.17339	31/12/2018	0.18722	02/02/2019	0.17325	07/03/2019	0.19329	09/04/2019	0.18173	12/05/2019	0.17819

27/10/2018	0.18008	29/11/2018	0.17178	01/01/2019	0.19540	03/02/2019	0.17163	08/03/2019	0.19260	10/04/2019	0.18188	13/05/2019	0.17695
28/10/2018	0.18267	30/11/2018	0.17001	02/01/2019	0.19065	04/02/2019	0.17562	09/03/2019	0.19092	11/04/2019	0.18181	14/05/2019	0.17668
29/10/2018	0.17639	01/12/2018	0.17974	03/01/2019	0.18639	05/02/2019	0.17734	10/03/2019	0.19073	12/04/2019	0.18220	15/05/2019	0.17853
30/10/2018	0.17342	02/12/2018	0.18672	04/01/2019	0.19072	06/02/2019	0.18327	11/03/2019	0.19211	13/04/2019	0.18154	16/05/2019	0.18287
31/10/2018	0.16997	03/12/2018	0.19377	05/01/2019	0.19046	07/02/2019	0.19811	12/03/2019	0.18900	14/04/2019	0.18184	17/05/2019	0.18057
01/11/2018	0.16863	04/12/2018	0.18791	06/01/2019	0.19267	08/02/2019	0.19493	13/03/2019	0.18733	15/04/2019	0.18208	18/05/2019	0.17867
02/11/2018	0.16918	05/12/2018	0.18165	07/01/2019	0.18886	09/02/2019	0.18877	14/03/2019	0.18701	16/04/2019	0.18836	19/05/2019	0.17791
20/05/2019	0.17784	22/06/2019	0.16979	25/07/2019	0.16484	27/08/2019	0.16222						
21/05/2019	0.17666	23/06/2019	0.17018	26/07/2019	0.16309	28/08/2019	0.16239						
22/05/2019	0.17753	24/06/2019	0.16911	27/07/2019	0.16175	29/08/2019	0.16235						
23/05/2019	0.17564	25/06/2019	0.16807	28/07/2019	0.16258	30/08/2019	0.16194						
24/05/2019	0.17559	26/06/2019	0.16744	29/07/2019	0.16222	31/08/2019	0.16105						
25/05/2019	0.17491	27/06/2019	0.16664	30/07/2019	0.16185								
26/05/2019	0.17496	28/06/2019	0.16654	31/07/2019	0.16163								
27/05/2019	0.17691	29/06/2019	0.16626	01/08/2019	0.16194								
28/05/2019	0.17763	30/06/2019	0.16635	02/08/2019	0.16207								
29/05/2019	0.17657	01/07/2019	0.16664	03/08/2019	0.16226								
30/05/2019	0.17620	02/07/2019	0.16668	04/08/2019	0.16237								
31/05/2019	0.17544	03/07/2019	0.16641	05/08/2019	0.16427								
01/06/2019	0.17535	04/07/2019	0.16598	06/08/2019	0.16427								
02/06/2019	0.17458	05/07/2019	0.16578	07/08/2019	0.16441								
03/06/2019	0.17455	06/07/2019	0.16538	08/08/2019	0.16408								
04/06/2019	0.17504	07/07/2019	0.16517	09/08/2019	0.16291								
05/06/2019	0.17608	08/07/2019	0.16585	10/08/2019	0.16203								
06/06/2019	0.17562	09/07/2019	0.16587	11/08/2019	0.16258								
07/06/2019	0.17563	10/07/2019	0.16614	12/08/2019	0.16419								
08/06/2019	0.17531	11/07/2019	0.16564	13/08/2019	0.16314								
09/06/2019	0.17513	12/07/2019	0.16569	14/08/2019	0.16420								

10/06/2019	0.17546	13/07/2019	0.16573	15/08/2019	0.16510
11/06/2019	0.17529	14/07/2019	0.16574	16/08/2019	0.16541
12/06/2019	0.17563	15/07/2019	0.16649	17/08/2019	0.16549
13/06/2019	0.17430	16/07/2019	0.16620	18/08/2019	0.16495
14/06/2019	0.17249	17/07/2019	0.16663	19/08/2019	0.16460
15/06/2019	0.17185	18/07/2019	0.16669	20/08/2019	0.16325
16/06/2019	0.17167	19/07/2019	0.16671	21/08/2019	0.16264
17/06/2019	0.17157	20/07/2019	0.16648	22/08/2019	0.16196
18/06/2019	0.17080	21/07/2019	0.16667	23/08/2019	0.16338
19/06/2019	0.16978	22/07/2019	0.16703	24/08/2019	0.16233
20/06/2019	0.16933	23/07/2019	0.16638	25/08/2019	0.16241
21/06/2019	0.17004	24/07/2019	0.16604	26/08/2019	0.16227

Vazões médias diárias monitoradas (m³/s) – Córrego Samambaia V2

01/10/18	0.12233	03/11/18	0.11483	06/12/18	0.15161	08/01/19	0.16728	10/02/19	0.15203	15/03/19	0.16264	17/04/19	0.20404
02/10/18	0.14859	04/11/18	0.11792	07/12/18	0.14760	09/01/19	0.16230	11/02/19	0.15077	16/03/19	0.15468	18/04/19	0.20053
03/10/18	0.14488	05/11/18	0.11715	08/12/18	0.14564	10/01/19	0.15012	12/02/19	0.14762	17/03/19	0.15512	19/04/19	0.19351
04/10/18	0.14021	06/11/18	0.11759	09/12/18	0.14556	11/01/19	0.14943	13/02/19	0.14334	18/03/19	0.16398	20/04/19	0.18592
05/10/18	0.14319	07/11/18	0.11832	10/12/18	0.15091	12/01/19	0.14796	14/02/19	0.14478	19/03/19	0.16409	21/04/19	0.18250
06/10/18	0.13959	08/11/18	0.12207	11/12/18	0.14356	13/01/19	0.14829	15/02/19	0.14254	20/03/19	0.17113	22/04/19	0.18079
07/10/18	0.13190	09/11/18	0.15252	12/12/18	0.13145	14/01/19	0.14447	16/02/19	0.16286	21/03/19	0.19274	23/04/19	0.17837
08/10/18	0.13681	10/11/18	0.14897	13/12/18	0.12724	15/01/19	0.13775	17/02/19	0.18587	22/03/19	0.18834	24/04/19	0.16764
09/10/18	0.13530	11/11/18	0.13926	14/12/18	0.13136	16/01/19	0.12837	18/02/19	0.19713	23/03/19	0.18217	25/04/19	0.16809
10/10/18	0.12915	12/11/18	0.13087	15/12/18	0.13077	17/01/19	0.13929	19/02/19	0.20551	24/03/19	0.17902	26/04/19	0.16638
11/10/18	0.12556	13/11/18	0.12636	16/12/18	0.14565	18/01/19	0.13946	20/02/19	0.19574	25/03/19	0.17468	27/04/19	0.16448

12/10/18	0.11259	14/11/18	0.12391	17/12/18	0.13536	19/01/19	0.14644	21/02/19	0.20462	26/03/19	0.16961	28/04/19	0.15712
13/10/18	0.11701	15/11/18	0.12399	18/12/18	0.12803	20/01/19	0.14345	22/02/19	0.19525	27/03/19	0.17022	29/04/19	0.15415
14/10/18	0.11918	16/11/18	0.12739	19/12/18	0.11812	21/01/19	0.13957	23/02/19	0.18925	28/03/19	0.16985	30/04/19	0.14506
15/10/18	0.12338	17/11/18	0.12678	20/12/18	0.12546	22/01/19	0.13417	24/02/19	0.17804	29/03/19	0.16389	01/05/19	0.14770
16/10/18	0.12618	18/11/18	0.12147	21/12/18	0.13344	23/01/19	0.14174	25/02/19	0.17638	30/03/19	0.16522	02/05/19	0.16139
17/10/18	0.12309	19/11/18	0.12027	22/12/18	0.12915	24/01/19	0.14079	26/02/19	0.17696	31/03/19	0.15950	03/05/19	0.18100
18/10/18	0.12942	20/11/18	0.14088	23/12/18	0.09862	25/01/19	0.13627	27/02/19	0.19007	01/04/19	0.15571	04/05/19	0.17448
19/10/18	0.14044	21/11/18	0.15592	24/12/18	0.11085	26/01/19	0.13412	28/02/19	0.18142	02/04/19	0.14867	05/05/19	0.16362
20/10/18	0.14741	22/11/18	0.14868	25/12/18	0.11900	27/01/19	0.12736	01/03/19	0.18714	03/04/19	0.15851	06/05/19	0.15324
21/10/18	0.13590	23/11/18	0.14244	26/12/18	0.12240	28/01/19	0.12709	02/03/19	0.20181	04/04/19	0.16027	07/05/19	0.14859
22/10/18	0.12615	24/11/18	0.14152	27/12/18	0.15373	29/01/19	0.13316	03/03/19	0.20017	05/04/19	0.16496	08/05/19	0.14622
23/10/18	0.11601	25/11/18	0.14802	28/12/18	0.15564	30/01/19	0.13080	04/03/19	0.19166	06/04/19	0.16218	09/05/19	0.14500
24/10/18	0.11886	26/11/18	0.14385	29/12/18	0.15330	31/01/19	0.12545	05/03/19	0.19670	07/04/19	0.15692	10/05/19	0.13546
25/10/18	0.14464	27/11/18	0.14041	30/12/18	0.15432	01/02/19	0.12051	06/03/19	0.19066	08/04/19	0.15525	11/05/19	0.14167
26/10/18	0.15396	28/11/18	0.13130	31/12/18	0.16547	02/02/19	0.11347	07/03/19	0.18872	09/04/19	0.15019	12/05/19	0.14122
27/10/18	0.16473	29/11/18	0.12349	01/01/19	0.18153	03/02/19	0.11033	08/03/19	0.18078	10/04/19	0.15415	13/05/19	0.14002
28/10/18	0.16947	30/11/18	0.11853	02/01/19	0.17366	04/02/19	0.12423	09/03/19	0.17763	11/04/19	0.15274	14/05/19	0.13799
29/10/18	0.16010	01/12/18	0.13770	03/01/19	0.16658	05/02/19	0.12502	10/03/19	0.17412	12/04/19	0.15316	15/05/19	0.13985
30/10/18	0.14649	02/12/18	0.15860	04/01/19	0.17732	06/02/19	0.13638	11/03/19	0.18258	13/04/19	0.14926	16/05/19	0.15996
31/10/18	0.12889	03/12/18	0.17162	05/01/19	0.17387	07/02/19	0.17680	12/03/19	0.17646	14/04/19	0.14544	17/05/19	0.15296
01/11/18	0.12033	04/12/18	0.16569	06/01/19	0.18136	08/02/19	0.16865	13/03/19	0.16293	15/04/19	0.15088	18/05/19	0.15235
02/11/18	0.11272	05/12/18	0.15533	07/01/19	0.17465	09/02/19	0.16087	14/03/19	0.16168	16/04/19	0.16104	19/05/19	0.14550
20/05/19	0.14354	22/06/19	0.10530	25/07/19	0.09924	27/08/19	0.10999	29/09/19	0.07584				
21/05/19	0.13489	23/06/19	0.10669	26/07/19	0.09309	28/08/19	0.09461	30/09/19	0.08346				
22/05/19	0.13624	24/06/19	0.10722	27/07/19	0.09396	29/08/19	0.10918						
23/05/19	0.13556	25/06/19	0.10592	28/07/19	0.09314	30/08/19	0.10802						
24/05/19	0.12866	26/06/19	0.10589	29/07/19	0.09564	31/08/19	0.10831						
25/05/19	0.13114	27/06/19	0.10203	30/07/19	0.09613	01/09/19	0.10767						

26/05/19	0.13063	28/06/19	0.10528	31/07/19	0.09439	02/09/19	0.10186
27/05/19	0.13025	29/06/19	0.10514	01/08/19	0.09383	03/09/19	0.08032
28/05/19	0.12250	30/06/19	0.10347	02/08/19	0.08656	04/09/19	0.08502
29/05/19	0.12622	01/07/19	0.10183	03/08/19	0.08874	05/09/19	0.07095
30/05/19	0.12421	02/07/19	0.10300	04/08/19	0.09574	06/09/19	0.08409
31/05/19	0.12294	03/07/19	0.10255	05/08/19	0.09570	07/09/19	0.09214
01/06/19	0.12263	04/07/19	0.09774	06/08/19	0.09487	08/09/19	0.10123
02/06/19	0.11620	05/07/19	0.10328	07/08/19	0.09627	09/09/19	0.10358
03/06/19	0.12045	06/07/19	0.10230	08/08/19	0.10330	10/09/19	0.08425
04/06/19	0.12526	07/07/19	0.10236	09/08/19	0.11429	11/09/19	0.07231
05/06/19	0.12425	08/07/19	0.10309	10/08/19	0.11853	12/09/19	0.08878
06/06/19	0.12184	09/07/19	0.10196	11/08/19	0.11757	13/09/19	0.09413
07/06/19	0.11451	10/07/19	0.10119	12/08/19	0.11645	14/09/19	0.09220
08/06/19	0.11944	11/07/19	0.09630	13/08/19	0.11511	15/09/19	0.07704
09/06/19	0.11819	12/07/19	0.10007	14/08/19	0.10935	16/09/19	0.08281
10/06/19	0.11733	13/07/19	0.09993	15/08/19	0.11534	17/09/19	0.06827
11/06/19	0.11606	14/07/19	0.09880	16/08/19	0.11436	18/09/19	0.06556
12/06/19	0.11233	15/07/19	0.09928	17/08/19	0.11414	19/09/19	0.07146
13/06/19	0.10821	16/07/19	0.10071	18/08/19	0.11392	20/09/19	0.07146
14/06/19	0.11066	17/07/19	0.10186	19/08/19	0.11527	21/09/19	0.07074
15/06/19	0.10890	18/07/19	0.09436	20/08/19	0.10945	22/09/19	0.07749
16/06/19	0.10856	19/07/19	0.09773	21/08/19	0.11212	23/09/19	0.09695
17/06/19	0.10851	20/07/19	0.09849	22/08/19	0.11304	24/09/19	0.09683
18/06/19	0.10698	21/07/19	0.09750	23/08/19	0.11267	25/09/19	0.07878
19/06/19	0.10797	22/07/19	0.09801	24/08/19	0.09426	26/09/19	0.07795
20/06/19	0.10768	23/07/19	0.09822	25/08/19	0.10954	27/09/19	0.07363
21/06/19	0.10105	24/07/19	0.09919	26/08/19	0.11139	28/09/19	0.07691

ANEXO III

Cálculos

Total de saída de água por captação entre os pontos V1 e V2

CÓRREGO SAMAMBAIA V2	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	352,417.35
nov/18	344,940.77
dez/18	377,674.46
jan/19	394,657.90
fev/19	334,297.33
mar/19	485,290.93
abr/19	422,310.00
mai/19	434,335.52
jun/19	326,062.04
jul/19	276,657.98
ago/19	270,170.97
set/19	256,736.12

■

CÓRREGO SAMAMBAIA V1	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	452,713.11
nov/18	452,606.61
dez/18	474,193.55
jan/19	484,564.70
fev/19	457,335.76
mar/19	512,003.75
abr/19	477,449.14
mai/19	479,487.66
jun/19	445,466.86
jul/19	442,886.82
ago/19	437,048.93
set/19	417,199.68

=

SAÍDAS CAPTAÇÕES		
DATA	Volume (m³/mês)	%
out/18	100,295.75	22%
nov/18	107,665.84	24%
dez/18	96,519.09	20%
jan/19	89,906.79	19%
fev/19	123,038.43	27%
mar/19	26,712.82	5%
abr/19	55,139.14	12%
mai/19	45,152.14	9%
jun/19	119,404.82	27%
jul/19	166,228.85	38%
ago/19	166,877.97	38%
set/19	160,463.56	38%

Total de entrada de água através das nascentes

NASCENTE SAMAMABAIA	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	146,633.29
nov/18	184,652.45
dez/18	178,541.17
jan/19	178,111.90
fev/19	168,421.39
mar/19	170,916.04
abr/19	111,620.75
mai/19	128,468.05
jun/19	95,446.80
jul/19	109,774.59
ago/19	59,379.82
set/19	72,214.20

+

NASCENTE ENGENHO	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	139,655.71
nov/18	154,469.13
dez/18	161,336.22
jan/19	250,467.02
fev/19	259,372.86
mar/19	289,356.29
abr/19	239,953.31
mai/19	165,887.75
jun/19	156,847.66
jul/19	164,574.18
ago/19	124,754.77
set/19	116,494.35

+

NASCENTE GAMELEIRA	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	6,282.98
nov/18	12,016.50
dez/18	25,882.53
jan/19	60,125.96
fev/19	8,885.65
mar/19	9,234.11
abr/19	2,066.12
mai/19	840.10
jun/19	3,250.03
jul/19	1,502.06
ago/19	3,057.13
set/19	4,837.14

=

ENTRADA - NASCENTES	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	292,571.98
nov/18	351,138.07
dez/18	365,759.92
jan/19	488,704.88
fev/19	436,679.89
mar/19	469,506.44
abr/19	353,640.18
mai/19	295,195.90
jun/19	255,544.49
jul/19	275,850.82
ago/19	187,191.72
set/19	193,545.70

Total de água que chega ao barramento

NASCENTE SAMAMABAIA	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	146,633.29
nov/18	184,652.45
dez/18	178,541.17
jan/19	178,111.90
fev/19	168,421.39
mar/19	170,916.04
abr/19	111,620.75
mai/19	128,468.05
jun/19	95,446.80
jul/19	109,774.59
ago/19	59,379.82
set/19	72,214.20

+

NASCENTE ENGENHO	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	139,655.71
nov/18	154,469.13
dez/18	161,336.22
jan/19	250,467.02
fev/19	259,372.86
mar/19	289,356.29
abr/19	239,953.31
mai/19	165,887.75
jun/19	156,847.66
jul/19	164,574.18
ago/19	124,754.77
set/19	116,494.35

=

ENTRADA - NASCENTES	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	286,289.00
nov/18	339,121.57
dez/18	339,877.39
jan/19	428,578.92
fev/19	427,794.25
mar/19	460,272.33
abr/19	351,574.06
mai/19	294,355.80
jun/19	252,294.46
jul/19	274,348.76
ago/19	184,134.59
set/19	188,708.56

Continua na próxima página

ENTRADA - NASCENTES	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	286,289.00
nov/18	339,121.57
dez/18	339,877.39
jan/19	428,578.92
fev/19	427,794.25
mar/19	460,272.33
abr/19	351,574.06
mai/19	294,355.80
jun/19	252,294.46
jul/19	274,348.76
ago/19	184,134.59
set/19	188,708.56

-

SAÍDA - CAPTAÇÃO LEGAL	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	8,035.20
nov/18	7,776.00
dez/18	8,035.20
jan/19	8,035.20
fev/19	7,257.60
mar/19	8,035.20
abr/19	7,776.00
mai/19	8,035.20
jun/19	7,776.00
jul/19	8,035.20
ago/19	8,035.20
set/19	7,776.00

=

ANTES BARRAMENTO	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	278,253.80
nov/18	331,345.57
dez/18	331,842.19
jan/19	420,543.72
fev/19	420,536.65
mar/19	452,237.13
abr/19	343,798.06
mai/19	286,320.60
jun/19	244,518.46
jul/19	266,313.56
ago/19	176,099.39
set/19	180,932.56

Total de água regularizada pelo barramento

SAMAMBAIA RODRIGO	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	452713.11
nov/18	452606.61
dez/18	474193.55
jan/19	484564.70
fev/19	457335.76
mar/19	512003.75
abr/19	477449.14
mai/19	479487.66
jun/19	445466.86
jul/19	442886.82
ago/19	437048.93
set/19	417199.68

■

ANTES BARRAMENTO	
DATA	Volume (m³/mês)
out/18	278253.80
nov/18	331345.57
dez/18	331842.19
jan/19	420543.72
fev/19	420536.65
mar/19	452237.13
abr/19	343798.06
mai/19	286320.60
jun/19	244518.46
jul/19	266313.56
ago/19	176099.39
set/19	180932.56

=

REGULARIZAÇÃO		
DATA	Volume (m³/mês)	% REG
out/18	174459.31	63%
nov/18	121261.03	37%
dez/18	142351.36	43%
jan/19	64020.97	15%
fev/19	36799.11	9%
mar/19	59766.62	13%
abr/19	133651.08	39%
mai/19	193167.06	67%
jun/19	200948.40	82%
jul/19	176573.26	66%
ago/19	260949.54	148%
set/19	236267.12	131%

Cálculo das curvas-chave

NASCENTE SAMAMBAIA					
$Q=1.576*(H+0.937)^{11.364}$					
H0	-0.937	a	1.576	b	11.364
H (m)	Qobs (m³/s)	H-H0 (m)	Qcal (m³/s)	(Qcal-Qobs)² (m³/s)	
0.40	48.34	1.337	42.7346	31.41	
0.43	51.73	1.367	54.9921	10.64	
0.44	56.45	1.377	59.7412	10.83	
0.46	67.20	1.397	70.3791	10.11	
0.47	75.49	1.407	76.3215	0.69	
0.48	78.72	1.417	82.7182	15.97	
0.49	95.82	1.427	89.6003	38.68	

NASCENTE GAMELEIRA					
$Q=1.151*(H+0.640)^{23.697}$					
H0	-0.640	a	1.151	b	23.697
H (m)	Qobs (m³/s)	H-H0 (m)	Qcal (m³/s)	(Qcal-Qobs)² (m³/s)	
0.33	0.20	0.970	0.5538	0.13	
0.34	0.27	0.980	0.7062	0.19	
0.38	0.47	1.020	1.8232	1.83	
0.40	2.37	1.040	2.8890	0.27	
0.42	5.96	1.060	4.5380	2.02	
0.45	10.55	1.090	8.7942	3.07	
0.48	16.10	1.120	16.7386	0.40	

NASCENTE ENGENHO					
$Q=1.778*(H+0.828)^{16.166}$					
H0	-0.828	a	1.778	b	16.166
H (m)	Qobs (m³/s)	H-H0 (m)	Qcal (m³/s)	(Qcal-Qobs)² (m³/s)	
0.39	37.13	1.218	43.3578	38.67	
0.4	54.85	1.228	49.4829	28.81	
0.41	59.08	1.238	56.4128	7.13	
0.42	67.48	1.248	64.2454	10.51	
0.44	71.75	1.268	83.0668	128.07	
0.45	100.51	1.278	94.3110	38.43	
0.470	119.60	1.298	121.2131	2.60	

CÓRREGO SAMAMBAIA V2					
$Q=2.634*(H+1.227)^{7.678}$					
H0	-1.227	a	2.634	b	7.678
H (m)	Qobs (m³/s)	H-H0 (m)	Qcal (m³/s)	(Qcal-Qobs)² (m³/s)	
0.31	61.17	1.537	71.5797	108.37	
0.32	70.00	1.547	75.2333	27.39	
0.36	106.92	1.587	91.5200	237.16	
0.38	110.14	1.607	100.7554	88.07	
0.42	112.31	1.647	121.6848	87.89	
0.45	139.48	1.677	139.7708	0.08	
0.46	146.16	1.687	146.2977	0.02	