



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**

**AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS EM PAISAGENS  
COM DIFERENTES USOS DO SOLO NO SISTEMA CANTAREIRA, SUDESTE DO  
BRASIL**

Por

**GABRIELA BARRETO DE OLIVEIRA**

**NAZARÉ PAULISTA, 2022**



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**

**AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS EM PAISAGENS  
COM DIFERENTES USOS DO SOLO NO SISTEMA CANTAREIRA, SUDESTE DO  
BRASIL**

Por

GABRIELA BARRETO DE OLIVEIRA

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO**

PROF. DR. ALEXANDRE UEZU  
PROF. DR. ALEXANDRE CAMARGO MARTENSEN  
PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. CAROLINA BOZETTI RODRIGUES

**TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

## **Ficha Catalográfica**

Oliveira, Gabriela Barreto de

Avaliação dos Serviços Ecossistêmicos Hidrológicos em Paisagens com Diferentes Usos do Solo no Sistema Cantareira, sudeste do Brasil, 2022. 101 p.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

1. Serviços Ecossistêmicos Hidrológicos
2. Uso do solo
3. Sistema Cantareira
- I. Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ

## **BANCA EXAMINADORA**

NAZARÉ PAULISTA, 08 DE AGOSTO DE 2022

---

Prof. Dr. Alexandre Uezu

---

Prof. Dr. Alexandre Camargo Martensen

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Bozetti Rodrigues

À todos que contribuíram direta ou indiretamente com este estudo,  
**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores Alexandre Uezu, Carolina Bozetti e Alexandre Martensen pela valiosa orientação neste trabalho, empatia e capacidade de escutar e ensinar.

Ao professor Junior César Avanzi e a doutoranda Vanêssa Lopes pela disposição em ajudar com as análises de sedimentos suspensos.

Às minhas queridas veteranas de curso, Francly Forero, que me incentivou e me ajudou a ingressar na ESCAS, e Letícia Freitas, pelas trocas e ajudas durante o mestrado.

À minha família, em especial aos meus pais, que sempre me incentivaram a estudar e me encorajaram durante os momentos mais desafiadores. Ao meu companheiro Victor por sempre estar ao meu lado, me apoiar e ajudar a ser sempre melhor, e toda a sua família, que agora também é minha, por sempre torcerem por mim. Aos meus queridos amigos de Juiz de Fora, que se preocuparam e me incentivaram durante todo o mestrado. Amo vocês!

À todos os colegas de turma, que tornaram essa caminhada ainda mais enriquecedora e divertida, em especial à Thais Araújo, João Francisco e ao Bruno, pela contribuição com este trabalho final, auxiliando em campo ou com o geoprocessamento, dividindo as angústias, mas também as conquistas de cada etapa... Meu eterno carinho e gratidão por ter conhecido cada um de vocês.

À todos que tornaram essa pesquisa possível, como os proprietários/funcionários que nos receberam tão bem e permitiram a instalação e zelaram pelos equipamentos de monitoramento das microbacias estudadas.

À toda a equipe do IPÊ, em especial a querida equipe do Projeto Semeando Água: Paulo, Gustavo, João e Guilherme e aos estagiários Scarlett, Fernanda, Isabela, Brenda, Francisco e Matheus, pelos auxílios em campo e parceria; e a Vivi e Joana, por terem sido tão zelosas e prestativas com o projeto e meu bem-estar. Todos vocês foram fundamentais.

Ao fundo de bolsas ESCAS pela concessão da bolsa de estudos que permitiu minha formação, e à FAPESP pela aprovação do projeto que fomentou este estudo (Processo n.º 2019/19429-3).

À Deus por toda essa experiência vivida, pelos aprendizados e bençãos recebidas.

**AGRADEÇO.**

## SUMÁRIO

### Conteúdo

AGRADECIMENTOS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	3
LISTA DE FIGURAS .....	4
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
3.1 Área de estudo.....	11
3.2 Delineamento experimental.....	13
3.3 Características fisiográficas das microbacias hidrográficas .....	15
3.4 Coleta de dados .....	17
3.5 Análise dos dados.....	19
3.5.1 Processamento dos dados de nível dos rios.....	19
3.5.2 Caracterização hidrológica das microbacias hidrográficas .....	19
3.5.2.1 Curva chave da vazão .....	19
3.5.2.2 Precipitação, deflúvio e rendimento hídrico .....	21
3.5.2.3 Curva de permanência do deflúvio .....	21
3.5.3 Parâmetros de qualidade da água .....	22
3.5.4 Exportação de sedimentos suspensos.....	23
4 RESULTADOS .....	23
4.1 Caracterização hidrológica das microbacias hidrográficas .....	23
4.1.1 Obtenção das curvas chave e equações .....	23
4.1.2 Precipitação, deflúvio e rendimento hídrico .....	24
4.2 Análise do deflúvio.....	30
4.3 Caracterização da qualidade da água.....	32
4.4 Exportação de sedimentos.....	37
5 DISCUSSÃO.....	38
5.1 Produção de água.....	38
5.2 Qualidade da água.....	42
5.3 Exportação de sedimentos suspensos.....	44

6	CONCLUSÃO .....	48
7	REFERÊNCIAS .....	49
8	ANEXO A.....	56
9	ANEXO B.....	85
10	ANEXO C.....	86
11	ANEXO D.....	87
12	ANEXO E.....	89
13	ANEXO F.....	90
14	ANEXO G .....	92
15	ANEXO H.....	95

## LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>página</u>
Tabela 1 - Pedologia e geologia das microbacias hidrográficas. ....	15
Tabela 2 - Uso do solo (%) e APP hídrica coberta por floresta (%). ....	16
Tabela 3 - Características morfométricas das microbacias hidrográficas. ....	17
Tabela 4 - Equação da curva chave da vazão, sendo Q = vazão (m <sup>3</sup> /s) e h = nível do rio (m). ....	23
Tabela 5 - Valores mínimos (min.), máximos (máx.), médios e totais de precipitação (P) e deflúvio (Q) diários das microbacias hidrográficas. ....	29
Tabela 6 - Percentis extraídos da curva de permanência do deflúvio das microbacias, onde: Q10 = Deflúvio excedido em 10% do tempo, Q50 = Deflúvio excedido em 50% do tempo, Q90 = Deflúvio excedido em 90% do tempo. ....	31
Tabela 7 - Coeficientes de correlação de Kendall da vazão com a concentração de sedimentos suspensos das microbacias hidrográficas. ....	36
Tabela 8 - Média da concentração de sedimentos suspensos (CSS), produção de água e exportação de sedimentos suspensos (SS) por microbacia hidrográfica em 183 dias. ....	37

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>página</u>
Figura 1 - Uso do solo e localização das microbacias hidrográficas estudadas no Sistema Cantareira.....	14
Figura 2 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB1_F17_P01_S77.....	25
Figura 3 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB2_F25_P69_S05.....	25
Figura 4 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB3_F97_P00_S01.....	26
Figura 5 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB4_F22_P07_S72.....	26
Figura 6 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB5_F44_P47_S08.....	27
Figura 7 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB6_F16_P25_S58.....	27
Figura 8 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB7_F36_P35_S29.....	28
Figura 9 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB8_F56_P04_S35.....	28
Figura 10 - Rendimento hídrico (Q/P) das microbacias hidrográficas. ....	29
Figura 11 - Curvas de permanência do deflúvio diário das microbacias hidrográficas. ....	30
Figura 12 – Índice Q90/Q50, que reflete sobre a estabilidade do deflúvio das microbacias hidrográficas. As cores diferenciam o uso do solo predominante de cada microbacia. ....	31
Figura 13 - Índice Q10/Q90, que reflete sobre a regularidade do deflúvio das microbacias hidrográficas. As cores diferenciam o uso do solo predominante de cada microbacia. ....	32
Figura 14 - Box-plot dos parâmetros físico-químicos e da concentração de sedimentos suspensos (CSS), sendo MB1 = MB1_F17_P01_S77; MB2 = MB2_F25_P69_S05; MB3 = MB3_F97_P00_S01; MB4 =	

MB4\_F22\_P07\_S72; MB5 = MB5\_F44\_P47\_S08; MB6 = MB6\_F16\_P25\_S58; MB7 = MB7\_F36\_P35\_S29; e MB8 = MB8\_F56\_P04\_S35. A linha horizontal interna das caixas representa a mediana, as extremidades das caixas representam o primeiro e o terceiro quartil, os limites das barras verticais representam os valores máximo e mínimo e os círculos representam os valores extremos..... 33

Figura 15 - Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para as microbacias hidrográficas ..... 35

Figura 16 - Gráfico de dispersão com retas de tendência para as microbacias hidrográficas estudadas ..... 36

## LISTA DE ABREVIações

CSS	Concentração de sedimentos suspensos (g/L)
P	Precipitação (mm)
Q	Deflúvio (mm)
Q/P	Rendimento hídrico
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SC	Sistema Cantareira

## RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

### AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS EM PAISAGENS COM DIFERENTES USOS DO SOLO NO SISTEMA CANTAREIRA, SUDESTE DO BRASIL

Por

Gabriela Barreto de Oliveira

Agosto, 2022

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Uezu

Este estudo se propôs a avaliar múltiplos serviços hidrológicos em paisagens com diferentes combinações dos três principais usos do solo da região do Sistema Cantareira (SC): floresta nativa, pastagem e silvicultura. Para isso, foram selecionadas oito microbacias hidrográficas que representassem desde as paisagens mais homogêneas até as mais heterogêneas, segundo estes usos. Essas microbacias foram monitoradas para a coleta de informações referentes ao regime hidrológico, à qualidade da água e à exportação de sedimentos, com o intuito de entender como essas diferentes paisagens se relacionam com estes serviços. Os principais resultados deste estudo mostraram que as *cloud forest*, presentes nas maiores altitudes do SC, são grandes produtoras de água em alta qualidade, enquanto as paisagens com grandes proporções de pastagem produzem água em detrimento de sua qualidade. Já as microbacias com predomínio de silvicultura possuem menor rendimento hídrico quando comparada às demais. Sendo assim, este trabalho além de trazer tendências relacionadas ao uso do solo com a qualidade e disponibilidade hídrica, fornece subsídios para que novos estudos e análises de modelagem possam ser realizadas para a região do SC.

## **ABSTRACT**

Abstract do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

### **EVALUATION OF HYDROLOGIC ECOSYSTEM SERVICES IN LANDSCAPES WITH DIFFERENT LAND USES IN THE CANTAREIRA SYSTEM, SOUTHEAST BRAZIL**

By

Gabriela Barreto de Oliveira

August, 2022

Advisor: Prof. Dr. Alexandre Uezu

This study aimed to evaluate multiple hydrologic services in landscapes with different combinations of the three main land uses in the Cantareira System (SC) region: native forest, pasture, and forest plantations. For this, eight watersheds were selected that represent the most homogeneous to the most heterogeneous landscapes, according to these uses. These watersheds were monitored to collect information regarding the hydrological regime, water quality, and sediment export, to understand how these different landscapes relate to these services. The main results of this study showed that cloud forests, present in the highest altitudes of SC, are great producers of high-quality water, while landscapes with large proportions of pasture produce water to the detriment of its quality. On the other hand, watersheds with a predominance of forest plantations have lower water yields when compared to the others. Therefore, this work, in addition to bringing trends related to land use with water quality and water availability, provides subsidies so that new studies and modeling analyzes can be carried out for the SC region.

## 1 INTRODUÇÃO

Serviços ecossistêmicos são os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções ecossistêmicas (COSTANZA *et al.*, 1997), sendo fundamentais para o bem-estar, saúde, subsistência e sobrevivência humana (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Frequentemente, as pessoas modificam os ecossistemas para aumentar a produção de serviços específicos, como produção de alimentos, fibras e biocombustíveis (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Entretanto, tais incrementos podem resultar em declínios substanciais na provisão de outros serviços (BENNETT *et al.*, 2009), o que gera preocupações quanto as possibilidades das futuras gerações em suprir suas necessidades (HUETING *et al.*, 1998).

Os serviços ecossistêmicos hidrológicos, que podem ser definidos como os benefícios produzidos pelos efeitos dos ecossistemas terrestres na água doce, e incluem abastecimento e qualidade da água, mitigação de enchentes e serviços culturais relacionados à água (BRAUMAN *et al.*, 2007), são alguns desses serviços que vêm ganhando atenção das comunidades científicas e políticas devido às crescentes pressões (UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2019). Desde a década de 1980, a demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de cerca de 1% ao ano, resultante de uma combinação de crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e mudanças nos padrões de consumo (UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2019). Por outro lado, as ameaças sobre as funções ecossistêmicas que geram esses benefícios não cessam, com destaque para as mudanças no uso do solo, que são o principal fator de perda de qualidade da água no Brasil e no mundo (IPBES, 2019; MELLO *et al.*, 2020), e as mudanças climáticas, que estão modificando os processos naturais, como o regime de precipitação e seca, impactando direta e indiretamente a provisão de água (IPCC, 2020).

Frente a essas ameaças e a iminente crise hídrica global, há uma necessidade premente de estudos com o objetivo de subsidiar o planejamento espacial, visando sustentar e melhorar os serviços ecossistêmicos hidrológicos (FAN; SHIBATA, 2014; BRAUMAN, 2015). A bacia hidrográfica tem sido o recorte espacial da maioria desses estudos dada sua delimitação, que corresponde a toda a área de contribuição, em termos

hidrológicos e sedimentares, e a convergência dos fluxos hidrológicos superficiais para um único ponto de saída (exutório) (MAGALHÃES JUNIOR *et al.*, 2020). Dessa forma, a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade territorial para gestão e monitoramento dos recursos hídricos, planejamento territorial e pesquisa científica (TUNDISI, 2008).

Tendo em vista que os serviços ecossistêmicos hidrológicos são especialmente sensíveis a mudanças na paisagem, que afetam a qualidade e a quantidade das águas (KEPNER *et al.*, 2012), estudos sobre os efeitos do uso do solo em bacias hidrográficas vêm sendo realizados em diferentes partes do mundo (GIRI; QIU, 2016). Modificações da paisagem para a expansão agrícola e a urbanização, por exemplo, têm sido apontadas como altamente impactantes para os serviços hidrológicos, devido ao uso intensivo de fertilizantes e pesticidas nos cultivos agrícolas, e ao lançamento de resíduos nas cidades, que são drenados para os cursos d'água, tornando-se importantes fontes de poluentes (ARAUJO *et al.*, 2018; SIMEDO *et al.*, 2018; MELLO *et al.*, 2020). Da mesma forma, estudos mostram que as alterações da vegetação, como a conversão da floresta em pastagem ou cultivos florestais, afetam a disponibilidade de água a jusante ao longo do tempo, em decorrência de mudanças na taxa de evapotranspiração, no escoamento superficial, na recarga das águas subterrâneas e no fluxo de base (BROWN *et al.*, 2005; BRAUMAN, 2015). Sendo assim, a modificação humana das paisagens desafia a sustentabilidade dos serviços hidrológicos (QIU; TURNER, 2015), sendo que em escala de microbacias hidrográficas os impactos são ainda maiores, devido às estreitas interconexões com a paisagem, que as tornam altamente vulneráveis a atividades de perturbação do solo (FREEMAN *et al.*, 2007). Entretanto, apesar da maior fragilidade e de sua contribuição à jusante, a maioria dessas microbacias não são monitoradas rotineiramente (DING *et al.*, 2016).

Embora existam diversos estudos buscando entender os impactos das atividades humanas sobre os serviços hidrológicos, a maioria destes se concentrou em um único serviço (SIMEDO *et al.*, 2018), e poucos examinaram múltiplos, visando entender as relações de *tradeoffs* ou sinergias entre eles como resposta às mudanças na paisagem (QIU; TURNER, 2015). Isso se deve devido à complexidade desse tipo de estudo, tendo em vista a grande flutuação em escalas espaciais e de tempo do fluxo hidrológico e do ciclo, e a dificuldade de retratar suas características em ambientes heterogêneos (FAN;

SHIBATA, 2014). Dessa forma, a importância que cada atributo manifesta pode variar em paisagens com diferentes características topográficas e hidrológicas e de uso e tipo do solo, o que revela o grande desafio que é entender as múltiplas consequências dos padrões paisagísticos para os serviços hidrológicos (QIU; TURNER, 2015; DING *et al.*, 2016).

Sabe-se que medidas de adaptação bem planejadas podem aumentar a resiliência dos ecossistemas e reduzir o risco de desastres relacionados ao clima (MUNANG *et al.*, 2013). Logo, melhorar o entendimento das relações entre os serviços hidrológicos e deles com distintas paisagens (BENNETT *et al.*, 2009), fornecem meios de planejar paisagens multifuncionais, que serão mais resilientes a impactos e irão garantir maior segurança na provisão destes serviços (O'FARRELL; ANDERSON, 2010).

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste estudo foi avaliar como diferentes composições de uso do solo influenciam na provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos em microbacias hidrográficas do Sistema Cantareira. Os objetivos específicos foram caracterizar o regime hidrológico, a qualidade da água e mensurar a exportação de sedimentos suspensos das microbacias hidrográficas e verificar a relação dessas características com os respectivos usos do solo.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado na região do Sistema Cantareira (SC), que abrange municípios paulistas e do sul de Minas Gerais, localizado a cerca de 50 km da cidade de São Paulo (23° 12' S e 46° 21' O). O SC é o maior sistema produtor de águas para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e um dos maiores do mundo (COMITÊ PCJ, 2020b). Entre 2013 e 2015, o SC sofreu sua maior crise de abastecimento já registrada, devido à redução de chuvas na região. Essa crise colocou em risco o abastecimento de, aproximadamente, 8,8 milhões de pessoas, o que torna importante a conservação dos serviços ecossistêmicos na região, particularmente no tocante a produção de água

(COMITÊ PCJ, 2020b; UEZU *et al.*, 2017). A região engloba ainda Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável, responsáveis por proteger áreas prioritárias para a conservação, para manter a conectividade da Mata Atlântica e por garantir lazer, conforto climático, proteger belas paisagens, bem como manter e melhorar a qualidade da água do SC (RODRIGUES; BONONI, 2008; COMITÊ PCJ, 2020b).

A altitude na região varia de 745 a 2038 m, em que as áreas mais baixas se encontram mais próximas à RMSP e as áreas mais elevadas localizam-se nos municípios mineiros (UEZU *et al.*, 2017). Já a declividade apresenta uma variação de 0 a 66 graus, sendo que as inclinações menores estão nos vales dos principais rios e as maiores estão espalhadas por toda a região nas faces dos morros e montanhas, o que favorece o escoamento superficial das águas das chuvas, tornando o solo mais vulnerável à erosão, o que pode resultar em impactos na qualidade da água e do solo nas bacias hidrográficas (UEZU *et al.*, 2017). Os principais solos presentes são os latossolos, argissolos e cambissolos, com predomínios dos dois primeiros, o que confere à região extrema fragilidade a processos erosivos (UEZU *et al.*, 2017).

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante da região é o Cfb, com clima subtropical sem estação seca e verão ameno; e o Cwb, com invernos frios e secos e verões amenos, no nordeste do SC (ALVARES *et al.*, 2013; UEZU *et al.*, 2017; COMITÊ PCJ, 2020a). As temperaturas médias anuais variam entre 18° C a 20 °C ao longo do ano, enquanto a precipitação média anual é de 1570 mm (UEZU *et al.*, 2017), concentradas nos meses de outubro a março (COMITÊ PCJ, 2020a), sendo os maiores índices concentrados nas altitudes mais elevadas (FREITAS, 2020).

Com relação à paisagem, segundo imagens de satélite de alta resolução de 2011-2012, a área do SC é composta principalmente por usos antrópicos (61,6%), sendo que boa parte são campos (46%), enquanto a vegetação nativa de Mata Atlântica soma 35,4% e o reflorestamento, especialmente com eucalipto, ocupa 16% da região (UEZU *et al.*, 2017). Essas porcentagens de usos variam bastante dentro do Sistema e, muitas vezes, estão associadas a práticas de manejo do solo inadequadas, que geram perdas ambientais e econômicas (UEZU *et al.*, 2017).

### **3.2 Delineamento experimental**

Neste estudo, as unidades amostrais das paisagens foram determinadas a partir da delimitação de microbacias hidrográficas de 3ª ordem, também chamadas de cabeceiras de drenagem. Na área do Sistema Cantareira + buffer de 5km, foram selecionadas oito microbacias que representassem os três principais usos do solo da região: cobertura florestal, pastagem e silvicultura (eucalipto) em diferentes proporções. Ou seja, desde aquelas mais homogêneas, com predomínio de uma dessas principais coberturas, até as mais heterogêneas, com proporções semelhantes desses usos, além das paisagens com combinações variadas (Figura 1).

As microbacias hidrográficas foram numeradas de 1 a 8, seguido pelas siglas dos seus usos do solo com as respectivas porcentagens, seguindo a ordem: F = floresta, P = pastagem e S = silvicultura. Logo, a microbacia MB1\_F17\_P01\_S77 representa a microbacia n.º1, que possui 17% de cobertura por floresta nativa, 1% por pastagem e predomínio da cobertura por silvicultura (77%). Não foi incluída a categoria de uso do solo 'Outros', que corresponde a um conjunto de elementos, nas siglas das microbacias devido à sua baixa representatividade, não ultrapassando 5% da área total em nenhuma das microbacias.

**Usos do solo e localização das microbacias hidrográficas selecionadas no Sistema Cantareira**

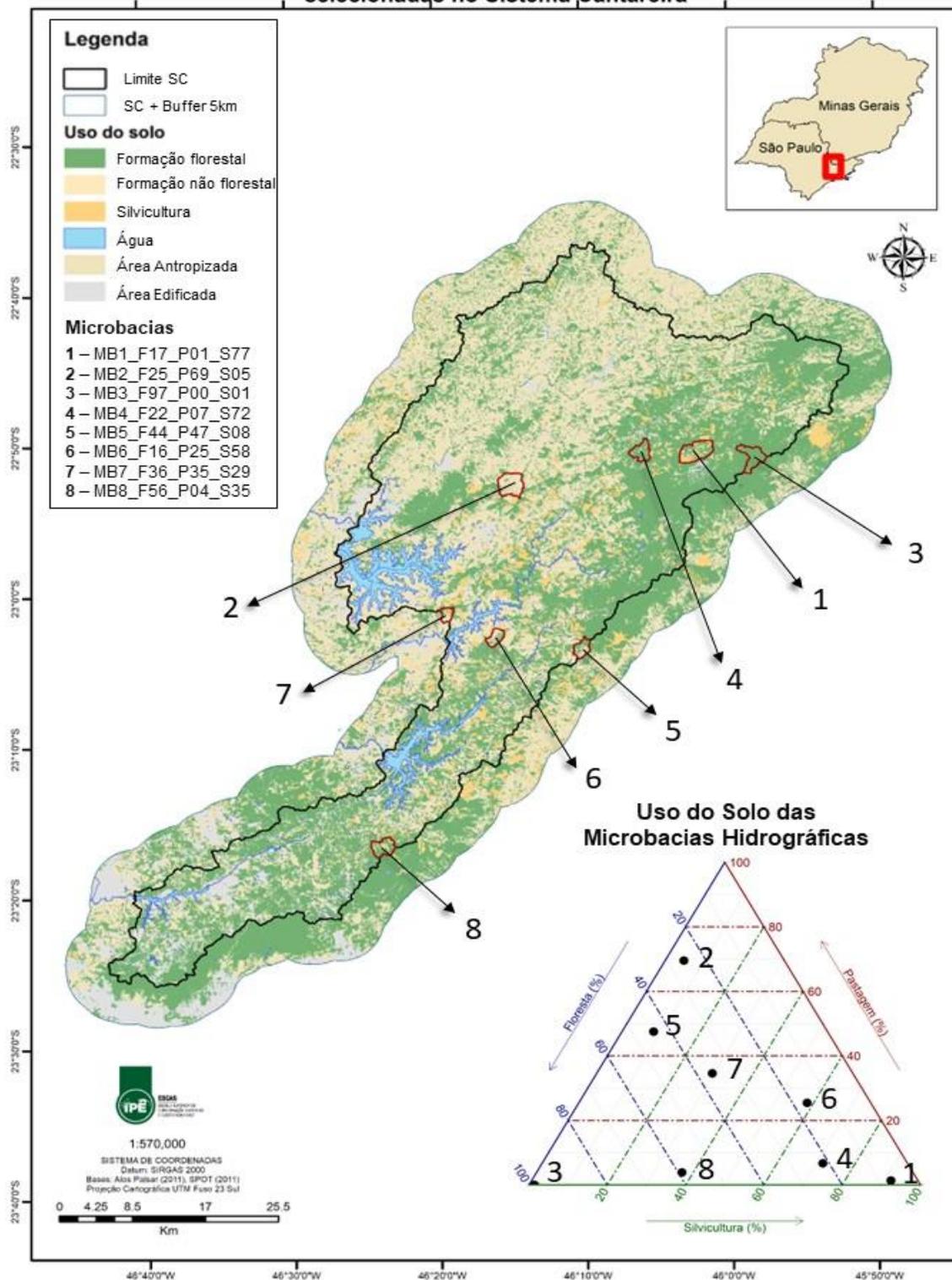


Figura 1 - Uso do solo e localização das microbacias hidrográficas estudadas no Sistema Cantareira

### 3.3 Características fisiográficas das microbacias hidrográficas

Após a seleção com base no uso do solo, buscou-se fazer a caracterização fisiográfica e a elaboração de mapas temáticos das microbacias hidrográficas estudadas (ANEXO A). Para isso, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR (Alaska Satellite Facility, 2011), com resolução de 12,5 m. A partir do MDE, foram geradas as novas delimitações para as microbacias hidrográficas e extraídas informações sobre o relevo. Dados sobre a pedologia das microbacias do estado de São Paulo e das de Minas Gerais foram provenientes do banco de dados DATAGEO (2017) e do IBGE (2019), respectivamente, enquanto dados sobre a geologia foram obtidos de IBGE (2019), em mesma escala 1:250.000 (Tabela 1). Para a obtenção da hidrografia das microbacias foram utilizadas as cartas topográficas na escala de 1:10000 do IGC, para aquelas localizadas no estado de São Paulo, e as imagens de alta resolução (de 20 a 2,5 metros) do satélite SPOT dos anos 2010 e 2011 para as microbacias de Minas Gerais.

Tabela 1 - Pedologia e geologia das microbacias hidrográficas.

Microbacias	Tipo de solo (%)				Formação Geológica
	Argissolo	Cambissolo	Latossolo	Neossolo	
MB1_F17_P01_S77	-	11,2	88,8	-	Socorro-Guaxupe
MB2_F25_P69_S05	70,7	-	29,3	-	Granito Atibaia
MB3_F97_P00_S01	-	0,2	99,4	0,4	Socorro-Guaxupe
MB4_F22_P07_S72	100	-	-	-	Varginha-Guaxupe
MB5_F44_P47_S08	51,2	9,9	38,9	-	Serra do Itaberaba
MB6_F16_P25_S58	100	-	-	-	Varginha-Guaxupe
MB7_F36_P35_S29	37,3	62,7	-	-	Varginha-Guaxupe
MB8_F56_P04_S35	-	80,5	19,5	-	Serra do Itaberaba e Três Córregos

Também foi feita a atualização dos dados de uso do solo para cada microbacia, utilizando como base as imagens de alta resolução do satélite SPOT para os anos 2010 e 2011 do Sistema Cantareira e fazendo a atualização das mesmas por meio do *basemap Imagery* do *Software ArcGis 10.8*, em escala de 1:5000, com imagens disponíveis que variaram entre os anos de 2018 e 2020. A partir disso, foi possível gerar

informações sobre cobertura no entorno de nascentes e corpos d'água e estimar a porcentagem de cobertura por floresta (Tabela 2).

**Tabela 2 - Uso do solo (%) e APP hídrica coberta por floresta (%).**

Microbacias	Uso do solo (%)				APP hídrica coberta por floresta (%)
	Floresta	Pastagem	Silvicultura	Outros	
MB1_F17_P01_S77	17,4	1,3	77,1	4,2	57,7
MB2_F25_P69_S05	25,3	68,5	4,7	1,3	25,6
MB3_F97_P00_S01	97,2	0	1,4	1,4	99,6
MB4_F22_P07_S72	21,6	6,7	71,7	0	48,4
MB5_F44_P47_S08	44,1	47,2	8	0,7	43,9
MB6_F16_P25_S58	16,1	25,2	57,8	0,9	35,8
MB7_F36_P35_S29	35,9	34,6	29,5	0	55,1
MB8_F56_P04_S35	56,1	3,7	35,3	4,9	62,9

Obtidas as demarcações dos limites e da rede de drenagem das microbacias, foram calculados alguns parâmetros morfométricos (ANEXO B e ANEXO C), selecionados de acordo com a recorrência e a relevância frente aos objetivos deste trabalho, seguindo as definições de Villela; Mattos (1975); Christofolletti (1980); Cherem *et al.* (2020). Tais parâmetros são úteis para entender o comportamento hidrológico e erosivo das microbacias hidrográficas e subsidiar as discussões deste estudo, visto a estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos (VILLELA; MATTOS, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1980). Assim, as principais características fisiográficas das microbacias hidrográficas estudadas são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Características morfométricas das microbacias hidrográficas.**

Microbacias	Área (ha)	Declividade média (%)	Densidade de drenagem <sup>(1)</sup> (km/km <sup>2</sup> )	Fator de forma <sup>(2)</sup> -	Gradiente do canal principal <sup>(3)</sup> -	Índice de Rugosidade <sup>(4)</sup> -
MB1_F17_P01_S77	784,4	31,7	2,14	0,55	0,048	686,1
MB2_F25_P69_S05	727,3	31,7	2,61	0,70	0,060	1235,2
MB3_F97_P00_S01	567,5	37,5	2,06	0,40	0,041	809,1
MB4_F22_P07_S72	455,1	30,2	2,01	0,49	0,065	656,2
MB5_F44_P47_S08	326,8	33,5	2,47	0,49	0,075	797,7
MB6_F16_P25_S58	297,9	35,4	2,21	0,70	0,104	732,8
MB7_F36_P35_S29	189,7	35,7	1,99	0,49	0,139	850,9
MB8_F56_P04_S35	468,5	34,0	2,12	0,83	0,145	1128,1

(1) Densidade de drenagem = comprimento total dos canais de drenagem (km)/área da bacia (km<sup>2</sup>)

(2) Fator de forma (geometria) = área da bacia (km<sup>2</sup>)/(Comprimento axial da bacia (km))<sup>2</sup>

(3) Gradiente do canal principal = amplitude altimétrica do canal principal(km)/comprimento do rio rincipal(km)

(4) Índice de rugosidade = amplitude altimétrica da bacia (km) x Densidade da drenagem (km/km<sup>2</sup>)

As microbacias apresentam declividades médias próximas, com predomínio de relevo fortemente ondulado. Com relação à densidade da drenagem, todas possuem tendência mediana de escoamento superficial, com exceção de MB2\_F25\_P69\_S05, que possui alta tendência ao escoamento e à ocorrência de enxurradas. Com relação à forma, apenas MB8\_F56\_P04\_S35 possui formato redondo, enquanto as demais são medianas. As microbacias que apresentam os maiores gradientes do canal principal e índice de rugosidade são mais sujeitas a ocorrência de cheias, sendo elas MB2\_F25\_P69\_S05, MB7\_F36\_P35\_S29 e MB8\_F56\_P04\_S35.

### 3.4 Coleta de dados

No exutório de cada microbacia hidrográfica foram instalados equipamentos para registrar e coletar dados referentes ao nível da lâmina d'água e à precipitação, com frequência pré-definida ao longo do período de amostragem, permitindo o monitoramento constante das condições das microbacias estudadas. Em quatro dessas microbacias foram instaladas estações hidrológicas (marca: Dual Base), que registravam dados de pluviosidade e do nível dos rios a cada 10 segundos e geravam relatórios com essas informações a cada 15 minutos. Já as demais microbacias receberam pluviômetro digital

(marca: Onset) e linígrafo digital (modelo: U20/HOBO), que registravam os dados a cada 10 e 15 minutos, respectivamente.

Além dos dados de precipitação e nível do rio, foram coletados dados da vazão momentânea por meio do FlowTracker (SonTek/YSI), que é um aparelho que mede a velocidade do rio pelo método doppler acústico em canais de baixa profundidade. As medições foram realizadas dividindo o rio em seções verticais, que variaram entre 10 e 30 centímetros de acordo com a largura do rio, em um ponto por vertical a uma altura de 60% da profundidade, conforme orientações de Santos *et al.* (2001) para rios de até 60 centímetros de profundidade e três metros de largura. As medições pontuais da vazão foram coletadas para a construção da curva chave de cada microbacia, com o intuito de obter uma equação para prever os valores de vazão para cada dado de nível do rio, que são obtidos de forma contínua.

Arelado a cada medição de vazão foi feita coleta de amostras de, aproximadamente, 1 litro de água para quantificar a concentração de sedimentos em suspensão (g/L). Segundo Carvalho *et al.* (2000), essa porção corresponde entre 70 e 90% da descarga sólida total, sendo esta a razão, e pela facilidade do método, que a maior parte dos estudos só contemplam os sedimentos em suspensão. Também foram coletados dados de qualidade da água por meio da sonda multiparâmetros (modelo: U-52/Horiba), sendo os parâmetros estudados: temperatura (°C), pH, potencial de oxirredução (ORPmV), condutividade elétrica (mS/cm), oxigênio dissolvido (mg/L), turbidez (UNT) e sólidos totais dissolvidos (mg/L). Estes dados foram analisados com o intuito de caracterizar as condições de qualidade da água das microbacias hidrográficas e verificar diferenças entre elas, de acordo com o uso do solo.

Todos os equipamentos de monitoramento (pluviômetros, linígrafos e estações hidrológicas) foram instalados e ligados em agosto de 2021, entretanto houve perdas de dados devido à substituição de equipamento ou modificações em seu local de instalação, por motivo de furto ou risco de perda, e, também, por mau funcionamento. Dessa forma, houve variações no começo da amostragem e coleta de dados para cada microbacia, sendo que todos os equipamentos estavam em pleno funcionamento em meados de novembro de 2021 até o fim do monitoramento, em 20/05/2022, com exceção de MB6\_F16\_P25\_S58, que apresentou problemas no pluviômetro a partir de 10/04/2022.

### **3.5 Análise dos dados**

#### **3.5.1 Processamento dos dados de nível dos rios**

Para realizar a compensação barométrica dos dados dos linígrafos digitais e transformá-los em altura da lâmina d'água, em três das quatro microbacias que receberam este equipamento, foram utilizados os dados de pressão atmosférica coletado pelas estações hidrológicas, que estavam a menos de 10 quilômetros de distância. Apenas em uma dessas microbacias, a compensação foi feita por um quinto linígrafo, que foi instalado a menos de 50 metros de distância.

Feita a compensação, foi necessário mais um procedimento, que tratou de subtrair uma constante aos valores de pressão atmosférica provenientes das estações hidrológicas, para evitar que ao subtrair o valor da pressão atmosférica do valor de pressão absoluta coletada pelos linígrafos, o resultado desse negativo. Para se obter o valor dessa constante atribuída, que foi específica para cada microbacia, os linígrafos digitais foram deixados fora d'água durante 1 hora antes de serem instalados na coluna d'água. Com isso, foi possível obter o valor da pressão atmosférica para a microbacia e compará-la ao valor de pressão atmosférica registrado no mesmo instante nas estações hidrológicas utilizadas para a compensação de seu linígrafo. Logo, a constante de cada microbacia consistiu na diferença entre essas duas pressões atmosféricas aferidas.

Feitos esses dois procedimentos, ou seja, após a subtração da pressão atmosférica corrigida pela constante do valor de pressão absoluta coletado pelos linígrafos, o valor resultante (pressão hidrostática) foi transformado em nível de água em cmH<sub>2</sub>O. A partir disso, os dados de nível de água dessas microbacias tornaram-se aptos para a construção da curva chave de vazão.

#### **3.5.2 Caracterização hidrológica das microbacias hidrográficas**

##### **3.5.2.1 Curva chave da vazão**

A curva chave foi elaborada a partir de uma equação do tipo potência, que se assemelha ao tipo de relação entre o nível da água e a vazão, encontrada em equações de escoamento em regime permanente e uniforme (COLLISCHONN; DORNELLES,

2015). A equação recorrentemente utilizada, conforme Chevallier (1993); Santos *et al.* (2001); Collischonn; Dornelles (2015), é:

$$Q = a. (h-h_0)^b$$

Onde  $h$  = nível da régua correspondente a vazão  $Q$ ,  $h_0$  = o valor do nível quando a vazão é nula e  $a$  e  $b$  são constantes determinadas por um critério, como erros mínimos quadrados, para a seção do rio.

Para realizar o ajuste da curva e obter a equação que se aproximasse ao máximo dos dados medidos, foi realizada a linearização da equação por transformação logarítmica (SANTOS *et al.* (2001); COLLISCHONN; DORNELLES (2015). A partir disso, foi feito o ajuste dos parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $h_0$  de forma automatizada, com a utilização da ferramenta Solver do Software Excel, conforme a metodologia descrita por Novo; Hora (2019), de forma a obter o menor somatório de desvios entre os valores previstos pela equação e os valores medidos.

Após a obtenção da curva-chave ajustada, foi necessária a realização da extrapolação da mesma, já que foram medidas cotas superiores e inferiores para as quais existe a medição da vazão e pela validade da curva-chave ajustada ser limitada à faixa de cotas e vazões em que as medidas foram realizadas (SANTOS *et al.*, 2001; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Segundo Chevallier (1993); Sefione (2002), tal procedimento é realizado de forma corriqueira, já que o número de medições tende a ser insuficiente e/ou a distribuição dos valores medidos é inadequada, ocorrendo principalmente a extrapolação superior, devido à dificuldade de as medições coincidirem com as cheias ou mesmo pela impossibilidade de se realizar a medição, devido aos riscos em função das altas velocidades das águas do rio.

Dentre as formas de extrapolação existentes, para este estudo foi utilizada a extrapolação logarítmica, que é o método tradicionalmente utilizado para extrapolar a parte alta das curvas e consiste em estender a validade da equação para além da curva chave medida (SANTOS *et al.*, 2001; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Apesar de não ser indicada para ser utilizada na extrapolação inferior, optou-se por seguir o mesmo método, já que, em geral, nenhuma extrapolação inferior é indicada, visto que qualquer método é impreciso para vazões mínimas (SEFIONE, 2002). Outra justificativa para a escolha desse método de extrapolação foi a ausência de outras variáveis, além da cota

e da vazão, para a realização de outros métodos descritos na literatura, como em Sefione (2002), que não foram medidas neste estudo.

Após a obtenção e extrapolação da curva chave para cada microbacia, foram aplicadas as respectivas equações aos valores de nível registrados ao longo do tempo para a sua transformação em dados de vazão.

### **3.5.2.2 Precipitação, deflúvio e rendimento hídrico**

Para a comparação entre os resultados das microbacias hidrográficas, os dados de vazão obtidos diariamente foram transformados em vazão média diária (L/s) e, posteriormente, em valores diários de deflúvio (mm), a fim de remover o efeito do tamanho das áreas de drenagem das microbacias. Os dados de deflúvio foram integrados no tempo, juntamente com os dados diários de precipitação, em mesma escala temporal para a obtenção dos hidrogramas. Estes gráficos permitem observar o comportamento hidrológico da microbacia ao longo do tempo e, quando acrescido da precipitação, relacionar o efeito deste evento na vazão. Os hidrogramas elaborados podem apresentar lacunas de dados ao longo do tempo de monitoramento, que foi distinto entre as microbacias, de acordo com o explicado no subitem 3.4.

Para a análise do regime hidrológico, foi utilizada a razão entre o deflúvio (Q) e a precipitação (P), denominada rendimento hídrico (Q/P) (BOGGS *et al.*, 2013), que representa a porcentagem da precipitação que se transformou em deflúvio. Para este cálculo, foi necessário fazer um recorte temporal nos dados das microbacias para igualar o período de monitoramento, que correspondeu a 16/11/2021 a 10/04/2022, e possibilitar a comparação entre elas.

### **3.5.2.3 Curva de permanência do deflúvio**

A curva de permanência expressa a relação entre os valores diários de deflúvio com a porcentagem de tempo em que estes são superados ou iguais (LANE *et al.*, 2005). Para sua obtenção, os valores diários de deflúvio de cada microbacia, para o mesmo período (16/11/2021 a 17/05/2022), foram ordenados em ordem decrescente e classificados em classes de frequência. Estes valores foram plotados em mesmo gráfico, para permitir a melhor comparação entre as microbacias, e com eixo vertical na escala

logarítmica, a fim de destacar a faixa de valores de deflúvio mais baixos (GORDON *et al.*, 2004).

Uma vez obtidas as curvas de permanência do deflúvio, foram extraídos os valores do primeiro decil (Q10), que representa os deflúvios máximos, do quinto decil (Q50), que representa a mediana dos deflúvios diários, e do nono (Q90) decil, representante das mínimas. Estes valores representam, respectivamente, os valores de deflúvio que são iguados ou excedidos em 10%, 50% e 90% do tempo. A partir desses valores, foram calculados o índice Q90/Q50 (a razão entre Q90 e Q50), também conhecido como índice de estabilidade de fluxo de base (CASSIANO *et al.*, 2023), que pode fornecer informações quanto a estabilidade do deflúvio, em que valores mais elevados representam fluxos mais estáveis (CAISSIE; ROBICHAUD, 2009); e o índice de variabilidade do fluxo (Q10/90), em que maiores valores refletem fluxos mais variáveis (STRAUCH *et al.*, 2015).

### **3.5.3 Parâmetros de qualidade da água**

A análise estatística descritiva dos dados dos parâmetros de qualidade da água foi processada pelo *software* R Studio, versão 1.4.1106, considerando-se um nível de significância de 5%. Após a verificação de ausência de distribuição normal e homocedasticidade, a existência de diferença estatística entre as microbacias hidrográficas para cada parâmetro foi avaliada por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo pós-teste de Dunn com correção de Bonferroni.

Além disso, foi realizado o teste de correlação de Kendall, após a verificação de ausência de distribuição normal, entre os dados de concentração de sedimentos e os valores de vazão medidos no momento da coleta das amostras de água.

Por fim, foi realizada a análise de componentes principais (PCA) com os parâmetros físico-químicos, com exceção da concentração de sedimentos suspensos, devido à menor quantidade de dados deste parâmetro. Esta análise foi utilizada para identificar diferenças entre as microbacias e relacionar quais parâmetros mais influenciaram na diferenciação delas.

### 3.5.4 Exportação de sedimentos suspensos

A partir dos valores pontuais de concentração de sedimentos suspensos (g/L) e dos valores de vazão média diária (L/s) foi obtida a quantidade de sedimentos suspensos exportados para o período monitorado, que correspondeu de 16/11/2021 a 17/05/2022, totalizando 183 dias. Para tanto, foi obtida a vazão média do período de cada microbacia, que foi transformada em volume total de água produzida. Este valor então foi multiplicado pela média aritmética da concentração de sedimentos suspensos da microbacia, obtendo-se assim a exportação de sedimentos do período (kg), as quais foram divididas pela área correspondente de cada microbacia hidrográfica (kg/ha).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização hidrológica das microbacias hidrográficas

#### 4.1.1 Obtenção das curvas chave e equações

Seguindo a metodologia da construção da curva chave da vazão e do seu traçado, foram geradas as equações para as oito microbacias hidrográficas (Tabela 4) e os respectivos gráficos são apresentados no ANEXO D.

Tabela 4 - Equação da curva chave da vazão, sendo Q = vazão (m³/s) e h = nível do rio (m).

Microbacia	Equação	R <sup>2</sup>	Validade
MB1_F17_P01_S77	$Q = 1,8558 \times (h-0,000)^{2,1238}$	0,94	01/11/2021 a 20/05/2022
MB2_F25_P69_S05	$Q = 5,7752 \times (h-0,3142)^{2,3808}$	0,95	02/11/2021 a 19/05/2022
MB3_F97_P00_S01	$Q = 2,0254 \times (h-0,0889)^{1,1955}$	0,99	16/11/2021 a 20/05/2022
MB4_F22_P07_S72	$Q = 1,1556 \times (h-0,6262)^{1,456}$	0,97	16/11/2021 a 20/05/2022
MB5_F44_P47_S08	$Q = 3,8782 \times (h-0,3288)^{1,7141}$	0,95	15/11/2021 a 19/05/2022
MB6_F16_P25_S58	$Q = 1,5745 \times (h-0,1260)^{1,4797}$	0,83	02/11/2021 a 19/05/2022
MB7_F36_P35_S29	$Q = 0,1344 \times (h-0,000)^{10,9658}$	0,73	17/11/2021 a 19/05/2022
MB8_F56_P04_S35	$Q = 6,8992 \times (h-0,0296)^{2,4077}$	0,97	02/11/2021 a 18/05/2022

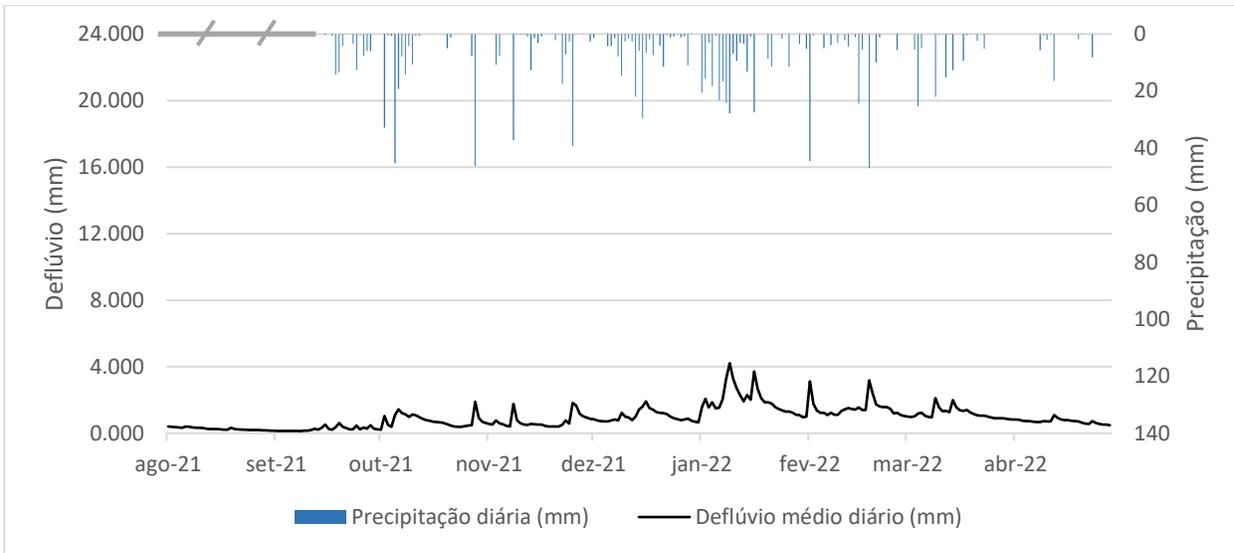
Foi necessário fazer a extrapolação da curva chave na porção superior e inferior de todas as microbacias. Na porção inferior, em grande parte, se deu em consequência de as medições de vazão terem começado apenas em novembro, meses após o começo do monitoramento do rio em algumas microbacias hidrográficas, em que os níveis estavam mais baixos.

As extrapolações necessárias para cada microbacia são apresentadas no ANEXO E, em que é possível observar os valores máximo e mínimo do nível do rio atingidos por cada uma delas.

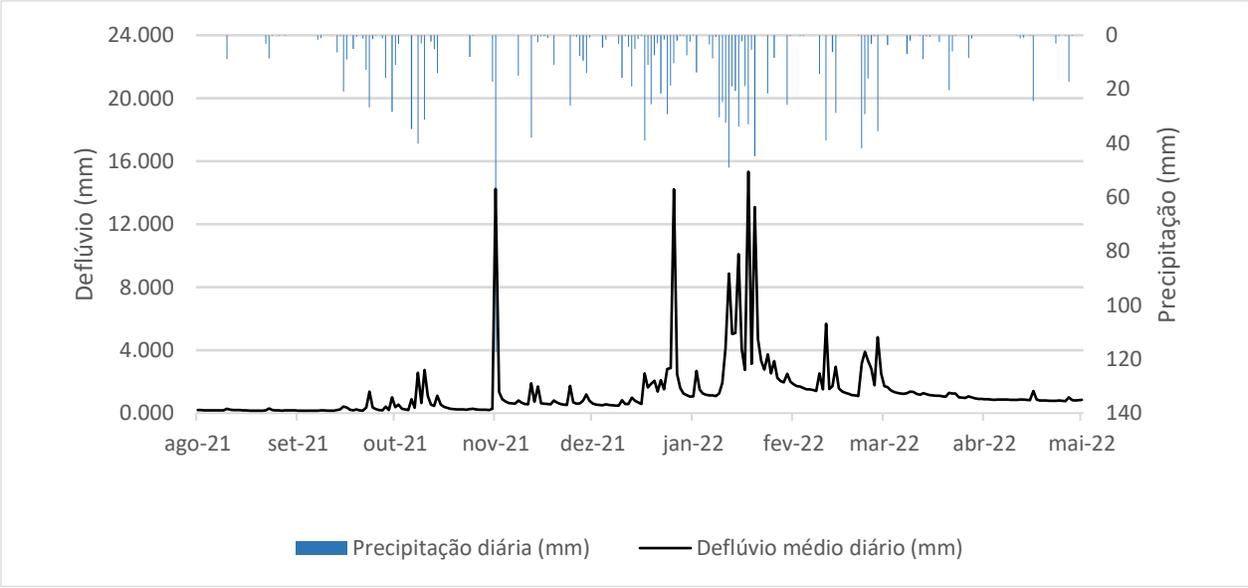
#### **4.1.2 Precipitação, deflúvio e rendimento hídrico**

O comportamento hidrológico das microbacias ao longo do período de estudo foi representado por meio dos hidrogramas (Figura 2 a 9). Nesses gráficos, é possível observar o reflexo do evento de chuva na oscilação da vazão na microbacia. Ou seja, se ele é mais imediato, o que significa que a água da chuva tem maior tendência a escoar até os rios do que a infiltrar no solo, por razões que vão desde as características físicas da bacia, como o tipo de relevo, até fatores antrópicos como a maior impermeabilidade e a compactação do solo por atividades humanas.

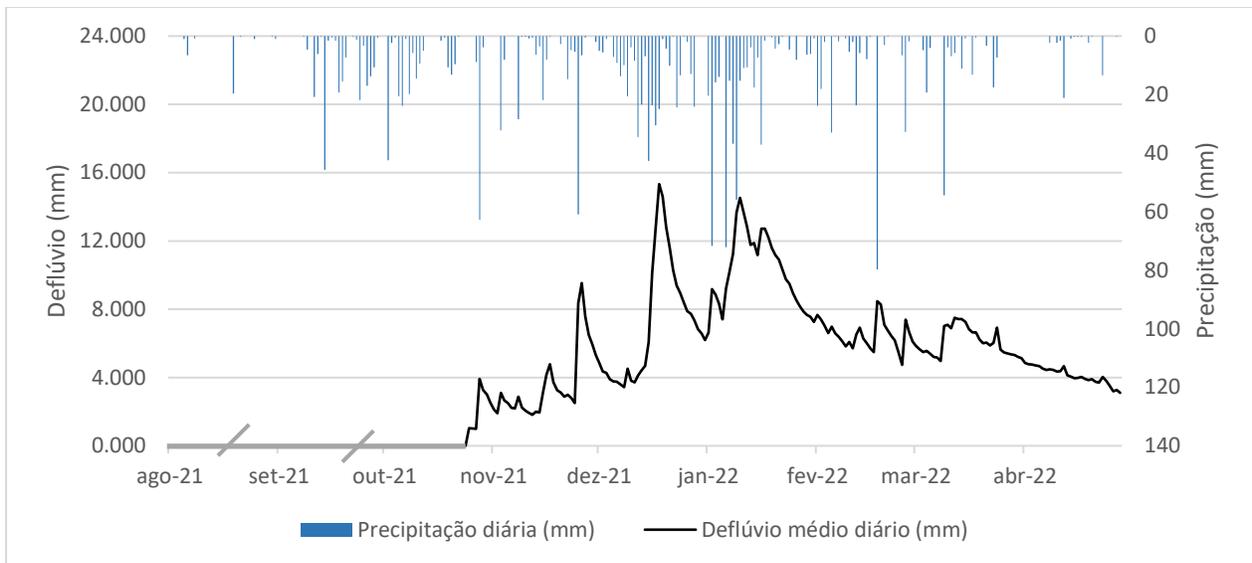
Essas dinâmicas ficam mais evidentes quando comparamos os hidrogramas das microbacias hidrográficas com predomínio de pastagem e predomínio de floresta. Na microbacia com predomínio de floresta (Figura 4), observa-se que a resposta do rio ao evento de chuva é menos sincronizada, ou seja, a vazão permanece aumentando mesmo com a diminuição das chuvas e começa a diminuir mesmo que esteja chovendo, porque a resposta da microbacia não é imediata, como, por exemplo, observado na microbacia com predomínio de pastagem (Figura 3), em que a cada evento de chuva o rio tende a aumentar e reduzir a vazão rapidamente com a sua cessão.



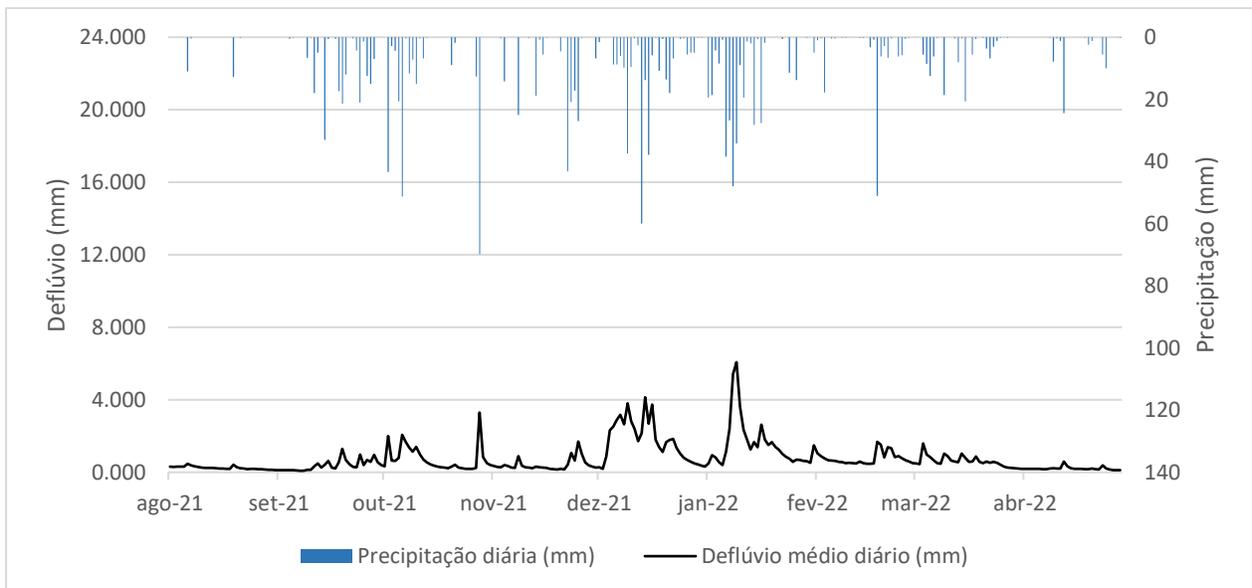
**Figura 2 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB1\_F17\_P01\_S77. A porção hachurada em cinza indica o período sem amostragem.**



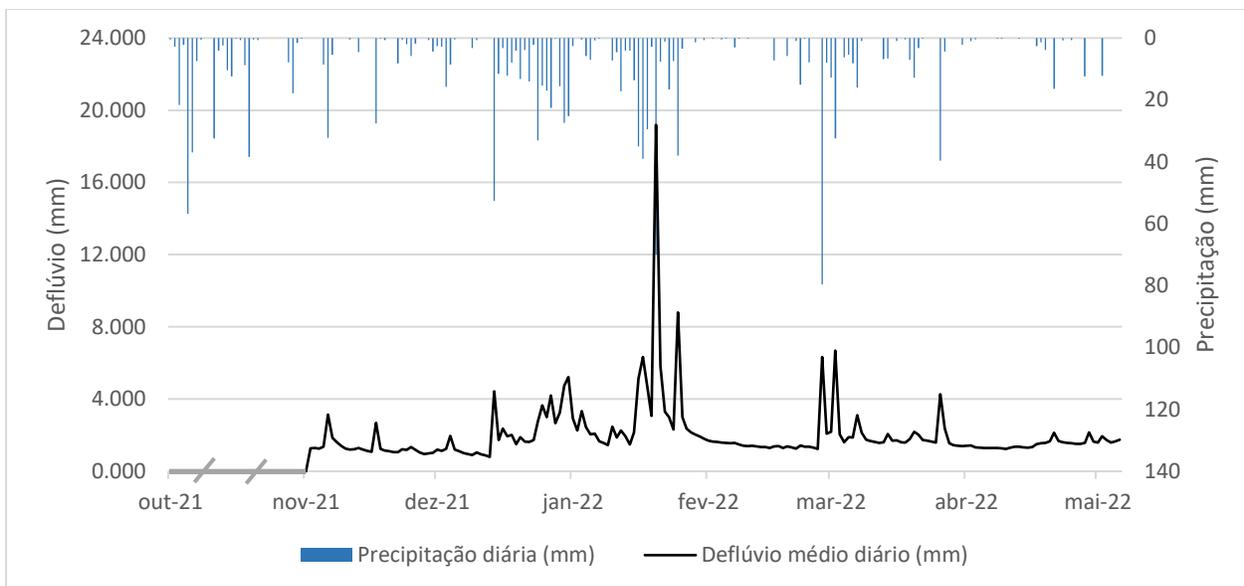
**Figura 3 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB2\_F25\_P69\_S05.**



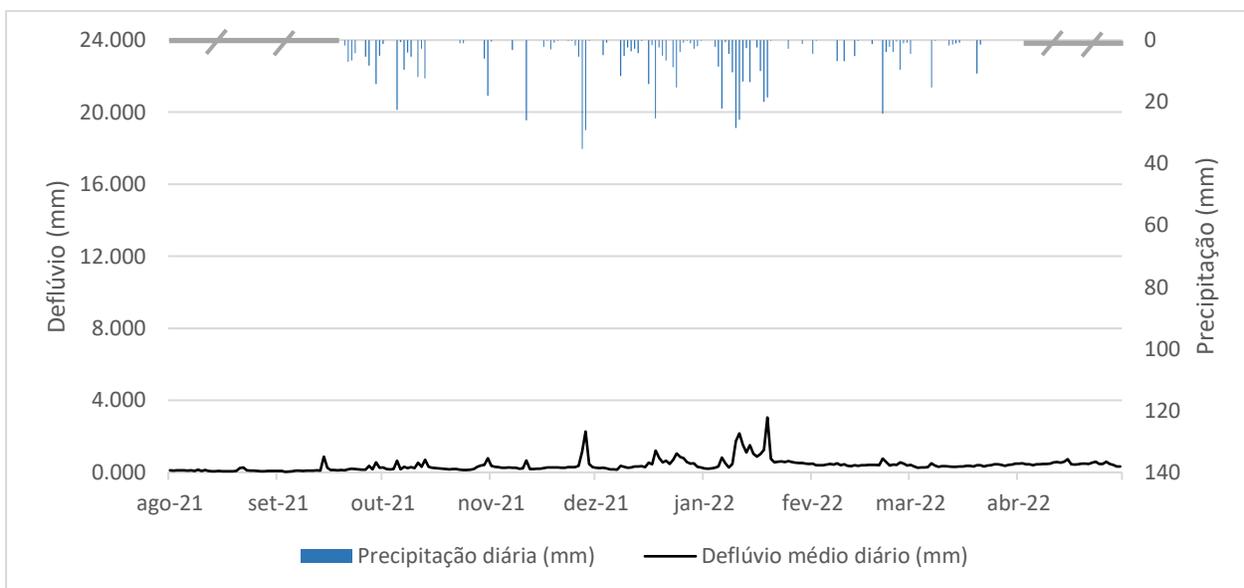
**Figura 4 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB3\_F97\_P00\_S01. A porção hachurada em cinza indica o período sem amostragem.**



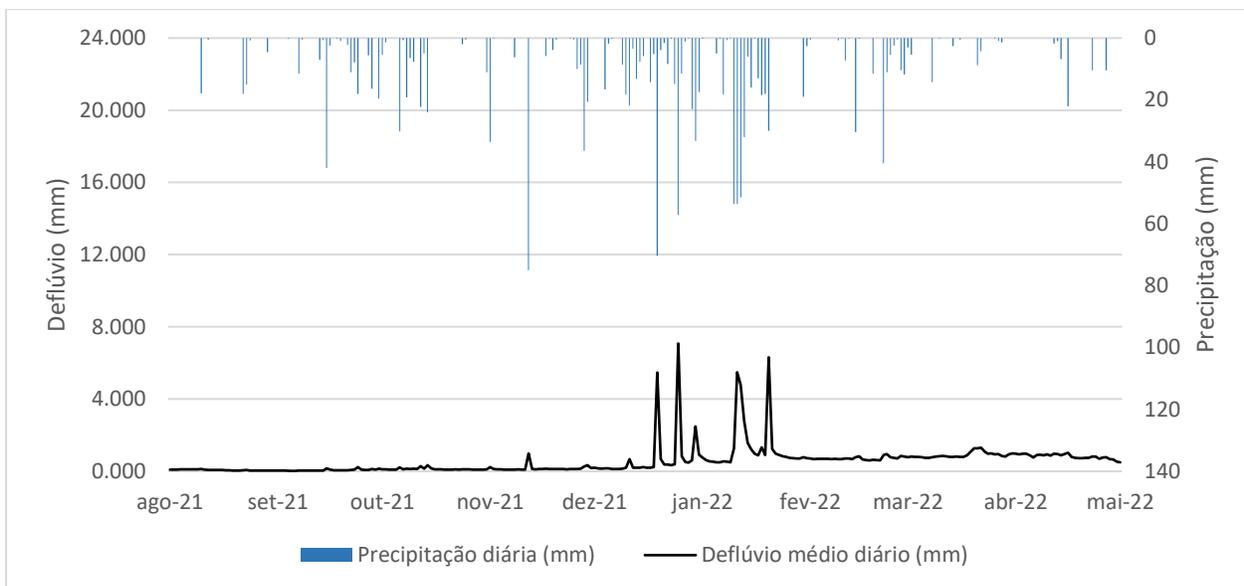
**Figura 5 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB4\_F22\_P07\_S72. A porção hachurada em cinza indica o período sem amostragem.**



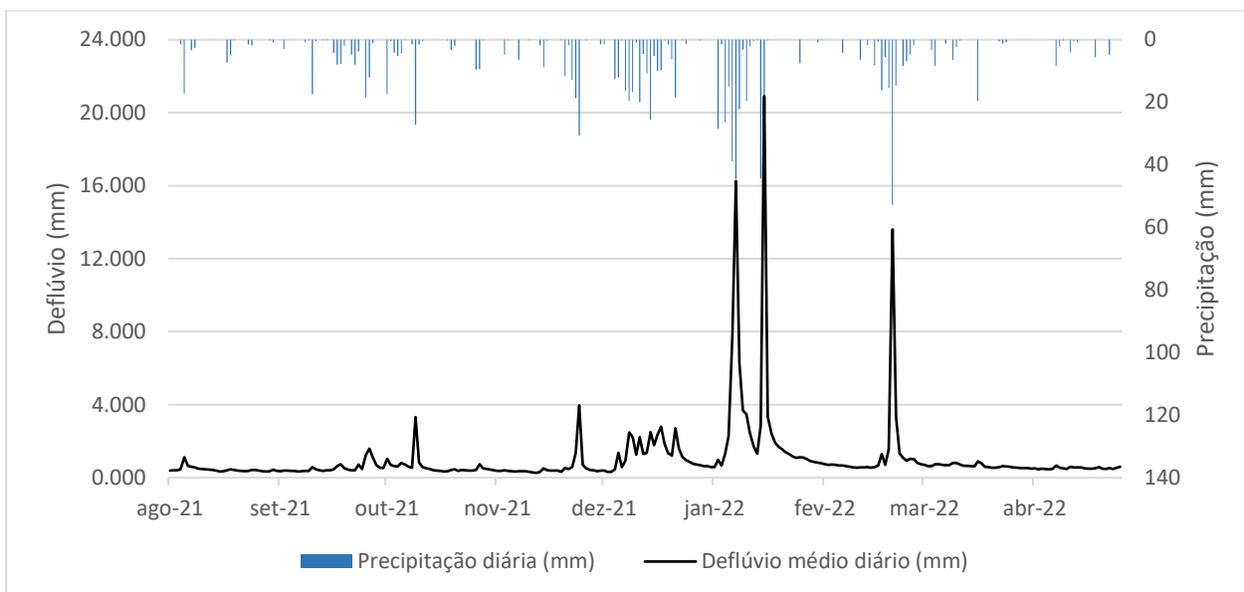
**Figura 6 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB5\_F44\_P47\_S08. A porção hachurada em cinza indica o período sem amostragem.**



**Figura 7 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB6\_F16\_P25\_S58. A porção hachurada em cinza indica o período sem amostragem.**



**Figura 8 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB7\_F36\_P35\_S29.**



**Figura 9 - Hidrograma com o deflúvio médio diário (mm) e a precipitação diária (mm) de MB8\_F56\_P04\_S35.**

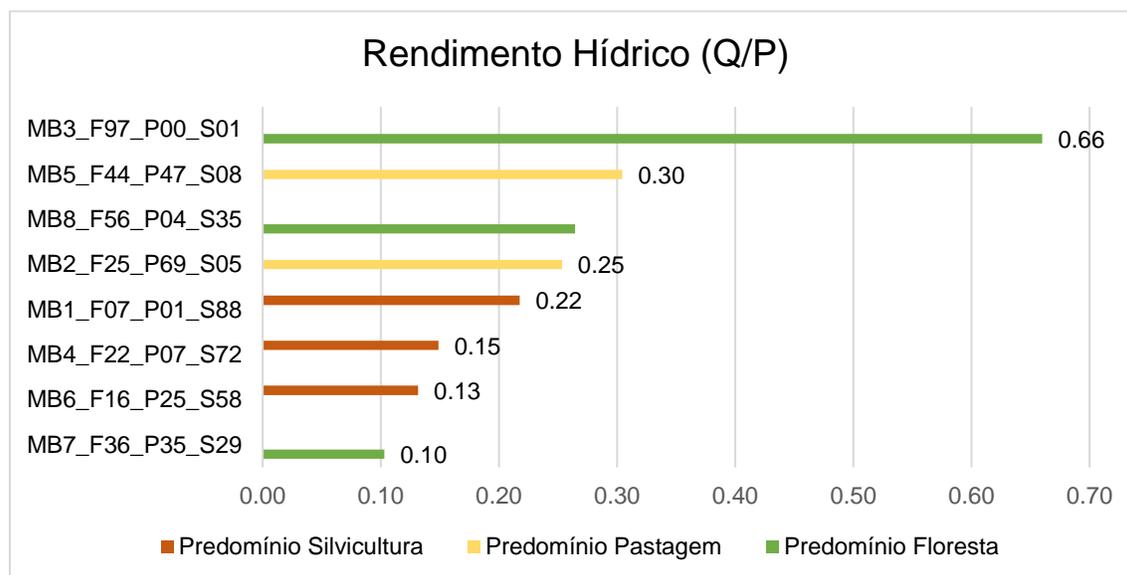
Considerando o mesmo período de dados registrados em cada microbacia hidrográfica, os valores mínimos, máximos, médios e totais para a precipitação e deflúvio diários são apresentados na Tabela 5. O valor máximo de precipitação diária entre as microbacias variou entre 35,2 mm e 117,4 mm, enquanto o deflúvio máximo diário variou de 3 mm a 20,9 mm. Os menores e maiores acúmulos de chuva e deflúvio foram registrados para as microbacias hidrográficas MB6\_F16\_P25\_S58 e MB3\_F97\_P00\_S01, respectivamente.

**Tabela 5 - Valores mínimos (min.), máximos (máx.), médios e totais de precipitação (P) e deflúvio (Q) diários das microbacias hidrográficas.**

Microbacia	Precipitação diária (mm)			Deflúvio diário (mm)			N.º dias chuvosos	P total (mm)	Q total (mm)
	min.	máx	média	min.	máx.	média			
MB1_F17_P01_S77	0,0	47,0	5,9	0,4	4,2	1,3	97	856,0	186,23
MB2_F25_P69_S05	0,0	117,4	8,0	0,2	15,3	2,0	87	1161,0	294,27
MB3_F97_P00_S01	0,0	79,8	10,0	1,0	15,3	6,6	107	1461,5	964,52
MB4_F22_P07_S72	0,0	69,8	7,2	0,2	6,1	1,1	97	1048,4	155,94
MB5_F44_P47_S08	0,0	79,6	7,1	0,8	19,2	2,1	96	1030,6	313,78
MB6_F16_P25_S58	0,0	35,2	3,8	0,2	3,0	0,5	83	552,8	72,73
MB7_F36_P35_S29	0,0	75,0	7,4	0,1	7,1	0,8	82	1081,4	111,52
MB8_F56_P04_S35	0,0	52,8	5,3	0,3	20,9	1,4	79	777,6	205,62

\*Dados para o período de 16/11/2021 a 10/04/2022, totalizando 146 dias.

Com relação ao rendimento hídrico (Q/P) das microbacias hidrográficas (Figura 10), o maior valor foi obtido por MB3\_F97\_P00\_S01 (0,66), seguido por microbacias com predomínio de pastagem ou floresta. Com exceção de MB7\_F36\_P35\_S29, que apresenta os três usos do solo em proporções parecidas, as três microbacias que apresentaram os menores rendimentos hídricos são aquelas com predomínio de silvicultura.



**Figura 10 - Rendimento hídrico (Q/P) das microbacias hidrográficas.**

## 4.2 Análise do deflúvio

Para análise do deflúvio, foram geradas as curvas de permanência para cada microbacia hidrográfica (Figura 11). Na comparação entre elas, a microbacia hidrográfica MB5\_F44\_P47\_S08 foi a que apresentou um padrão mais achatado da curva, que caracteriza um deflúvio constante na maior parte do tempo, enquanto a MB7\_F36\_F35\_S29 apresenta um formato sigmóide, que representa um deflúvio mais instável. A microbacia MB3\_F97\_P00\_S01 foi a que apresentou maior estabilidade durante as vazões máximas (de 0 a 10% do tempo).

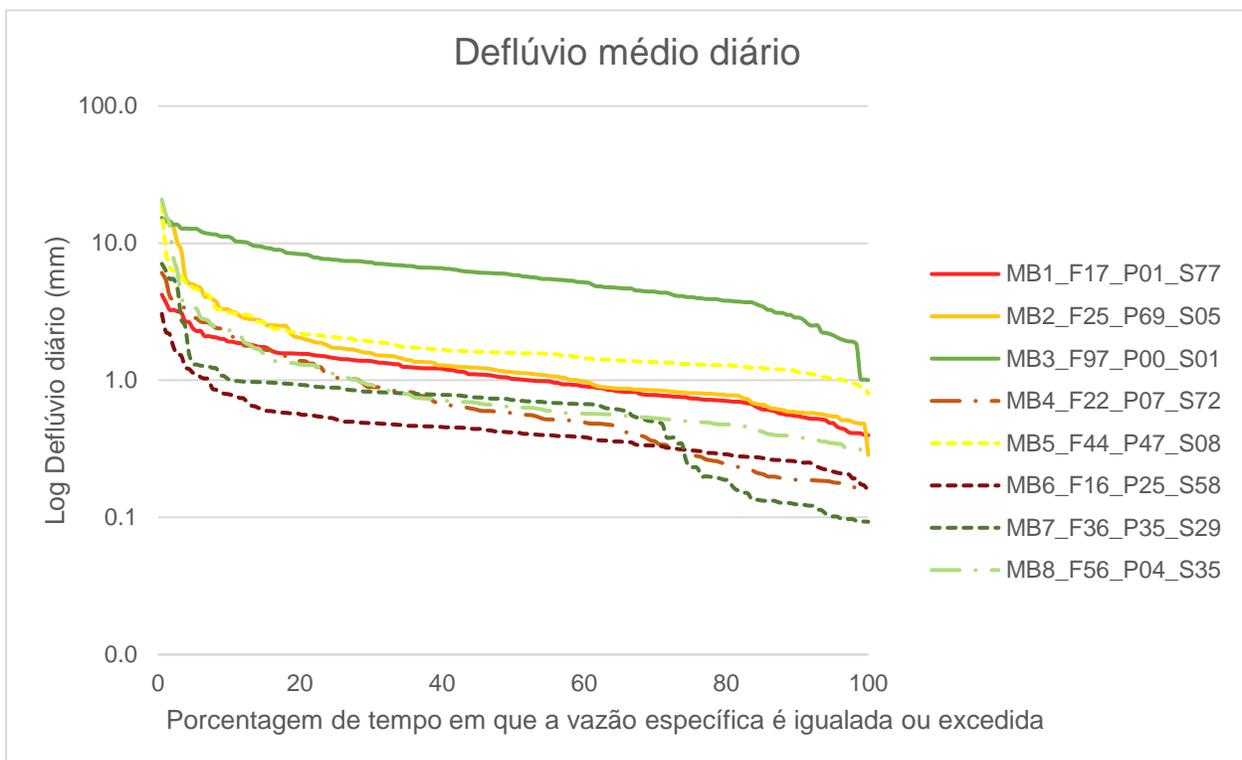


Figura 11 - Curvas de permanência do deflúvio diário das microbacias hidrográficas.

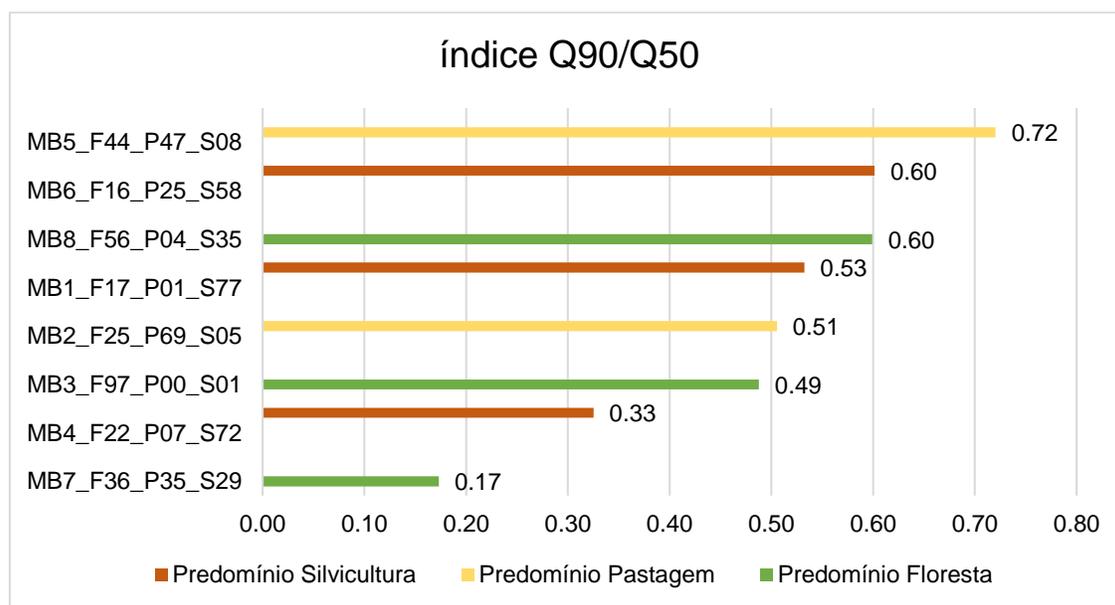
Também foram extraídos alguns percentis da curva de permanência para melhor visualização da diferença do deflúvio entre as microbacias hidrográficas (Tabela 6). A partir deles foi calculado o índice Q90/Q50, que mostrou que as microbacias mais estáveis ao longo do tempo foram MB5\_F44\_P47\_S08, seguida de MB6\_F16\_P25\_S58 e MB8\_F56\_P04\_S35 (Figura 12). Com relação a variabilidade do deflúvio (Q10/Q90), a microbacia MB5\_F44\_P47\_S08 foi a que apresentou a menor variação do deflúvio,

seguida de MB6\_F16\_P25\_S58, MB1\_F17\_P01\_S77 e MB3\_F97\_P00\_S01 (Figura 13). As microbacias MB4\_F22\_P07\_S72 e MB7\_F36\_P35\_S29 foram as que apresentaram as maiores variabilidades do deflúvio e as menores estabilidades.

**Tabela 6 - Percentis extraídos da curva de permanência do deflúvio das microbacias, onde: Q10 = Deflúvio excedido em 10% do tempo, Q50 = Deflúvio excedido em 50% do tempo, Q90 = Deflúvio excedido em 90% do tempo.**

Microbacia	Q10	Q50	Q90
MB1_F17_P01_S77	1,92	1,03	0,55
MB2_F25_P69_S05	3,30	1,15	0,58
MB3_F97_P00_S01	11,16	5,88	2,87
MB4_F22_P07_S72	2,31	0,58	0,19
MB5_F44_P47_S08	3,14	1,59	1,14
MB6_F16_P25_S58	0,79	0,42	0,25
MB7_F36_P35_S29	1,02	0,72	0,12
MB8_F56_P04_S35	2,36	0,64	0,38

\*Dados para o período de 16/11/2021 a 17/05/2022



**Figura 12 – Índice Q90/Q50, que reflete sobre a estabilidade do deflúvio das microbacias hidrográficas. As cores diferenciam o uso do solo predominante de cada microbacia.**

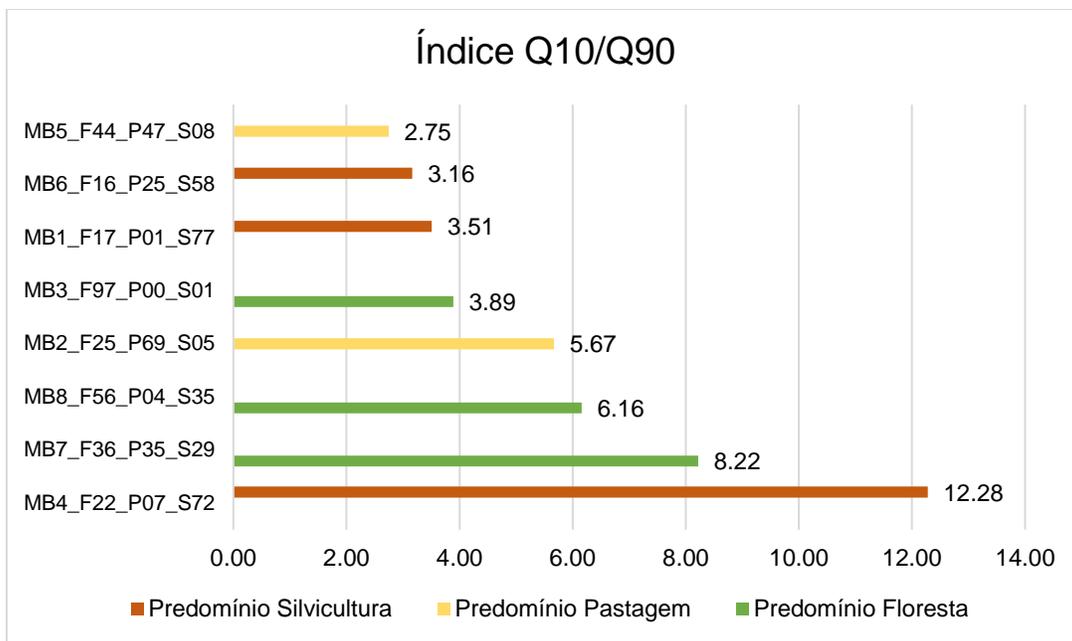
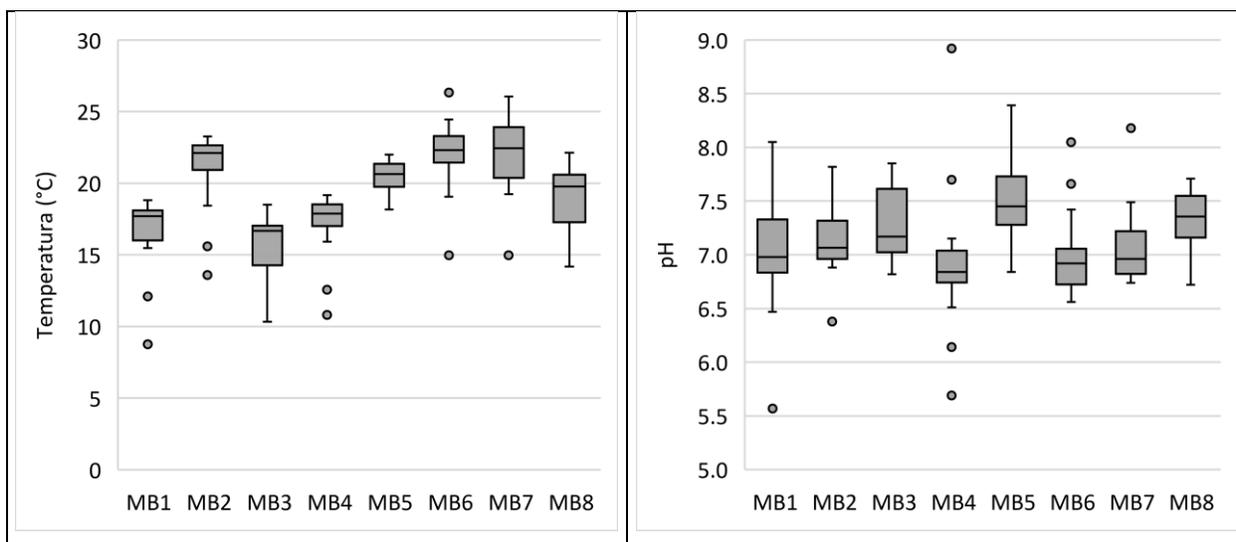


Figura 13 - Índice Q10/Q90, que reflete sobre a regularidade do deflúvio das microbasins hidrográficas. As cores diferenciam o uso do solo predominante de cada microbacia.

### 4.3 Caracterização da qualidade da água

A Figura 14 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos e da concentração de sedimentos suspensos analisados para cada microbacia hidrográfica. A compilação desses resultados também pode ser conferida no ANEXO F.



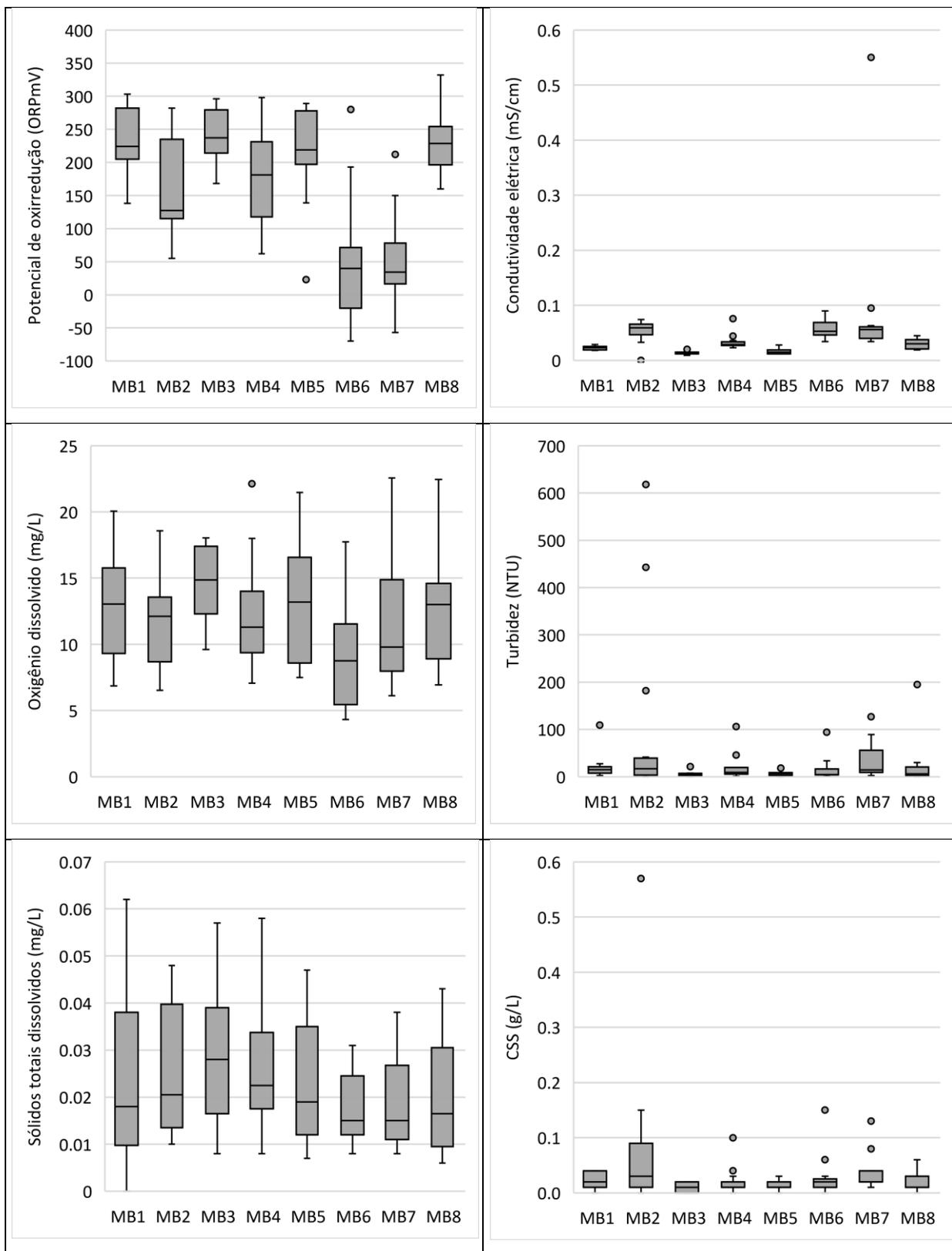
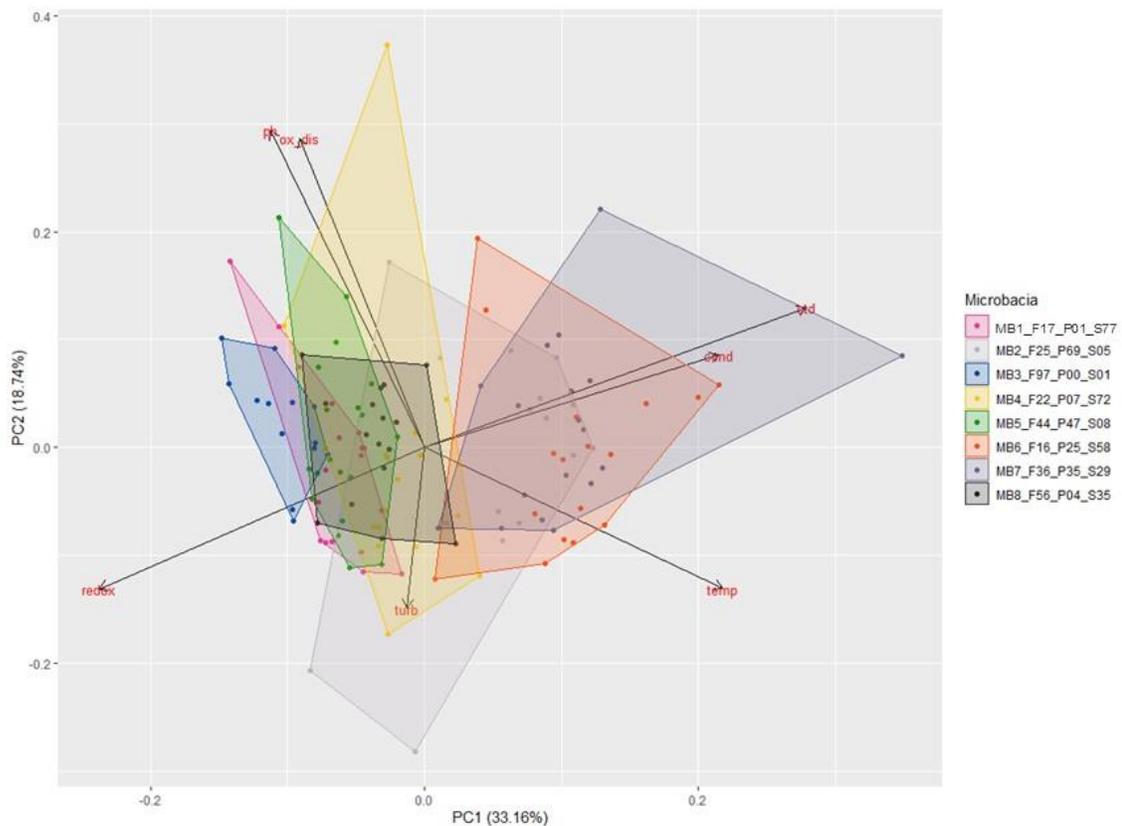


Figura 14 - Box-plot dos parâmetros físico-químicos e da concentração de sedimentos suspensos (CSS), sendo MB1 = MB1\_F17\_P01\_S77; MB2 = MB2\_F25\_P69\_S05; MB3 = MB3\_F97\_P00\_S01; MB4 = MB4\_F22\_P07\_S72; MB5 = MB5\_F44\_P47\_S08; MB6 = MB6\_F16\_P25\_S58; MB7 = MB7\_F36\_P35\_S29; e MB8

**= MB8\_F56\_P04\_S35. A linha horizontal interna das caixas representa a mediana, as extremidades das caixas representam o primeiro e o terceiro quartil, os limites das barras verticais representam os valores máximo e mínimo e os círculos representam os valores extremos.**

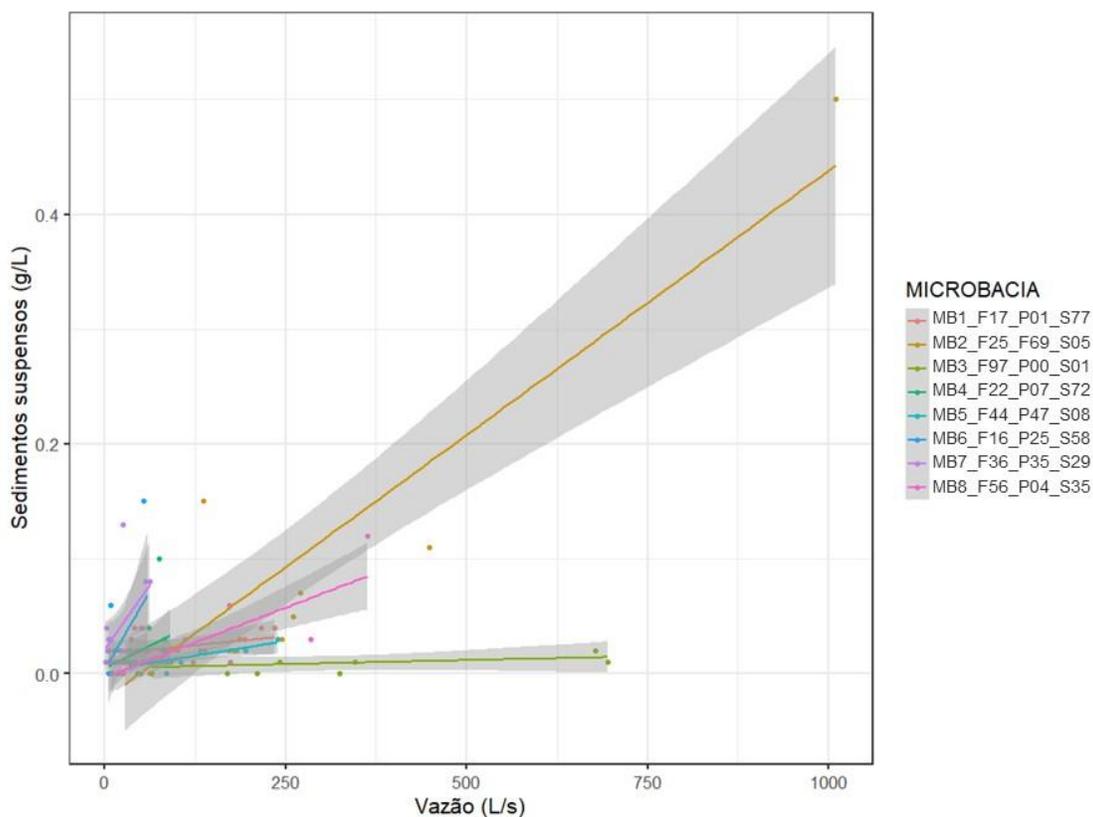
Feito os testes não-paramétrico de Kruskal-Wallis e post-hoc de Dunn, com correção de Bonferroni, foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para todos os parâmetros físico-químicos e para a concentração de sedimentos suspensos, sendo que os que mais apresentaram diferença significativa entre as microbacias foram temperatura, potencial de oxirredução, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (ANEXO G). As microbacias hidrográficas MB6\_F16\_P25\_S58 e MB7\_P35\_F36\_S29 não se diferiram em nenhum desses parâmetros, mostrando maior semelhança entre si, assim como MB1\_F17\_P01\_S77 não apresentou diferença para MB3\_F97\_P00\_S01 e MB4\_F22\_P07\_S72. MB3\_F97\_P00\_S01 e MB5\_F44\_P47\_S08 apresentaram diferença significativa apenas no parâmetro temperatura.

Pela análise da PCA, houve uma grande sobreposição entre as microbacias (Figura 15). Tomando a microbacia MB3\_F97\_P00\_S01 como referência, observamos que as microbacias MB2\_F25\_P69\_S05, MB6\_F16\_P25\_S58 e MB7\_P35\_F36\_S29 são as únicas que não se sobrepõem a ela. Os parâmetros (vetores) mais relacionados a essas três microbacias são a condutividade, sólidos totais dissolvidos e a temperatura, enquanto para MB3\_F97\_P00\_S01 e as microbacias que se relacionam mais com ela são oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxirredução.



**Figura 15 - Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para as microbacias hidrográficas**

A partir da quantificação de sólidos suspensos nas amostras de água, foi feita análise visual da relação entre a vazão e a concentração de sedimentos para cada microbacia hidrográfica (Figura 16). Observou-se que a microbacia MB2\_F25\_P69\_S05 foi a que apresentou maior concentração de sedimentos suspensos com o aumento da vazão, enquanto a microbacia MB3\_F97\_P00\_S01 mostrou uma baixa concentração e maior estabilidade na produção de sedimentos mesmo com o aumento da vazão em decorrência das chuvas.



**Figura 16 - Gráfico de dispersão com retas de tendência para as microbacias hidrográficas estudadas**

Feito o teste de correlação de Kendall entre a vazão e a concentração de sedimentos para cada microbacia hidrográfica estudada, encontrou-se correlação positiva e significativa para as microbacias MB2\_F25\_P69\_S05 ( $p < 0,01$ ), MB7\_P35\_F36\_S29 ( $p < 0,05$ ) e MB8\_F56\_P04\_S35 ( $p < 0,01$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7 - Coeficientes de correlação de Kendall da vazão com a concentração de sedimentos suspensos das microbacias hidrográficas.**

Microbacia	$\tau$
MB1_F17_P01_S77	0,20
MB2_F25_P69_S05	0,69**
MB3_F97_P00_S01	0,23
MB4_F22_P07_S72	0,35
MB5_F44_P47_S08	0,39
MB6_F16_P25_S58	0,36
MB7_F36_P35_S29	0,42*
MB8_F56_P04_S35	0,58**

\* significativo a 5% de probabilidade

\*\* significativo a 1% de probabilidade

#### 4.4 Exportação de sedimentos

A comparação da produção de água e exportação de sedimentos entre as microbacias hidrográficas para o período estudado é mostrada na Tabela 8. A microbacia MB3\_F97\_P00\_S01 foi aquela que produziu a maior quantidade de água por hectare, entretanto foi MB2\_F25\_P69\_S05 que exportou mais sedimentos. MB6\_F16\_P25\_S58 foi a que produziu a menor quantidade de água, o que refletiu no menor transporte de sedimentos por esta microbacia, apesar de ser uma das que apresentaram maior concentração de sedimentos suspensos por litro de água. Juntamente com MB3\_F97\_P00\_S01, apenas MB5\_F44\_P47\_S08 apresentou a menor média de CSS. Dessa forma, apesar de ser a segunda microbacia em produção de água, apresenta um dos mais baixos valores de exportação de sedimentos. Já a microbacia mais heterogênea, MB7\_F36\_P35\_S29, mostrou a segunda maior média da CSS, o que lhe tornou a terceira microbacia a produzir mais sedimentos.

**Tabela 8 - Média da concentração de sedimentos suspensos (CSS), produção de água e exportação de sedimentos suspensos (SS) por microbacia hidrográfica em 183 dias.**

Microbacia	Média da CSS (g/L)	Produção de água L.10 <sup>6</sup> .ha <sup>-1</sup>	Exportação SS kg.ha <sup>-1</sup>
MB1_F17_P01_S77	0,02	2,16	43,20
MB2_F25_P69_S05	0,08	3,28	262,31
MB3_F97_P00_S01	0,01	11,41	114,14
MB4_F22_P07_S72	0,02	1,67	33,35
MB5_F44_P47_S08	0,01	3,70	36,97
MB6_F16_P25_S58	0,03	0,91	27,16
MB7_F36_P35_S29	0,04	1,44	57,42
MB8_F56_P04_S35	0,02	2,26	45,21

\*Período de 16/11/21 a 17/05/22, que totaliza 183 dias

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Produção de água

As microbacias hidrográficas, de forma geral, apresentam características que influenciam na maior ou menor produção de água por elas, e na sua disponibilidade ao longo do tempo. Assim como previsto por Freitas (2020), neste estudo, as microbacias mais ao norte do SC foram aquelas que apresentaram o maior volume de chuvas, enquanto as mais próximas da RMSP foram as que apresentaram menor quantidade.

A microbacia MB3\_F97\_P00\_S01, por exemplo, que fica à nordeste do SC, foi a que apresentou o maior rendimento hídrico, que, por sua vez, refletiu na maior produção de água dentre as microbacias. Em geral, microbacias com predomínio de cobertura florestal apresentam valores de rendimento hídrico menores quando comparadas com microbacias com cobertura de vegetação de porte menor (por exemplo, pastagem), pois florestas apresentam valores maiores de perda de água pela evapotranspiração devido à estrutura florestal, e pela maior rugosidade da superfície do solo, que favorece a infiltração da água da chuva (ZHANG *et al.*, 2001; BROWN *et al.*, 2005). Porém, essa microbacia se difere de outras cobertas por floresta nativa, devido às suas características climáticas, sendo considerada uma *cloud forest*. Esse termo se refere a florestas localizadas em maiores altitudes, onde a evapotranspiração tende a ser bastante reduzida, devido ao baixo recebimento de energia e maior umidade, em decorrência do frequente contato das copas das árvores com as nuvens, sendo considerado um caso especial de florestas (JARVIS; MULLIGAN, 2011).

Valores próximos ao encontrado neste estudo também foram obtidos por Arcova (1996) em duas microbacias experimentais de floresta secundária na região de Cunha – SP, que possuem fortes influências da elevada altitude e dos efeitos orográficos da Serra do Mar. Segundo Ellison *et al.* (2017), a captação da neblina pode representar até 30% da disponibilidade hídrica anual dessas florestas.

O Sistema Cantareira, segundo estimativas, possui cerca de 5% de seu território em condições de ocorrência desse tipo de floresta (POMPEU *et al.*, 2018). Essas regiões são importantes para manter e aumentar a produção de água, em que foi visto que a restauração dessa floresta em 20% da área de captação já gera incrementos na

produção de água (TEIXEIRA *et al.*, 2021). Portanto, essas características e o alto rendimento confirmado neste estudo ressaltam a importância da conservação e restauração das *cloud forests* para oferecer serviços hidrológicos à população (TEIXEIRA *et al.*, 2021), além de serem ambientes de grande relevância para a biodiversidade, no que se refere às taxas de endemismo de espécies (BRUIJNZEEL *et al.*, 2011)

Com relação às microbacias que apresentaram os menores valores de rendimento hídrico, com exceção de MB7\_F36\_P35\_S29, foi observado que se trata das que apresentam as maiores porcentagens de uso do solo por silvicultura (Figura 10). Os valores obtidos são próximos aos de outros estudos realizados em microbacias com predomínio de silvicultura (CASSIANO, 2017; CHILES, 2019). Em comparação com o rendimento hídrico de uma floresta, Chiles (2019), testando microbacias experimentais pareadas, também achou menor rendimento hídrico na microbacia de silvicultura quando a comparou a uma microbacia coberta por floresta.

É de conhecido da literatura científica que os cultivos de eucalipto apresentam elevada demanda hídrica (FARLEY *et al.*, 2005; FERRAZ *et al.*, 2013), recuperando o deflúvio similar a níveis anteriores ao corte, por volta de 15 anos, em florestas plantadas de eucalipto (SCOTT; PRINSLOO, 2008). Dessa forma, o baixo rendimento hídrico observado neste estudo pode estar associado a maior demanda hídrica desse tipo de cultivo, visto que, no Sistema Cantareira, as florestas plantadas, majoritariamente de eucalipto, são voltadas para a produção de papel, celulose, lenha e carvão, que permite o corte do cultivo em poucos anos (de quatro a sete anos) (CHIODI *et al.*, 2013; SARCINELLI, 2015). Isso significa que o cultivo de eucalipto no Sistema Cantareira está sempre na sua fase de maior consumo de água e que extensas áreas podem estar exercendo forte pressão sobre a disponibilidade hídrica do sistema.

Com relação ao uso do solo predominante no SC, as pastagens, também foi encontrado um menor rendimento hídrico para a microbacia com maior porcentagem deste uso (MB2\_F25\_P69\_S05). Esperava-se que essa microbacia se destacasse, tendo em vista que a proporção de uso do solo por pastagem permitiria o maior escoamento da água aos corpos d'água. Entretanto, o seu resultado de rendimento hídrico mostrou-se similar a outros usos. Isso pode estar relacionado com o incremento

da floresta nos últimos anos, em que cerca de metade a cobertura florestal da microbacia é composta por floresta com idade de até 10 anos (ANEXO A). Florestas restauradas ou regeneradas tendem a diminuir o rendimento hídrico, devido ao maior consumo de água pela floresta quando comparado à pastagem (BROWN *et al.*, 2005; SALEMI *et al.*, 2012a), o que pode estar influenciando tal resultado. Para outros estudos em microbacias com predomínio de pastagem, foram encontrados valores médios de 0,22 para a relação Q/P em pastagem extensiva no Cerrado; de 0,51 em microbacia no litoral paulista e valores entre 0,17 e 0,47 para microbacias na Amazônia (SALEMI *et al.*, 2012b).

Com relação à microbacia MB7\_F36\_P35\_S29, que apresenta os três usos do solo em proporções semelhantes, o valor de rendimento hídrico foi o mais baixo. Nesta microbacia, assim como em MB2\_F25\_P69\_S05, algumas áreas foram convertidas em floresta nativa nos últimos anos, o que pode ter aumentado o consumo de água. Já as áreas de pastagem são bem manejadas, a fim de evitar a degradação do solo e favorecer a infiltração (UEZU *et al.*, 2017). Dessa forma, apesar das características morfométricas da microbacia, que favorecem o escoamento de água, essas práticas podem estar contribuindo para o menor rendimento hídrico.

Em princípio, de acordo com valores de Q/P, a microbacia MB3\_F97\_P00\_S01 apresenta uma alta provisão de água, um baixo nível de uso da água e um alto potencial de recarga, enquanto nas demais microbacias, a provisão de água é considerada média, e o uso da água e o potencial de recarga são moderados (BARAL *et al.*, 2013).

Além da produção de água, espera-se que uma microbacia não seja um “recipiente impermeável”, em que toda a água recebida seja transmitida aos rios imediatamente, mas sim lentamente, permitindo a infiltração da água no solo e o abastecimento do lençol freático para o período de estiagem (VALENTE; CASTRO, 1983). Sendo assim, por meio da análise da curva de permanência e dos índices hidrológicos calculados neste estudo, foi possível extrair informações sobre a capacidade de regulação da água das microbacias avaliadas.

As curvas de permanência mais íngremes, como as apresentadas por MB4\_F22\_P07\_S72 e MB7\_F36\_P35\_S29, indicam uma rápida resposta do fluxo às entradas de precipitação, enquanto as curvas mais planas indicam uma resposta

relativamente amortecida e maior armazenamento da água (YADAV *et al.*, 2007). Com relação aos índices Q10/Q90 e Q90/Q50, ainda são escassos os estudos que trazem esses índices, apesar de serem importantes para caracterizar o fluxo em microbacias hidrográficas e sua resposta às mudanças do regime de chuva, ainda mais tendo em vista o impacto das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico (STRAUCH *et al.*, 2015; IPCC, 2020).

Para as microbacias com predomínio de silvicultura e diferentes proporções de floresta associada (MB1, MB4 e MB6), foram encontradas relações diferentes desses índices quando comparado com o estudo de Cassiano (2017). Dentre elas, para a microbacia com maior proporção de floresta (MB4\_F22\_P07\_S72), foi observado menores estabilidade e regularidade, enquanto as microbacias com predomínio de silvicultura, porém menores proporções de floresta (MB1\_F17\_P01\_S77 e MB6\_F16\_P25\_S58) foram observadas uma maior regularidade e uma maior estabilidade. Em Cassiano (2017), a maior proporção de floresta na microbacia com predomínio de silvicultura favoreceu uma maior estabilidade do fluxo, entretanto uma menor regularidade quando a proporção de floresta é menor. Como Cassiano (2017) realizou o teste em microbacias pareadas, com maior similaridade das características fisiográficas e de regime de chuvas entre elas, pode ser que os diferentes resultados encontrados neste estudo estejam relacionados com as maiores diferenças existentes entre as microbacias analisadas.

Dentre os usos, a microbacia MB5\_F44\_P47\_S08 foi a que apresentou maior estabilidade e menor variabilidade do fluxo. Isso significa que, em épocas chuvosas, esta microbacia tende a armazenar água e, na época seca, a liberar lentamente para os cursos d'água (CASTRO, 1980). Este seria um cenário ideal para uma microbacia, tendo em vista o impacto das mudanças climáticas no regime de chuvas, que prevê período de estiagem mais longo e chuvas mais intensas no verão (IPCC, 2020). Em contraponto, assim como o menor rendimento hídrico apresentado, MB7\_F36\_P35\_S29 foi uma das microbacias com menor estabilidade e maior variabilidade do deflúvio ao longo do período amostrado.

É importante ressaltar que estes índices foram calculados a partir da curva de permanência gerada em um período menor que 1 ano hídrico (cerca de 6 meses),

englobando as vazões referentes, sobretudo, ao período de maior precipitação. Dessa forma, apesar da curva de permanência ser utilizada para demonstrar o regime hídrico anual, mensal ou de determinado período (GORDON *et al.*, 2004), espera-se que os valores dos índices encontrados neste estudo sofram modificações se valores de vazão mínima das microbacias forem inseridos na curva de permanência. Portanto, é interessante que o monitoramento da vazão seja continuado, com o intuito de se captar as vazões mínimas e completar o ano hidrológico. A análise em longo prazo de microbacias pela curva de permanência e a comparação entre os diferentes anos hídricos podem fornecer informações preciosas sobre o comportamento hidrológico da microbacia perante menores ou maiores médias anuais de precipitação. Strauch *et al.* (2015), por exemplo, realizando este monitoramento encontrou correlações positiva entre a precipitação média anual e a estabilidade do fluxo (índice Q90/Q50), e negativa entre a precipitação média anual e a variabilidade do fluxo (índice Q10/Q90). Dessa forma, em cenários de mudanças climáticas, em que alterações na quantidade e distribuição das chuvas, juntamente com o aquecimento, estão trazendo consequências para a disponibilidade de água doce, é importante a geração desses índices a fim de comparar os fluxos e entender a resposta de cada microbacia a essas alterações (STRAUCH *et al.*, 2015). Assim, será possível subsidiar o planejamento de paisagens que sejam mais resiliente às modificações do clima.

## **5.2 Qualidade da água**

Comparando os resultados dos parâmetros com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), apenas as microbacias MB3\_F97\_P00\_S01 e MB5\_F44\_P47\_S08 podem ser enquadradas na Classe 1 de água doce. As demais microbacias não se enquadrariam em nenhuma das demais classes, pois excederam, em alguma amostra (ANEXO F), o valor máximo de turbidez (100 UTN). Já no caso de MB1\_F17\_P01\_S77 e MB4\_F22\_P07\_S72, apresentaram valores de pH fora do intervalo permitido ( $\text{pH} < 6,00$ ). De forma geral, todas as microbacias apresentaram em todas as medições valores inferiores ao limite de 500mg/L de sólidos totais dissolvidos, e valores superiores a 5mg/L de oxigênio dissolvido, sendo este

estabelecido como o valor mínimo para a preservação da vida aquática, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Assim como observado neste trabalho, estudos que compararam microbacias florestadas com outros tipos de uso do solo também mostraram a melhor qualidade da água nesta primeira (ARCOVA; CICCIO, 1999; PINTO *et al.*, 2009; SIMEDO *et al.*, 2018). Estas microbacias servem como referência para a comparação com outras microbacias de diferentes usos, pois representam a melhor condição desejada, do ponto de vista da proteção dos recursos hídricos (DONADIO *et al.*, 2005). Logo, MB5\_F44\_P47\_S08 apresentar parâmetros similares a MB3\_F97\_P00\_S01 caracteriza a melhor condição da qualidade da água desta microbacia. Em contrapartida, MB2\_F25\_P69\_S05, MB6\_F16\_P25\_S58 e MB7\_F36\_P35\_S29 foram as que mais se distanciaram da microbacia de referência (Figura 15), sendo caracterizadas por maiores valores de turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. Maiores valores desses parâmetros também foram encontrados em outros estudos, relacionando-os a locais mais antropizados, com menor predominância de mata e maior potencial de erosão (BERTOSSI *et al.*, 2013; SOUZA; GASTALDINI, 2014; ARAUJO *et al.*, 2018), o que corrobora com a diferença encontrada para MB3\_F97\_P00\_S01.

Altos valores de condutividade elétrica, que resultam em maiores concentrações de sólidos totais dissolvidos, podem estar relacionados com a formação geológica da área em questão, porém tendem a ser estáveis (EMBRAPA, 2022). Entretanto, se a condutividade sofre variações ao longo do tempo, como observado na microbacia MB7\_F36\_P35\_S29 (ANEXO F), pode ser indicativo de fontes não pontuais de efluentes (EMBRAPA, 2022).

Outro importante fator que impacta a qualidade dos rios e se relaciona com esses parâmetros é a presença ou não da mata ciliar. A vegetação ripária evita a entrada do fluxo de sedimentos e nutrientes, previne o aumento da turbidez das águas e protege as margens contra erosão, estando diretamente relacionada à qualidade das águas (TABACCHI *et al.*, 2000; DONADIO *et al.*, 2005; SALEMI *et al.*, 2012a). Dessa forma, a baixa cobertura da APP com vegetação florestal, atrelado à composição do uso do solo e ao relevo, que potencializa o escoamento superficial em MB2\_F25\_P69\_S05,

MB6\_F16\_P25\_S58 e MB7\_F36\_P35\_S29, podem estar favorecendo a menor qualidade das águas dessas microbacias.

Com relação à concentração de sedimentos suspensos, os valores oscilaram entre 0 e 0,57 g/L. De acordo com o teste de Kruskal-Wallis, houve diferenças significativas apenas entre as microbacias MB3\_F97\_P00\_S01 e MB7\_F36\_P35\_S29, e MB5\_F44\_P47\_S08 e MB7\_F36\_P35\_S29, em que MB3\_F97\_P00\_S01 e MB5\_F44\_P47\_S08 apresentaram as menores medianas. Novamente, essas duas microbacias mostram semelhanças, podendo ser consideradas como tendo as melhores condições de qualidade da água neste estudo.

As maiores médias de concentração de sedimentos foram encontradas nas microbacias MB2\_F25\_P69\_S05, MB6\_F16\_P25\_S58 e MB7\_F36\_P35\_S29, sendo que altos valores indicam maiores concentrações de matéria orgânica e inorgânica e de nutrientes (WETZEL, 2001). A maior entrada desses sedimentos é favorecida pelos solos mais desprotegidos, como em MB2\_F25\_P69\_S05 e MB6\_F16\_P25\_S58, que tendem a produzir mais sedimentos, e pela ausência da mata ciliar. Outro fator, pode ser as características fisiográficas da área, como em MB7\_F36\_P35\_S29, as quais favorecem o transporte de sedimentos. Além disso, a presença de animais com acesso livre aos rios, como observado nestas microbacias, também favorece a entrada de matéria orgânica e a degradação das margens, que igualmente são fonte de sedimentos (GORDON *et al.*, 2004).

### **5.3 Exportação de sedimentos suspensos**

Os principais resultados desta análise mostraram que a microbacia com maior proporção de pastagem (MB2\_F25\_P69\_S05) foi a que transportou a maior quantidade de sedimentos suspensos, apesar de não ter sido a microbacia que produziu a maior quantidade de água. A microbacia com maior proporção de floresta (MB3\_F97\_P00\_S01) também transportou maior quantidade de sedimentos quando comparada às outras microbacias, entretanto a sua produção de água também é maior em relação às demais, de forma que se pode considerar como o custo da exportação de sedimentos baixo. A microbacia com predomínio de silvicultura (MB1\_F17\_P01\_S77) e as demais microbacias, que apresentam uso do solo com composições heterogêneas,

apresentaram resultados mais baixos e semelhantes de transporte de sedimentos. Nestas microbacias, as características fisiográficas, climáticas e de tipo de solo podem estar exercendo tanta influência quanto o uso do solo em si, devido à maior heterogeneidade da composição.

A maior exportação de sedimentos suspensos na microbacia com predomínio de pastagem já era esperada, tendo em vista que grande parte das pastagens presentes no SC encontram-se degradadas (UEZU *et al.*, 2017). Dessa forma, a alteração da proteção do solo torna-o susceptível à ação do impacto das gotas de chuva e ao escoamento superficial, promovendo a desestruturação da camada superficial do solo e o aumento da erosão e da exportação de sedimentos (BAKKER *et al.*, 2008; PERAZZOLI *et al.*, 2013). Outras características fisiográficas da microbacia, bem como a baixa cobertura por floresta na APP hídrica (Tabela 2), também contribuem para a maior exportação de sedimentos. É relevante destacar que esta é a microbacia que possui a maior densidade da drenagem por km<sup>2</sup> e grande amplitude altimétrica. Essas características, associadas à redução dos obstáculos que a água encontra para chegar ao solo e escoar superficialmente, aumentam a velocidade e a capacidade erosiva da água, que chega mais rapidamente aos cursos d'água, resultando na elevação súbita do rio e no maior transporte de sedimentos pela maior energia do fluxo. Outro ponto a ser destacado, é que esta microbacia foi a segunda com o maior acúmulo de precipitação, o que potencializa os processos descritos acima. Sendo assim, esta microbacia já apresenta características que a tornam mais vulneráveis ao processo de erosão e o uso do solo por pastagem favorece ainda mais este processo.

Para a microbacia com maior proporção de floresta (MB3\_F97\_P00\_S01), a maior produção de sedimentos se deu pelo grande volume de água produzido, consideravelmente maior em relação as demais microbacias. No entanto, a provisão de água aos rios ocorreu de forma lenta, menos responsiva ao evento de chuva (Figura 4 e Figura 11), em que apesar do aumento da vazão, a concentração de sedimentos se manteve constante (Figura 16). Este tipo de composição promove a interceptação e a maior rugosidade superficial do solo, que retarda o escoamento superficial, favorecendo a infiltração e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade erosiva do escoamento e, assim, o transporte de sedimentos (TUCCI, 1993; LARSON *et al.*, 1997). Além disso, as

APP hídricas desta microbacia são praticamente 100% cobertas por floresta, o que confere barreira à entrada de sedimentos e estabilização das margens (GORDON *et al.*, 2004). Dessa forma, a maior composição por floresta se mostrou eficiente na retenção dos sedimentos.

Com relação à microbacia com maior proporção de silvicultura (MB1\_F17\_P01\_S77), a exportação de sedimentos suspensos se mostrou inferior aos resultados obtidos para as microbacias com maiores proporções de pastagem e floresta. Este resultado se difere do encontrado por Rieger *et al.* (2014), que observaram que a silvicultura produziu mais sedimentos que a pastagem, que, por sua vez, produziu mais sedimentos que a floresta. Segundo estes autores, isso ocorreu devido ao recente plantio dos eucaliptos, que estavam em sua fase inicial, e a baixa interceptação pela copa que, atrelado aos tratamentos culturais nas linhas, pode ter favorecido o escoamento superficial. A divergência entre os resultados encontrados pode estar relacionada às diferenças metodológicas entre os dois estudos, em que Rieger *et al.* (2014) estabeleceram parcelas experimentais de mesmo tamanho no estado de Mato Grosso, em declividades médias de 1,5%, 100% cobertas por um único uso do solo e submetidas ao mesmo regime de chuva, além da diferença da metodologia para calcular a quantidade de sedimentos. Isso evidencia a complexidade de se realizar estudos em escala de paisagem, em que características topográficas, climáticas e de tipos de solo estão exercendo influência, além do uso do solo (FAN; SHIBATA, 2014; BRAUMAN, 2015). Entretanto, a maior produção de sedimentos e exportação para os rios pela silvicultura pode ser uma realidade para o SC, tendo em vista que esta é a atividade agropecuária que mais ocupa irregularmente as APP na região (SARCINELLI, 2015), sendo que as operações de manejo florestal têm sido demonstradas como fontes importantes de sedimentos para os cursos d'água (ANDERSON; LOCKABY, 2011). Dessa forma, dependendo do manejo da silvicultura e do tempo de plantio, áreas de silvicultura podem ser bastante impactantes na produção de sedimentos.

Dentre as microbacias com composições mais heterogêneas, o uso do solo combinado entre floresta e pastagem (MB5\_F44\_P47\_S08) mostrou o melhor resultado para a relação produção de água e exportação de sedimentos. Tal resultado sugere a maior contribuição das características fisiográficas da microbacia e do tipo de solo, tendo

em vista que esta microbacia apresenta mais da metade de sua APP hídrica desprotegida e suas características morfométricas favorecem menos os processos erosivos e a ocorrência de enxurradas, quando comparadas à outra microbacia, MB8\_F56\_P04\_S35, que apresenta maior proporção de floresta, porém características fisiográficas, além de um solo mais vulnerável (cambissolo) que favorecem a erosão, o que pode justificar sua maior exportação de sedimentos suspensos.

Para a microbacia que representa a composição do uso do solo mais heterogênea (MB7\_F36\_P35\_S29), os resultados demonstram um maior processo erosivo, apesar da menor produção de água. O tamanho da microbacia e suas características fisiográficas podem estar contribuindo para o transporte de sedimentos pelo rio, além do uso do solo. Segundo Gordon *et al.* (2004), em bacias maiores, o sedimento transportado tem maiores chances de se depositar ao longo dos canais do que em bacias menores. Como esta microbacia é menor que as demais, essa característica pode ser um contribuinte. Atrelado a isso, essa microbacia apresenta o segundo maior valor no gradiente do canal principal que, segundo Nunes *et al.* (2006), confere uma maior capacidade de transporte de sedimentos, devido à maior amplitude altimétrica, que gera maior energia no fluxo.

Segundo a FAO (1967), pode-se considerar tolerantes taxas de perda de solo entre 2000 e 12.500 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo que, para Aust; Blinn (2004), perdas entre 500 e 1.000 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> são consideradas próximas às taxas de erosão geológica. Para o Brasil, os valores de tolerância de perda dos solos variam entre 4.200 e 15.000 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (LOMBARDI NETO; BERTONI, 1975). Desta forma, dentre os valores registrados para todas as microbacias avaliadas neste trabalho, nenhuma delas ultrapassou os estabelecidos nacional e internacionalmente. Entretanto, vale destacar que apesar da amostragem realizada no presente estudo englobar período inferior a um ano (medida temporal utilizada na elaboração destes índices), o período amostrado corresponde aos momentos de maiores taxas de precipitação, sendo este um dos principais fatores associados à erosão hídrica (CARVALHO, 1994).

Apesar de não ultrapassar os limites toleráveis, melhorar a capacidade de uma microbacia em reter sedimentos é de grande importância para os serviços ecossistêmicos hidrológicos, visto que a entrada de sedimentos nos rios acarreta diversos danos, como a redução do canal e maiores chances de enchentes, prejuízos a

vida aquática, contaminação da água e o assoreamento de reservatórios (BAKKER *et al.*, 2008; DING *et al.*, 2016; GIRI; QIU, 2016; OZMENT *et al.*, 2018), como no caso do Sistema Cantareira. Além disso, a redução da poluição por sedimentos reduziria os custos de controle de turbidez e dragagem para as empresas de abastecimento do SC (OZMENT *et al.*, 2018).

De forma geral, as microbacias do SC são vulneráveis à erosão, tendo em vista as maiores declividades e os tipos de solo presentes na região (UEZU *et al.*, 2017), o que torna ainda mais importante a necessidade de alternativas de produção mais sustentáveis que previnam processos erosivos e protejam os serviços hidrológicos. A restauração das áreas de APP, por exemplo, é reconhecida com um eficiente mecanismo de retenção dos sedimentos e melhoraria da qualidade das águas (SALEMI *et al.*, 2012a) e já foi constatada sua contribuição para melhorar a estabilidade no abastecimento de água no SC, contribuindo também para o aumento de sua resiliência diante das mudanças climáticas (FREITAS *et al.*, 2022).

## 6 CONCLUSÃO

Estabelecer uma relação direta entre as diferentes composições de usos do solo e a forma como essas paisagens provêm múltiplos serviços hidrológicos mostrou-se algo complexo. Isto está relacionado às individualidades de cada microbacia hidrográfica estudada, uma vez que apresentam diferenças climáticas, topográficas e do tipo de solo, além das distintas composições e demais atributos da paisagem. Contudo, o presente trabalho obteve importantes informações acerca da qualidade e disponibilidade da água no Sistema Cantareira, sendo as principais:

- As microbacias hidrográficas cobertas por *cloud forest* são importantes para a produção de água com alta qualidade e para a retenção de sedimentos no SC, sendo vantajosa a sua preservação e o incentivo da sua restauração visando o incremento desses benefícios;
- A produção de água em microbacias com grande proporção de pastagem está associada à uma elevada produção de sedimentos e à perda de qualidade da água. Isso torna imprescindível ações visando a conservação do solo nessas áreas, de

forma a diminuir os prejuízos ao meio aquático, às atividades econômicas e ao abastecimento, tendo em vista que este é o uso do solo predominante no SC;

- Para as microbacias com predomínio de silvicultura, os menores valores de rendimento hídrico confirmam a sua alta demanda por água. Melhores técnicas de manejo dos cultivos, como o manejo em mosaico de espécies e idades, e o respeito às APP podem auxiliar na estabilização da vazão e na melhoria da qualidade da água dessas microbacias.

Sendo assim, espera-se que este estudo fomenta novas pesquisas e seja base para o aprofundamento das técnicas de análise, bem como sirva de subsídios para futuras modelagens para a região do SC. Dessa forma, aliando pesquisa científica com a tomada de decisões, será possível um melhor planejamento do território, visando sustentar e melhorar os serviços hidrológicos frente às crescentes pressões e incertezas climáticas.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, 711, 2013.

ANDERSON, C. J.; LOCKABY, B. G. Research gaps related to forest management and stream sediment in the United States. *Environmental Management*, v. 47, n. 2, 303, 2011. ISSN 1432-1009.

ARAUJO, P. L. et al. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo-SP. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 15, n. 2018, 2018. ISSN 2359-1919.

ARCOVA, F. C. S. **Balanco hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP**. 1996. Universidade de São Paulo

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. D. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo Water quality in small watersheds with different land uses in Cunha region, State of São Paulo. *Scientia florestalis*, v. 56, 125, 1999.

AUST, W. M.; BLINN, C. R. Forestry best management practices for timber harvesting and site preparation in the eastern United States: An overview of water quality and productivity research during the past 20 years (1982–2002). *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, v. 4, n. 1, 5, 2004. ISSN 1573-2940.

BAKKER, M. M. et al. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology*, v. 98, n. 3-4, 213, 2008. ISSN 0169-555X.

BARAL, H. et al. Spatial assessment of ecosystem goods and services in complex production landscapes: A case study from south-eastern Australia. *Ecological Complexity*, v. 13, 35, 2013. ISSN 1476-945X.

BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, v. 12, n. 12, 1394, 2009.

BERTOSSI, A. P. A. et al. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. *Revista Árvore*, v. 37, 107, 2013. ISSN 0100-6762.

BOGGS, J. et al. Effect of Soils on Water Quantity and Quality in Piedmont Forested Headwater Watersheds of North Carolina 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 49, n. 1, 132, 2013. ISSN 1093-474X.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 2005. p. °58.*

BRAUMAN, K. A. Hydrologic ecosystem services: linking ecohydrologic processes to human well-being in water research and watershed management. *WIREs Water*, v. 2, n. 4, 345, 2015.

BRAUMAN, K. A. et al. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 32, 67, 2007.

BROWN, A. E. et al. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, v. 310, n. 1-4, 28, 2005. ISSN 0022-1694.

BRUIJNZEEL, L. A.; MULLIGAN, M.; SCATENA, F. N. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, v. 25, n. 3, 465, 2011. ISSN 0885-6087.

CAISSIE, D.; ROBICHAUD, S. *Towards a better understanding of the natural flow regimes and streamflow characteristics of rivers of the Maritime Provinces*. Fisheries and Oceans Canada Ottawa, 2009.

CARVALHO, N. D. O. et al. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: 2000. Relatório.

CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia*. Rio de Janeiro: CPMR, 1994.

CASSIANO, C. C. **Efeitos hidrológicos da composição da paisagem em microbacias com florestas plantadas de Eucalyptus**. 2017. Universidade de São Paulo

CASSIANO, C.C.; MOREIRA, R. M.; FERRAZ, S. F. B. Fast-growing forest management to regulate the balance between wood production and water supply. *Scientia Agricola*, v. 80, e20210148, 2023. ISSN 1678-992X.

CASTRO, P. S. A. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG**. 1980. ESALQ, Piracicaba, SP

CHEREM, L. F. S. et al. Análise morfométrica em bacias hidrográficas. In: MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. D. P. (Org.). *Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais*. 1. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. cap. 7,175.

CHEVALLIER, P. Aquisição e Processamento de Dados. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. cap. 13,485.

CHILES, C. R. **Geração de escoamento direto em microbacias hidrográficas com coberturas florestais na região subtropical**. 2019. Universidade de São Paulo

CHIODI, R. E.; SARCINELLI, O.; UEZU, A. Atividades produtivas rurais, uso dos recursos naturais e políticas públicas na área afetada pelo Sistema Produtor de Água Cantareira. In: 51 Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 187.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. 2ª. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. 336.

COMITÊ PCJ. *Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Final*. PIRACICABA - SÃO PAULO – BRASIL: 2020a. Relatório.

COMITÊ PCJ. *Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Síntese*. 2020b. Relatório.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 6630, 253, 1997.

DING, J. et al. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of the Total Environment*, v. 551-552, 205, 2016.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. D. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Engenharia Agrícola*, v. 25, 115, 2005. ISSN 0100-6916.

ELLISON, D. et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, v. 43, 51, 2017. ISSN 0959-3780.

EMBRAPA. *Condutividade*. 2022. Disponível em: <<https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>>. Acesso em: 06/2022.

FAN, M.; SHIBATA, H. Spatial and temporal analysis of hydrological provision ecosystem services for watershed conservation planning of water resources. *Water Resources Management*, v. 28, n. 11, 3619, 2014.

FAO. *La erosion del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma: 1967. Relatório.

FARLEY, K. A.; JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global change biology*, v. 11, n. 10, 1565, 2005. ISSN 1354-1013.

FERRAZ, S. F. B.; DE PAULA LIMA, W.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. *Forest Ecology Management*, v. 301, 58, 2013. ISSN 0378-1127.

FREEMAN, M. C.; PRINGLE, C. M.; JACKSON, C. R. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 43, n. 1, 5, 2007.

FREITAS, G. N. São Paulo drought: Trends in streamflow and their relationship to climate and human-induced change in Cantareira watershed, Southeast Brazil. *Hydrology Research*, v. 51, n. 4, 750, 2020.

FREITAS, L. D. D. et al. How Far Can Nature-Based Solutions Increase Water Supply Resilience to Climate Change in One of the Most Important Brazilian Watersheds? *Earth*, v. 3, n. 3, 748, 2022. ISSN 2673-4834.

GIRI, S.; QIU, Z. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 173, 41, 2016.

GORDON, N. D. et al. *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. John Wiley and Sons, 2004. 446.

HUETING, R. et al. The concept of environmental function and its valuation. *Ecological Economics*, v. 25, n. 1, 31, 1998.

IPBES. *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: 2019. Relatório.

IPCC. *Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.* 2020. Relatório.

JARVIS, A.; MULLIGAN, M. The climate of cloud forests. *Hydrological Processes*, v. 25, n. 3, 327, 2011. ISSN 0885-6087.

KEPNER, W. G. et al. Hydrologic futures: using scenario analysis to evaluate impacts of forecasted land use change on hydrologic services. *Ecosphere*, v. 3, n. 7, art69, 2012.

LANE, P. N. J. et al. The response of flow duration curves to afforestation. *Journal of Hydrology*, v. 310, n. 1-4, 253, 2005. ISSN 0022-1694.

LARSON, W. E.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, T. E. The role of severe storms in soil erosion: a problem needing consideration. *Journal of Soil Water Conservation*, v. 52, n. 2, 90, 1997. ISSN 0022-4561.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. *Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo.* Campinas: Instituto Agrônomo, 1975.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. D. P.; LAVARINI, C. Unidades espaciais de estudo e elementos do sistema fluvial: bases conceituais. In: MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. D. P. (Org.). *Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais.* 1. Rio de Janeiro-RJ: Bertrand Brasil, 2020. cap. 2,51.

MELLO, K. D. et al. ***Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil:*** Academic Press. 270: 110879 p. 2020.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Washington, DC: Island Press, 2005. 155.

MUNANG, R. et al. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, n. 1, 47, 2013.

NOVO, E. C.; HORA, M. D. A. G. M. Estabelecimento das curvas-chave, geração das séries de vazões e estimativa das vazões máximas outorgáveis nos postos da sub-bacia Guapi-Macacu, RJ. *Sistemas & Gestão*, v. 14, 464, 2019.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006. p.2006.

O'FARRELL, P. J.; ANDERSON, P. M. L. ***Sustainable multifunctional landscapes: A review to implementation:*** Elsevier. 2: 59 p. 2010.

OZMENT, S. et al. *Infraestrutura Natural para Água no Sistema Cantareira, São Paulo.* World Resources Institute, 2018. 92.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia-SC. *Revista Árvore*, v. 37, n. 5, 859, 2013. ISSN 0100-6762.

PINTO, D. B. F. et al. Qualidade da água do ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande-MG, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 4, 1145, 2009. ISSN 1413-7054.

POMPEU, P. V. et al. Assessing Atlantic cloud forest extent and protection status in southeastern Brazil. *Journal for Nature Conservation*, v. 43, 146, 2018. ISSN 1617-1381.

QIU, J.; TURNER, M. G. Importance of landscape heterogeneity in sustaining hydrologic ecosystem services in an agricultural watershed. *Ecosphere*, v. 6, n. 11, 2015.

RIEGER, F. A. et al. Perda de água e sedimentos em diferentes usos do solo. Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em anais de congresso (ALICE), 2014, In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2.

RODRIGUES, R. R.; BONONI, V. L. R. *Diretrizes para conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo*. 2008. Relatório.

SALEMI, L. F. et al. Riparian vegetation and water yield: a synthesis. *Journal of Hydrology*, v. 454, 195, 2012a. ISSN 0022-1694.

SALEMI, L. F. et al. Consequências hidrológicas da mudança de uso da terra de floresta para pastagem na região da floresta tropical pluvial Atlântica. *Revista Ambiente Água*. v. 7, 127, 2012b. ISSN 1980-993X.

SANTOS, I. et al. *Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SARCINELLI, O. **Custo efetividade na conservação dos serviços ecossistêmicos: estudo de caso no Sistema Produtor de Água Cantareira**. 2015. Universidade Estadual de Campinas

SCOTT, D. F.; PRINSLOO, F. W. Longer-term effects of pine and eucalypt plantations on streamflow. *Water resources research*, v. 44, n. 7, 2008. ISSN 0043-1397.

SEFIONE, A. L. **Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave**. 2002. 240 (Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hídricas Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

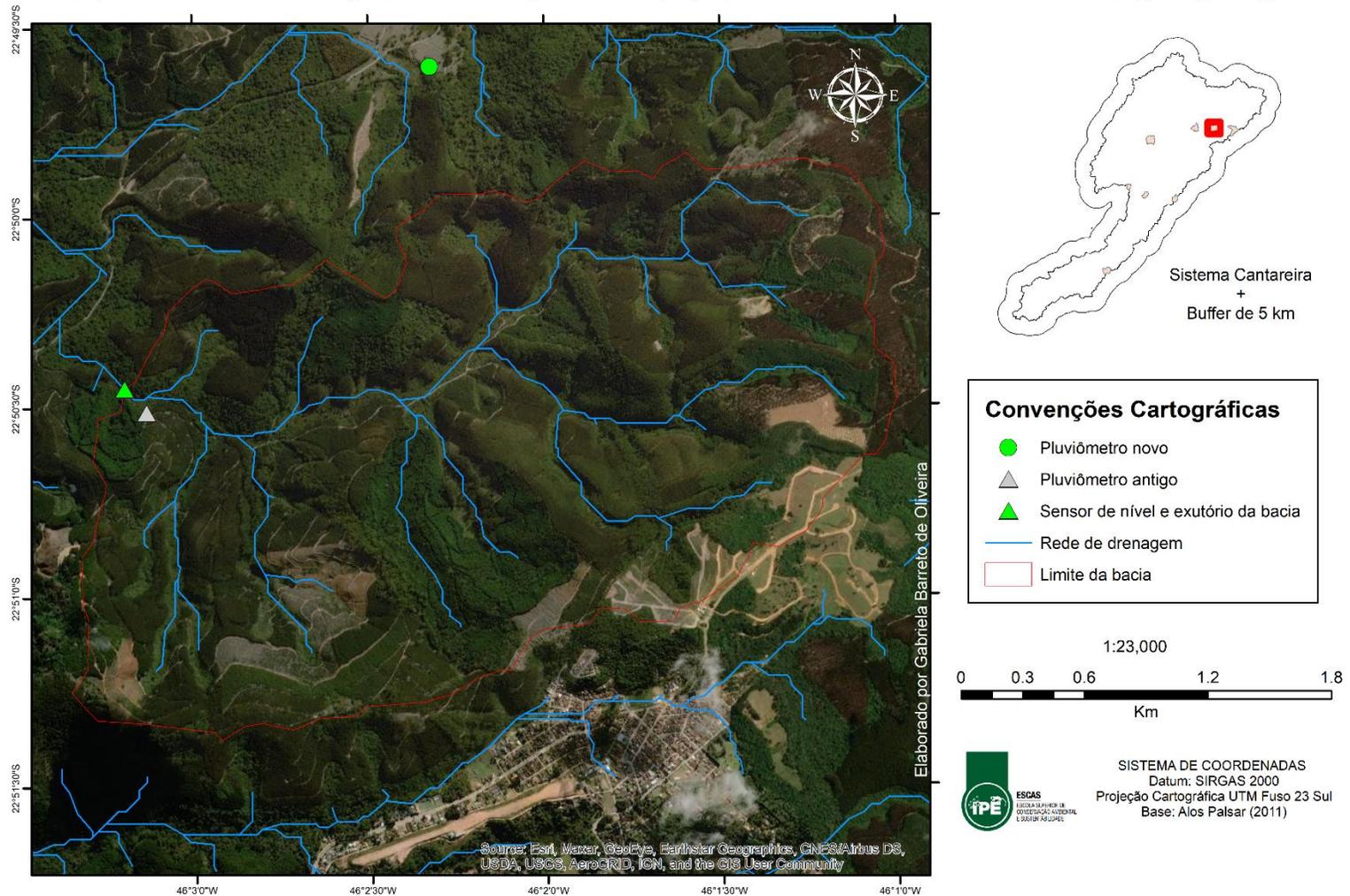
SIMEDO, M. B. L. et al. Effect of watershed land use on water quality: a case study in Córrego da Olaria Basin, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 78, n. 4, 625, 2018.

- SOUZA, M. M. D.; GASTALDINI, M. D. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 19, n. 3, 263, 2014. ISSN 1413-4152.
- STRAUCH, A. M. et al. Climate driven changes to rainfall and streamflow patterns in a model tropical island hydrological system. *Journal of Hydrology*, v. 523, 160, 2015. ISSN 0022-1694.
- TABACCHI, E. et al. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. *Hydrological Processes*, v. 14, n. 16-17, 2959, 2000. ISSN 0885-6087.
- TEIXEIRA, G. M. et al. Regeneration of tropical montane cloud forests increases water yield in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecohydrology*, v. 14, n. 5, 1, 2021. ISSN 1936-0584.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1993.
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 22, 7, 2008.
- UEZU, A. et al. *Atlas dos serviços ambientais do sistema Cantareira*. 2017. 42.
- UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving no one behind*. Paris: 2019. Relatório.
- VALENTE, O. F.; CASTRO, P. S. A Bacia hidrográfica e a produção de água. *Informe Agropecuário*, v. 9, n. 100, 53, 1983.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- WETZEL, R. G. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3. Gulf professional publishing, 2001.
- WWAP. *Não deixar ninguém para trás*. 2019. Relatório.
- YADAV, M.; WAGENER, T.; GUPTA, H. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. *Advances in water resources*, v. 30, n. 8, 1756, 2007. ISSN 0309-1708.
- ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, v. 37, n. 3, 701, 2001. ISSN 0043-1397.

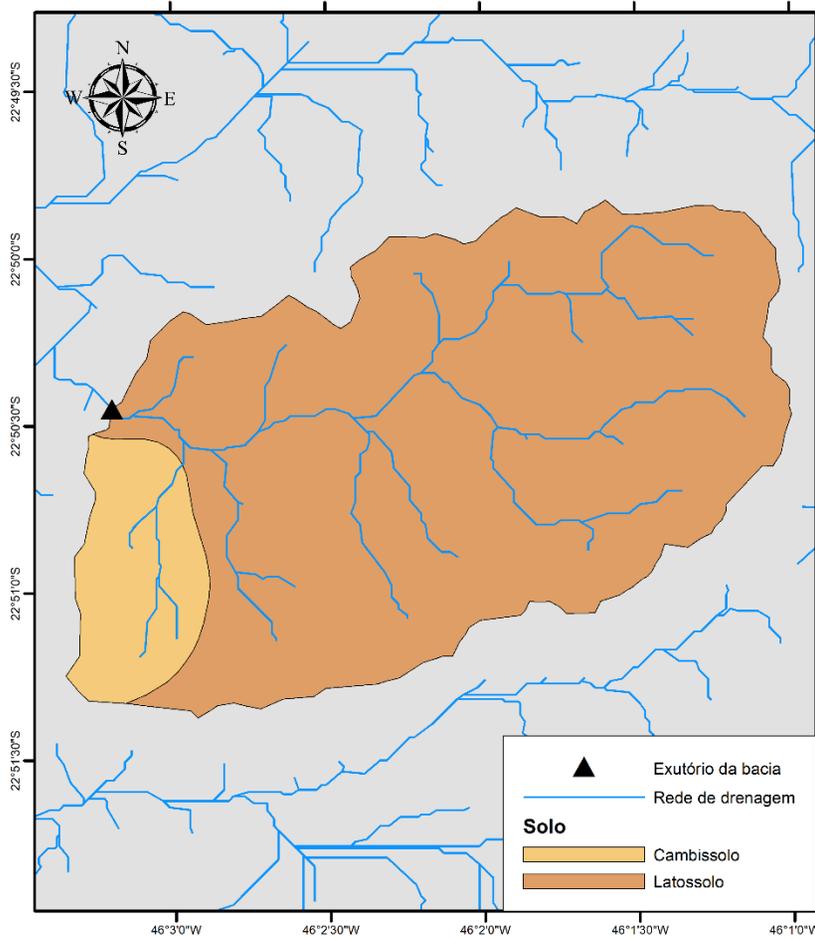
# ANEXO A

## MAPAS TEMÁTICOS DAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS

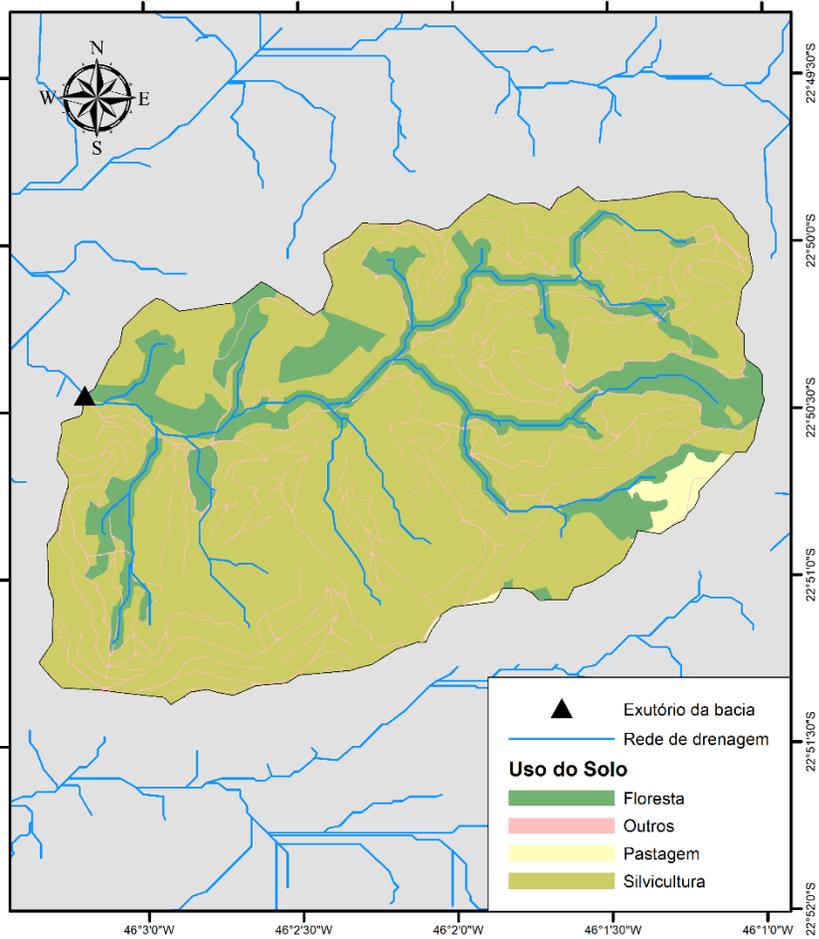
### Mapa da rede de drenagem e localização dos equipamentos de monitoramento - MB1\_F17\_P01\_S77



## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB1\_F17\_P01\_S77

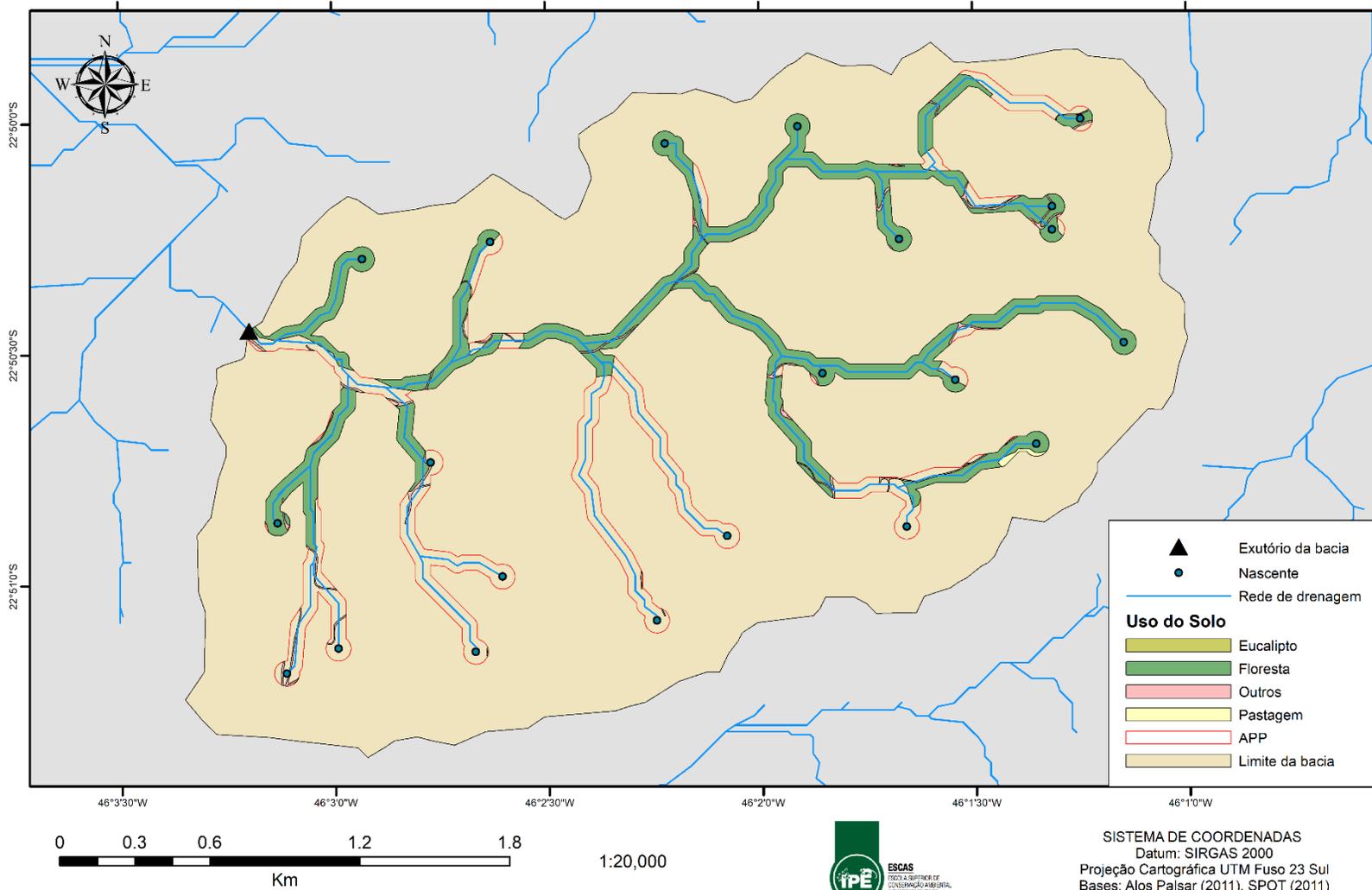


1:32,000

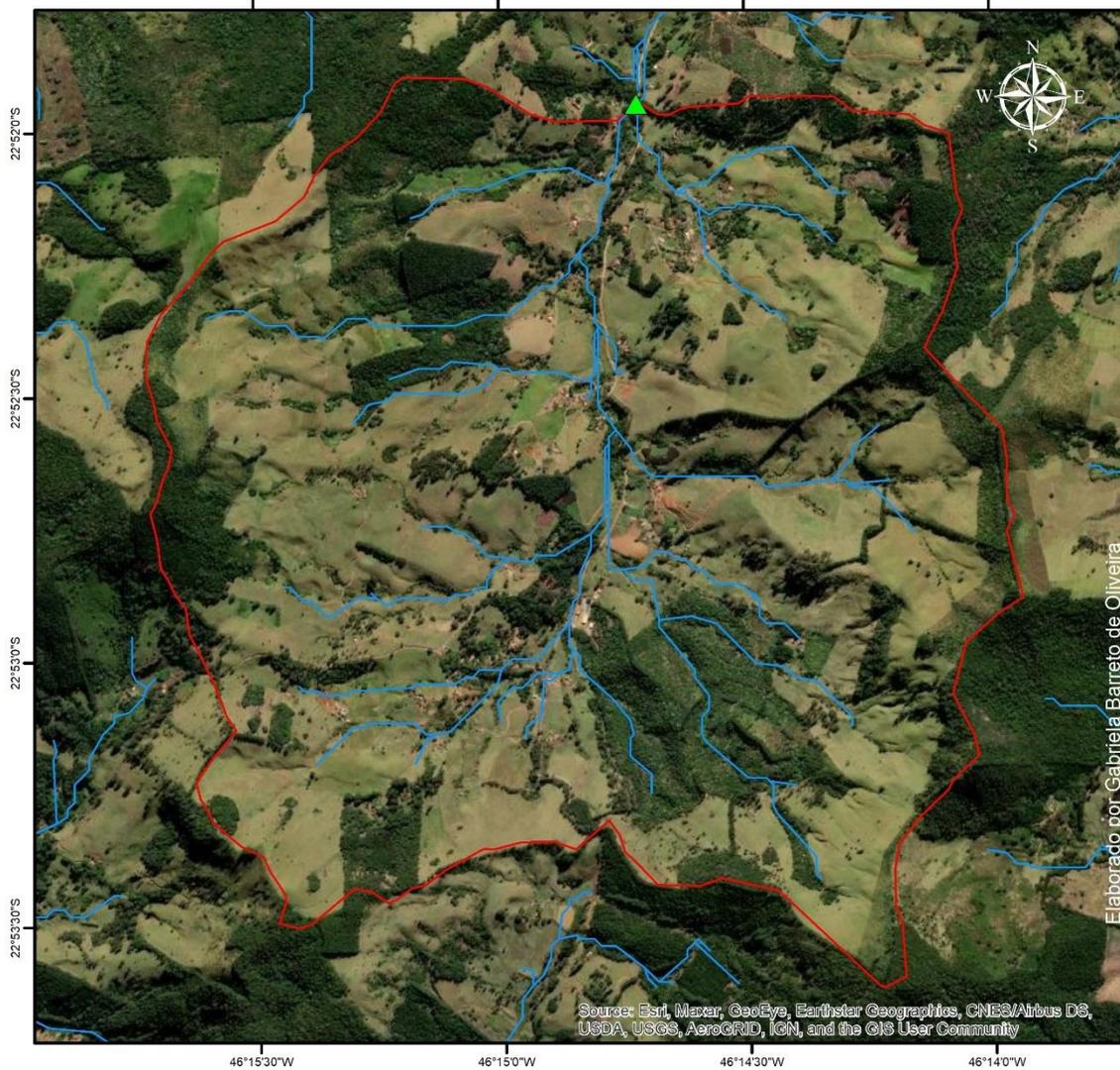


SISTEMA DE COORDENADAS  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
 Bases: Alos Palsar (2011), IBGE (2019), SPOT (2011)  
 Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB1\_F17\_P01\_S77



## Mapa da rede de drenagem e localização do equipamento de monitoramento - MB2\_F25\_P69\_S05



### Convenções Cartográficas

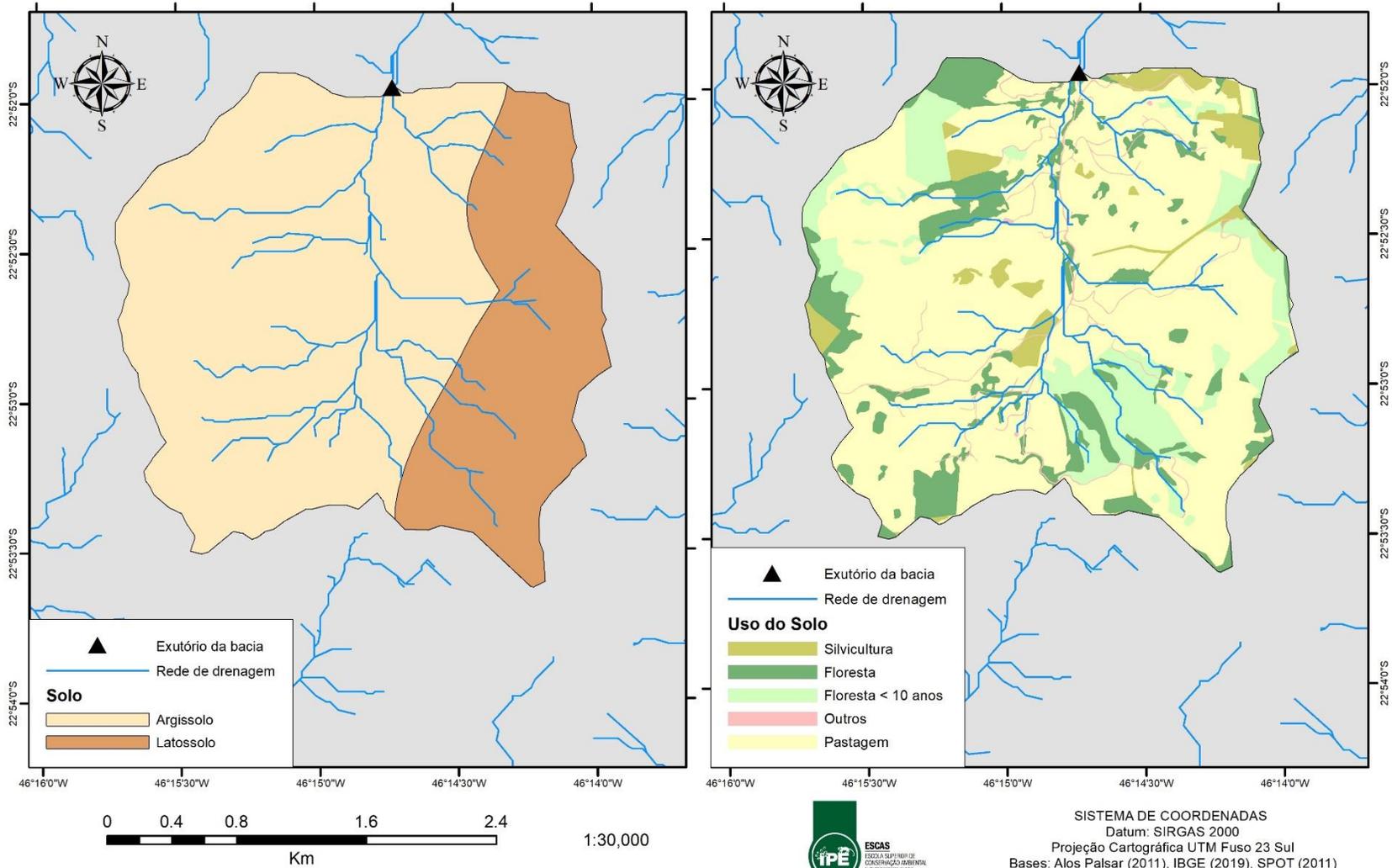
-  Estação hidrológica e exutório da bacia
-  Rede de drenagem
-  Limite da bacia

1:20,000

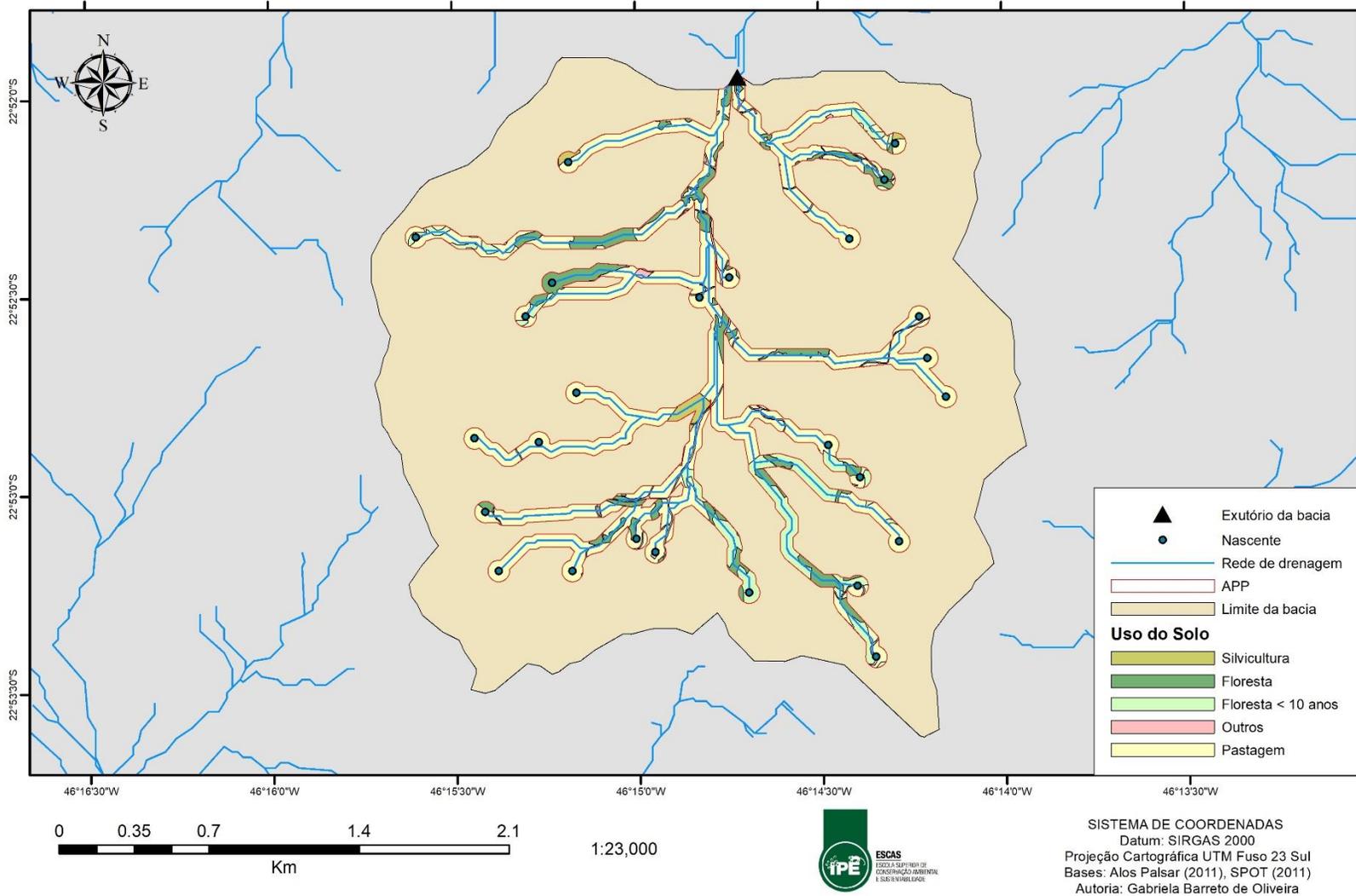


SISTEMA DE COORDENADAS  
Datum: SIRGAS 2000  
Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
Base: Alos Palsar (2011)

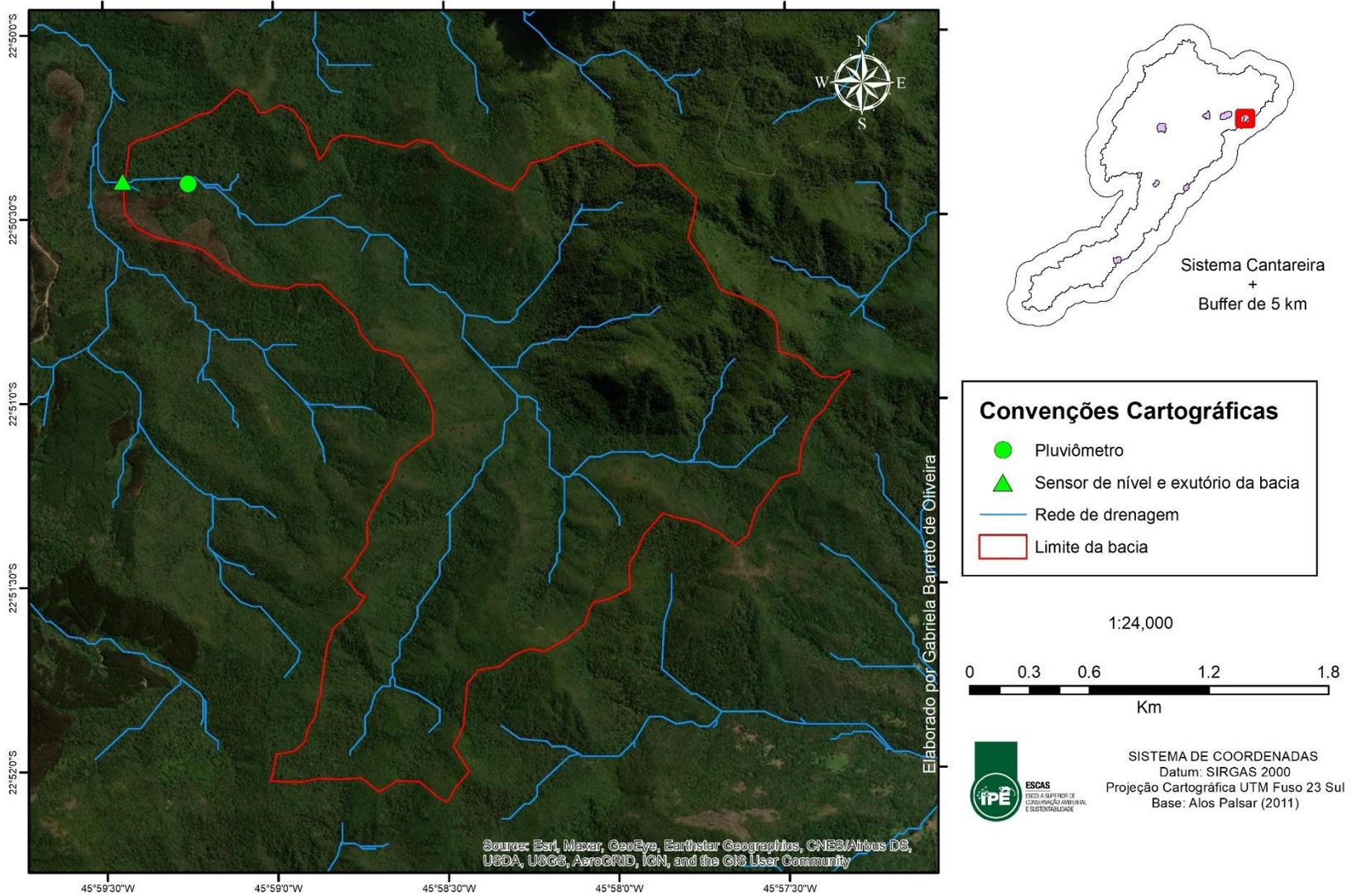
## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB2\_F25\_P69\_S05



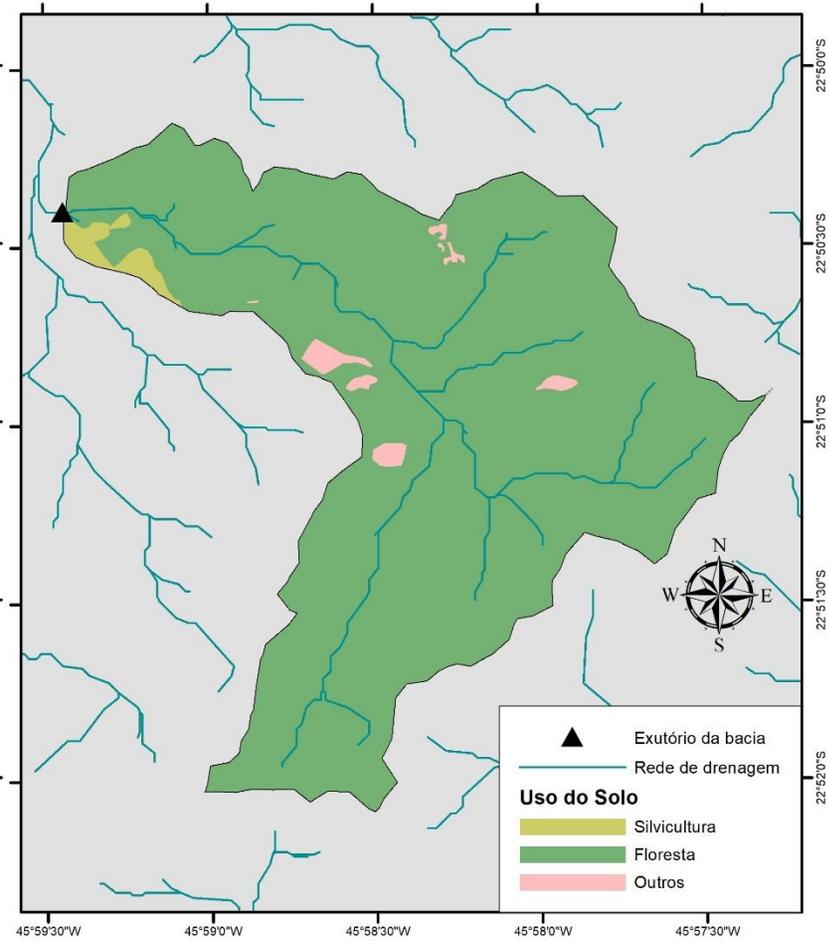
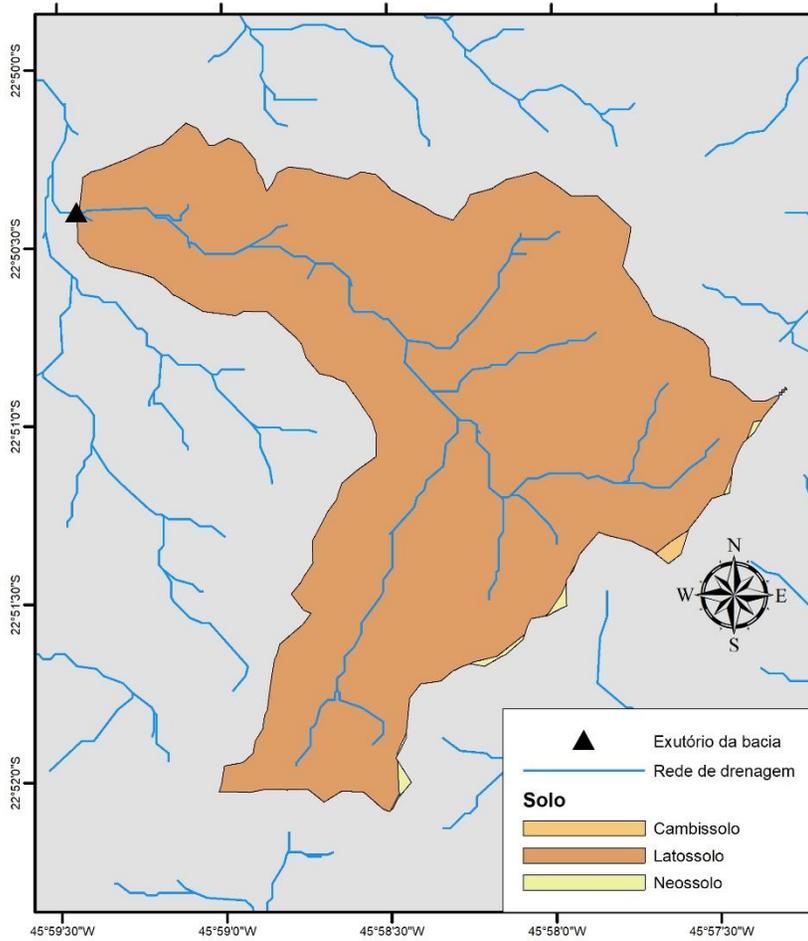
## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB2\_F25\_P69\_S05



# Mapa da rede de drenagem e localização dos equipamentos de monitoramento - MB3\_F97\_P00\_S01

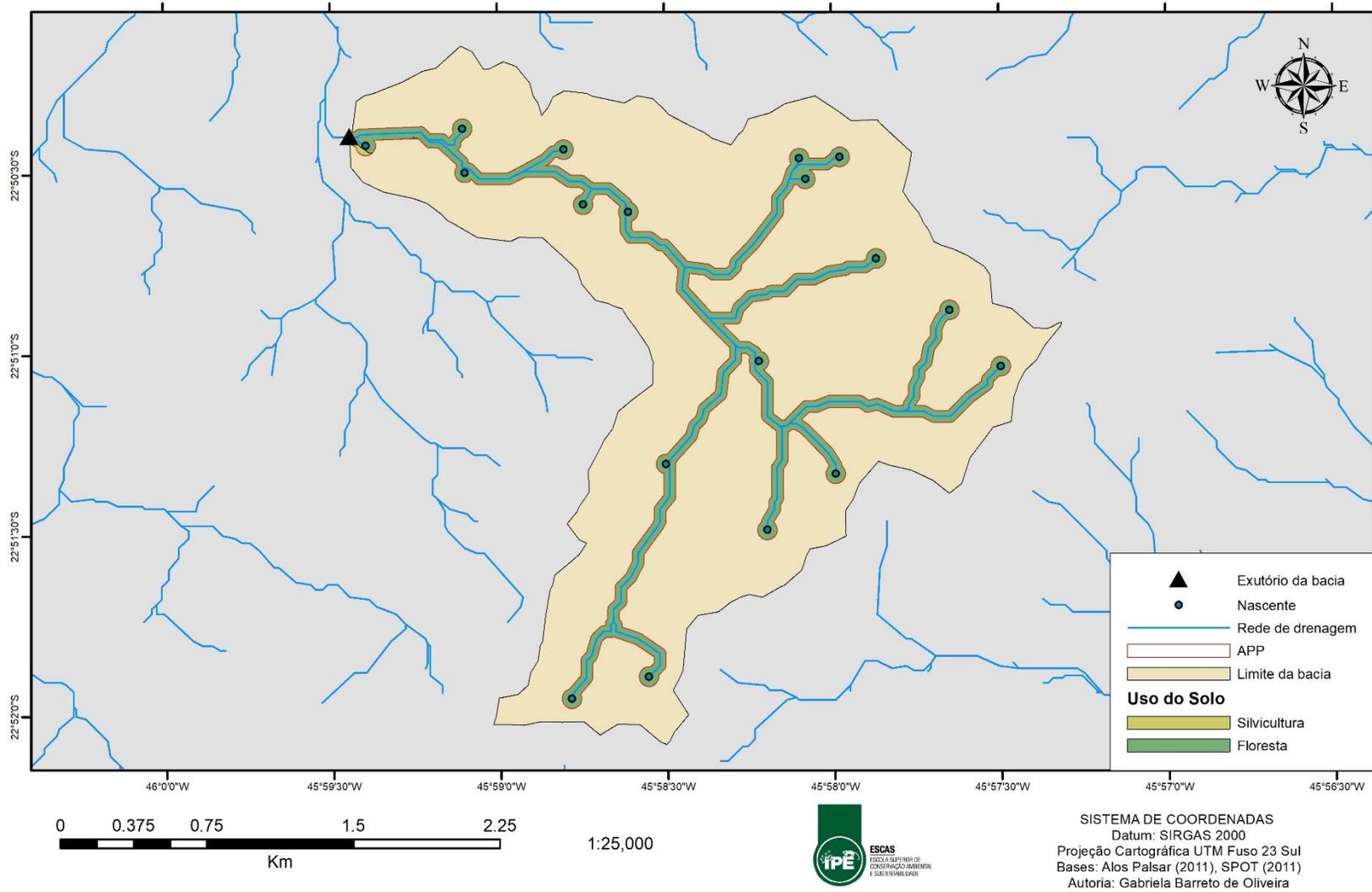


## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB3\_F97\_P00\_S01

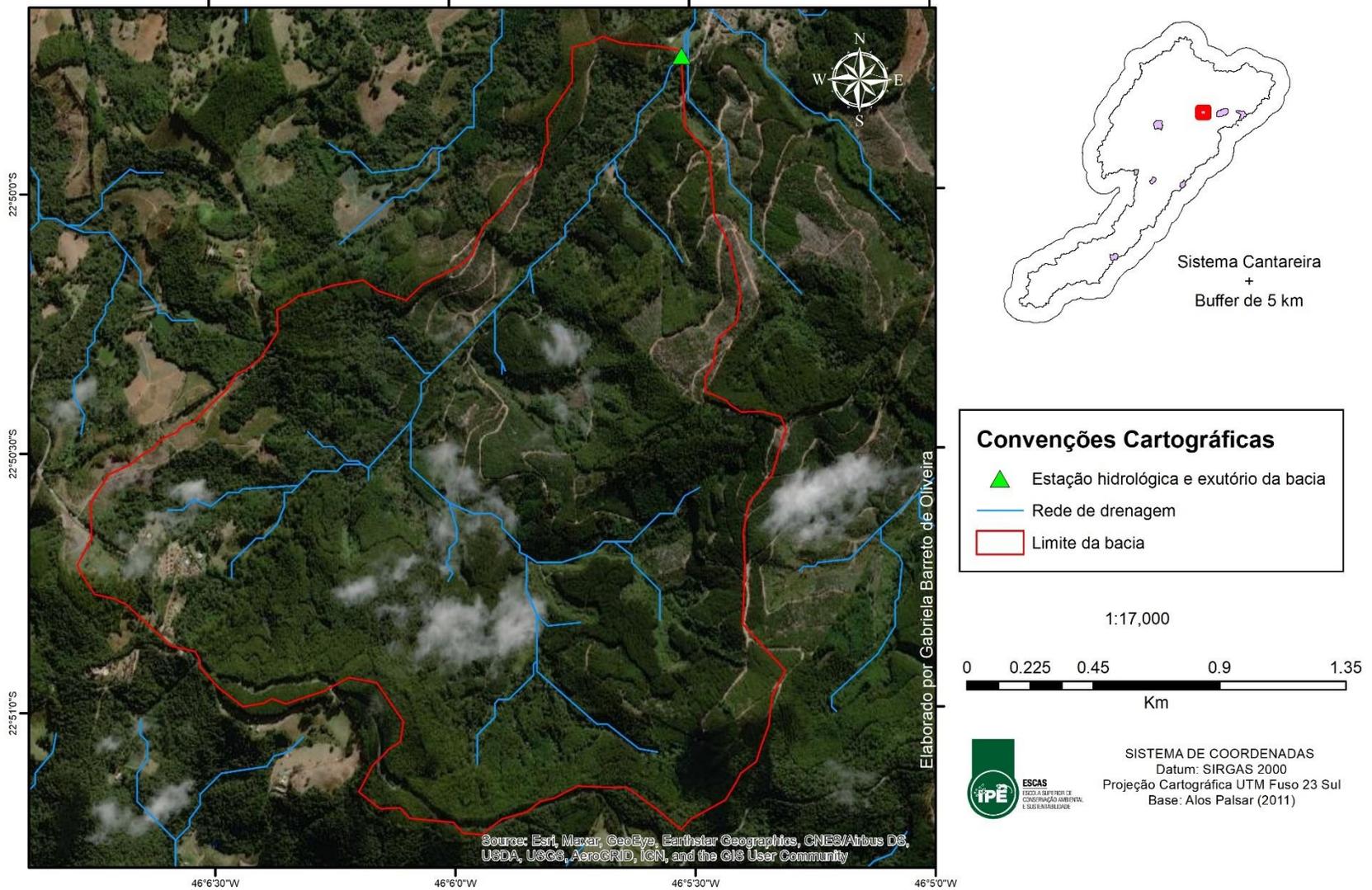


SISTEMA DE COORDENADAS  
Datum: SIRGAS 2000  
Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
Bases: Alos Palsar (2011), IBGE (2019), SPOT (2011)  
Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

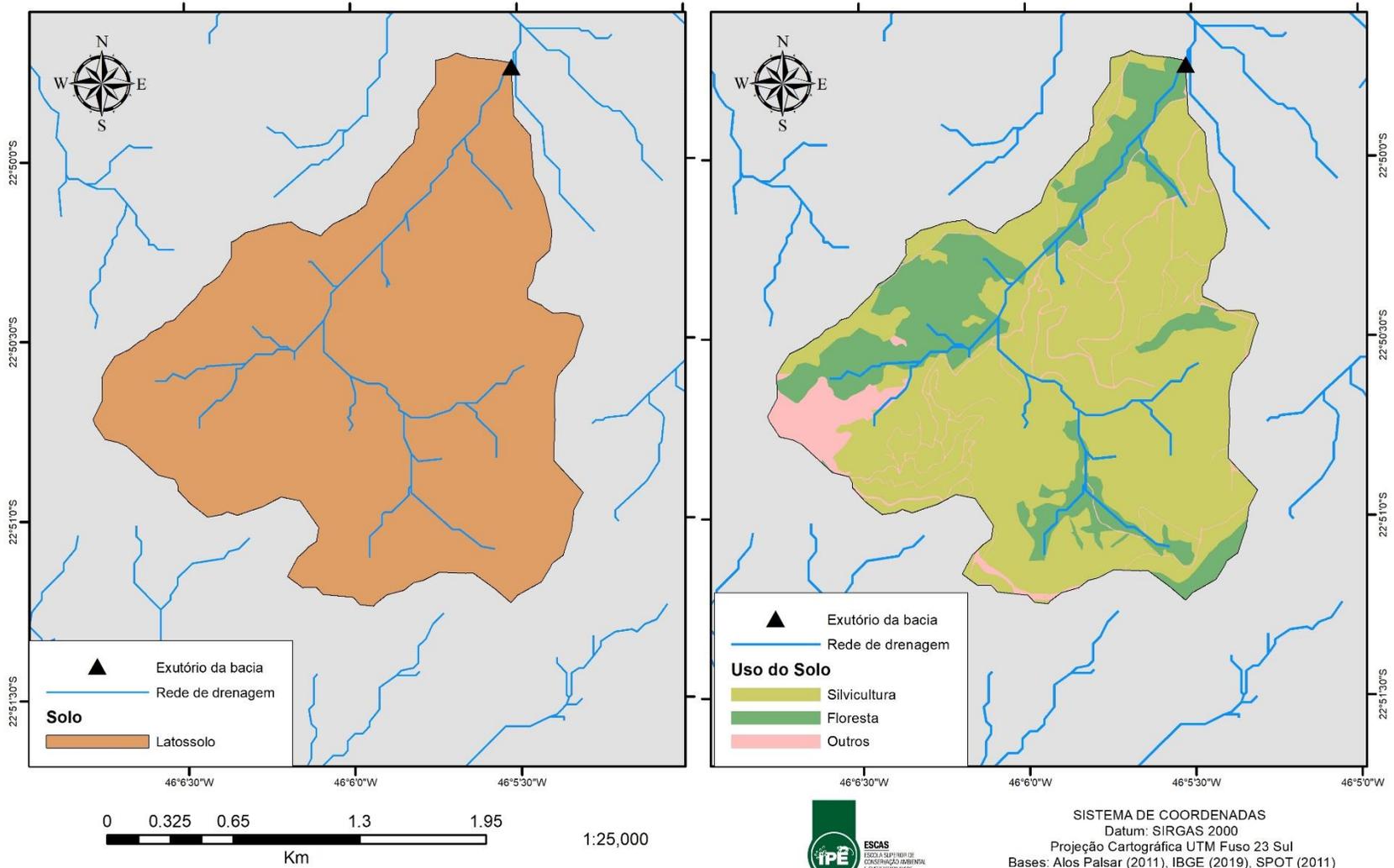
## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB3\_F97\_P00\_S01



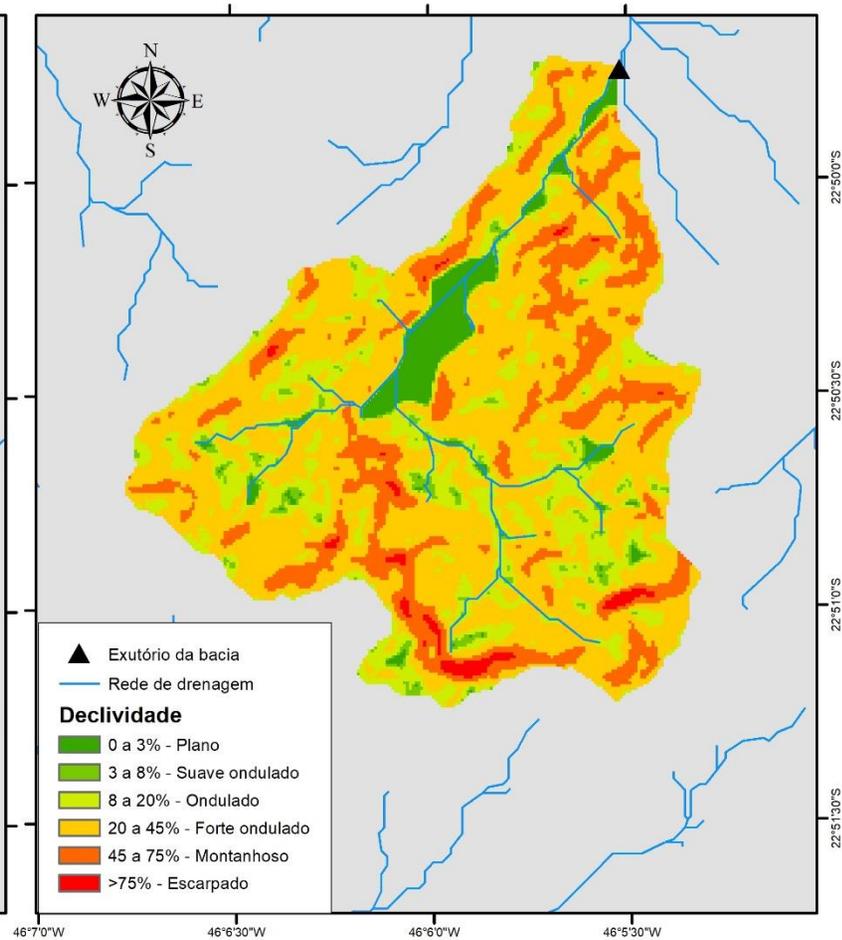
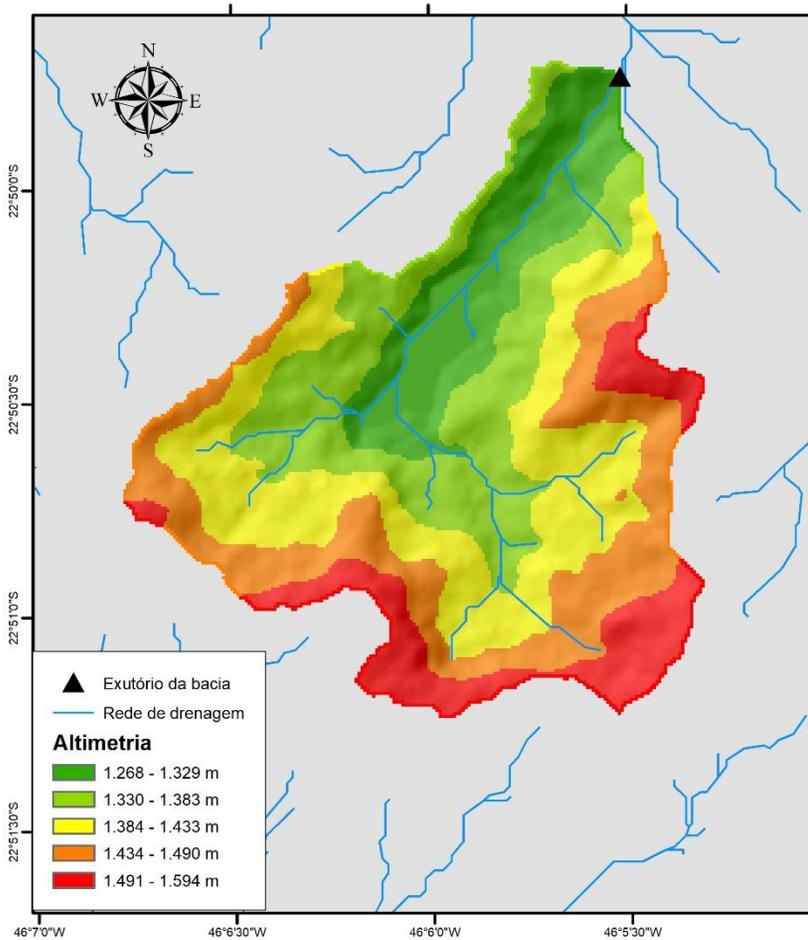
## Mapa da rede de drenagem e localização do equipamento de monitoramento - MB4\_F22\_P07\_S72



## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB4\_F22\_P07\_S72



## Mapa Topográfico - MB4\_F22\_P07\_S72

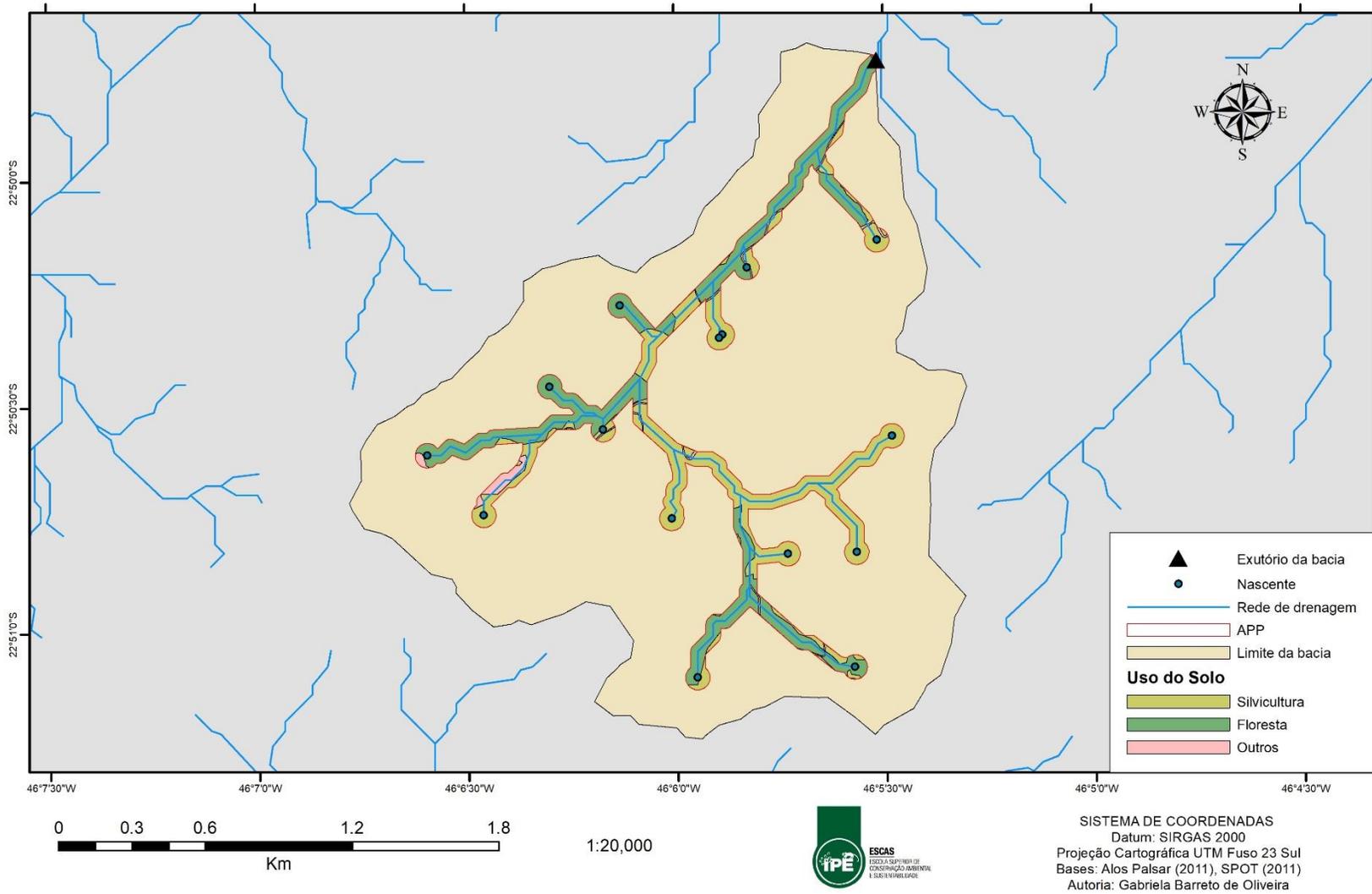


1:25,000

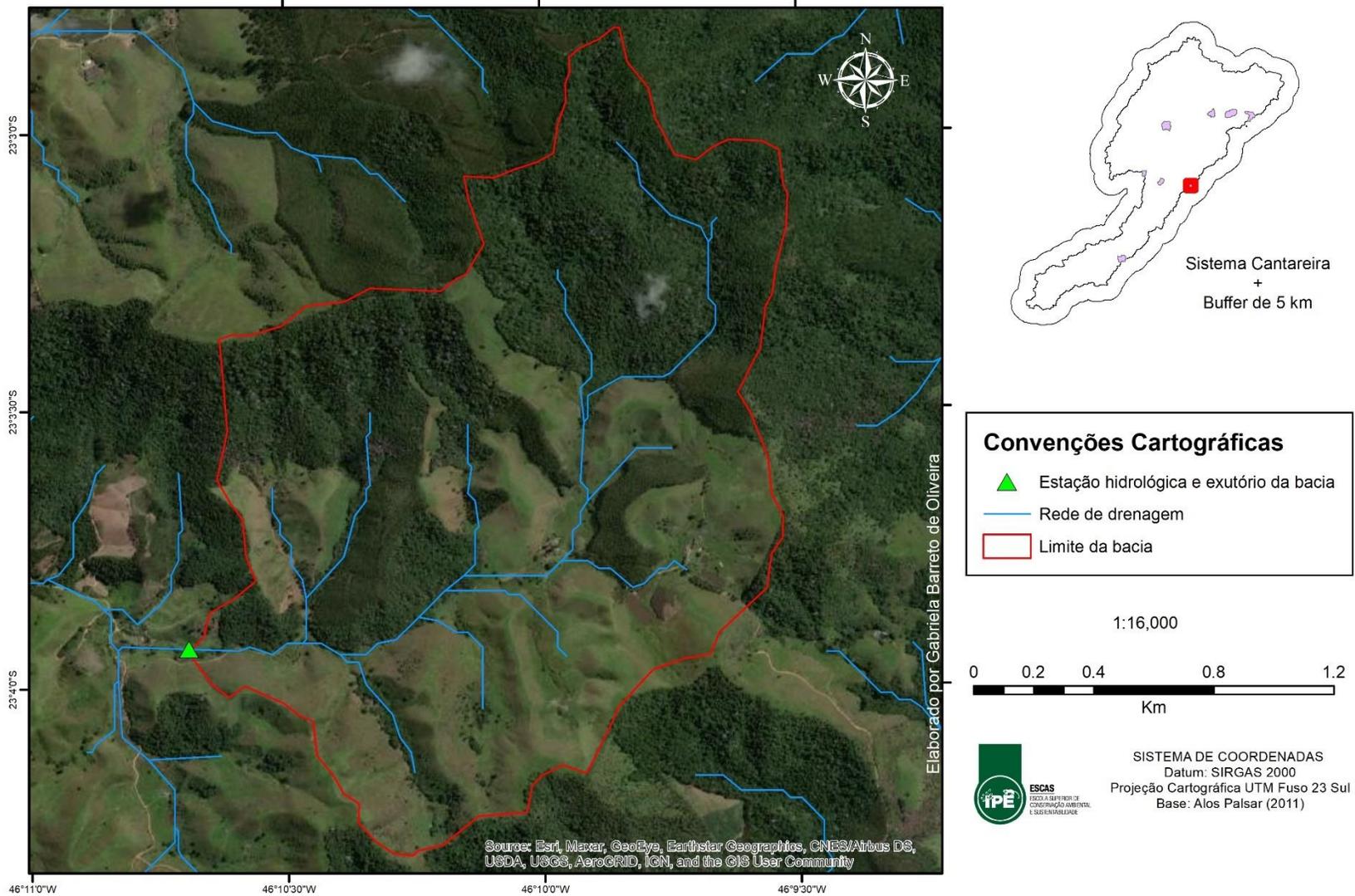


SISTEMA DE COORDENADAS  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
 Base: Alos Palsar (2011)  
 Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

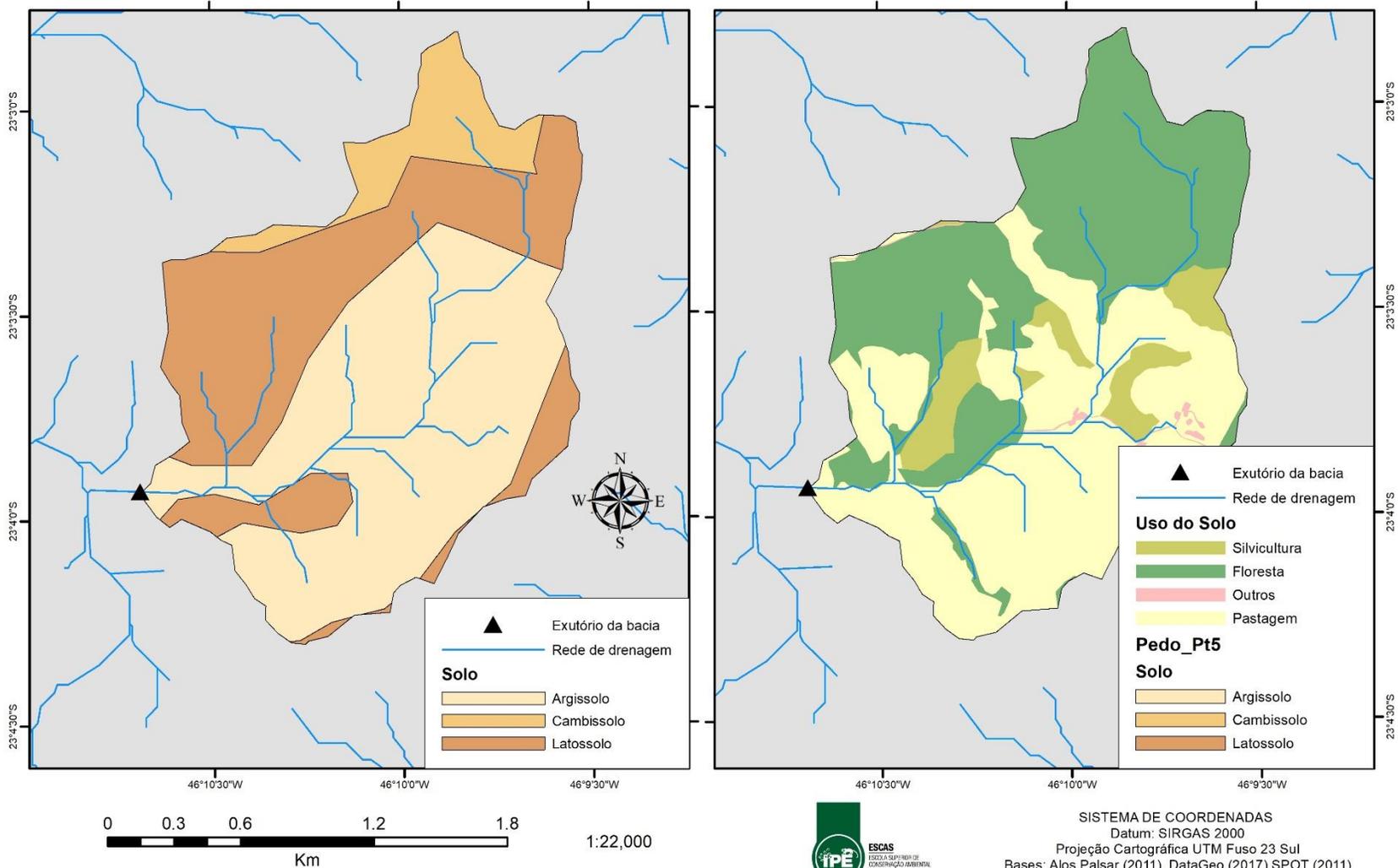
## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB4\_F22\_P07\_S72



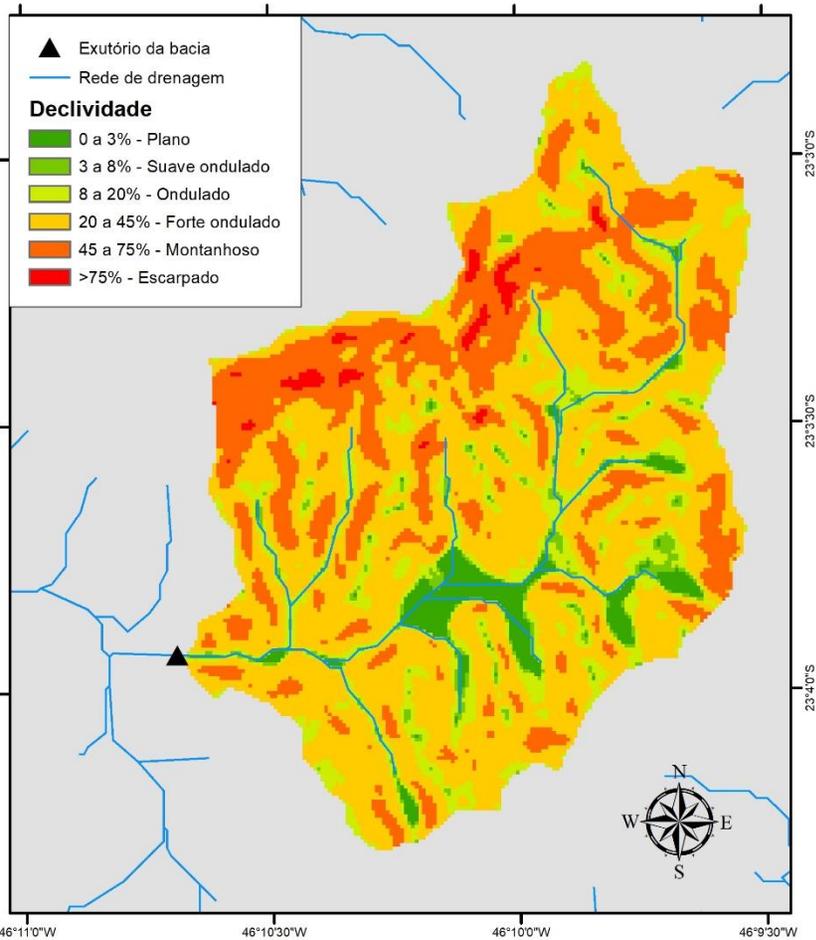
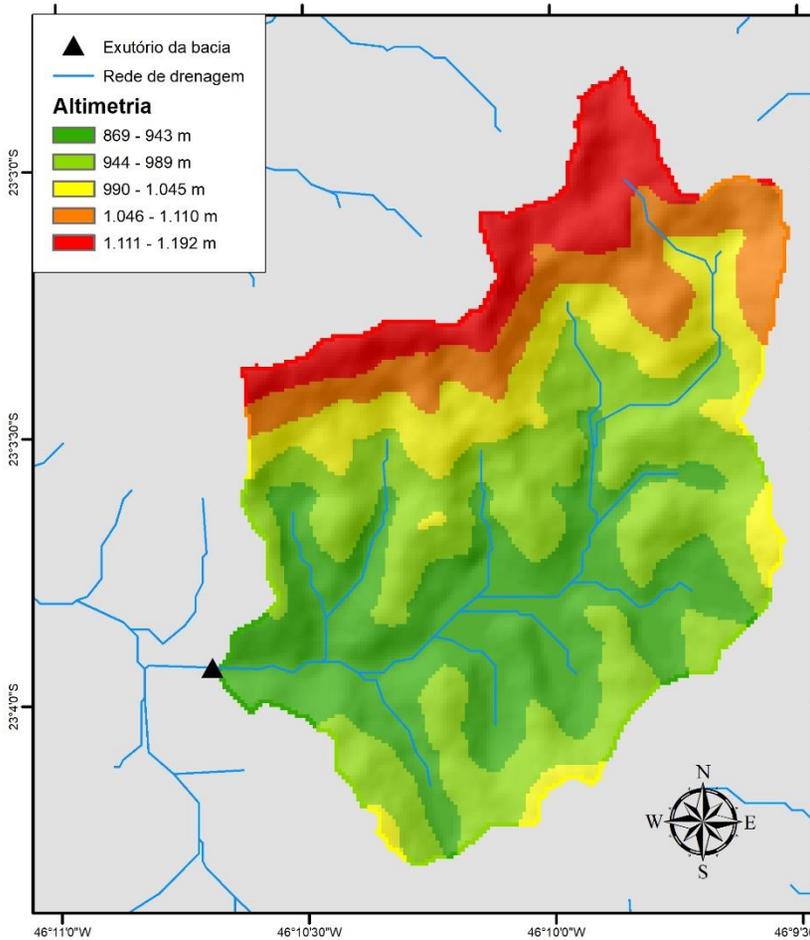
## Mapa da rede de drenagem e localização do equipamento de monitoramento - MB5\_F44\_P47\_S08



## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB5\_F44\_P47\_S08



## Mapa Topográfico - MB5\_F44\_P47\_S08



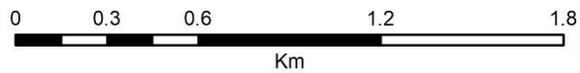
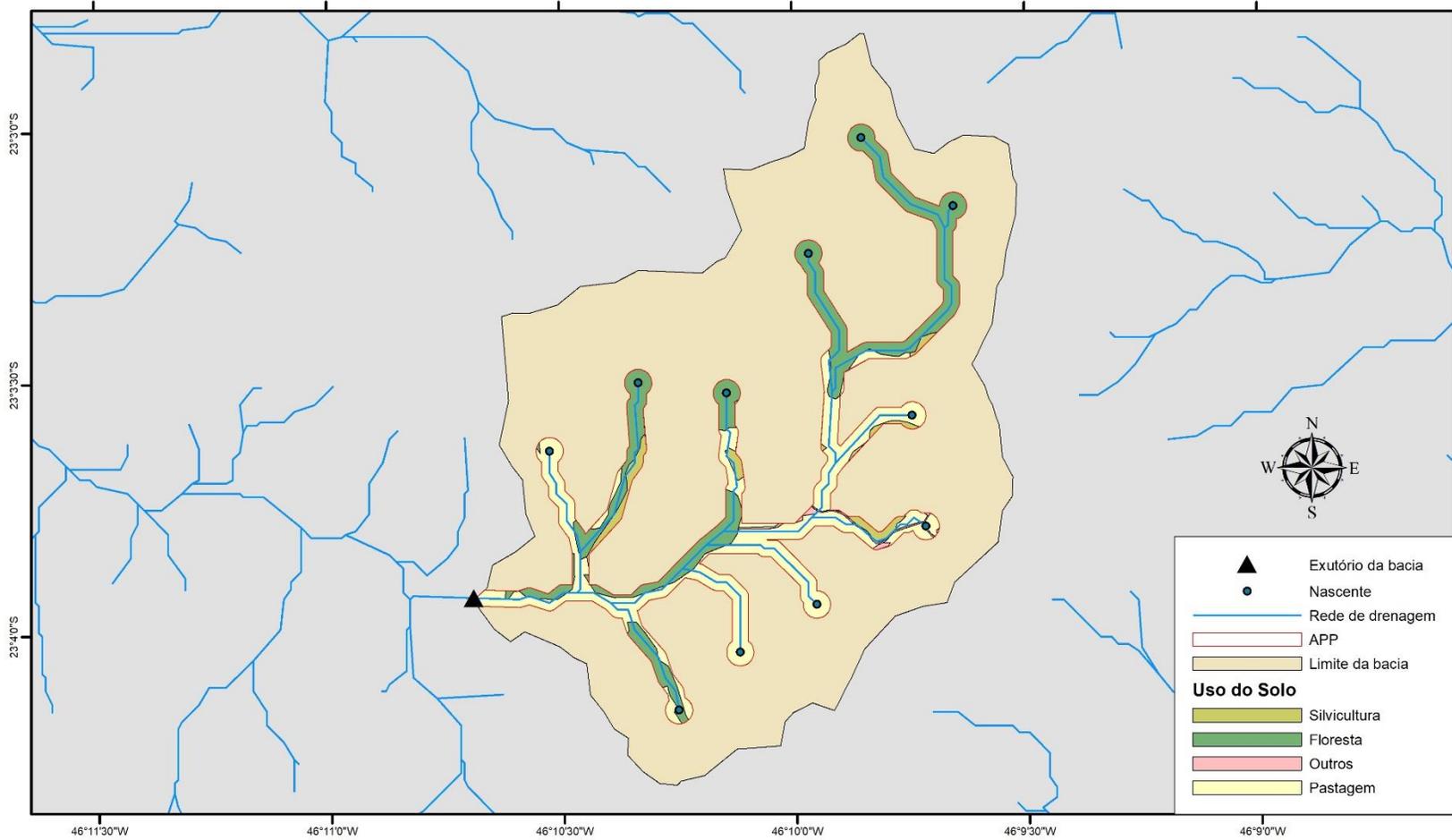
0 0.225 0.45 0.9 1.35  
Km

1:20,000



SISTEMA DE COORDENADAS  
Datum: SIRGAS 2000  
Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
Base: Alos Palsar (2011)  
Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB5\_F44\_P47\_S08

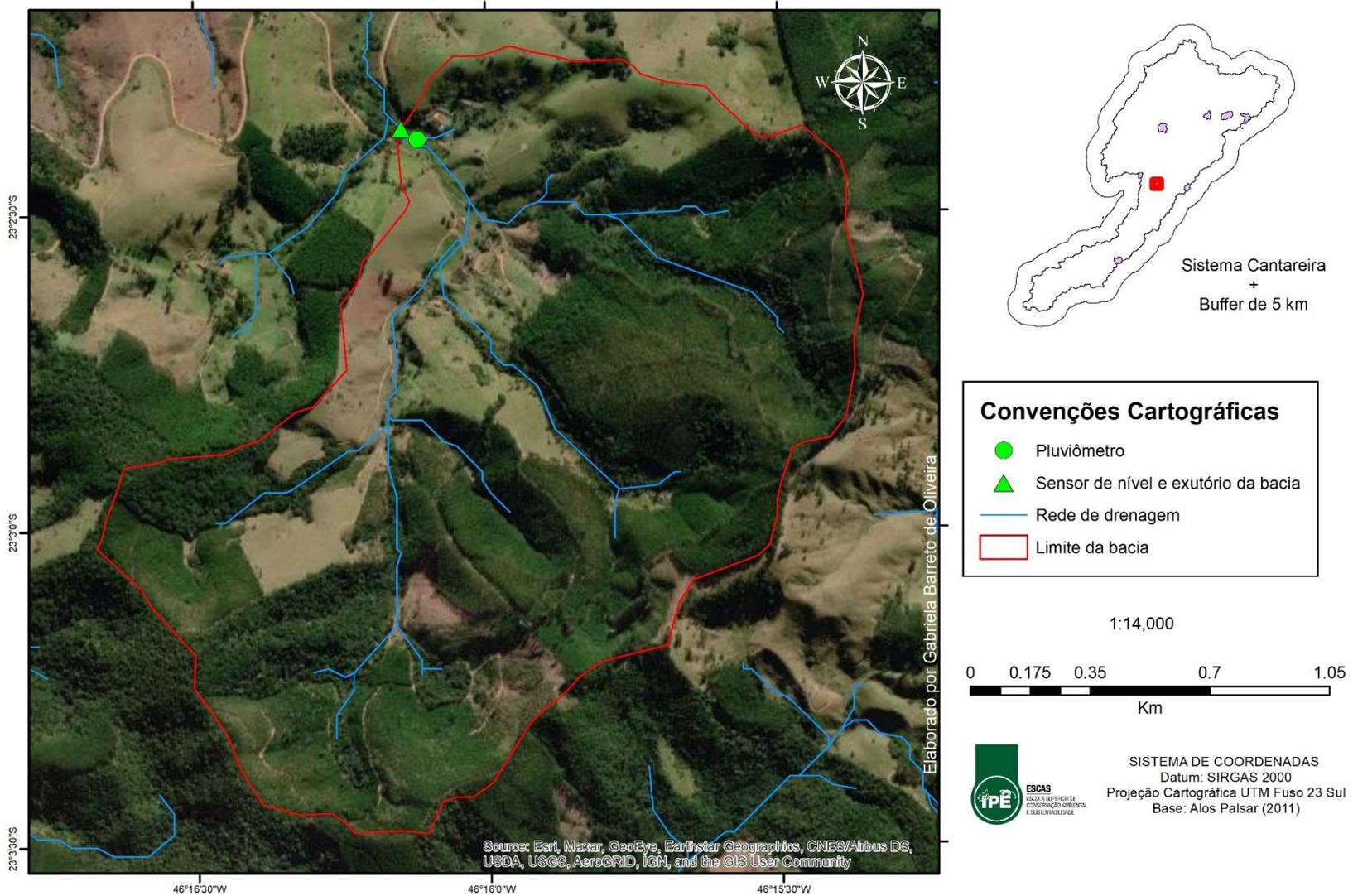


1:19,000

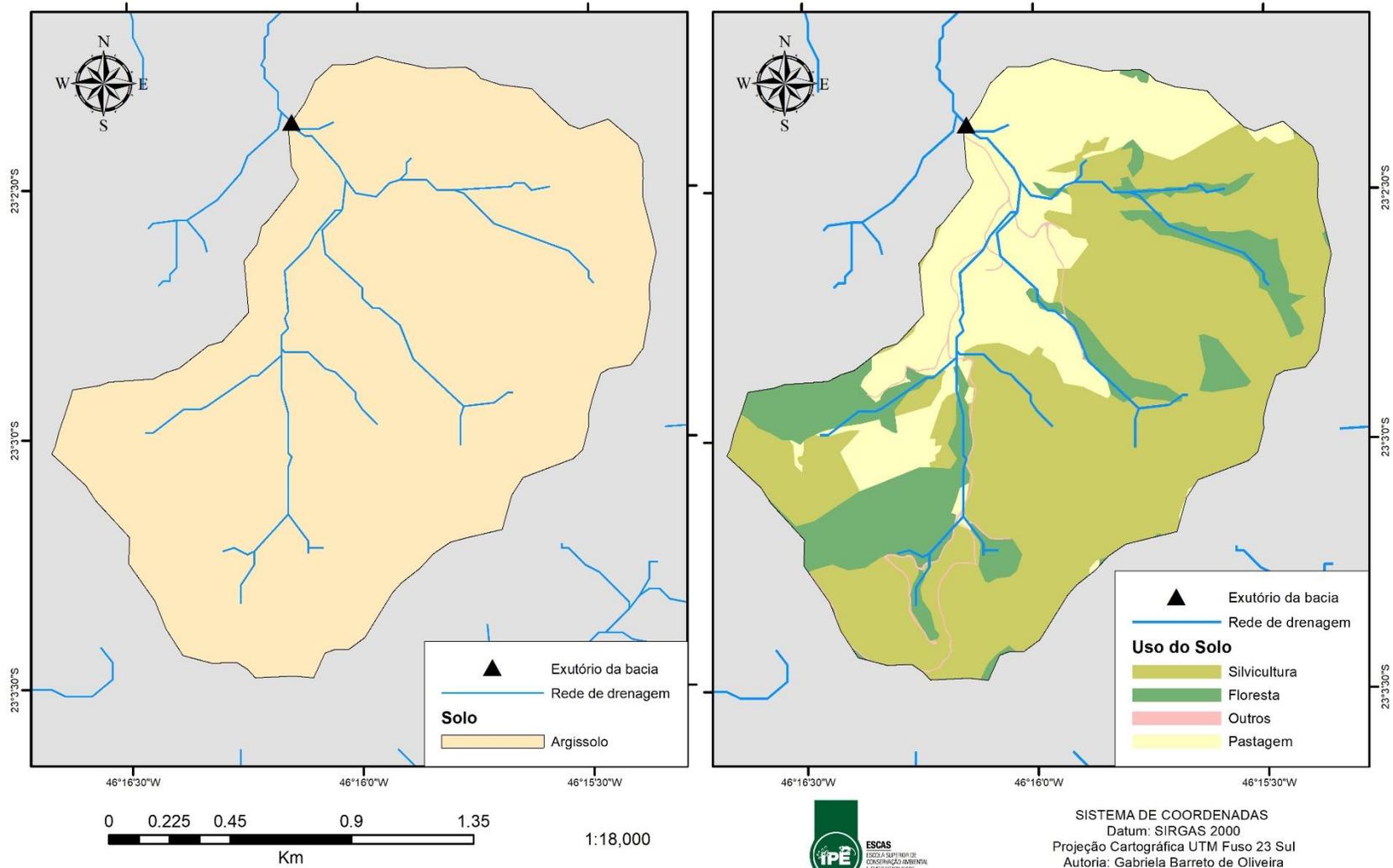


SISTEMA DE COORDENADAS  
Datum: SIRGAS 2000  
Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
Bases: Alos Palsar (2011), SPOT (2011)  
Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

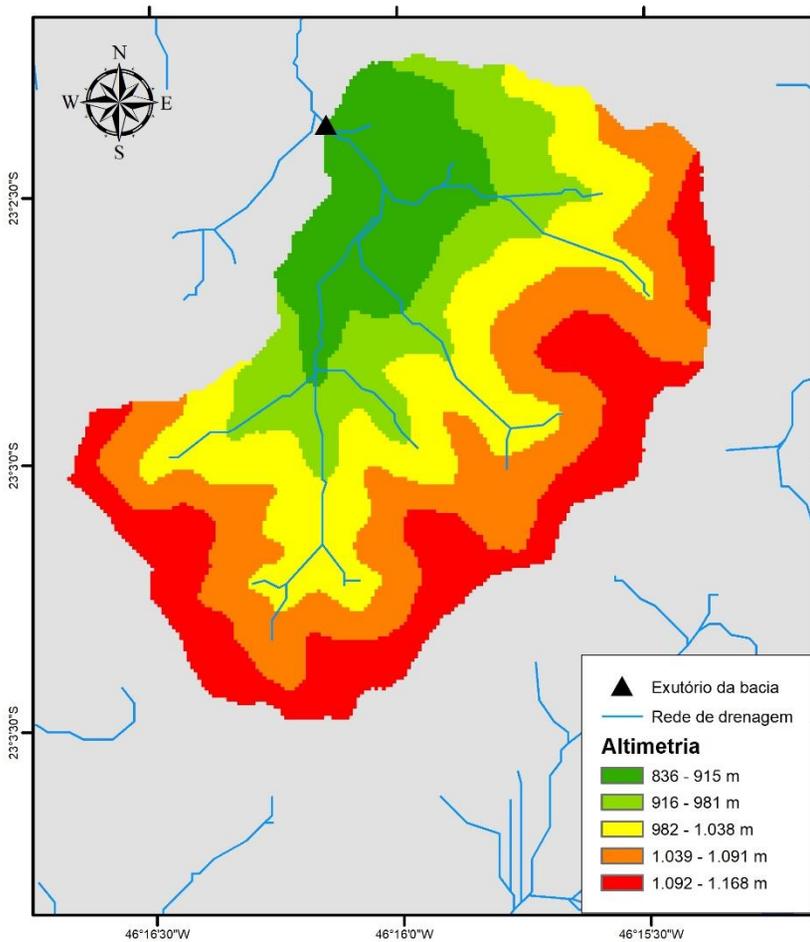
## Mapa da rede de drenagem e localização dos equipamentos de monitoramento - MB6\_F16\_P25\_S58



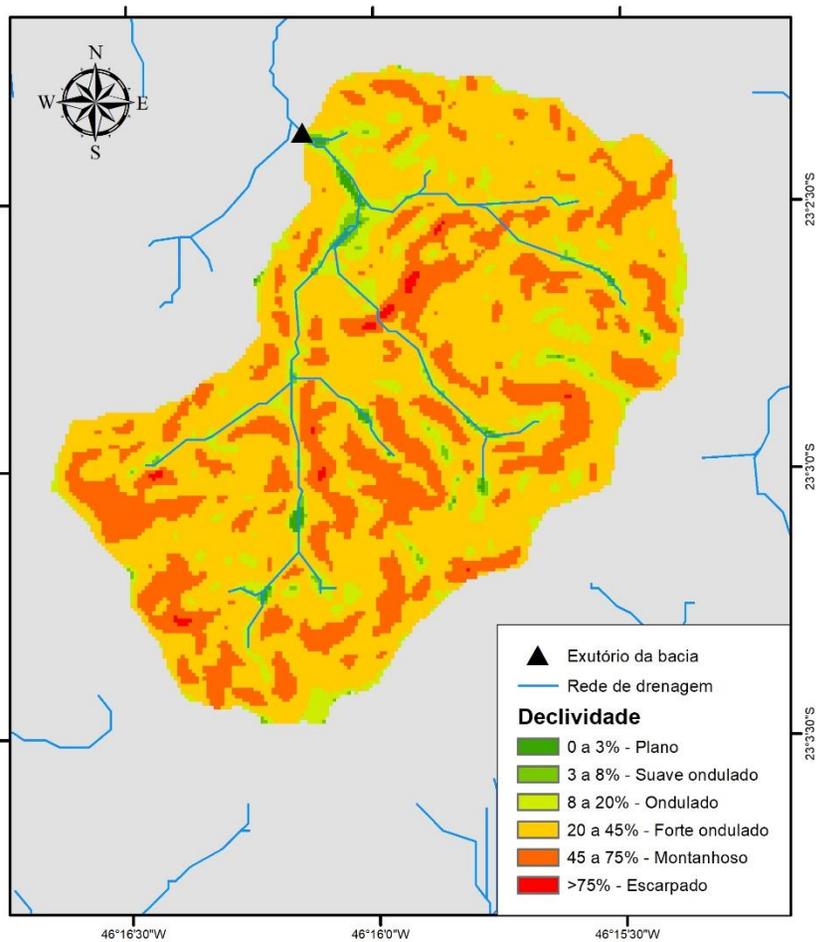
## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB6\_F16\_P25\_S58



## Mapa Topográfico - MB6\_F16\_P25\_S58

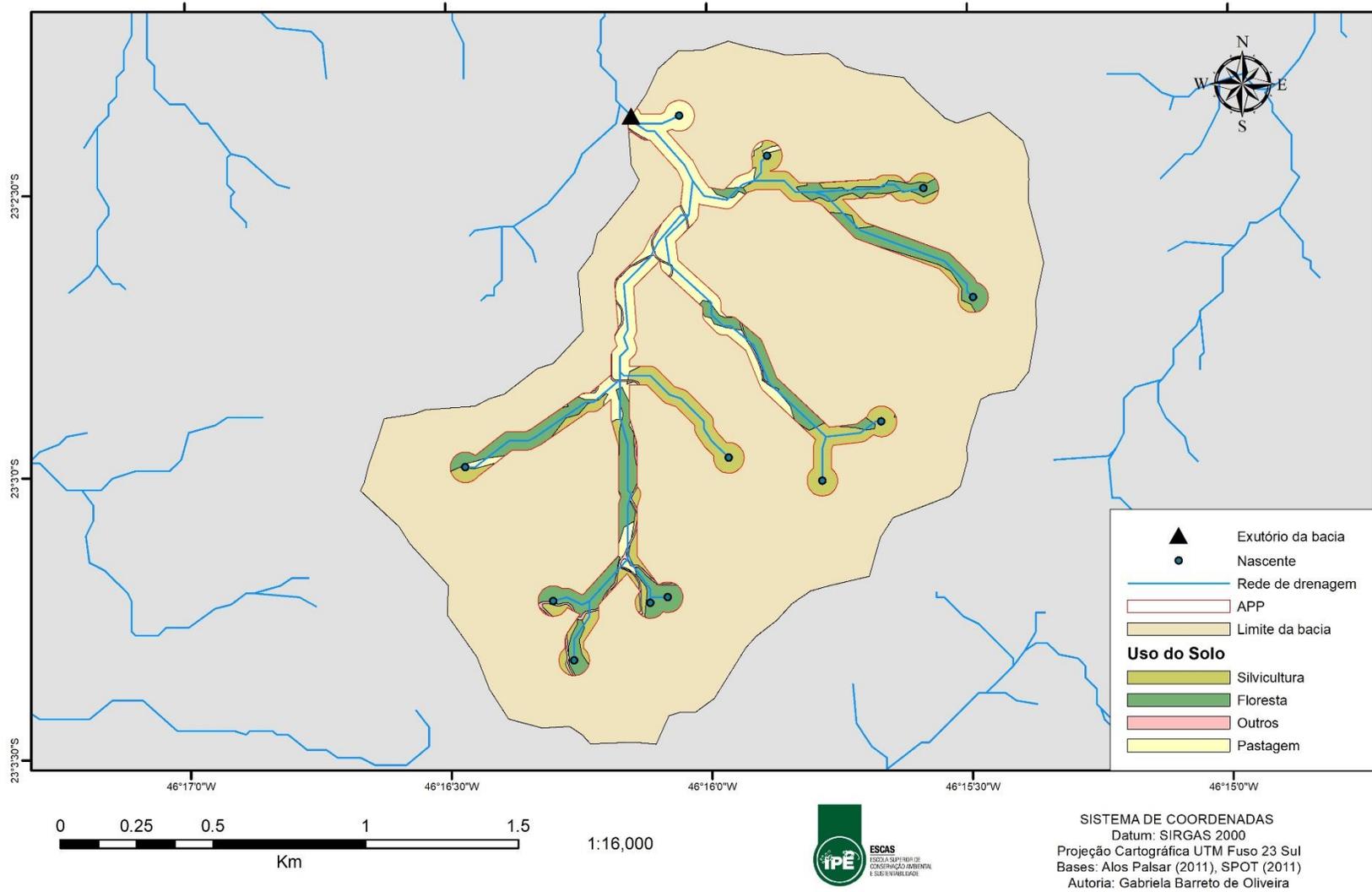


1:20,000

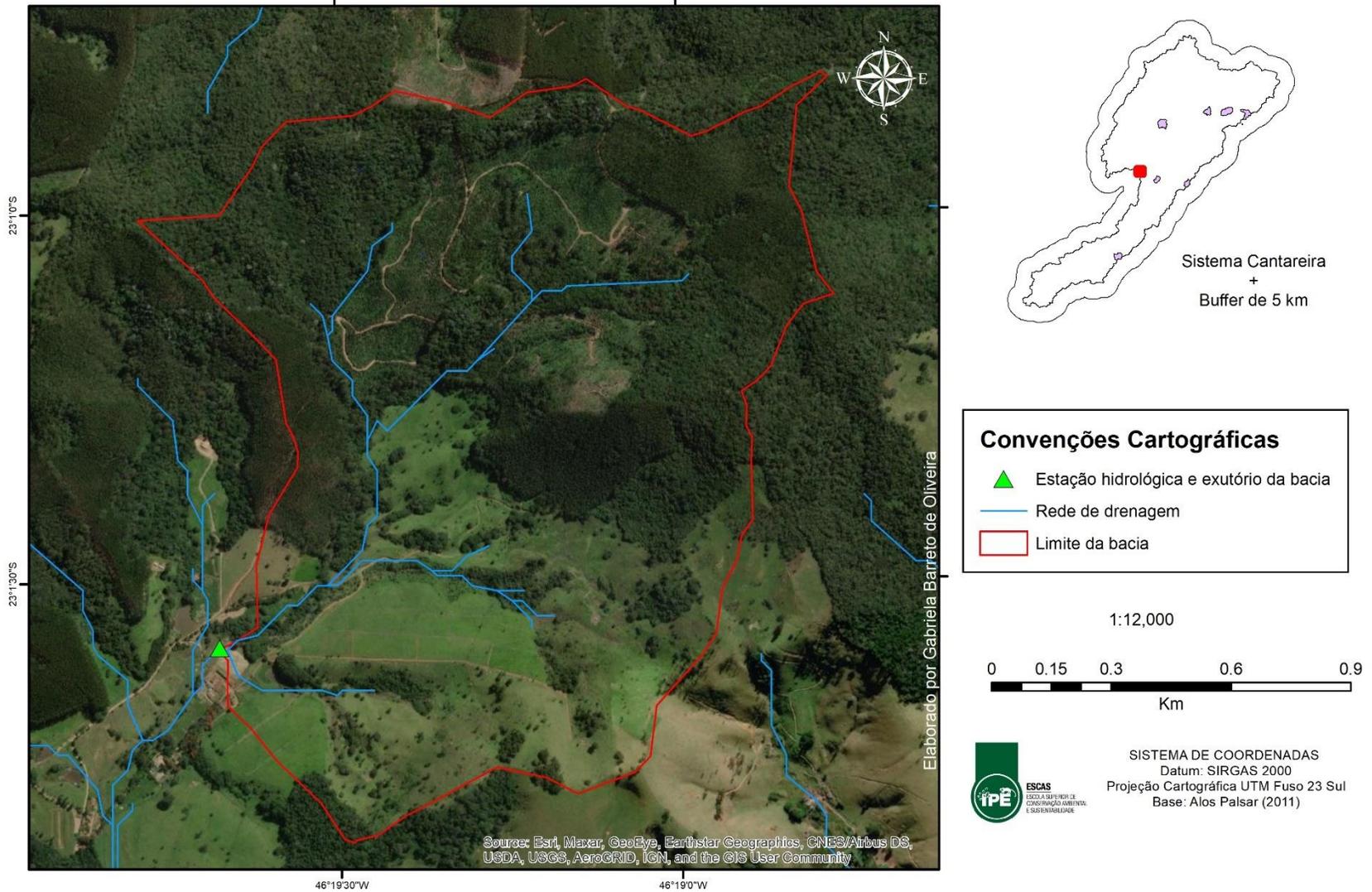


SISTEMA DE COORDENADAS  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
 Base: Alos Palsar (2011)  
 Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

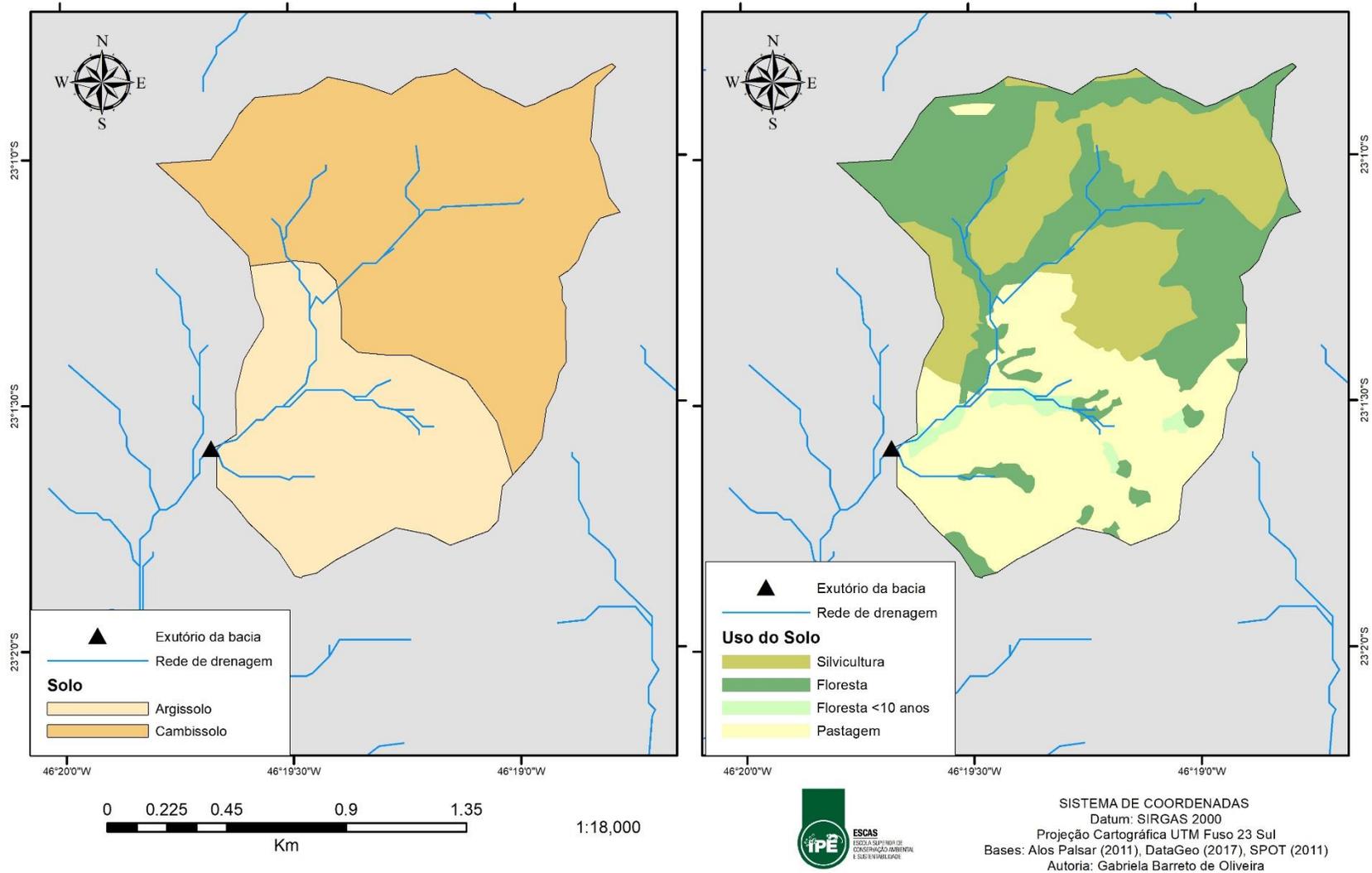
## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB6\_F16\_P25\_S58



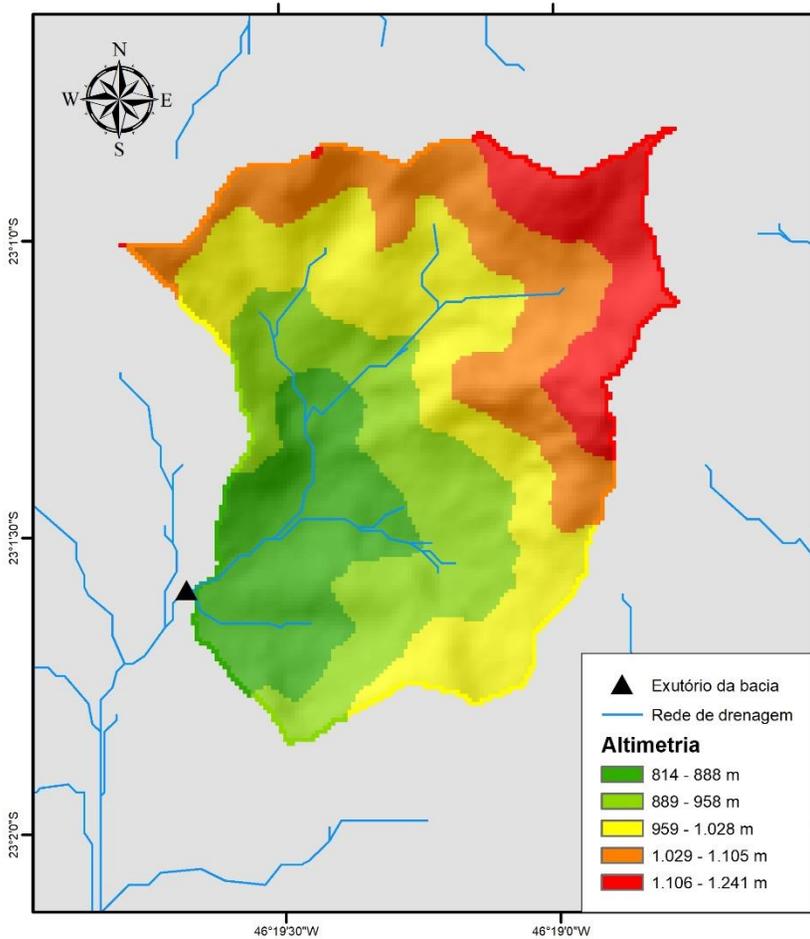
## Mapa da rede de drenagem e localização do equipamento de monitoramento - MB7\_F36\_P35\_S29



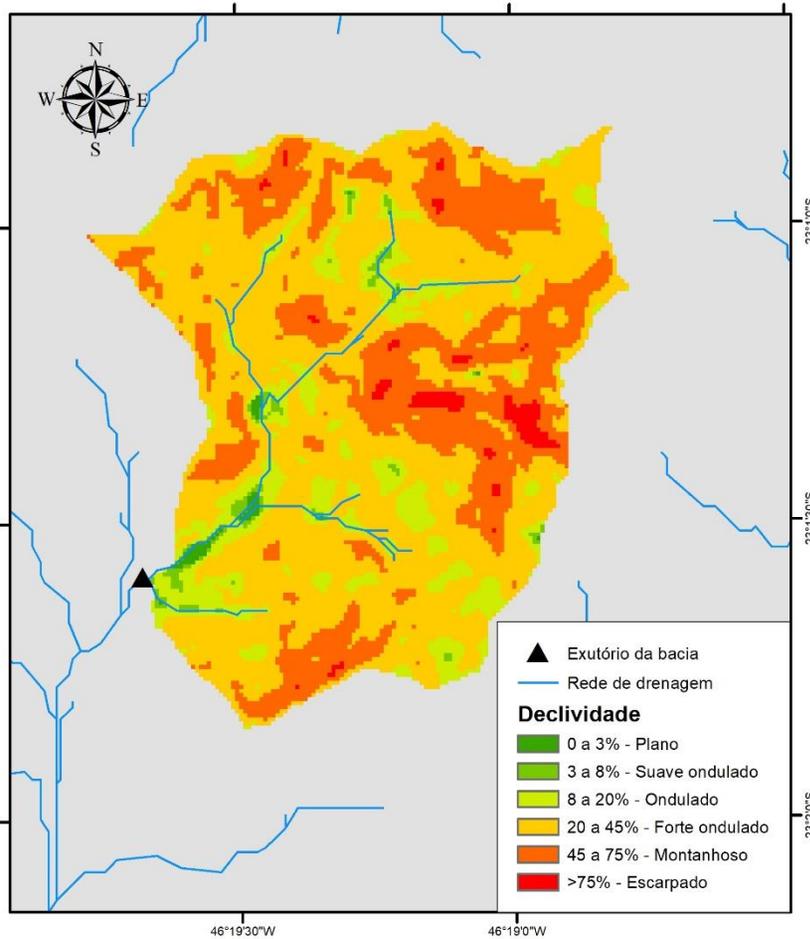
## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB7\_F36\_P35\_S29



### Mapa Topográfico - MB7\_F36\_P35\_S29

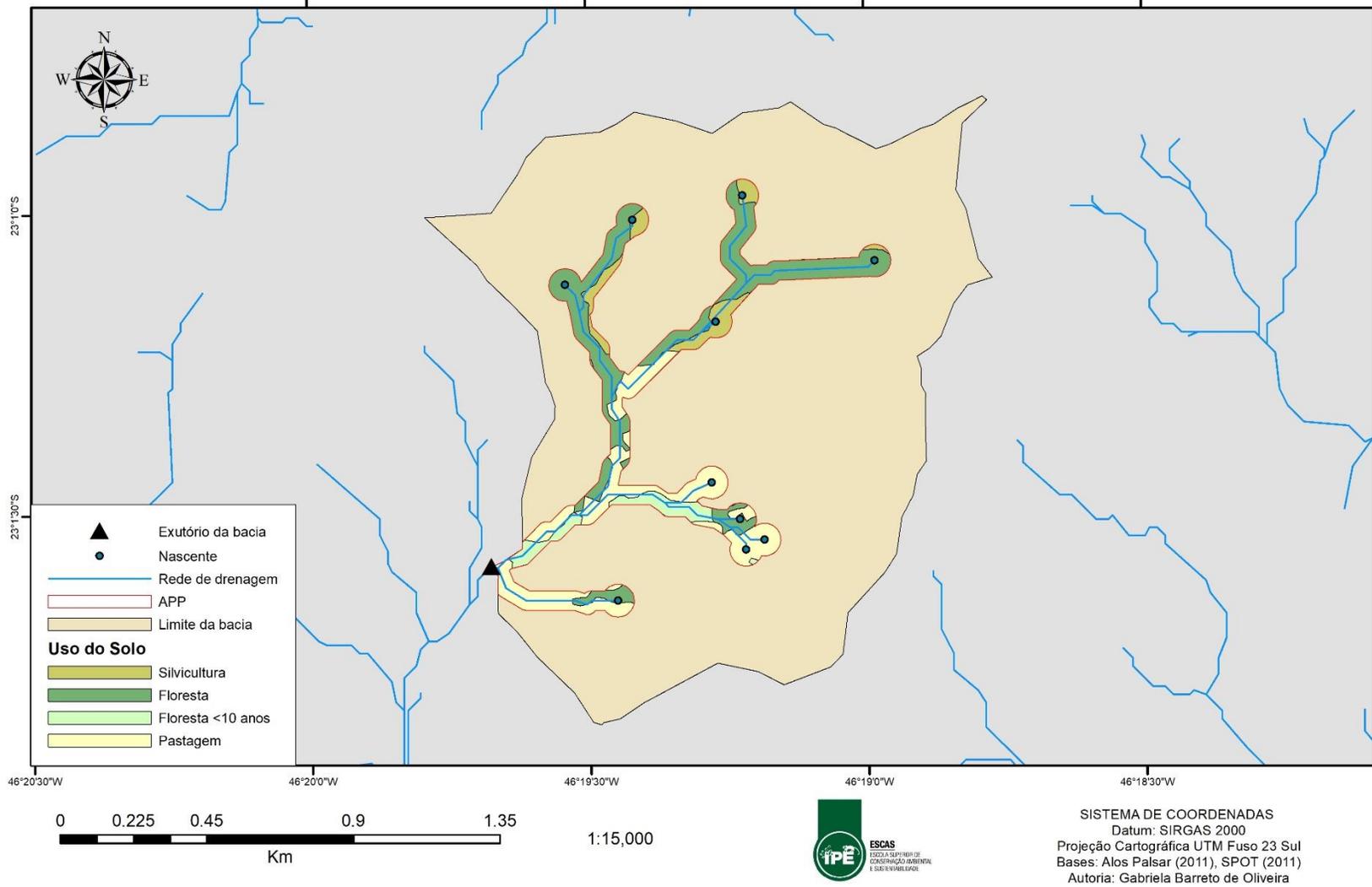


1:18,000

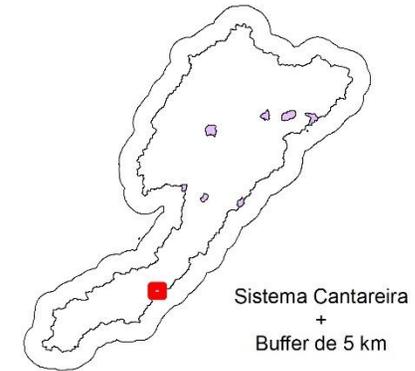
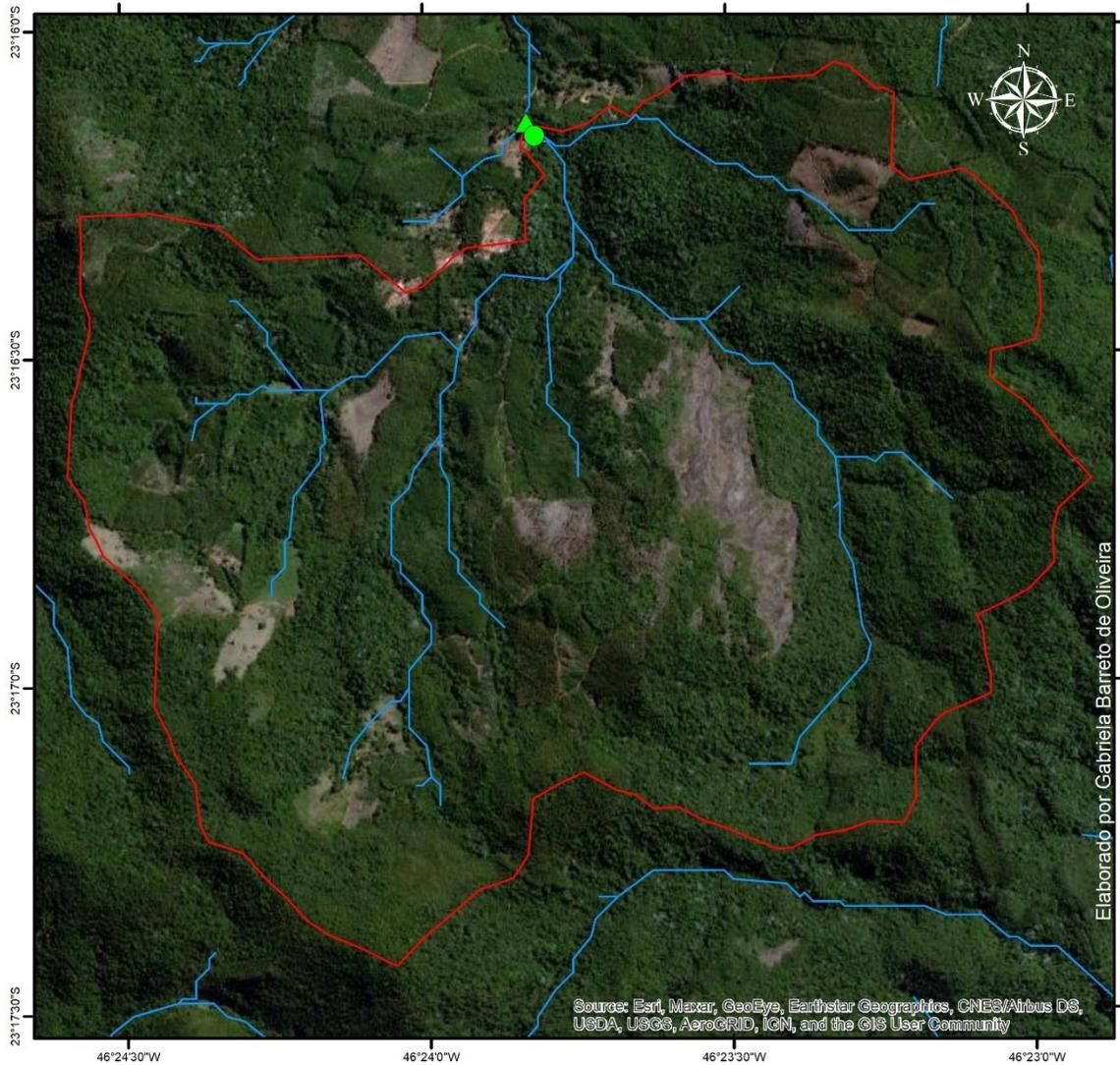


SISTEMA DE COORDENADAS  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
 Base: Alos Palsar (2011)  
 Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB7\_F36\_P35\_S29



## Mapa da rede de drenagem e localização dos equipamentos de monitoramento - MB8\_F56\_P04\_S35



### Convenções Cartográficas

- Pluviômetro e barômetro
- ▲ Sensor de nível e exutório da bacia
- Rede de drenagem
- ▭ Limite da bacia

1:16,000

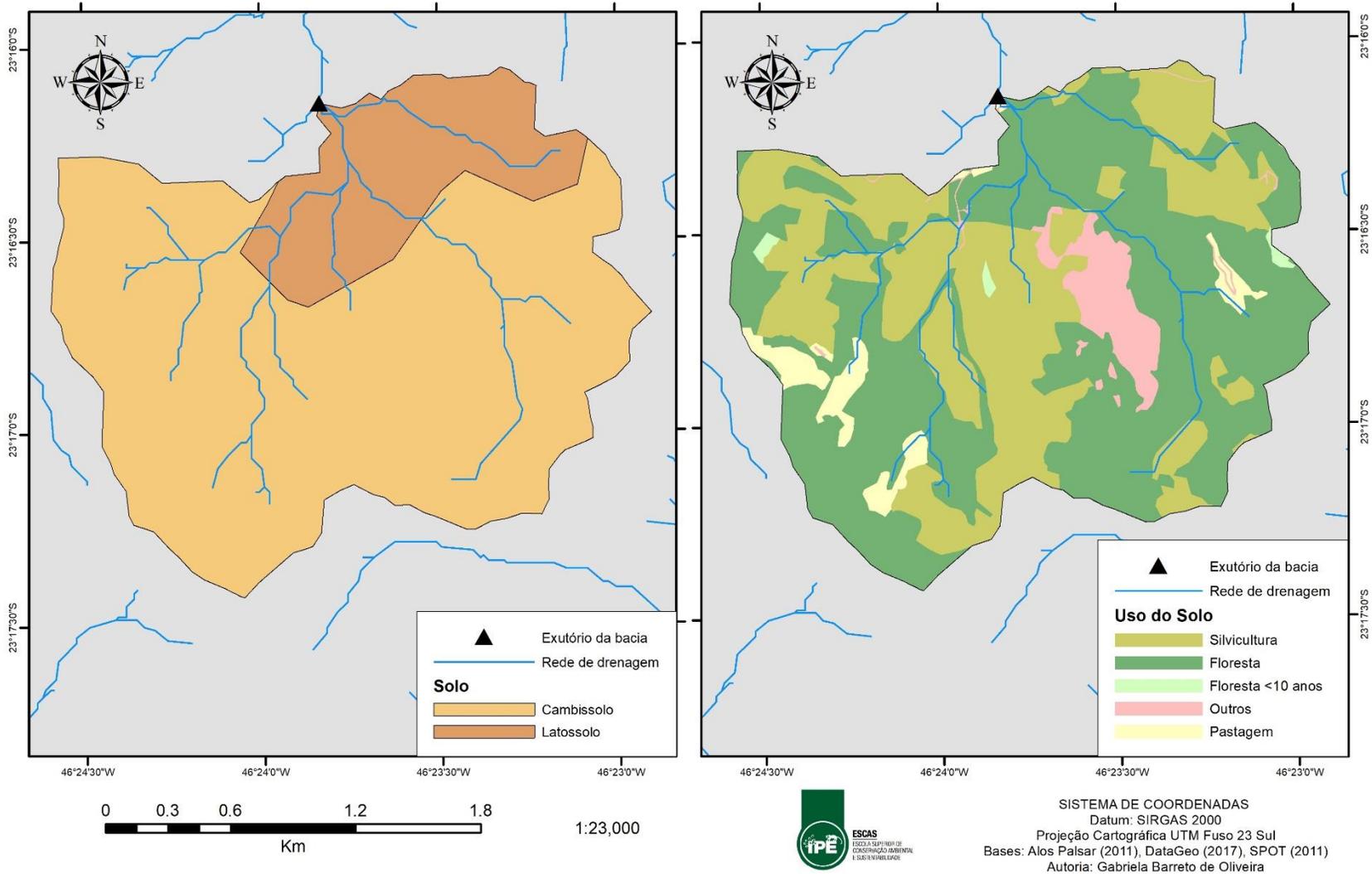


ESCAS  
INSTITUTO BRASILEIRO DE  
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL  
E SUSTENTABILIDADE

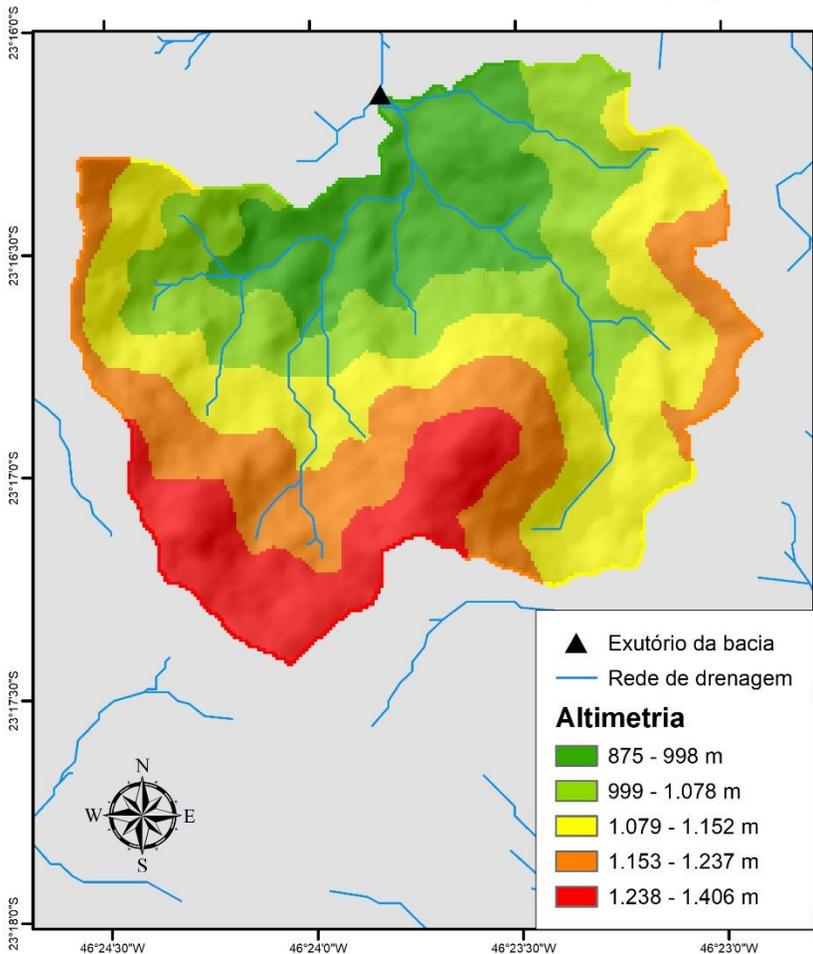
SISTEMA DE COORDENADAS  
Datum: SIRGAS 2000  
Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
Base: Alos Palsar (2011)

Elaborado por Gabriela Barreto de Oliveira

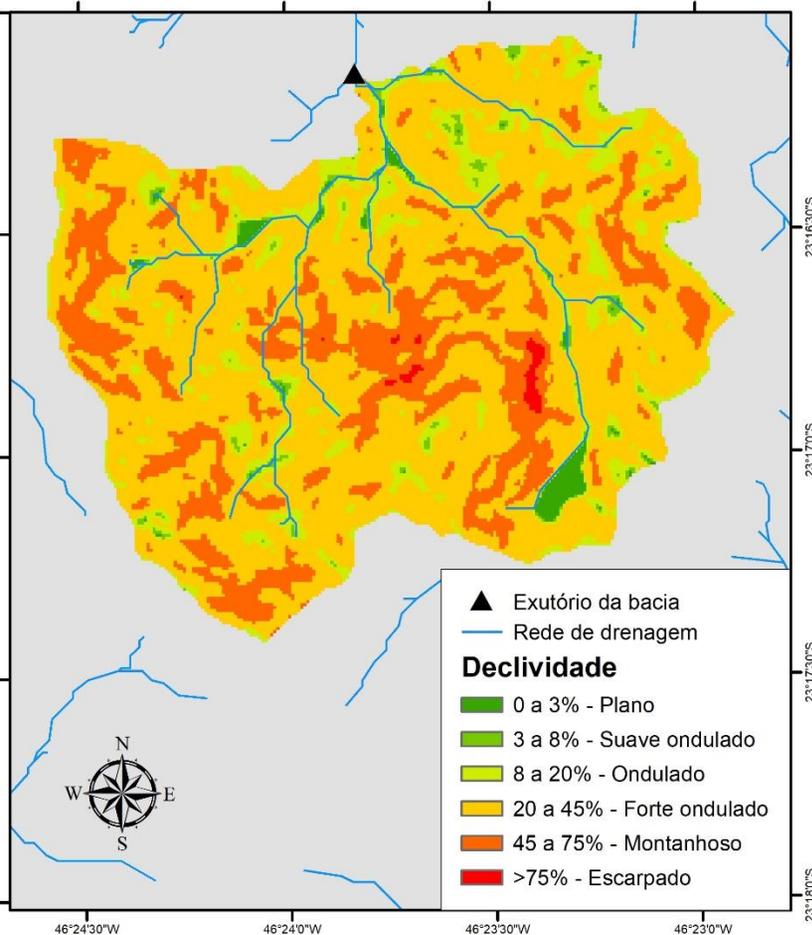
## Mapa Pedológico e de Uso do Solo - MB8\_F56\_P04\_S35



### Mapa Topográfico - MB8\_F56\_P04\_S35

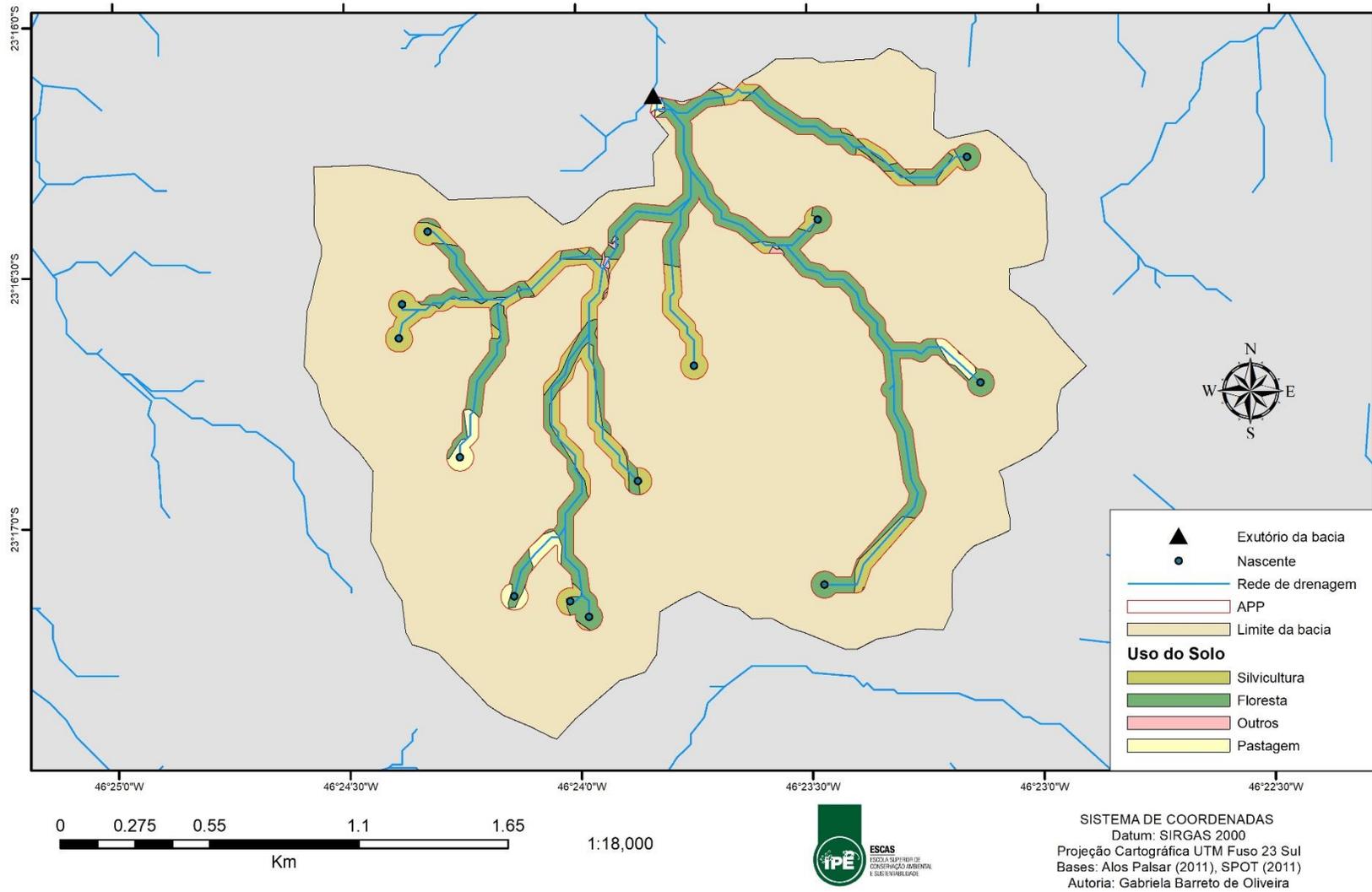


1:24,000



SISTEMA DE COORDENADAS  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Projeção Cartográfica UTM Fuso 23 Sul  
 Base: Alos Palsar (2011)  
 Autoria: Gabriela Barreto de Oliveira

## Áreas de Preservação Permanente (APP) - MB8\_F56\_P04\_S35



## ANEXO B

### Análise morfométrica das microbacias hidrográficas estudadas no Sistema Cantareira

Caracterização geométrica	Microbacias*							
Parâmetro	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8
Área de drenagem (Km <sup>2</sup> )	7,88	7,18	5,68	4,07	3,25	2,98	2,14	4,76
Perímetro da bacia (Km)	12,36	11,61	14,06	9,71	8,42	7,38	6,70	10,09
Índice de circularidade (adimensional)	0,65	0,67	0,36	0,54	0,58	0,69	0,60	0,59
Coefficiente de compacidade (adimensional)	1,24	1,22	1,66	1,36	1,32	1,21	1,29	1,30
Fator de forma (adimensional)	0,55	0,70	0,40	0,49	0,49	0,70	0,49	0,83

Caracterização do relevo	Microbacias*							
Parâmetro	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8
Declividade máxima (%)	115,7	223,1	256,1	109,4	99,3	86,8	111,4	102
Declividade média (%)	31,7	31,7	37,5	30,2	33,5	35,4	35,7	34
Declividade mínima (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Altitude média da bacia (m)	1498,6	1144,5	1736,5	1403,3	990,2	1019,4	982,3	1110,2
Amplitude altimétrica da bacia (m)	320	474	393	326	323	332	427	531
Altitude média do rio principal (m)	1427,1	1022,9	1602,3	1330	945,3	921,4	906,8	1008,7
Amplitude altimétrica do canal principal (m)	199	186	182	217	244	215	246	345

Caracterização do relevo	Microbacias*							
Parâmetro	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8
Comprimento do rio principal (Km)	4,12	3,12	4,48	3,35	3,26	2,07	1,77	2,38
Comprimento axial da bacia (Km)	3,78	3,20	3,76	2,88	2,57	2,06	2,10	2,40
Comprimento axial do rio principal (Km)	3,50	2,56	3,53	2,48	2,20	1,79	1,51	1,93
Comprimento total dos canais (Km)	16,91	18,72	11,70	8,20	8,04	6,57	4,26	10,12
Índice de sinuosidade do canal (adimensional)	1,18	1,22	1,27	1,35	1,48	1,15	1,17	1,23
Densidade da drenagem (km/km <sup>2</sup> )	2,14	2,61	2,06	2,01	2,47	2,21	1,99	2,12
Índice de rugosidade (adimensional)	0,69	1,24	0,81	0,66	0,80	0,73	0,85	1,13
Gradiente do canal principal (adimensional)	0,05	0,06	0,04	0,06	0,07	0,10	0,14	0,15

\*MB1 = MB1\_F17\_P01\_S77; MB2 = MB2\_F25\_P69\_S05; MB3 = MB3\_F97\_P00\_S01; MB4 = MB4\_F22\_P07\_S72; MB5 = MB5\_F44\_P47\_S08; MB6 = MB6\_F16\_P25\_S58; MB7 = MB7\_F36\_P35\_S29; e MB8 = MB8\_F56\_P04\_S35.

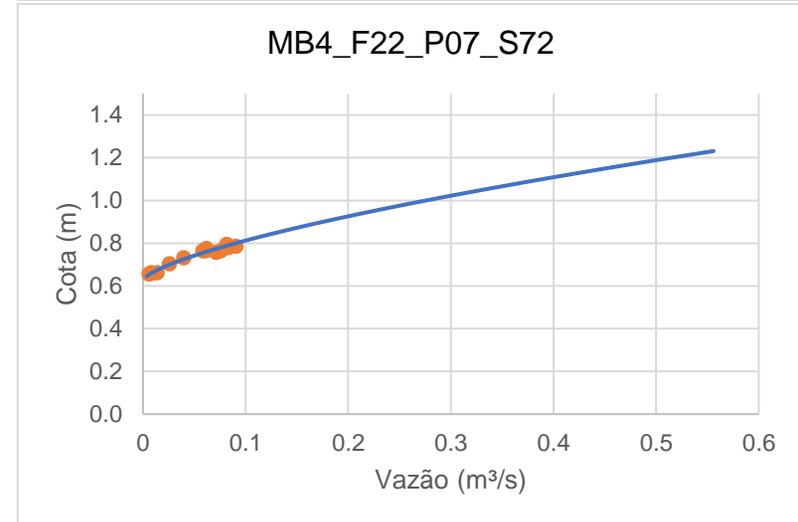
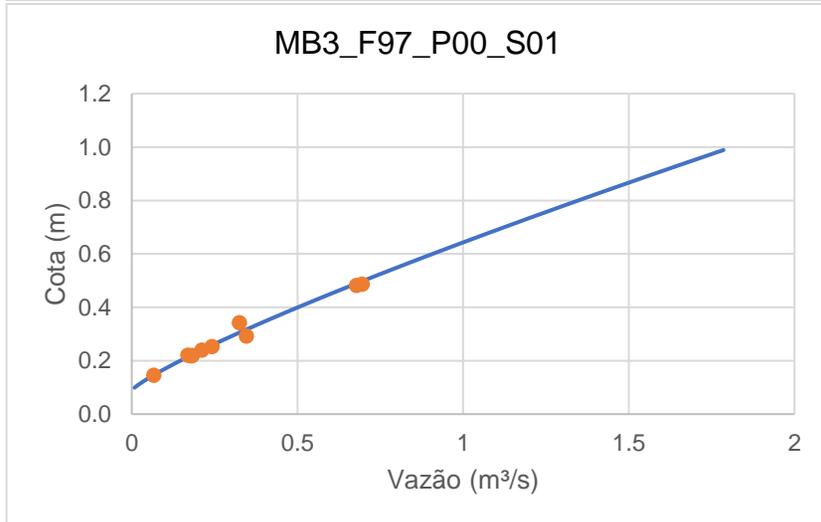
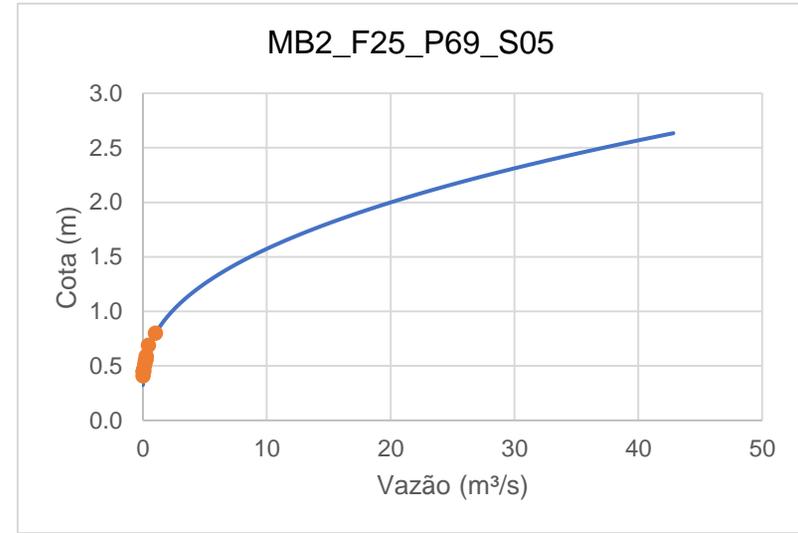
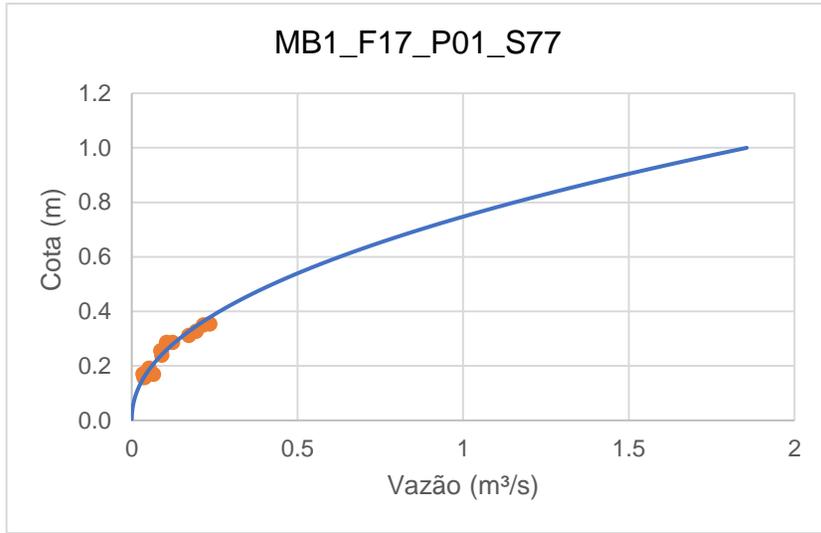
## ANEXO C

### Interpretação ambiental dos parâmetros morfométricos

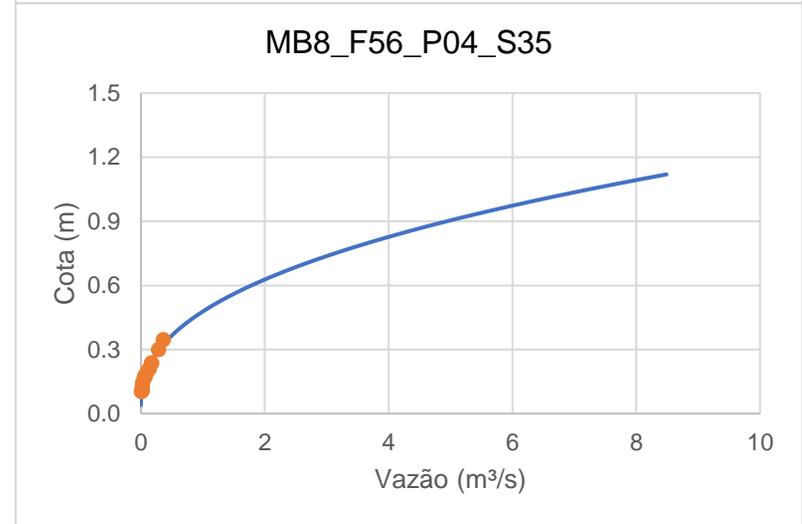
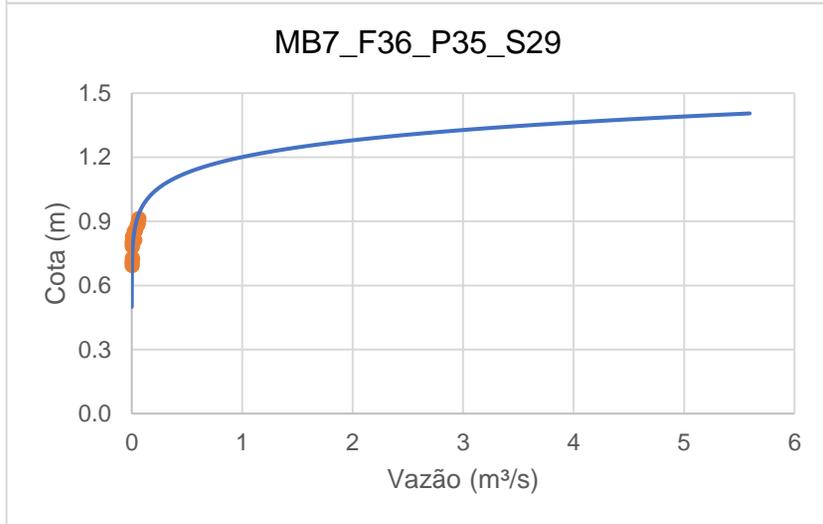
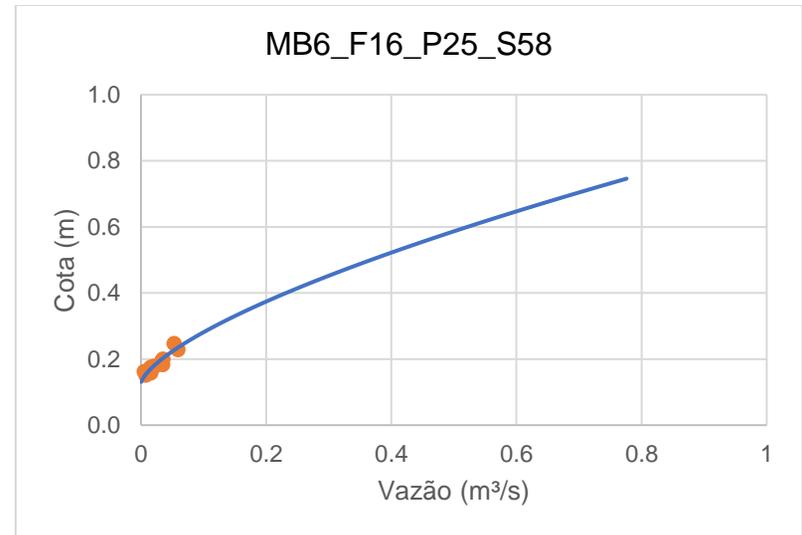
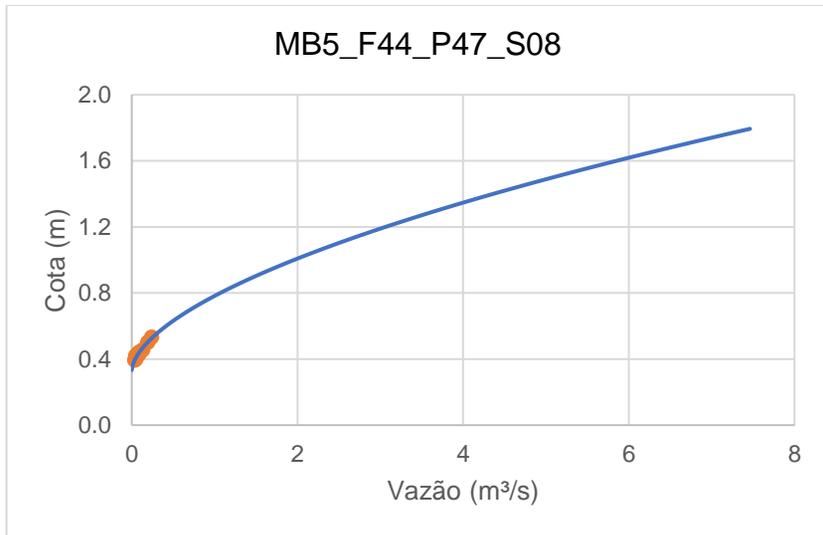
Caracterização geométrica da microbacia	
Parâmetro	Interpretação
Índice de circularidade (adimensional)	< 0,40: Comprida; 0,4-0,6: Oblonga; 0,6-0,8: Mediana; 0,8-1,0: Redonda
Coefficiente de compacidade (adimensional)	> 1,7: Comprida; 1,5-1,7: Oblonga; 1,25-1,5: Mediana; 1,0-1,25: Redonda
Fator de forma/ Ind. Conformidade (adimensional)	< 0,3: Comprida; 0,3-0,5: Oblonga; 0,5-0,75: Mediana; 0,75-1,0: Redonda
Caracterização da rede de drenagem	
Parâmetro	Interpretação
Índice de sinuosidade do canal (adimensional)	< 1,05: canal retilíneo; 1,05 - 1,5: sinuoso; > 1,5: meandrante
Densidade da drenagem (adimensional)	< 1,5: baixo escoamento superficial e maior infiltração; 1,5 - 2,5: tendência mediana de escoamento superficial; 2,5-3,0: alta tendência ao escoamento e enxurradas; > 3,0: alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão
Índice de rugosidade (adimensional)	Quanto maior o valor, maior o potencial para a ocorrência de cheias
Gradiente do canal principal (adimensional)	Quanto maior o valor, maior o potencial para a ocorrência de cheias

\* Definições de BRICE, 1964; LEOPOLD; WOLMAN, 1957 apud MAGALHÃES FILHO & BARROS, 2020.

**ANEXO D**  
**Curva chave da vazão**



— Curva chave      ● Dados observados



— Curva chave     
 ● Dados observados

## ANEXO E

### Extrapolação da curva chave para as oito microbacias hidrográficas.

Microbacia	Extrapolação	
	Inferior	Superior
MB1_F17_P01_S77	8,5 – 15,7 cm	35,6 – 98,1 cm
MB2_F25_P69_S05	38,7 – 40,5 cm	80,2 – 260,1 cm
MB3_F97_P00_S01	13,8 – 14,5 cm	48,8 – 97,2 cm
MB4_F22_P07_S72	64,3 – 65,1 cm	79,7 – 136,7 cm
MB5_F44_P47_S08	38,2 – 39,2 cm	53,2 – 176,9 cm
MB6_F16_P25_S58	12,7 – 15,2 cm	24,8 – 71,8 cm
MB7_F36_P35_S29	61,3 – 69,2 cm	91,3 – 139,1 cm
MB8_F56_P04_S35	7,7 – 10,2 cm	34,7 – 111,6 cm

## ANEXO F

**Número de amostras (n.<sup>o</sup>), média, desvio padrão ( $\sigma$ ) e amplitude (valor mínimo e máximo) dos parâmetros físico-químicos analisados nas microbacias hidrográficas.**

		Temperatura (°C)					pH					Potencial de oxirredução (ORPmV)				
Microbacia	n. <sup>o</sup>	média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max		média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max		média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max	
MB1_F17_P01_S77	18	16,69	2,53	17,70	8,75	18,81	7,03	0,53	6,98	5,57	8,05	234,94	41,7	224,00	168	303
MB2_F25_P69_S05	16	21,04	2,78	22,11	13,60	23,26	7,12	0,33	7,06	6,38	7,82	169,4	69,8	130,00	73	282
MB3_F97_P00_S01	13	15,69	2,14	16,68	10,33	18,49	7,27	0,34	7,17	6,82	7,85	243,75	37,8	244,00	168	96
MB4_F22_P07_S72	18	17,21	2,19	17,88	10,80	19,16	6,92	0,65	6,84	5,69	8,92	174,06	74,3	192,00	62	298
MB5_F44_P47_S08	19	20,12	2,12	20,63	12,60	22	7,51	0,36	7,45	6,84	8,39	230,44	47,5	231,00	139	89
MB6_F16_P25_S58	17	22,09	2,44	22,30	14,96	26,34	7,00	0,38	6,92	6,56	8,05	54,5	88,1	43,50	-43	280
MB7_F36_P35_S29	18	22,05	2,47	22,44	14,98	26,06	7,08	0,37	6,96	6,74	8,18	53,88	61,0	40,00	-46	212
MB8_F56_P04_S35	16	19,18	2,22	19,76	14,19	22,14	7,33	0,27	7,36	6,72	7,71	227,94	43,5	228,50	160	332

		Condutividade elétrica (mS/cm)					Oxigênio dissolvido (mg/L)					Turbidez (UNT)				
Microbacia	n. <sup>o</sup>	média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max		média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max		média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max	
MB1_F17_P01_S77	18	0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	12,76	3,93	13,05	6,86	20,1	19,48	23,6	14,85	2,2	109
MB2_F25_P69_S05	16	0,05	0,02	0,06	0,00	0,07	11,79	3,57	12,11	6,52	18,6	89,08	180,6	17,05	0,0	618
MB3_F97_P00_S01	13	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	14,54	2,74	14,86	9,61	18	5,19	5,4	3,8	0,0	21,3
MB4_F22_P07_S72	18	0,03	0,01	0,03	0,02	0,08	12,05	3,82	11,3	7,06	22,1	19,96	27,5	9,05	0,6	106
MB5_F44_P47_S08	19	0,02	0,00	0,01	0,01	0,03	12,92	4,29	13,19	7,49	21,5	7,33	6,3	6,4	0,0	24,1
MB6_F16_P25_S58	17	0,06	0,02	0,05	0,03	0,09	9,26	3,98	8,76	4,31	17,7	13,37	22,4	4,4	0,4	94
MB7_F36_P35_S29	18	0,08	0,12	0,06	0,03	0,55	11,39	4,57	9,8	6,11	22,6	31,84	35,3	14,6	2,2	127
MB8_F56_P04_S35	16	0,03	0,01	0,03	0,02	0,04	12,75	4,2	13	6,94	22,5	21,1	47,3	6,25	0,0	195

Microbacia	n.º	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)					n	Concentração SS (g/L)				
		média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max			média	$\sigma$	mediana	Amplitude min max	
MB1_F17_P01_S77	18	0,01	0	0,01	0,01	0,02	15	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04
MB2_F25_P69_S05	16	0,04	0,01	0,04	0	0,05	13	0,08	0,15	0,03	0,00	0,57
MB3_F97_P00_S01	13	0,01	0	0,01	0,01	0,01	10	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
MB4_F22_P07_S72	18	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	15	0,02	0,02	0,01	0,00	0,10
MB5_F44_P47_S08	19	0,01	0	0,01	0,01	0,02	16	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
MB6_F16_P25_S58	17	0,04	0,01	0,04	0,02	0,06	13	0,03	0,04	0,02	0,00	0,15
MB7_F36_P35_S29	18	0,03	0,01	0,04	0,02	0,06	15	0,04	0,03	0,02	0,01	0,13
MB8_F56_P04_S35	16	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	14	0,02	0,03	0,01	0,00	0,12

## ANEXO G

**Resultado do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste post-hoc de Dunn para os parâmetros físico-químicos (Os destaques são as microbacias que apresentaram diferença significativa entre si a um nível de significância de 5%).**

### A) Temperatura (°C)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	0,000						
MB3	1,000	0,000					
MB4	1,000	0,002	1,000				
MB5	0,026	1,000	0,003	0,110			
MB6	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000		
MB7	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	
MB8	0,846	0,876	0,135	1,000	1,000	0,080	0,088

### B) pH

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	1,000						
MB3	1,000	1,000					
MB4	1,000	1,000	0,122				
MB5	0,023	0,358	1,000	0,000			
MB6	1,000	1,000	0,557	1,000	0,001		
MB7	1,000	1,000	1,000	1,000	0,013	1,000	
MB8	0,660	1,000	1,000	0,010	1,000	0,072	0,435

### C) Potencial de oxirredução (ORPmV)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	1,000						
MB3	1,000	0,484					
MB4	1,000	1,000	0,832				
MB5	1,000	1,000	1,000	1,000			
MB6	0,000	0,148	0,000	0,044	0,000		
MB7	0,000	0,087	0,000	0,023	0,000	1,000	
MB8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000

D) Condutividade elétrica (mS/cm)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	0,000						
MB3	1,000	0,000					
MB4	1,000	0,233	0,004				
MB5	1,000	0,000	1,000	0,010			
MB6	0,000	1,000	0,000	0,103	0,000		
MB7	0,000	1,000	0,000	0,154	0,000	1,000	
MB8	1,000	0,142	0,014	1,000	0,038	0,061	0,092

E) Oxigênio dissolvido (mg/L)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	1,000						
MB3	1,000	1,000					
MB4	1,000	1,000	1,000				
MB5	1,000	1,000	1,000	1,000			
MB6	0,324	1,000	0,008	1,000	0,305		
MB7	1,000	1,000	0,398	1,000	1,000	1,000	
MB8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,570	1,000

F) Turbidez (UNT)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	1,000						
MB3	0,047	0,206					
MB4	1,000	1,000	0,500				
MB5	0,442	1,000	1,000	1,000			
MB6	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
MB7	1,000	1,000	0,011	1,000	0,122	0,447	
MB8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

G) Sólidos totais dissolvidos (mg/L)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	0,000						
MB3	1,000	0,000					
MB4	1,000	0,202	0,004				
MB5	1,000	0,000	1,000	0,009			
MB6	0,000	1,000	0,000	0,106	0,000		
MB7	0,000	1,000	0,000	0,213	0,000	1,000	
MB8	1,000	0,105	0,015	1,000	0,040	0,054	0,110

H) Concentração de sedimentos suspensos(g/L)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7
MB2	1,000						
MB3	0,291	0,159					
MB4	1,000	1,000	1,000				
MB5	0,664	0,356	1,000	1,000			
MB6	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
MB7	1,000	1,000	0,023	0,313	0,046	1,000	
MB8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,665

\* Os destaques são as microbacias que apresentaram diferença significativa entre si a um nível de significância de 5%.

## ANEXO H

### EQUIPAMENTOS E APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS EM CAMPO



Legenda: (A) e (B) Estação hidrológica e sensor de nível de coluna d'água; (C) e (D) Registrador de nível de água; (E) Pluviômetro; (F) Medição de parâmetros físico-químicos com Sonda Multiparâmetros; (G) Medição da vazão com Flowtracker; e (H) Coleta de amostra de sedimento em suspensão.