

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ANA PAULA PEREIRA CARVALHO**

**DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA EFETIVA E  
POTENCIAL EM SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO  
PIRACICABA (SP) PARA FINS DE PLANEJAMENTO E GESTÃO  
DOS RECURSOS HÍDRICOS**

SÃO CARLOS - SP

2022

ANA PAULA PEREIRA CARVALHO

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA EFETIVA E  
POTENCIAL EM SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO  
PIRACICABA (SP) PARA FINS DE PLANEJAMENTO E GESTÃO  
DOS RECURSOS HÍDRICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais<sup>1</sup>.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Goulart  
Collares

São Carlos - SP

2022

---

<sup>1</sup> Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Ana Paula Pereira, Carvalho

Determinação da demanda hídrica efetiva e potencial em sub-bacias hidrográficas do Rio Piracicaba (SP) para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos / Carvalho Ana Paula Pereira -- 2022. 297f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Reinaldo Lorandi  
Banca Examinadora: Luiz Eduardo Moschini, Vandoir Bourscheidt, Carlos Wilmer Costa, José Augusto Di Lollo  
Bibliografia

1. Balanço hídrico. 2. Demanda hídrica efetiva e potencial. 3. Escassez hídrica. I. Ana Paula Pereira, Carvalho. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

### Folha de Aprovação

---

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Ana Paula Pereira Carvalho, realizada em 28/04/2022.

#### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi (UFSCar)

Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini (UFSCar)

Prof. Dr. Vandoir Bourscheidt (UFSCar)

Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa (UFRN)

Prof. Dr. José Augusto Di Lollo (UNESP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

A fé é a firme garantia do que se espera, a prova do que não se vê.

**Hebreus 11:1**

Pela fé, compreendemos que o mundo foi formado pela Palavra de DEUS. Foi assim que de coisas invisíveis se originou o que vemos.

**Hebreus 11:3**

## AGRADECIMENTOS

---

Primeiramente agradeço ao **NOSSO ÚNICO DEUS**, pelo dom da vida, por estar sempre comigo, por ser meu escudo, meu auxílio, por me dar sabedoria e força. A minha eterna gratidão, todas as minhas palavras serão insuficientes para agradecer ao **SENHOR**, que é **TUDO** para mim.

Aos meus pais Antonio e Rejane, por serem os melhores pais do mundo, por terem me ensinado os princípios e os valores da vida. Agradeço o amor, a compreensão, o carinho, as palavras de ânimo e motivação. Muito obrigada por tudo o que fizeram para mim e para as minhas irmãs. Vocês são muito especiais, amo muito vocês.

As minhas irmãs, Ana Claudia e Nubia, agradeço por cada momento, pelo carinho, por estarem sempre prontas a ajudar, por serem animadas deixando os momentos mais alegres e divertidos. Vocês são as melhores irmãs do mundo, amo muito vocês.

Ao Prof. Dr. Reinaldo Lorandi, pela oportunidade de ser sua orientanda, pela amizade, pela paciência, pelos conhecimentos transmitidos ao longo destes anos.

Ao Prof. Dr. Eduardo Goulart Collares, pela amizade, pela ajuda, por ter dado a oportunidade de participar do primeiro projeto de pesquisa que foi muito importante para o meu desenvolvimento, e por ter acompanhado a minha trajetória acadêmica, desde a iniciação científica até aqui.

Ao Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini, agradeço por cada ensinamento e pela alegria no Laboratório de Geotecnologias e Conservação Ambiental da UFSCar e pela disponibilidade em ajudar sempre, e ao Prof. Dr. José Augusto Di Lollo, pelos ensinamentos transmitidos durante o decorrer do trabalho e pela prontidão em ajudar.

Ao Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa, a Pesquisadora Dra. Dayana Almeida e o Prof. Dr. Vandoir Bourscheidt, pela avaliação do trabalho de qualificação e pelas considerações que foram essenciais para a melhoria do trabalho. E também, ao Prof. Dr. Daniel Costa pelos conhecimentos compartilhados e pela disposição em ajudar.

A Profa. Dra. Érica Pugliesi, pela sua amizade e alegria no Departamento de Ciências Ambientais, deixando os momentos mais harmoniosos.

Aos Docentes do Departamento de Ciências Ambientais, pelos ensinamentos transmitidos.

A equipe de pesquisadores e amigos do Laboratório de Geotecnologias e Conservação Ambiental da UFSCar (Ana Claudia, Ana Paula Jacó, Bruna, Dayana, Diego, João, Lívia, Mariana,

Mayara, Naara, Silvia e Vitor), e aos discentes amigos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Ao Vinicius, secretário do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UFSCar, pela prontidão em ajudar e pelas informações transmitidas.

A Agência das Bacias PCJ, pela disponibilização de dados para a realização desta pesquisa.

Ao Sr. Vagner e família, ao Sr. Osvaldo e Sr. Paulo, a Sra. Tereza e o Sr. Sérgio, a Sra. Rejane, a Adriana e família, o Sr. Ricardo e família, a Sra. Lucimara e o Sr. Antonio, e o Sr. Benedito e família, residentes nas áreas de estudo. Pessoas especiais que tornaram amigos na etapa de coleta de dados.

Aos familiares e amigos, pelo carinho e compreensão em todos os momentos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos financeiros disponibilizados para a realização do projeto regular (2018/14145-4), no qual tive a oportunidade de fazer parte da equipe, e que muito contribuiu com dados para a realização deste trabalho.

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

A todos os meus mais sinceros agradecimentos,

Muito obrigada!

## RESUMO

Carvalho, A. P. P. Determinação da demanda hídrica efetiva e potencial em sub-bacias hidrográficas do Rio Piracicaba (SP) para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos. 2022 - 297p: Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos - 2022.

A crescente demanda hídrica é uma preocupação de nível global, pois a água quando não utilizada de forma racional compromete a sua oferta, o que pode ocasionar diversos problemas, como a escassez hídrica. O objetivo deste trabalho consistiu na determinação da demanda hídrica efetiva e potencial em quatro Pares de sub-bacias hidrográficas morfometricamente semelhantes situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) na região sudeste do estado de São Paulo, para contribuir com o planejamento e a gestão adequada dos recursos hídricos. A Demanda Hídrica do Setor Agrícola ( $DHP_a$ ) foi calculada por meio dos valores da necessidade de irrigação das culturas (temporárias e permanentes) existentes na área de estudo, disponibilizados pela plataforma “Coeficientes Técnicos para a Agricultura Irrigada”. Para o cálculo da  $DHP_a$  foram classificadas as culturas temporárias por estágios de desenvolvimento (I a IV), para isto, utilizou-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI, sigla em inglês). O cálculo da Demanda Hídrica do Setor Pecuário ( $DH_p$ ) envolveu pesquisa bibliográfica para identificar a quantidade de água consumida por cada espécie de animal, e também o levantamento *in situ* para o recenseamento dos rebanhos. Com relação à Demanda Hídrica Populacional ( $DH_{pop}$ ), esta dependeu da estimativa populacional para cada setor censitário utilizando um indicador demográfico, bem como, o consumo médio per capita de água. A Demanda Hídrica Industrial ( $DH_i$ ) foi determinada pelo volume consumido das captações de águas superficiais e subterrâneas devidamente regularizadas para fins industriais nos limites das áreas de estudo. Além do cálculo das demandas hídricas dos setores, foram elaborados dois Balanços Hídricos Quantitativos (BHQs), sendo que, o primeiro foi determinado considerando a demanda hídrica efetiva e a Oferta Hídrica Superficial (OHS), e o segundo, consistiu na relação da OHS com a  $DHP_a$  em conjunto com as outras demandas, para verificar a situação quanto ao nível de comprometimento dos recursos hídricos superficiais caso haja a necessidade de irrigação. A partir dos resultados, verifica-se que ao considerar o primeiro BHQ, o Par 4 foi o que apresentou níveis mais elevados quanto ao comprometimento dos recursos hídricos. Na análise do segundo BHQ, a  $DHP_a$  foi determinante para enquadrar os recursos hídricos em níveis mais restritivos na maioria dos dias analisados nas sub-bacias hidrográficas estudadas, porém, as sub-bacias SB(C) e SB(D) que compõem o Par 2, apresentaram as situações mais críticas quanto ao nível de comprometimento hídrico, devido à exploração dos seus recursos hídricos para as diferentes atividades desenvolvidas. Os métodos adotados neste trabalho podem ser facilmente adaptados para a determinação da demanda hídrica em outras sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem situadas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), bem como em distintas regiões hidrográficas do país, visto que, a maior parte das bases de dados utilizadas possui abrangência nacional. Os resultados poderão auxiliar os gestores na elaboração de políticas públicas com vista ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Balanço Hídrico; Demanda Hídrica Efetiva; Demanda Hídrica Potencial; Escassez Hídrica; Rio Piracicaba; SIG.



## ABSTRACT

The growing water demand is a global concern, as water, when not used rationally, compromises its supply, which can cause several problems, such as water scarcity. The objective of this work was to determine the effective and potential water demand in four Pairs of morphometrically similar hydrographic sub-basins located in the Piracicaba River Basin (BHRP) in the southeastern region of the state of São Paulo, to contribute to the planning and management of water resources. The Water Demand of the Agricultural Sector ( $DHP_a$ ) was calculated through the values of irrigation needs of the crops (temporary and permanent) existing in the study area, made available by the platform “Technical Coefficients for Irrigated Agriculture”. To calculate the  $DHP_a$ , the temporary crops were classified by stages of development (I to IV), using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The calculation of the Water Demand of the Livestock Sector ( $DH_p$ ) involved bibliographic research to identify the amount of water consumed by each species of animal, and also the in situ data collection for the census of the herds. With regard to Population Water Demand ( $DH_{pop}$ ), it was established based on the population estimate for each census sector using a demographic indicator, as well as on the average per capita water consumption. Industrial Water Demand ( $DH_i$ ) was determined by the volume consumed from surface and underground water abstractions duly regulated for industrial purposes within the limits of the study areas. In addition to calculating the water demands of the sectors, two Quantitative Water Balances ( $BHQ_s$ ) were elaborated, the first was determined considering the effective water demand and the Surface Water Supply (OHS), and the second consisted of the relationship of OHS with  $DHP_a$  in conjunction with the other demands, to verify the situation regarding the level of commitment of surface water resources in terms of irrigation. From the results, it is noted that for the first  $BHQ$ , Pair 4 was the one that showed the highest levels regarding the commitment of water resources. In the analysis of the second  $BHQ$ , the  $DHP_a$  was decisive to frame the water resources in more restrictive levels in most of the days analyzed in the studied sub-basins. However, the SB(C) and SB(D) sub-basins that make up the Pair 2, presented the most critical situations regarding the level of water commitment, due to the exploitation of their water resources for the different activities developed. The methods adopted in this work can be easily adapted to determination water demand in other 4<sup>th</sup> order hydrographic sub-basins located in the Piracicaba, Capivari and Jundiá River Basins (PCJ), as well as in distinct hydrographic regions of the country, since, most of the databases used have national coverage. The results may assist managers in the elaboration of public policies with a view to planning and managing water resources.

**Keywords:** Water Balance; Effective Water Demand; Potential Water Demand; Water Scarcity; Piracicaba River; GIS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visualização tridimensional de uma bacia-hidrográfica. ....	31
Figura 2 - Demanda hídrica global por setor até o ano de 2040. ....	39
Figura 3 - Retirada dos usos consuntivos setoriais no Brasil, em 2020. ....	40
Figura 4 - Participação da demanda hídrica agrícola no ano de 2010 e mudanças até o ano de 2050. ....	42
Figura 5 - Evolução da área irrigada no Brasil (milhões de hectares) e participação das regiões (%). ....	43
Figura 6 - Evolução da retirada de água ( $m^3 s^{-1}$ ) pela irrigação no Brasil. ....	43
Figura 7 - Evolução da retirada de água ( $m^3 s^{-1}$ ) pela pecuária no Brasil. ....	47
Figura 8 - Consumo de água por habitante ( $m^3 ano^{-1}$ ). ....	48
Figura 9 - Evolução da retirada de água ( $m^3 s^{-1}$ ) pelo abastecimento urbano no Brasil. ....	49
Figura 10 - Evolução da retirada de água ( $m^3 s^{-1}$ ) pela indústria no Brasil. ....	52
Figura 11 - Demanda de água industrial (retirada e consumo) por regiões brasileiras em 2015. ....	53
Figura 12 - Média dos níveis de estresse hídrico no mundo em 2015 (%). ....	56
Figura 13 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP). ....	60
Figura 14 - Principais sub-bacias hidrográficas da BHRP. ....	63
Figura 15 - Classificação da rede de drenagem da BHRP conforme Strahler (1957). ....	64
Figura 16 - Tipos de clima da BHRP de acordo com a classificação de Köppen. ....	65
Figura 17 - Classes geológicas da BHRP. ....	66
Figura 18 - Mapa geológico que abrange parte da BHRP. ....	69
Figura 19 - Unidades aquíferas existentes na BHRP. ....	72
Figura 20 - Classes pedológicas existentes na BHRP. ....	75
Figura 21 - Mapa de uso e cobertura do solo da BHRP. ....	76
Figura 22 - Área ( $km^2$ ) das classes do mapa de uso e cobertura do solo da BHRP. ....	77
Figura 23 - Demanda hídrica nas principais sub-bacias hidrográficas da BHRP. ....	78
Figura 24 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio da Prata - SB(A). ....	80
Figura 25 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B). ....	82
Figura 26 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C). ....	85
Figura 27 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D). ....	86

Figura 28 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E). ....	88
Figura 29 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F).....	89
Figura 30 - Descrição das unidades referente aos materiais inconsolidados existentes nas sub-bacias hidrográficas SB(F), SB(G) e SB(H). ....	91
Figura 31 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G). ....	93
Figura 32 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H)..	94
Figura 33 - Etapas metodológicas desenvolvidas nesta pesquisa. ....	96
Figura 34 - Articulação das Cartas Topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000.....	99
Figura 35 - Etapas desenvolvidas para a obtenção das sub-bacias hidrográficas estudadas.....	100
Figura 36 - Exemplo da espacialização dos setores censitários, com demonstração de um setor censitário na área urbana do município de Limeira (SP). ....	112
Figura 37 - Etapas executadas para a determinação da $DH_i$ nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	114
Figura 38 - Etapas para a realização dos BHQs nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	116
Figura 39 - Nível de comprometimento hídrico conforme a ANA (2021). ....	118
Figura 40 - Distribuição dos valores de cada atributo para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem da BHRP. ....	120
Figura 41 - Sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação da BHRP e os quatro Pares das sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	121
Figura 42 - Plantação de mandioca na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 796092,60 mE; Y: 7501680,41 mS; Zona 22S). ....	123
Figura 43 - Plantação de café na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 799166,18 mE; Y: 7510815,11 mS; Zona 22S). ....	124
Figura 44 - Café irrigado por gotejamento na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 795205,19 mE; Y: 7510376,83 mS; Zona 22S). ....	124
Figura 45 - Plantação de laranja na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 801596,57 mE; Y: 7496079,52mS; Zona 22S). ....	125
Figura 46 - Silvicultura na sub-bacia hidrográfica SB(A). (Coordenadas UTM - X: 769866,85 mE; Y: 7512079,63 mS; Zona 22S). ....	125
Figura 47 - Plantação de caqui na sub-bacia hidrográfica SB(F). (Coordenadas UTM - X: 306490,31 mE; Y: 7449603,56 mS; Zona 23S). ....	127

Figura 48 - Plantação de amora na sub-bacia hidrográfica SB(F). (Coordenadas UTM - X: 307874,18 mE; Y: 7449600,76 mS; Zona 23S). .....	127
Figura 49 - Hortaliças na sub-bacia hidrográfica SB(E). (Coordenadas UTM - X: 319710,83 mE; Y: 7475351,95 mS; Zona 23S). .....	128
Figura 50 - Plantação de pêsego na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 331270,36 mE; Y: 7435703,77mS; Zona 23S). .....	129
Figura 51 - Flores (Crisântemo) na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 333096,72 mE; Y: 7436355,83 mS; Zona 23S). .....	129
Figura 52 - Flores (Tango) na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 333397,23 mE; Y: 7436750,57 mS; Zona 23S). .....	130
Figura 53 - Cultura do morango na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 331403,06 mE; Y: 7435314,22 mS; Zona 23S). .....	130
Figura 54 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata. ....	131
Figura 55 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas. ....	132
Figura 56 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira. ....	133
Figura 57 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros. ....	134
Figura 58 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças. Fonte: .....	135
Figura 59 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré. ....	136
Figura 60 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga. ....	137
Figura 61 - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte. ..	138
Figura 62 - Período dos estágios de desenvolvimento das culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	140
Figura 63 - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para a cultura da cana-de-açúcar. ....	141
Figura 64 - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para a cultura da mandioca. ....	142
Figura 65 - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para as culturas do milho e da soja. ....	143

Figura 66 - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para as culturas do tomate e da vagem. ....	144
Figura 67 - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para as culturas permanentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	145
Figura 68 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(A), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	150
Figura 69 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(A), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	151
Figura 70 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	152
Figura 71 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	153
Figura 72 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	154
Figura 73 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	155
Figura 74 - Irrigação por aspersão no cultivo da cana-de-açúcar na SB(C). ....	155
Figura 75 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(C), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	156
Figura 76 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(C), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	157
Figura 77 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(D) referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	158
Figura 78 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	159
Figura 79 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	160
Figura 80 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	161
Figura 81 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento do milho na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de maio a setembro e dezembro de 2019, e janeiro e fevereiro de 2020. ....	162
Figura 82 - $\text{DHP}_a$ por estágios de desenvolvimento do milho na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de março e abril de 2020. ....	163

Figura 83 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da soja na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de maio a outubro de 2019.....	163
Figura 84 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da soja na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de dezembro de 2019 e janeiro a abril de 2020. ....	164
Figura 85 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(E), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.....	165
Figura 86 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(E), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	166
Figura 87 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento do tomate na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019. ....	167
Figura 88 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento do tomate na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.....	168
Figura 89 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da vagem na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de maio a agosto de 2019.....	168
Figura 90 - DHP <sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da vagem na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de setembro a dezembro de 2019 e janeiro a abril de 2020.....	169
Figura 91 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de fevereiro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	171
Figura 92 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de março das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	171
Figura 93 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de abril das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	172
Figura 94 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de maio das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	172
Figura 95 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de junho das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	172
Figura 96 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de julho das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	173
Figura 97 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de agosto das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	173
Figura 98 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de setembro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	173
Figura 99 - Demanda hídrica potencial (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ) diária para o mês de outubro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	174

Figura 100 - Demanda hídrica potencial ( $m^3 d^{-1}$ ) diária para o mês de novembro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	174
Figura 101 - $DHP_a$ diária das culturas temporárias e permanentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	175
Figura 102 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata - SB(A). ....	179
Figura 103 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B). ....	180
Figura 104 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C). ....	181
Figura 105 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D). ....	182
Figura 106 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E). ....	183
Figura 107 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F). ....	184
Figura 108 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G). ....	185
Figura 109 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H). ....	186
Figura 110 - Quantidade de animais por tipos de rebanhos em diferentes escalas. ....	187
Figura 111 - Localização dos municípios que envolvem a BHRP. ....	193
Figura 112 - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata (A) e da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas (B). ....	197
Figura 113 - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira (A) e da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros (B). ....	198
Figura 114 - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças (A) e da sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré (B). ....	199
Figura 115 - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga (A) e da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte (B). ....	200
Figura 116 - Consumo médio per capita de água nos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	202
Figura 117 - Demanda hídrica do setor populacional e a população referente ao ano de 2019. ....	203
Figura 118 - Vazões das captações superficiais e subterrâneas para o uso industrial nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	207

Figura 119 - Espacialização dos pontos de captação de água nas sub-bacias hidrográficas SB(A), SB(C), SB(D) e SB(F). .....	208
Figura 120 - Percentual das demandas hídricas nas sub-bacias hidrográficas estudadas para o 1º BHQ. ....	209
Figura 121 - Percentual das demandas hídricas nas sub-bacias hidrográficas estudadas para o 2º BHQ. ....	211
Figura 122 - Dendrograma representando os grupos das sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação da BHRP.....	251
Figura 123 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(A), nos meses de maio a agosto de 2019.....	257
Figura 124 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(A), nos meses de setembro a dezembro de 2019.....	258
Figura 125 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(A), nos meses de janeiro a abril de 2020.....	259
Figura 126 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(B), nos meses de maio a agosto de 2019.....	260
Figura 127 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(B), nos meses de setembro a dezembro de 2019.....	261
Figura 128 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(B), nos meses de janeiro a abril de 2020.....	262
Figura 129 - Estágios de desenvolvimento da cultura da mandioca na SB(B), nos meses de maio a agosto de 2019. ....	263
Figura 130 - Estágios de desenvolvimento da cultura da mandioca na SB(B), nos meses de setembro a dezembro de 2019. ....	264
Figura 131 - Estágios de desenvolvimento da cultura da mandioca na SB(B), nos meses de janeiro a abril de 2020.....	265
Figura 132 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(C), nos meses de maio a agosto de 2019.....	266
Figura 133 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(C), nos meses de setembro a dezembro de 2019.....	267
Figura 134 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(C), nos meses de janeiro a abril de 2020.....	268
Figura 135 - Estágios de desenvolvimento das culturas da cana-de-açúcar, da mandioca, do milho e da soja na SB(D), nos meses de maio a agosto de 2019. ....	269



Figura 136 - Estágios de desenvolvimento das culturas da cana-de-açúcar, da mandioca, do milho e da soja na SB(D), nos meses de setembro a dezembro de 2019. ....	270
Figura 137 - Estágios de desenvolvimento das culturas da cana-de-açúcar, da mandioca, do milho e da soja na SB(D), nos meses de janeiro a abril de 2020. ....	271
Figura 138 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(E), nos meses de maio a agosto de 2019.....	272
Figura 139 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(E), nos meses de setembro a dezembro de 2019.....	273
Figura 140 - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(E), nos meses de janeiro a abril de 2020.....	274
Figura 141 - Estágios de desenvolvimento da cultura do tomate na SB(F), nos meses de maio a agosto de 2019.....	275
Figura 142 - Estágios de desenvolvimento da cultura do tomate na SB(F), nos meses de setembro a dezembro de 2019.....	276
Figura 143 - Estágios de desenvolvimento da cultura do tomate na SB(F), nos meses de janeiro a abril de 2020.....	277

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrições dos parâmetros e índices morfométricos referentes aos tipos de análises.....	35
Tabela 2- Total de água retirada por setor no período de 2010. ....	38
Tabela 3 - Consumo de água (%) em diversas atividades no Brasil. ....	40
Tabela 4 - Demanda hídrica agrícola ( $\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$ ) dos continentes em 2010 e 2050.....	41
Tabela 5 - Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor agrícola.....	44
Tabela 6 - Demanda hídrica para uso doméstico ( $\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$ ) dos continentes em 2010 e 2050.....	49
Tabela 7 - Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor populacional. ....	50
Tabela 8 - Demanda hídrica para uso industrial ( $\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$ ) dos continentes em 2010 e 2050. ....	52
Tabela 9 - Grupos industriais que possuem as maiores retiradas e consumos de água e suas respectivas vazões (2015). ....	53
Tabela 10 - Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor industrial. ....	54
Tabela 11- Nível de estresse hídrico por regiões hidrográficas (%). ....	57
Tabela 12 - Principais abordagens para avaliar a escassez hídrica. ....	58
Tabela 13 - Informações de alguns estudos sobre a escassez hídrica. ....	59
Tabela 14 - Extensão territorial ( $\text{km}^2$ ) e população dos municípios que abrangem a BHRP. ....	61
Tabela 15 - Descrições dos tipos de clima da BHRP de acordo com a classificação de Köppen. ....	65
Tabela 16 - Descrição das classes geológicas na região da BHRP. ....	69
Tabela 17 - Características hidrogeológicas das principais unidades aquíferas presentes na região. ....	73
Tabela 18 - Características dos principais grupos de solos na BHRP. ....	75
Tabela 19 - Descrição dos materiais inconsolidados existentes nas sub-bacias hidrográficas SB(A) e SB(B). ....	81
Tabela 20 - Descrição dos materiais inconsolidados existentes na sub-bacia hidrográfica SB(C)....	83
Tabela 21 - Descrição dos materiais inconsolidados existentes na sub-bacia hidrográfica SB(D). ..	84
Tabela 22 - Descrições das unidades geológicas das sub-bacias hidrográficas SB(E) e SB(F). ....	90
Tabela 23 - Descrições das unidades geológicas das sub-bacias hidrográficas SB(G) e SB(H). ....	92
Tabela 24 - Informações dos materiais utilizados na pesquisa. ....	95
Tabela 25 - Descrição dos atributos ambientais utilizados no trabalho. ....	97
Tabela 26 - Índices morfométricos utilizados para a análise de agrupamentos das sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação. ....	100
Tabela 27 - Datas das imagens dos sensores orbitais utilizados. ....	103
Tabela 28 - Intervalos do NDVI para os estágios de desenvolvimento das culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas.....	104

Tabela 29 - Dados quantitativos dos pares de sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem.....	121
Tabela 30 - Necessidade de irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) para os doze meses, considerando os estágios de desenvolvimento das culturas temporárias presentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. E - Estágios.....	139
Tabela 31 - Necessidade de irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	144
Tabela 32 - Consumo de água para os tipos de rebanhos existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	177
Tabela 33 - Demanda hídrica diária do setor pecuário nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	191
Tabela 34 - Extensões ( $km^2$ e %) dos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas.....	194
Tabela 35 - População e taxa média geométrica de crescimento anual dos municípios que compõem as sub-bacias hidrográficas estudadas.....	195
Tabela 36 - Primeiro balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas.....	214
Tabela 37 - Segundo balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas.....	218
Tabela 38 - Valores dos índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação.....	249
Tabela 39 - Limites (máximo e mínimo) do NDVI referente as culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	253
Tabela 40 - Quantificação (ha) das classes dos mapas de uso e cobertura do solo das sub-bacias hidrográficas estudadas (Junho/2019).....	254
Tabela 41 - DHP <sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas estudadas.....	255
Tabela 42 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata - SB(A). .....	279
Tabela 43 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B). .....	279
Tabela 44 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C). .....	281
Tabela 45 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D). .....	281
Tabela 46 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E).....	282

Tabela 47 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F).....	282
Tabela 48 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G).....	282
Tabela 49 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H). .....	282
Tabela 50 - Informações dos setores censitários e a $DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada.....	284
Tabela 51 - Consumo médio per capita de água ( $l \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) nos anos de 2000 a 2019 nos municípios que abrangem as áreas estudadas. ....	292
Tabela 52 - Informações dos pontos de captação de água e a demanda hídrica do setor industrial.	294
Tabela 53 - Vazões consumidas ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) referente as captações superficiais e subterrâneas existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	296

## LISTA DE SIGLAS

**ANA** - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

**BH** - Bacia Hidrográfica

**BHQs** - Balanços Hídricos Quantitativos

**BHRP** - Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba

**Cap. Sub.** - Captações Subterrâneas

**Cap. Sup.** - Captações Superficiais

**CAR** - Cadastro Ambiental Rural

**Dd** - Densidade de Drenagem

**Dh** - Densidade Hidrográfica

**DHP** - Demanda Hídrica Potencial

**DHP<sub>a</sub>** - Demanda Hídrica Potencial diária do setor agrícola

**DH<sub>i</sub>** - Demanda Hídrica diária do setor industrial

**DH<sub>p</sub>** - Demanda Hídrica diária do setor pecuário

**DH<sub>pop</sub>** - Demanda Hídrica diária do setor populacional

**ET<sub>0</sub>** - Evapotranspiração de Referência

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**Ic** - Índice de Circularidade

**IDHM** - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

**NDVI** - *Normalized Difference Vegetation Index*

**OMS** - Organização Mundial da Saúde

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**RG** - Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual

**SABESP** - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

**SB(A)** - Sub-bacia Hidrográfica do Rio da Prata

**SB(B)** - Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas

**SB(C)** - Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira

**SB(D)** - Sub-bacia Hidrográfica do Córrego dos Coqueiros

**SB(E)** - Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças

**SB(F)** - Sub-bacia Hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré

**SB(G)** - Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga

**SB(H)** - Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Boa Morte

**SBHs** - Sub-bacias Hidrográficas

**SIC** - Sistema de Informação ao Cidadão

**SIG** - Sistema de Informações Geográficas

**SIDRA** - Sistema IBGE de Recuperação Automática

**SNIS** - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	26
1.1 Objetivos .....	29
1.1.1 Objetivo Geral .....	29
1.1.2 Objetivos Específicos.....	29
1.1.3 Estrutura da Tese.....	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	31
2.1 Bacia hidrográfica como unidade de planejamento .....	31
2.2 Morfometria das áreas de drenagem .....	33
2.2.1 Parâmetros e índices morfométricos .....	35
2.3 Demanda hídrica .....	37
2.3.1 Agricultura .....	41
2.3.2 Atividade pecuária .....	45
2.3.3 Abastecimento populacional .....	47
2.3.4 Atividade industrial.....	51
2.4 Escassez hídrica .....	54
3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO.....	60
RIO PIRACICABA.....	60
3.1 Hidrografia.....	62
3.2 Clima.....	64
3.3 Geologia.....	66
3.4 Hidrogeologia.....	71
3.5 Pedologia.....	73
3.6 Uso e cobertura do solo.....	75
3.7 Demanda hídrica nas principais sub-bacias hidrográficas da BHRP .....	77
4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS.....	79
4.1 Par 1: Sub-bacia Hidrográfica do Rio da Prata - SB(A) e Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B) .....	79
4.2 Par 2: Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C) e Sub-bacia Hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D).....	83
4.3 Par 3: Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E) e Sub-bacia Hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F).....	87

4.4 Par 4: Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G) e Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H).....	91
5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	95
5.1 Materiais utilizados .....	95
5.2 Métodos.....	95
5.2.1 Levantamento e preparação de dados existentes da BHRP .....	97
5.2.2 Obtenção das sub-bacias hidrográficas estudadas .....	98
5.2.3 Determinação da demanda hídrica nas sub-bacias hidrográficas em estudo .....	101
5.2.3.1 Demanda hídrica potencial diária do setor agrícola (DHP <sub>a</sub> ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo .....	102
5.2.3.1.1 Necessidade de irrigação das culturas das sub-bacias hidrográficas estudadas	105
5.2.3.1.2 Cálculo da DHP <sub>a</sub> nas sub-bacias hidrográficas em estudo.....	108
5.2.3.2 Demanda hídrica diária do setor pecuário (DH <sub>p</sub> ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo .....	109
5.2.3.3 Demanda hídrica diária do setor populacional (DH <sub>pop</sub> ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo .....	110
5.2.3.4 Demanda hídrica diária do setor industrial (DH <sub>i</sub> ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo .....	113
5.2.4 Relação da demanda e oferta hídrica nas sub-bacias hidrográficas em estudo.....	115
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	119
6.1 Obtenção das sub-bacias hidrográficas estudadas .....	119
6.2 Determinação da demanda hídrica diária das sub-bacias hidrográficas estudadas.....	122
6.2.1 Demanda hídrica potencial diária do setor agrícola (DHP <sub>a</sub> ).....	122
6.2.1.1 Distribuição da necessidade de irrigação (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ) para as culturas temporárias e permanentes nas sub-bacias hidrográficas .....	139
6.2.1.2 DHP <sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas em estudo.....	148
6.2.1.2.1 Culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas estudadas .....	148
6.2.1.2.2 Culturas permanentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas .....	170
6.2.2 Demanda hídrica diária do setor pecuário (DH <sub>p</sub> ).....	176
6.2.3 Demanda hídrica diária do setor populacional (DH <sub>pop</sub> ) .....	192
6.2.3.1 Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (RG) das populações nas sub-bacias hidrográficas estudadas .....	192
6.2.3.2 Setores censitários nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	195



6.2.3.3 Consumo médio de água per capita das populações nos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas .....	201
6.2.3.4 $DH_{pop}$ das sub-bacias hidrográficas em estudo .....	203
6.2.4 Demanda hídrica diária do setor industrial ( $DH_i$ ) .....	205
6.3 Balanço hídrico quantitativo das sub-bacias hidrográficas estudadas .....	209
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	222
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	226
APÊNDICES.....	247
A1 - Valores dos índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem da BHRP. ....	248
A2 - Dendrograma elaborado após a análise de agrupamentos das 180 sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem da BHRP. ....	248
B1 - Limites do NDVI referente as culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	252
B2 - Quantificação das classes dos mapas de uso e cobertura do solo. ....	252
B3 - $DHP_a$ das sub-bacias hidrográficas estudadas.....	252
B4 - NDVIs nas áreas ocupadas por culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas estudadas. ....	252
C1 - Localização e quantidade de animais nas sub-bacias hidrográficas estudadas.....	278
D1 - Informações dos setores censitários, $DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) nas sub-bacias hidrográficas estudadas .....	283
D2 - Consumo médio per capita de água nos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas.....	283
E1 - Geolocalização dos pontos de captação de água, bem como os valores da $DH_i$ nas sub-bacias hidrográficas.....	293
F1 - Vazões outorgadas referente as captações superficiais e subterrâneas existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas .....	295

# 1 INTRODUÇÃO

---

A água é um recurso natural cada vez mais escasso, com isso a vida e os meios de subsistência estão ameaçados pela falta do acesso à água segura para os usos doméstico, agrícola e industrial (MSIGWA et al., 2021). A escassez de água doce é considerada um desafio global (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2016) e será uma preocupação mundial a ser enfrentada na próxima década (CAUBERGHE; VAZQUEZ-CASAUBON; VAN DE SOMPEL, 2021), devido aos danos provocados na sociedade que podem ser irremediáveis, alterando diversos aspectos da vida humana (AFKHAMI; ZAHRAIE; GHORBANI, 2022).

A escassez hídrica acontece quando os recursos de água doce são insuficientes para o atendimento das demandas hídricas. Além da quantidade, outros problemas relacionados as águas podem ocorrer, como questões voltadas à qualidade e aos entraves econômicos e institucionais (IPCC, 2021). No geral, a causa da escassez hídrica vem pautada pelo aumento excessivo do uso da água refletido pelo acelerado crescimento populacional e pelas atividades econômicas, além das alterações no clima e no uso e cobertura do solo (AMARASINGHE; SMAKHTIN, 2014; VELDKAMP et al., 2016; DISTEFANO; KELLY, 2017; SWAGATIKA et al., 2020).

Esses fatores modificaram de forma expressiva o ciclo regional da água no decorrer do último século, comprometendo a segurança hídrica em escala local a regional. Dessa forma, é importante considerar além da investigação dos parâmetros climáticos e do uso e cobertura do solo, a demanda hídrica de maneira que se possa averiguar a sua potencial influência na segurança hídrica (VEETIL; MISHRA, 2018), a qual nos últimos quarenta anos ganhou mais atenção em âmbito político e econômico (VEETIL; MISHRA; GREEN, 2022).

Wang et al. (2016) afirmam que provavelmente ocorrerá um aumento na demanda hídrica em todos os setores, devido às alterações no clima. Porém, o impacto na demanda de água será maior na agricultura do que em outros setores. A agricultura se destaca com o maior consumo do recurso, correspondendo cerca de 70% do total de retiradas globais de água (FAO, 2017). No entanto, as crescentes demandas dos usuários industriais e urbanos poderão intensificar ainda mais a competição pela água (DE FRAITURE; WICHELNS, 2010).

De acordo com Allegretti, Montoya e Talamini (2022), a intensidade da demanda hídrica se enquadra em uma forma específica para avaliar a escassez hídrica, quando considerada em conjunto com a oferta hídrica permite identificar as regiões onde a demanda de água pode exceder a oferta,

auxiliando no estabelecimento de medidas para a conservação da água (SABZI et al., 2019). Com isso, a aquisição de informações a respeito das características intrínsecas de uma área de drenagem é de grande importância, pois esclarece a dinâmica do fluxo de água na superfície (SINHA; JHA; GOYAL, 2019). Além disso, o balanço hídrico também fornece informações relevantes para a determinação de estratégias e medidas voltadas a proteção e o uso integrado dos recursos hídricos (REICHERT et al., 2017) em Bacias Hidrográficas (BHs).

As Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí apresentaram no ano de 2020, uma demanda de água para os usos consuntivos de  $24,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo que, 64,3% deste total corresponde a retirada de água para o abastecimento público (ANA, 2021), este fato deve-se por esta região concentrar um grande contingente populacional. Apesar disso, essa situação se torna mais complexa para a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) onde estão situadas as áreas de estudo, devido a bacia não abastecer somente os municípios inseridos no seu limite, mas também a região metropolitana da cidade de São Paulo, ocasionando maior atenção quanto à ocorrência de estresse hídrico.

A demanda hídrica da BHRP é abordada em diferentes documentos, como o Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí (2020-2035) publicado no ano de 2020 (CONSÓRCIO PROFILL-RHAMA, 2020). Considerando o estudo desenvolvido sobre os usos da água nesta área, observa-se que cada tipo de demanda foi analisado considerando as sub-bacias hidrográficas principais que apresentam maiores extensões territoriais, e com isso se tratam de áreas mais heterogêneas, o que dificulta avaliar a peculiaridade de uso de cada região. Porém, em representação cartográfica foram consideradas áreas de drenagem menores, estas áreas permitem uma avaliação das demandas de maneira mais fidedigna a realidade atual, por considerar as especificidades locais.

Para Welde (2016), as ações de gestão em bacias hidrográficas não podem ser executadas ao mesmo período em toda a área de abrangência de uma grande bacia. A área das bacias hidrográficas no geral, pode apresentar grandes extensões e muitos fatores que podem afetar os seus processos hidrológicos. Dessa forma, para um melhor gerenciamento as grandes bacias hidrográficas, podem ser divididas em sub-bacias ou unidades hidrológicas homogêneas (LIN et al., 2020). Em vista de um melhor gerenciamento, este trabalho foi desenvolvido em quatro pares de sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação morfometricamente semelhantes, pois apresentam o tamanho suficiente para identificar as características que interferem na relação entre a demanda e a oferta hídrica.

O Relatório de Situação dos Recursos Hídricos referente ao ano base 2020, mostra que o estado da disponibilidade hídrica nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), vem agravando no passar dos anos. Com relação a demanda hídrica, as Bacias PCJ apresentaram um significativo crescimento na demanda subterrânea, porém a vazão superficial demandada obteve um incremento considerável de mais de 17% entre os anos de 2016 a 2020, alterando de  $69,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para  $81,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2021).

Ao considerar a análise por setor, se evidencia que o abastecimento público não aumentou de forma significativa, diferente de 2019 quando teve um aumento de cerca de 6%, alternando de  $60,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2019) para  $61,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2020). Com relação aos dois últimos anos, o setor industrial se destacou com o crescimento na demanda de quase 10%, passando de  $16,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para  $17,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Enquanto que, o uso rural e as soluções alternativas e demais usos apresentaram um crescimento respectivamente de 5,8% e 5%. Embora o relatório apresente dados quantitativos sobre a demanda, ressalta-se que estes apresentam diferenças significativas nas informações quando comparado com outros estudos realizados na área de abrangência das Bacias PCJ, como o Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (2020-2035) (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2021).

Outro estudo realizado que envolve as Bacias PCJ é o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos da Macrometrópole Paulista elaborado pela COBRAPE (2013), que apresenta como desafio a avaliação da demanda de água para os usos de abastecimento urbano, industrial e irrigação. Esta avaliação se faz necessária para conhecer a situação real dos recursos hídricos, de forma a evitar o uso inadequado da água e os conflitos por parte dos usuários.

Diante deste contexto, existem diversas alternativas de solução que podem ser implementadas para superar a crescente escassez de água, incluindo opções de gerenciamento tanto da oferta como da demanda hídrica (KAHIL et al., 2019). Rising et al. (2022) afirmam que para o estudo dos riscos associados à escassez de água é preciso levar em consideração a oferta e a demanda e as possíveis irregularidades entre essas duas vertentes. Nesse panorama, a gestão sustentável dos recursos hídricos é uma prioridade de extrema importância para alcançar um abastecimento seguro e sustentável para os próximos anos, em vista da crescente demanda hídrica (DURÁN-SÁNCHEZ; ÁLVAREZ-GARCÍA; DEL RÍO-RAMA, 2018).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo equacionar e determinar a demanda hídrica efetiva e potencial em oito sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação, situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), para fins de auxiliar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos citam-se:

- ⇒ Identificar os atributos antrópicos que demandam o uso dos recursos hídricos nas sub-bacias hidrográficas estudadas;
- ⇒ Aplicar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, sigla em inglês) para classificar os estágios de desenvolvimento das culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas;
- ⇒ Realizar levantamento *in situ* da quantidade de animais por tipo de rebanho e pesquisa bibliográfica para identificar o consumo de água para dessedentação dos animais;
- ⇒ Estimar o contingente populacional por setor censitário considerando um indicador demográfico;
- ⇒ Analisar dados das captações superficiais e subterrâneas regularizadas e considerar as vazões das captações superficiais na análise do balanço hídrico;
- ⇒ Analisar o balanço hídrico quantitativo de forma a identificar se as sub-bacias hidrográficas estudadas sofrem ou poderão sofrer escassez hídrica.

### 1.1.3 Estrutura da Tese

A Tese foi dividida em sete tópicos principais, conforme descritos:

1º Tópico: consiste na **Introdução** com uma base teórica a respeito da temática principal abordada no trabalho, seguida dos **Objetivos** (Geral e Específicos), ambos apresentados anteriormente a este item.

2º Tópico: compreende a **Revisão Bibliográfica**, que expõe os principais temas elencados no trabalho, com enfoque direcionado para a gestão e planejamento dos recursos hídricos.

3º Tópico: refere-se a **Caracterização Geral da BHRP**, o qual apresentou de forma descritiva as características dos atributos do meio físico e antrópico em escala regional.

4º Tópico: consiste na **Caracterização Geral das sub-bacias hidrográficas estudadas**, o qual retrata as especificidades de cada sub-bacia hidrográfica quanto aos atributos do meio físico em escala de maior detalhe.

5º Tópico: compreende os **Materiais e Métodos**, com a exposição dos documentos cartográficos que foram utilizados, os *softwares*, as imagens de sensores orbitais, bem como, a metodologia de cada etapa do trabalho.

6º Tópico: refere-se aos **Resultados**, os quais foram apresentados por meio de análise descritiva e em formatos de mapas, tabelas e gráficos.

7º Tópico: concentra-se nas **Considerações Finais** do trabalho a respeito dos métodos empregados e dos resultados obtidos.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a fundamentação do trabalho e os Apêndices.

### 2.1 Bacia hidrográfica como unidade de planejamento

A Bacia Hidrográfica (BH) como unidade de planejamento enfrentou diversos estágios e ainda continua em constante evolução. Desde o século XVIII, o principal conceito da BH na política hídrica europeia compreendeu em uma unidade real para a aplicação de razões técnicas direcionadas para solucionar problemas de armazenamento, destinação de água, controle de eventos extremos ou gestão de risco (MOLLE, 2009). A gestão da BH como uma abordagem para o uso sustentável da água configurou-se como o principal modelo de governança da água (HOUDRET et al., 2014).

A BH também conhecida como bacia de contribuição de uma seção de drenagem é compreendida pela área geográfica que recebe água proveniente da chuva e escoam pela superfície do solo, chegando na seção coletora (MARTINS, 1976). Segundo Rajasekhar et al. (2020), a BH consiste em uma unidade geo-hidrológica que drena a água de escoamento para um determinado ponto em um sistema de drenagem (Figura 1).

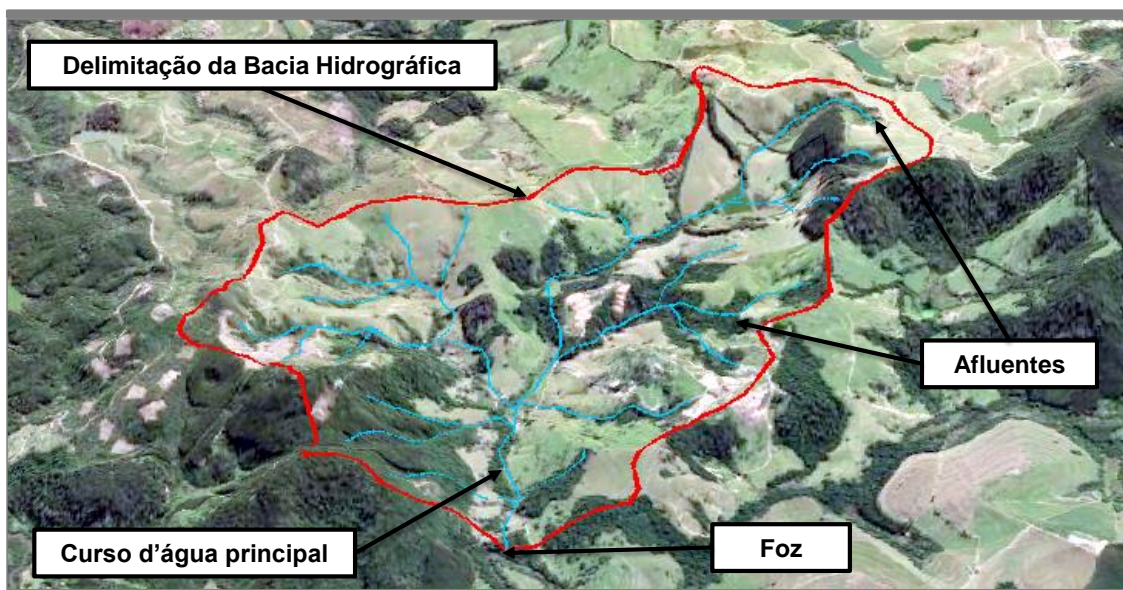


Figura 1 - Visualização tridimensional de uma bacia-hidrográfica.

Para Li et al. (2021), a BH é definida como uma unidade básica do sistema de superfície terrestre, além de ser caracterizada por complexas interações dos meios natural e antrópico. A BH também é considerada uma unidade útil para análises físicas, bem como, pode ser uma unidade socioeconômico-política apropriada para o planejamento da gestão e implementação dos seus recursos (MENGISTU; ASSEFA, 2020).

No Brasil, a BH foi adotada como unidade de planejamento na Lei das Águas (Lei Federal nº 9.433/1997), sendo denominada como “unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997). Porém, o estado de São Paulo no ano de 1991, após a publicação da Lei nº 7.663 que estabelece normas para a Política Estadual dos Recursos Hídricos, já havia determinado como um dos seus princípios a adoção da BH como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento (BRASIL, 1991).

A partir de então, os estudos passaram a ser desenvolvidos não considerando apenas o limite administrativo municipal, mas também as áreas de drenagem. A BH vem sendo adotada como a unidade mais adequada para analisar a paisagem, considerando como questões primordiais o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos e terrestres (RAHMATI et al., 2019).

Com a ampliação das atividades humanas e suas interferências no meio natural, a gestão integrada dos recursos naturais está cada vez mais sendo fundamental. Esse enfoque auxilia a obter um equilíbrio entre as funções dependentes de proteção e utilização dos recursos (KUMAR et al., 2019). Conforme o consenso acadêmico, o planejamento, o gerenciamento e a governança em escala de BH, podem proporcionar o gerenciamento cooperativo dos recursos hídricos em uma base ecológica e não política, com o envolvimento de diferentes partes interessadas (MOORE, 2021). Segundo Cutts et al. (2018), o planejamento de BHs pode proporcionar à inovação de políticas e ações direcionadas a proteção ambiental.

A gestão integrada dos recursos hídricos é o padrão de governança da água dominante em escala mundial, tendo a BH como unidade de gestão considerando todas as fontes (superficiais e subterrâneas) e os seus diversos usos da água (LIPPONEN, 2020). Porém, um dos princípios mais importantes para a gestão integrada e eficiente das BHs é a priorização de sub-bacias hidrográficas, onde se pode identificar as especificidades de cada área na BH, levando em consideração as necessidades de planejamento e manejo apropriado dos recursos hídricos (RAHMATI et al., 2019). Desta forma, a sub-bacia também está sendo considerada uma importante unidade de planejamento em estudos hidrológicos (EASWER et al., 2022; BHARATH et al., 2021; KUSHWAHA et al., 2021; TAYE et al., 2021; SERUR, 2020).

De acordo Gomes; Bianchi; Oliveira (2021), a sub-bacia tem sido outra nomenclatura empregada às BHs com a finalidade de indicar a ordem hierárquica de seu sistema de drenagem de acordo com o seu nível de complexidade, a extensão das áreas drenadas, ordens dos canais de drenagem e relações diretas que desempenha com o rio principal.



Segundo Teodoro et al. (2007), as sub-bacias hidrográficas são áreas de drenagem dos rios tributários do canal de drenagem principal. Para Reis et al. (2019), a sub-bacia representa a área de contribuição ao entorno de um curso d'água, sendo compreendida como uma unidade espacial de planejamento usualmente adotada em processos de planejamento de água doce.

Nas BHs que apresentam grandes extensões a implementação das práticas de manejo e de conservação não acontecem de forma eficiente em toda a área, devido aos recursos humanos e o suporte financeiro impróprios. Portanto, a priorização das sub-bacias e a efetivação de práticas de manejo seria uma técnica exequível para assegurar a sustentabilidade da bacia (ABDETA et al., 2020; BHARATH et al., 2021).

No entanto, o planejamento de toda área de drenagem depende de ferramentas e estratégias que permitem a comparação de alternativas e prioridades em escalas espaciais e temporais relevantes (PAKHTIGIAN et al., 2020). Com a ausência de informações hidrológicas, os parâmetros morfométricos em conjunto com os dados de uso e cobertura do solo, adquiridos por meio de dados provenientes de sensores orbitais podem ser úteis na priorização das sub-bacias (MESHRAM et al., 2020).

## **2.2 Morfometria das áreas de drenagem**

Em tempos remotos, os estudos de BHs e geomorfológicos apoiavam-se em aspectos qualitativos e de inferência. A partir de 1945, Horton iniciou uma nova era da análise quantitativa, aplicando pela primeira vez a análise morfométrica em BH (TASSEW; BELETE; MIEGEL, 2021). A análise morfométrica compreende a uma medição quantitativa e a uma análise matemática das formas de relevo. Este tipo de análise exerce uma função significativa na compreensão das características geo-hidrológicas de uma BH em relação às características do terreno e seus padrões de fluxo (ASFAW; WORKINEH, 2019). A caracterização morfométrica em BHs possibilita identificar áreas que apresentam similaridade ou dissimilaridade quanto as suas propriedades físicas, auxiliando nas tomadas de decisão por parte dos gestores.

A caracterização morfométrica de uma BH é fundamental nas pesquisas voltadas a hidrologia e a geomorfologia, sendo, portanto, importante nas análises hidrológicas e de terreno, pois a estrutura de drenagem, como a ordem, a densidade, o comprimento dos cursos d'água, interferem na rede de drenagem, que por sua vez afeta o ciclo hidrológico e os processos de escoamento de uma determinada região (YANG; SHI, 2017). A morfometria de uma BH retrata às conexões entre os seus

sistemas, como a hidrologia, a geologia, a vegetação e a topografia, sendo que as características destes sistemas afetam diferentes processos na BH (KORALAY; KARA, 2021).

Niyazi et al. (2020) realizaram a caracterização morfométrica das BHs situadas na província Makkah Al-Mukaramah (Arábia Saudita) para identificar as semelhanças e as diferenças das áreas por meio de análises estatísticas. Com base nas características morfológicas e hidrológicas, os autores também classificaram as bacias por meio dos valores de quartis para encontrar os padrões de agrupamento dessas áreas.

Para auxiliar nas estratégias de conservação e manejo, os autores calcularam para as sub-bacias da Bacia WRJ-1 (Índia Central) os parâmetros morfométricos e avaliaram as suas características referentes a hidrologia, a geologia, e topografia (SHRIVATRA; MANJARE; PAUNIKAR, 2021). Os autores enfatizaram que na avaliação morfométrica, os aspectos lineares e de área são características essenciais que controlam o escoamento, o carreamento de sedimentos, a geologia, e diversos fatores hidrológicos nos limites de uma BH.

Com a intenção de avaliar as características e processos geomórficos e hidrológicos da BH de Wadi El-Mathula (Egito), foram realizadas análises morfométricas, estatísticas e de risco. Os autores utilizaram ferramentas do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e dados ASTER GDEM para auxiliar na estimativa de parâmetros (rede de drenagem, delimitação de áreas de drenagem, e direção de fluxo). Com relação a análise estatística, esta foi realizada por meio de análise de agrupamentos baseada nos parâmetros morfométricos (HAMDAN; KHOZYEM, 2018).

A análise de agrupamentos usando o método de Ward foi realizada para a criação de clusters de diferentes sub-bacias pertencentes a BH do Rio Nanganji (Índia) com base em diferentes parâmetros morfométricos, como exemplos citam-se alguns relacionados aos aspectos lineares (como a ordem dos cursos d'água, o comprimento total do curso d'água e a razão de bifurcação), aos aspectos de relevo (como a razão de relevo) e aos aspectos aéreos (como a densidade de drenagem e o fator de forma) (MANGAN; HAQ; BARAL, 2019).

Para o planejamento e a gestão na sub-bacia hidrográfica do Gidabo (Etiópia), foi realizada uma análise das características morfométricas para priorização de sub-bacias, considerando os aspectos quantitativos lineares, de relevo e areal, para isso utilizaram o SIG e técnica de sensoriamento remoto (ABDETA et al., 2020).

A seguir, são apresentadas descrições de alguns parâmetros e índices morfométricos utilizados para auxiliar na caracterização hidrológica de uma determinada BH.

## 2.2.1 Parâmetros e índices morfométricos

Os parâmetros morfométricos são importantes e úteis na identificação das características hidrológicas de uma BH, possibilitando uma posterior correlação com as propriedades litológicas (YADAV et al., 2018). Para Meshram et al. (2020), a área é o parâmetro básico considerado mais importante, pois representa de forma direta o volume de água em uma BH, pois quanto maior for a sua extensão, maior será também o volume de chuva, o escoamento e o pico de vazão.

Outro parâmetro básico é a ordem dos cursos d'água, que consiste na medida da posição de um canal principal e na hierarquia de seus afluentes (MESHRAM et al., 2020). Além da hierarquia dos cursos d'água, o padrão da rede de drenagem é fundamental na avaliação hidrológica de uma BH por meio do conhecimento dos parâmetros de morfometria (RAJASEKHAR et al., 2020). No geral, o conhecimento do padrão da rede de drenagem e suas relações morfométricas se dá por meio da análise espacial dos dados de elevação da BH (SAHOO; JAIN, 2018; JAIN et al., 2021).

Dessa forma, com base no padrão de drenagem e algumas variáveis pode-se realizar a análise morfométrica de uma determinada BH. De acordo com Christofolletti (1980), a análise morfométrica de uma BH inicia-se com a hierarquização dos cursos d'água, posteriormente, realiza-se as análises lineares, areais e hipsométricas. A Tabela 1 apresenta as definições de alguns parâmetros e índices referentes aos tipos de análises, conforme listados por Christofolletti (1980).

**Tabela 1** - Descrições dos parâmetros e índices morfométricos referentes aos tipos de análises.

Análise	Parâmetro/ Índice Morfométrico	Descrição	Fórmula	Autor/ Ano
Linear	Relação de bifurcação	Consiste na relação entre o número total de cursos d'água de uma mesma ordem e o número total dos cursos d'água da ordem superior (com o método de hierarquização estabelecido por Strahler). Vale ressaltar, que o resultado não pode ser inferior a 2.	$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$ N <sub>u</sub> : número total dos cursos d'água de uma mesma ordem N <sub>u+1</sub> : número total dos cursos d'água da ordem superior	Desenvolvido por Horton em 1945
	Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem	Compreende pela razão da soma dos comprimentos dos cursos d'água de cada ordem pelo número de segmentos da referente ordem.	$L_m = \frac{L_u}{N_u}$ L <sub>u</sub> : comprimento dos cursos d'água de cada ordem N <sub>u</sub> : número de segmentos da respectiva ordem	Desenvolvido por Horton em 1945
	Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação	Refere-se a um fator importante na relação entre a composição da rede de drenagem e o desenvolvimento fisiográficos de uma BH.	$R_{lb} = \frac{R_{lm}}{R_b}$ R <sub>lm</sub> : índice do comprimento médio entre duas ordens subsequentes R <sub>b</sub> : relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subsequentes	Desenvolvido por Horton em 1945

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

**Tabela 1** - Descrições dos parâmetros e índices morfométricos referentes aos tipos de análises (Continuação).

Análise	Parâmetro/ Índice Morfométrico	Descrição	Fórmula	Autor/ Ano
Linear	Comprimento do rio principal	Consiste na distância do rio principal da BH, considerando desde a nascente até o ponto de desembocadura.	-	-
	Extensão do percurso superficial	É representado pela distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente.	$E_{ps} = \frac{1}{2Dd}$ Dd: densidade de drenagem	-
	Relação do equivalente vectorial	Consiste no comprimento de cada segmento do curso d'água de determinada ordem, em linha reta, considerando desde a sua origem até o término do respectivo canal.	$Rev = \frac{Ev_u}{Ev_{u-1}}$ Ev <sub>u</sub> : grandeza média do equivalente vectorial de uma respectiva ordem Ev <sub>u-1</sub> : grandeza média dos equivalentes vectoriais de ordem inferior a considerada	-
	Gradiente dos canais	Tem como função indicar a declividade de qualquer um dos cursos d'água de uma determinada BH.	$Rgc = \frac{GC_u}{GC_{u+1}}$ Rgc: relação entre os gradientes dos canais GC <sub>u</sub> : declividade média dos cursos d'água de determinada ordem GC <sub>u+1</sub> : declividade média dos cursos d'água da ordem superior	Desenvolvido por Horton em 1945
Areal	Área da bacia	Compreende a área total drenada pelo sistema fluvial, projetada em plano horizontal.	-	-
	Comprimento da bacia	Existem várias denominações, dentre elas, o comprimento da BH consiste na distância medida em linha reta, entre a foz e o ponto de maior altitude situado ao longo do perímetro da BH.	-	-
	Índice de circularidade	Consiste na relação entre a área da BH e a área do círculo de mesmo perímetro.	$Ic = \frac{A}{Ac}$ A: área da BH Ac: área do círculo do perímetro igual ao da respectiva BH	Desenvolvido por Miller em 1953
	Densidade de rios	Representa a relação entre o número de cursos d'água e a área da respectiva BH.	$Dr = \frac{N}{A}$ N: número total de cursos d'água A: área da respectiva BH	Desenvolvido por Horton em 1945
	Densidade de drenagem	Estabelece a correlação entre o comprimento total dos cursos d'água com a área da BH.	$Dd = \frac{L_t}{A}$ L <sub>t</sub> : comprimento total dos cursos d'água (km); A: área da respectiva BH (km <sup>2</sup> )	Desenvolvido por Horton em 1945
Hipsométrica	Coeficiente de manutenção	Fornece a área mínima para a manutenção de um metro de canal de escoamento.	$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$ Dd: densidade de drenagem da BH	Desenvolvido por Schumm em 1956
	Relação de relevo	Representa a relação existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma BH e a maior extensão da respectiva BH, medida em paralelo ao canal principal.	$Rr = \frac{H_m}{L_c}$ H <sub>m</sub> : amplitude altimétrica (m); L <sub>c</sub> : comprimento do canal principal (km)	Desenvolvido por Schumm em 1956
	Índice de rugosidade	Combina as declividades e a extensão das vertentes com a densidade de drenagem, resultando em um número adimensional.	$Ir = H \times Dd$ H: amplitude altimétrica; Dd: densidade de drenagem	Desenvolvido por Melton em 1957

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

### 2.3 Demanda hídrica

Em muitas regiões do mundo, os recursos de água doce estão cada vez mais escassos (COSGROVE; LOUCKS, 2015), e com isso cresce a exigência de novos instrumentos por parte dos planejadores para monitorar não somente a oferta de água, mas também as taxas de demanda (ANDERSON et al., 2012). O relatório *Water for a Sustainable World* retrata uma projeção de que até o ano de 2050 ocorrerá um acréscimo da demanda hídrica de 55%. Além disso, afirma também que o consumo de água cresceu nos últimos anos cerca de 200%, e enfatiza que se permanecerem os mesmos padrões atuais de consumo, o mundo poderá enfrentar um déficit no abastecimento de água de 40%, em 2030 (WWAP, 2015).

Diante desta situação, a demanda hídrica de uma BH é considerada um aspecto-chave nos programas de desenvolvimento e gerenciamento dos recursos hídricos (SREELEKSHMI; THOMAS, 2016), ainda mais por se tratar de uma preocupação enfrentada a nível mundial (SCHIAVON, 2016). O gerenciamento de recursos nas BHs é uma tarefa indispensável para os tomadores de decisão, pelo motivo de gerir os desafios existentes entre a oferta e a demanda hídrica (SADEGHI et al., 2020), em um ambiente em constante mudança que torna um fator primordial não somente aos países desenvolvidos, como também aos países subdesenvolvidos (JAYARATHNA et al., 2017).

A determinação da demanda hídrica é de fundamental importância em áreas que o recurso é limitado, nas quais a finalidade do gerenciamento da demanda se evidencia de forma mais expressiva (OYEBODE et al., 2019). A estimativa da demanda de água é considerada a primeira etapa para a utilização racional dos recursos hídricos, além disso, tende a compreender as demandas futuras considerando o histórico de uso da água, a situação real e as alterações ambientais. No geral, a demanda hídrica se relaciona com diversos atributos, como a população, custo da água, condição climática, e os meios ambiental e econômico (WANG et al., 2018).

De acordo com Mouratiadou et al. (2016), assim como existem incertezas sobre a futura disponibilidade hídrica, também existem indefinições quanto a demanda de água, dessa forma, o reuso de água e tecnologias mais eficientes são soluções que podem diminuir a demanda hídrica em geral. O aumento da escassez dos recursos hídricos, especialmente os superficiais, impulsiona estudos relacionados às análises da demanda hídrica frente aos diferentes usos, principalmente quando se considera estratégias que minimizam a utilização do recurso (SCHMITZ; BITTENCOURT, 2017).

O aumento das demandas da sociedade e a necessidade de desenvolvimento exigem o uso racional e a gestão que ajuste aos recursos da BH. Desta forma, é essencial a adoção de parâmetros

que abrangem as metas do desenvolvimento sustentável. Esta finalidade pode ser obtida pelo uso de abordagens multidisciplinares, considerando o equilíbrio entre a oferta e a demanda (SADEGHI et al., 2020). Segundo Lopes et al. (2021), o monitoramento dos recursos hídricos é importante, pois fornece dados sobre a situação das BHs, auxiliando na detecção de prováveis alterações espaço-temporais nos parâmetros dos corpos d'água.

A Tabela 2 apresenta a quantidade de água retirada por setor, no ano de 2010 em escala global. Observa-se que, no respectivo ano a agricultura foi o setor que fez mais uso do recurso, compreendendo 69% do total de água captada em todo mundo, seguida dos setores industrial e municipal, que corresponderam respectivamente, 19% e 12% (FAO, 2016).

**Tabela 2-** Total de água retirada por setor no período de 2010.

Continentes ou Regiões	Sub-regiões	Total de água retirada por setor						Total de água retirada km³/ano
		Agricultura		Indústria		Município		
		km³/ano	%	km³/ano	%	km³/ano	%	
<b>Mundo</b>		<b>2769</b>	<b>69</b>	<b>768</b>	<b>19</b>	<b>464</b>	<b>12</b>	<b>4001</b>
<b>África</b>		<b>184</b>	<b>81</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>226</b>
<b>Norte da África</b>		<b>89</b>	<b>84</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>106</b>
<b>África Subsaariana</b>		<b>96</b>	<b>79</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>121</b>
	Sudão Saheliano	40,2	94	0,6	1	2,1	5	42,9
	Golfo da Guiné	7,4	45	2,6	16	6,5	39	16,5
	África Central	1,0	36	0,5	19	1,3	45	2,8
	África Oriental	16,8	84	0,3	1	3,0	15	20,1
	África do Sul	16,9	69	2,1	9	5,5	22	24,5
	Ilhas do Oceano Índico	13,5	94	0,2	1	0,6	4	14,3
<b>Américas</b>		<b>415</b>	<b>48</b>	<b>321</b>	<b>37</b>	<b>123</b>	<b>14</b>	<b>859</b>
<b>América do Norte</b>		<b>241</b>	<b>40</b>	<b>289</b>	<b>47</b>	<b>79</b>	<b>13</b>	<b>609</b>
	América do Norte	179,8	34	281,5	53	68,0	13	529,3
	México	61,6	77	7,3	9	11,4	14	80,3
<b>América Central e Caribe</b>		<b>20</b>	<b>59</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	<b>34</b>
	América Central	7,5	62	1,3	11	3,3	27	12,1
	Carábas-Grandes Antilhas	12,0	58	4,6	22	4,0	19	20,6
	Antilhas Caribenhas e Bahamas	0,1	18	0,1	23	0,4	60	0,6
<b>América do Sul</b>		<b>154</b>	<b>71</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>17</b>	<b>216</b>
	Guiana	1,8	87	0,2	8	0,1	5	2,1
	Andina	45,2	75	3,9	7	10,9	18	60
	Brasil	44,9	60	12,7	17	17,2	23	74,8
	América do Sul	62,4	79	9,0	11	7,9	10	79,3
<b>Ásia</b>		<b>2069</b>	<b>81</b>	<b>253</b>	<b>10</b>	<b>234</b>	<b>9</b>	<b>2556</b>
<b>Médio Oriente</b>		<b>231</b>	<b>84</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>9</b>	<b>276</b>
	Península Arábica	29,5	86	0,9	3	3,9	11	34,3
	Cáucaso	12,3	73	2,9	17	1,7	10	16,9
	República Islâmica do Irã	86,0	92	1,1	1	6,2	7	93,3
	Oriente Próximo	103,3	78	14,9	11	13,6	10	131,8
<b>Ásia Central</b>		<b>128</b>	<b>89</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>145</b>
<b>Sul e Leste da Ásia</b>		<b>1710</b>	<b>80</b>	<b>224</b>	<b>10</b>	<b>202</b>	<b>9</b>	<b>2136</b>
	Sul da Ásia	912,8	91	20,0	2	70,2	7	1003
	Ásia Leste	469,4	65	158,0	22	98,3	14	725,7
	Sudeste da Ásia continental	164,4	92	6,6	4	7,5	4	178,5
	Marítimo Sudeste Asiático	163,4	72	39,1	17	25,7	11	228,2

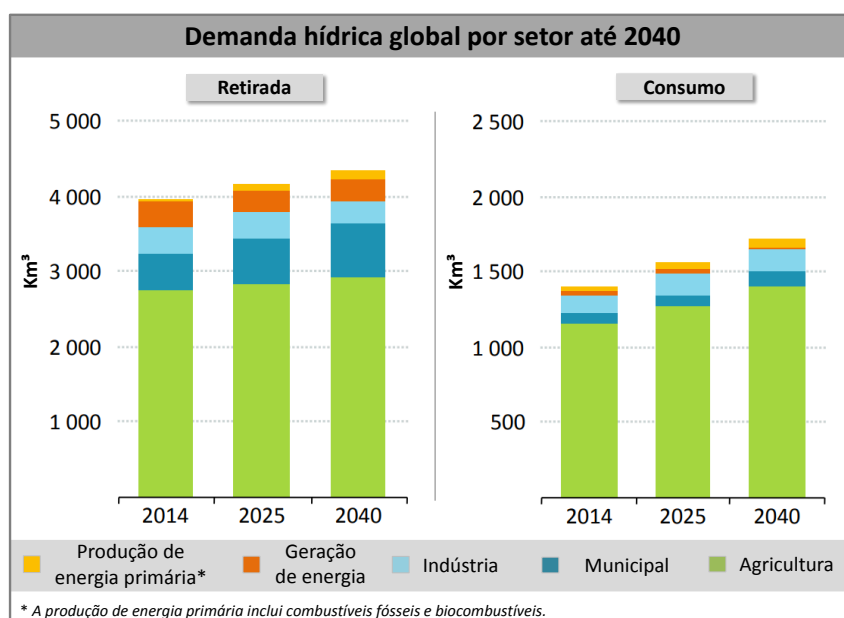
Fonte: Modificado de FAO (2016).

**Tabela 2** - Total de água retirada por setor no período de 2010 (Continuação).

Continentes ou Regiões	Sub-regiões	Total de água retirada por setor					Total de água retirada km³/ano	
		Agricultura		Indústria		Município		
		km³/ano	%	km³/ano	%	km³/ano		%
<b>Europa</b>		<b>84</b>	<b>25</b>	<b>181</b>	<b>54</b>	<b>69</b>	<b>21</b>	<b>334</b>
<b>Europa Ocidental e Central</b>		<b>66</b>	<b>27</b>	<b>131</b>	<b>53</b>	<b>51</b>	<b>21</b>	<b>248</b>
	Norte da Europa	1,2	14	4,9	55	2,7	31	8,8
	Europa Ocidental	4,9	5	73,5	74	21,0	21	99,4
	Europa Central	3,6	9	27,6	68	9,3	23	40,5
	Europa Mediterrânea	55,9	57	25,0	25	17,9	18	98,8
<b>Europa Oriental</b>		<b>18</b>	<b>21</b>	<b>50</b>	<b>58</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>86</b>
	Europa Oriental	5,1	25	10,6	53	4,3	22	20,0
	Federação Russa	13,2	20	39,6	60	13,4	20	66,2
<b>Oceania</b>		<b>16</b>	<b>65</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
	Austrália e Nova Zelândia	16	65	4	15	5	20	25
	Outras ilhas do Pacífico	0,05	59	0,01	11	0,03	30	0,09

Fonte: Modificado de FAO (2016).

A Figura 2 apresenta a demanda hídrica global em 2014 e uma projeção para os anos de 2025 e 2040. O maior consumo de água no mundo é representado pela irrigação no setor agrícola, compreendendo cerca de 70% do total de água doce retirada do mundo, podendo atingir até 85% nos países em desenvolvimento. Além disso, a evaporação do terreno no momento de irrigação e a evapotranspiração das culturas cultivadas são processos que influenciam no maior consumo de água pela agricultura (IEA, 2016).



**Figura 2** - Demanda hídrica global por setor até o ano de 2040. Fonte: Adaptado de IEA (2016).

No Brasil, o consumo total de água correspondeu a 30,6 mil hm<sup>3</sup>, referente ao ano de 2015. O maior consumo entre os anos de 2013 a 2015 foi representado respectivamente pela agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura; indústrias de transformação e construção; e água e

esgoto (IBGE, 2018). A Tabela 3 apresenta o consumo de água em percentual dessas atividades no país.

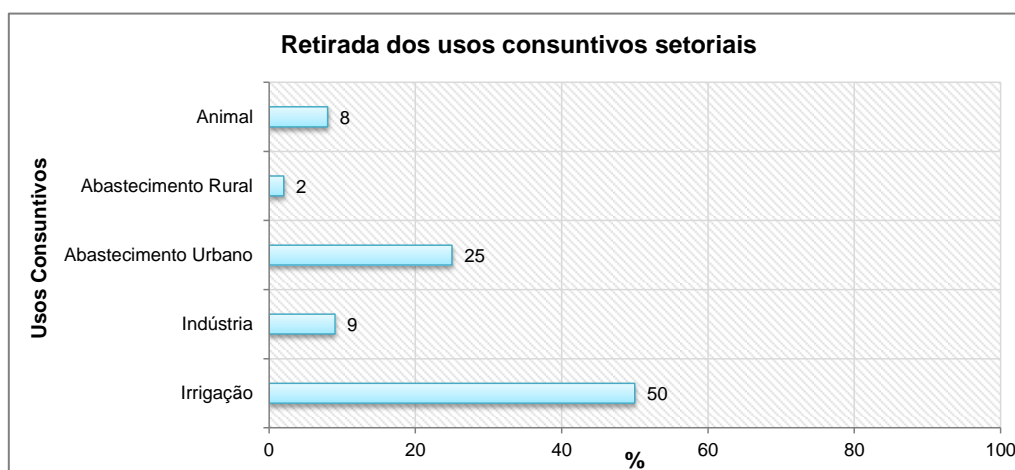
**Tabela 3** - Consumo de água (%) em diversas atividades no Brasil.

Atividades	2013	2014	2015
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	74,7	77,0	77,6
Indústrias extrativas	0,9	0,9	0,9
Indústrias de transformação e construção	13,1	11,7	11,3
Eletricidade e gás	0,3	0,3	0,3
Água e esgoto	8,2	7,5	7,4
Demais atividades	2,8	2,5	2,4

Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

A demanda hídrica no Brasil vem aumentando no decorrer dos anos de forma contínua, recebendo destaque principalmente para o abastecimento populacional, a indústria e a agricultura irrigada. No entanto, a agricultura se destaca como o setor de maior potencial de crescimento no país e tende a sobressair quanto ao volume consumido. A retirada de água para irrigação teve aumento na ordem de 640 para 965 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> nos últimos vinte anos, isto se enquadra próximo de 50% do total retirado pelos usos consuntivos (irrigação, abastecimento humano, dessedentação, atividades industriais, mineração e geração termelétrica), no ano de 2020 (ANA, 2021).

A Figura 3 apresenta o percentual de retirada de alguns usos consuntivos setoriais no país, no ano de 2020.



**Figura 3** - Retirada dos usos consuntivos setoriais no Brasil, em 2020. Fonte: Adaptado de ANA (2021).

De acordo com o Relatório Pleno da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, referente ao ano de 2021, estima-se um aumento de 42% das retiradas de água nas próximas duas décadas. O volume de retirada poderá passar de 1.947 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para 2.770 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, o que compreende a um acréscimo



de 26 trilhões de litros ao ano retirados dos cursos d'água. Diante da situação, enfatiza a necessidade de planejamento para que os diferentes usos ocorram garantindo segurança hídrica, de forma a impedir crises hídricas (ANA, 2021).

Com relação as Bacias PCJ, os dados referentes ao ano de 2016 sobre a demanda de água pelos usos consuntivos mostram um volume total demandado de 35,68 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, deste contingente o setor que apresentou a maior demanda foi o abastecimento público que representou 45,8% desse total. As demandas de água nos setores industrial, agrícola e pecuário representaram respectivamente, 30,6%, 22,1% e 1,5% (CONSÓRCIO PROFILL-RHAMA, 2020).

### 2.3.1 Agricultura

As futuras retiradas de água doce pelo setor agrícola podem vir a prejudicar seriamente a sustentabilidade dos recursos hídricos em escala global (KÖGLER; SÖFFKER, 2017). Segundo Xinchun et al. (2017), a agricultura é o setor que utiliza a maior quantidade de água, correspondendo cerca de 80% da oferta hídrica superficial e subterrânea do mundo. Esse aumento da demanda por água no setor agrícola em escala global está integrado com o crescimento populacional, o aumento da renda da população e suas alterações nas escolhas alimentares (DE FRAITURE; WICHELNS, 2010).

Para Burek et al. (2016), a agricultura representa o setor de maior demanda hídrica em todos os continentes, exceto na Europa. As maiores porcentagens das demandas hídricas na agricultura no ano de 2010 se encontraram nos continentes africano e asiático e na Oceania, compreendendo cerca de 80% da demanda total, seguida das demandas de água pelo mesmo setor na América do Sul, representando acima de 50% (Tabela 4 e Figura 4).

**Tabela 4** - Demanda hídrica agrícola (km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) dos continentes em 2010 e 2050.

Continentes	Demanda de água na agricultura (km <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> ) (2010)	% da Demanda de água na agricultura com relação a demanda total (2010)	Demanda de água na agricultura (km <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> ) (2050)	% da Demanda de água na agricultura com relação a demanda total (2050)
África	187	81	194	54
Ásia	2.508	83	2.617	66
América Central e do Norte	348	53	367	55
América do Sul	97	58	99	43
Europa	133	30	139	25
Oceania	30	81	31	72
<b>Total</b>	<b>3.303</b>	<b>72</b>	<b>3.447</b>	<b>59</b>

Fonte: Modificado de Burek et al. (2016).

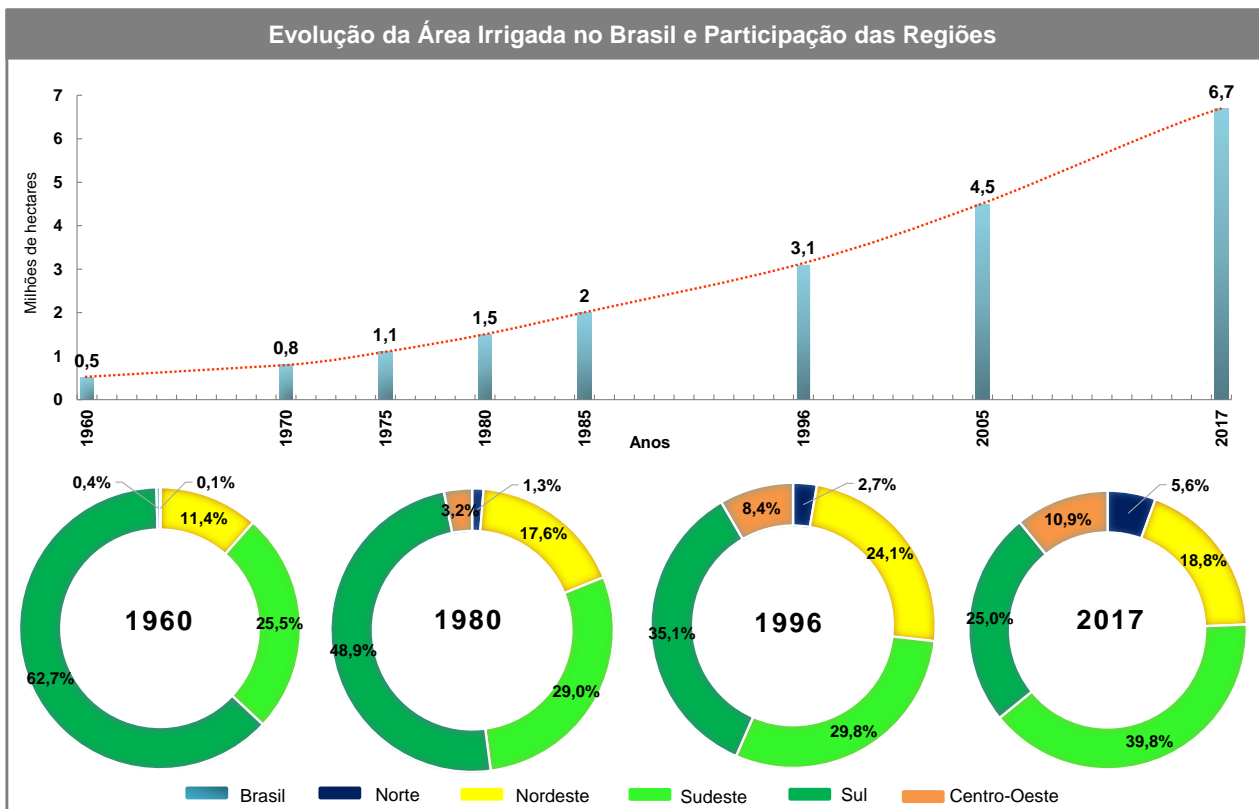


**Figura 4** - Participação da demanda hídrica agrícola no ano de 2010 e mudanças até o ano de 2050. Fonte: Adaptado de Burek et al. (2016).

Com relação ao Brasil, a irrigação se tornou mais expressiva entre os anos de 1970 a 1980, pelo motivo do avanço da expansão da agricultura para locais com características físicas e climáticas menos favoráveis, mas também devido as políticas de desenvolvimento em escala regional e aos melhoramentos oriundos da prática de irrigação. Os Estados do país aumentaram suas áreas irrigadas nas últimas décadas, porém as ampliações são mais significativas em São Paulo, Minas Gerais, Tocantins, Bahia, Rio Grande do Sul e o Goiás com o avanço mais atual da prática (ANA, 2021).

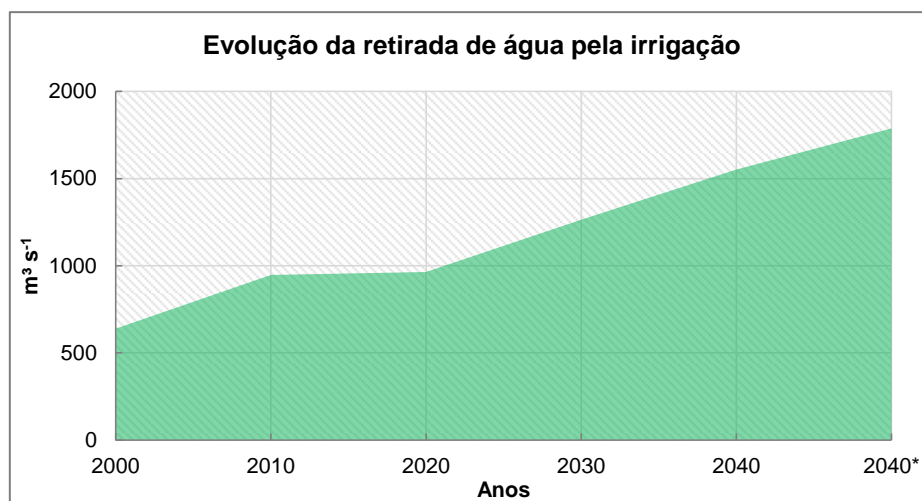
Segundo Ambika, Wardlow e Mishra (2016), o monitoramento da demanda de água para a irrigação depende do mapeamento das áreas irrigadas, seja por meio de censo agrícola ou fazendo uso de técnicas de sensoriamento remoto. Os dados dos Censos Agropecuários realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (1960-2017) registram o intenso crescimento da atividade agrícola no Brasil (ANA, 2021), que por sua vez, tende a manter a evolução nos próximos anos, pois a ampliação das áreas irrigadas é uma das estratégias do país para elevar a produção agrícola, porém o crescimento é inibido pelos objetivos da política hídrica (MULTSCH et al., 2020).

Desde os anos 60, a área irrigada tem aumentado as taxas médias superiores a 4% ao ano, evoluindo de 462 mil hectares em 1960 a mais de 1 milhão de hectares após quinze anos (Figura 5). Na década de 90, as áreas que necessitaram de irrigação atingiram mais que 3 milhões de hectares. No ano de 2017, foram contabilizadas pelo IBGE a extensão de 6,7 milhões de hectares irrigados (ANA, 2021).



**Figura 5** - Evolução da área irrigada no Brasil (milhões de hectares) e participação das regiões (%). Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil) (2021), baseado nos dados dos Censos Agropecuários do IBGE (1960-2017).

A demanda hídrica para a irrigação pode aumentar até 15% em 2040 (ANA, 2021). A Figura 6 apresenta a evolução do volume de retirada pela irrigação nos anos 2000, 2010, 2020 e as projeções para os anos 2030 e 2040, além de considerar os impactos na irrigação oriundos das alterações climáticas no ano de 2040. Nota-se que o crescimento do volume de retirada tende a crescer de forma acentuada, podendo atingir  $1.788 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  dependendo dos impactos provocados pelas alterações climáticas.



**Figura 6** - Evolução da retirada de água ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) pela irrigação no Brasil. \*Considera impactos oriundos das mudanças no clima. Fonte: Adaptado de ANA (2021).

De acordo com Li et al. (2021), a produtividade, a eficiência no uso da água, os padrões de plantio e a escala de produção são considerados os fatores primordiais que influenciam a demanda hídrica agrícola. Dessa forma, para moderar a demanda de água nesse setor, algumas alternativas importantes seriam aumentar a eficiência do uso da água, aperfeiçoar a tecnologia de irrigação ao invés de utilizar mais recursos hídricos para ampliar a escala de produção (LI et al., 2021).

Para as áreas em que os recursos hídricos são insuficientes, é preciso reduzir a expansão desordenada das áreas cultivadas e melhorar a estrutura de plantio das áreas que necessitam de irrigação, a fim de assegurar o desenvolvimento sustentável da agricultura. O gerenciamento da escala e da estrutura da agricultura adequada aos recursos hídricos é o ponto para o desenvolvimento da agricultura de base ecológica para os próximos anos (LI et al., 2020).

Dessa forma, se faz necessário o estudo da demanda hídrica agrícola para o uso adequado dos recursos hídricos, principalmente nas áreas com baixa oferta hídrica e que não dispõe de equipamentos eficientes de irrigação nem recursos financeiros para implementá-los, além do manejo inapropriado das culturas. De acordo com Uniyal e Dietrich (2021) a mensuração do volume de água necessário na irrigação é essencial para alcançar o rendimento sustentável em escala local, regional e global, em especial nas regiões áridas e semiáridas. A Tabela 5 apresenta informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica na agricultura para fins de planejamento dos recursos hídricos.

**Tabela 5** - Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor agrícola.

Área de estudo	Descrição do estudo	Autor(es)/Ano
Alemanha	Foi calculada a demanda de água para a irrigação das culturas utilizando o modelo agrícola AgroHyd Farmmodel, que integrou dados climáticos (temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, duração da insolação e velocidade do vento), dados das culturas e dados do solo por meio do Mapa de Solos em escala global desenvolvido pela FAO-UNESCO.	Drastig et al./2016
Região árida (Noroeste da China)	Foram realizadas simulações quanto as tendências futuras das mudanças climáticas, do abastecimento de água e da demanda hídrica agrícola, utilizando cenários climáticos do CMIP5-RCP. A demanda hídrica agrícola foi calculada por meio da necessidade de água de cada cultura (evapotranspiração da cultura menos a precipitação efetiva), da eficiência de irrigação (considera a perda de água) e da área cultivada de cada cultura.	Guo e Shen/2016
17 regiões situadas na Colúmbia Britânica (Canadá)	Para fins de avaliar as necessidades hídricas, foi utilizado um modelo agrícola, que acopla camadas de uso detalhado do solo, solos, modelo digital de elevação, sub-bacias, sistemas aquíferos e limites administrativos. O modelo foi gerido por temperaturas e precipitações mínimas e máximas diárias em matrizes com resolução espacial de 500 metros (1961-2010) e cenários climáticos abreviados no mesmo período, oriundos de cinco modelos climáticos (CMIP5).	Neilsen et al./2018
Loess Plateau no norte de Shaanxi (China)	Para identificar as mudanças na demanda hídrica agrícola no futuro, foram considerados alguns fatores climáticos, os quais foram simulados por meio de uma rede neural artificial. Logo, foi realizada a análise das mudanças na evapotranspiração das principais culturas. A última etapa do estudo consistiu na avaliação das características da demanda hídrica, por meio da análise da evapotranspiração da cultura e da precipitação efetiva de três cenários de mudanças climáticas.	Sun et al./2018

**Tabela 5** - Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor agrícola (Continuação).

Área de estudo	Descrição do estudo	Autor(es)/Ano
Bacia do Rio Tarim (China)	As variações espaço-temporais da demanda hídrica agrícola com base na evapotranspiração da cultura foram estimadas por meio da equação de Penman-Monteith e do coeficiente de cultura.	Fang, Chen e Li /2018
Brasil	O estudo envolveu diversas etapas, entre elas: o balanço hídrico diário que foi determinado para cada cultura por fase de crescimento, utilizando dados climáticos e de solos; a contribuição da produção agrícola para o balanço hídrico nos municípios que foi calculada com base no consumo de água das culturas por estágio de crescimento e na respectiva área de cultivo dentro do município; e o consumo total de água por sub-bacia, que foi relacionado com o abastecimento de água em cada uma das 166.842 sub-bacias e integrado ao nível de município.	Multsch et al./2020
Oito zonas no Vale do Ica (Peru)	A pegada hídrica foi calculada para cada cultura, levando em consideração o tamanho da área (pequena ou grande escala), as fontes de água (superficiais ou subterrâneas) e o sistema de irrigação (superfície ou gotejamento) para cada zona. O cálculo dependeu da evapotranspiração diária acumulada, a qual foi derivada do modelo WaSim, compreendendo a diferença entre uso diário real de água da cultura (ETa) e a precipitação, quando a precipitação é inferior a ETa.	Salmoral et al./2020
Planície de Qazvin (Irã)	O cálculo da demanda hídrica total esperada foi realizado a partir da soma das necessidades hídricas brutas das principais culturas (alfafa, cevada, milho) e pomares.	Naderi et al./2021
Bahia (Brasil)	A estimativa da demanda hídrica envolveu o mapeamento e a medição das áreas irrigadas por pivô central, por meio da técnica de fotointerpretação usando imagens orbitais do satélite Landsat-8, bem como, o cálculo da evapotranspiração de referência com base em uma série histórica de dados.	Ribeiro et al./2021
Área de aproximadamente 60 ha, localizada em Gochsheim (Norte da Alemanha)	Um modelo foi desenvolvido para mensurar as demandas líquidas de irrigação de dez culturas, além das necessidades globais de irrigação bruta em três períodos (anual, mensal e diário) considerando o manejo local de agricultura. A modelagem foi realizada com base na abordagem implementada pelo <i>software</i> CROPWAT 8.0.	Schwaller et al./2021

### 2.3.2 Atividade pecuária

A produção pecuária apresenta notória contribuição para a segurança alimentar sustentável de muitas regiões, principalmente nas áreas de baixa renda e que não apresentam aptidão agrícola (GODBER; WALL, 2014). No entanto, o futuro do setor pecuário é considerado crítico devido aos seus impactos negativos ao ambiente, contribuindo com o aquecimento global, a poluição da água e do ar, a perda de biodiversidade, entre outras consequências. Porém, com a redução na produção o setor pode reprimir também sua pegada ambiental, exercendo uma função benéfica em grande parte dos agroecossistemas (BARBIERI et al, 2022).

Os bovinos e bubalinos são os principais rebanhos ruminantes importantes para a economia do mundo. No ano de 2014, totalizaram, respectivamente, cerca de 1,5 bilhão e 195 milhões de cabeças. Esses rebanhos são manejados em diferentes zonas agroecológicas com condições físicas (clima, solo e topografia) diversificadas que influenciam na quantidade, na qualidade e composição dos alimentos, e consequentemente, na produtividade (FAO, 2019).

As ovelhas totalizaram em 1,2 bilhões e os caprinos em 1 bilhão, em 2014 no mundo. Sendo que, mais de 80% desses rebanhos estão situados na África e na Ásia. Com relação aos suínos, em 2014 a quantidade de animais atingiu cerca de 987 milhões, sendo que deste total 60% são encontrados na Ásia. Assim como para outros animais, existem diferentes sistemas de produção de suínos, desde os sistemas mais simples que requerem pouco recurso (como exemplo, sistemas de produção de quintal) até áreas comerciais de suínos com produção em larga escala (FAO, 2019).

Em 2010, o rebanho avícola foi estimado em aproximadamente 22 bilhões de aves, representando quase três vezes superior ao número de animais no ano de 1980. A classificação dos sistemas de produção é baseada na escala de produção, alojamento, alimentação, genótipo e provimento de saúde (FAO, 2019).

Para Niloofar et al. (2021), em concordância com a localização geográfica e as políticas de saúde, a questão da alteração dos padrões de demanda por alimentos de origem vegetal para produtos pecuários, integrada com o significativo crescimento da população, necessita ser abordada de forma sustentável, a fim de evitar danos irreversíveis no ambiente, sem comprometer os recursos globais. Dessa forma, os interessados na pecuária estão cada vez mais procurando obter informações sobre o desempenho ambiental e a sustentabilidade das cadeias de suprimentos (FAO, 2019).

Um dos principais recursos utilizados na produção eficiente da pecuária é a água para abastecimento. Em muitas regiões, a água utilizada pelo gado está em disputa com outras áreas que demandam do recurso para diferentes finalidades, como a irrigação (WILSON, 2007). Entre 33 a 88% da água doce (proveniente de rios, lagos e fontes subterrâneas) é voltada para a agricultura em quantidades diversificadas, conforme as características de uma área. Desse total, apenas 0,6% corresponde ao consumo direto na pecuária ou nas atividades indiretas associado ao rebanho (MAHDY, 2020). Diante de tal situação, é necessário determinar o consumo de água pelo setor para assegurar o uso adequado do recurso.

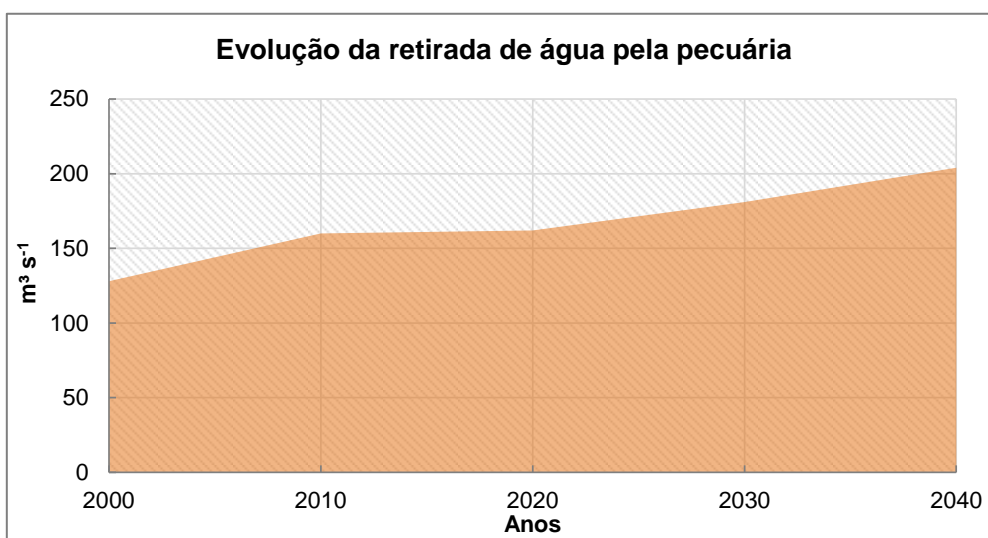
A pegada hídrica tem sido utilizada como um indicador do consumo de água tanto para uso direto como indireto da água em nível de consumidor e produtor. Tem como finalidade mensurar o volume total de água doce utilizado na produção dos bens e serviços consumidos ou pelos próprios indivíduos (FAO, 2018).

Segundo Ran et al. (2016), não existe um método direto para avaliar o uso de recursos hídricos na produção pecuária. A comparação entre os estudos realizados muitas vezes se torna difícil pelas diferenças nos termos e nos limites do sistema, além dos métodos e indicadores propostos para a

avaliação de impactos. Dessa forma, as partes interessadas podem ter dificuldade para elencar se as diferenças no uso da água entre os produtos pecuários e os sistemas de produção realmente são existentes, ou existem devido a aplicação de outro método de mensuração. Com isso, muitas vezes torna-se complexo a identificação das partes interessadas em compreender se existe uma ligação direta entre o uso da água e os impactos no meio ambiente, como a escassez de água.

Uma das primeiras etapas necessárias para avaliar o uso da água no setor pecuário consiste no conhecimento adequado dos animais, suas populações e as condições do manejo. As necessidades de água alteram de forma significativa por espécie, raça, idade, taxa de crescimento, tipo de alimentação, clima, entre outros fatores. O cálculo das necessidades de água das espécies de gado, considerando o estado fisiológico e as condições do ambiente podem ser adquiridas a partir de diretrizes informando com detalhes as necessidades de nutrientes de uma respectiva espécie (FAO, 2019).

No Brasil, o consumo de água no setor pecuário tende a aumentar, isto é percebido desde o ano 2000. Do ano 2000 até 2020 a variação de retirada compreendeu em 27%, a projeção mostra que o volume consumido pelo setor pode atingir a  $204 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2040. A Figura 7 apresenta a evolução da retirada de água para o setor no país, entre os anos 2000 a 2040.



**Figura 7** - Evolução da retirada de água ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) pela pecuária no Brasil. Fonte: Adaptado de ANA (2021).

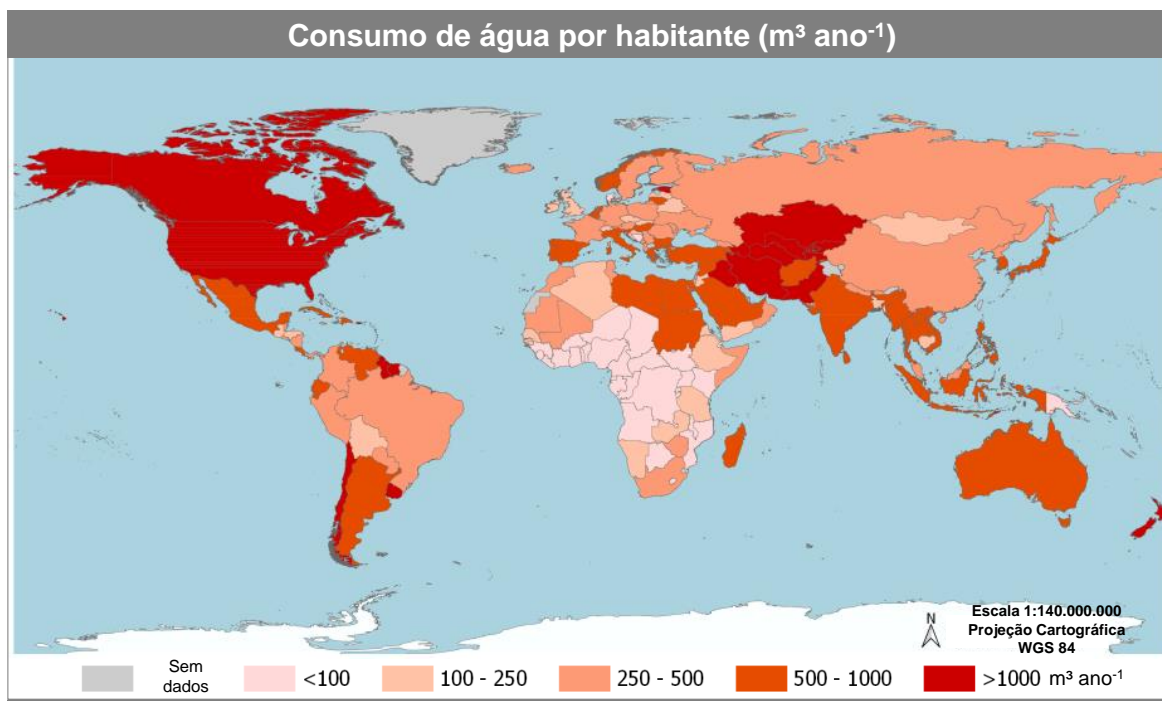
### 2.3.3 Abastecimento populacional

O serviço de abastecimento de água é essencial para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade humana, por isso é de extrema importância a avaliação das sub-bacias, quanto as suas diversas capacidades em fornecer recursos hídricos para a gestão de toda uma BH (LI et al., 2021).

Nos próximos anos, um dos principais desafios relativos ao abastecimento de água é o crescimento populacional (GOLFAM; ASHOFTEH; LOÁICIGA, 2021). O número de habitantes no mundo deverá aumentar de 7,7 bilhões para 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (ONU, 2020). As áreas urbanas aumentarão em 80% o uso de água até 2050, estudos atuais estimam que para este mesmo ano, cerca de 3,5 a 4,4 bilhões de pessoas pode enfrentar a escassez de água, devido às alterações no clima e o aumento do uso de água por atividades humanas (FLÖRKE; SCHNEIDER; MCDONALD, 2018).

De acordo com McDonald et al. (2011), ao mesmo tempo que as cidades se empenham no fornecimento de água aos novos habitantes, elas também enfrentarão as alterações hidrológicas devido às mudanças no clima em escala global. A partir do modelo hidrológico utilizado pelos autores, os resultados apresentaram que 150 milhões de pessoas residem em áreas urbanas com escassez de água contínua, compreendendo menos que 100 L pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> do fluxo sustentável de águas providas de fontes superficiais e subterrâneas. Em 2050, esse número de pessoas em áreas de escassez hídrica poderá chegar quase a 1 bilhão de habitantes.

A Figura 8 apresenta o consumo de água por habitante (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) em todos os continentes referente ao ano de 2019, de acordo com dados da AQUASTAT.



**Figura 8** - Consumo de água por habitante (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>). Fonte: Adaptado de AQUASTAT (2019).

Em 2010, a Ásia foi o continente que mais consumiu água para fins domésticos, porém o volume consumido para este uso foi menor (7%) quando relacionado com a demanda de água total



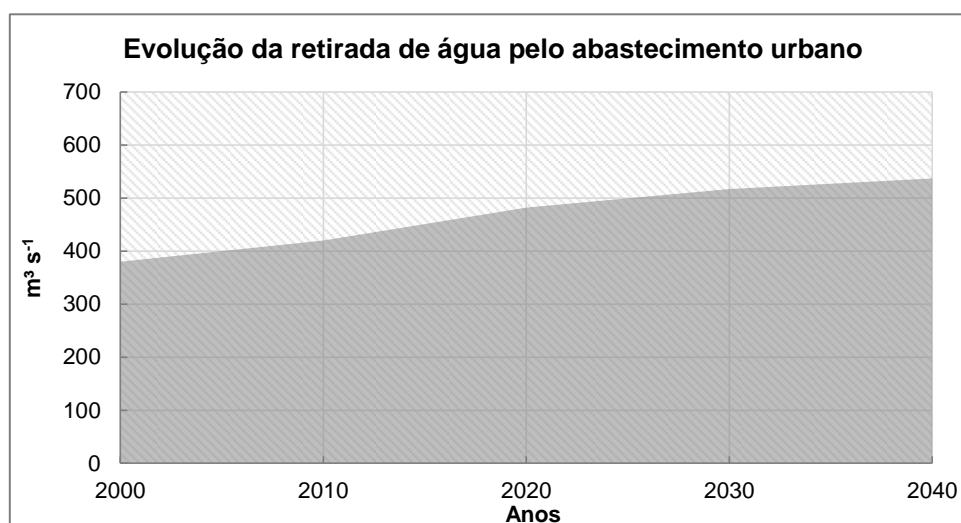
que envolvem outros setores (Tabela 6). Neste mesmo ano, o menor consumo de água para uso doméstico ocorreu na Oceania, correspondendo  $6 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ , representando 16% da demanda hídrica total do respectivo continente. Considerando a projeção para 2050, o continente asiático poderá manter em primeiro lugar no consumo de água para uso doméstico, compreendendo um volume de  $565 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ , da mesma forma, a menor demanda hídrica para esse mesmo ano tenderá a manter na Oceania, com volume na ordem de  $9 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ .

**Tabela 6** - Demanda hídrica para uso doméstico ( $\text{km}^3 \text{ ano}^{-1}$ ) dos continentes em 2010 e 2050.

Continentes	Demanda de água para uso doméstico ( $\text{km}^3 \text{ ano}^{-1}$ ) (2010)	% da Demanda de água para uso doméstico com relação a demanda total (2010)	Demanda de água para uso doméstico ( $\text{km}^3 \text{ ano}^{-1}$ ) (2050)	% da Demanda de água para uso doméstico com relação a demanda total (2050)
África	26	11	101	28
Ásia	202	7	565	14
América Central e do Norte	82	12	118	18
América do Sul	39	23	82	36
Europa	72	16	93	17
Oceania	6	16	9	21
<b>Total</b>	<b>427</b>	<b>9</b>	<b>967</b>	<b>17</b>

Fonte: Modificado de Burek et al. (2016).

O abastecimento urbano se destaca com o segundo maior uso dos recursos hídricos no Brasil, responsável em suprir água a um percentual superior a 80% para a população (ANA, 2019). No país, desde o ano 2000 observa-se o aumento da retirada de água para o abastecimento urbano, devido ao aumento no contingente populacional. A variação no quadro de evolução do volume retirado em 2000 com relação à estimativa de retirada para o ano de 2040, correspondeu a 41,3%, visto que, em 2000 o volume retirado foi de  $380 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e em 2040 estima-se a  $537 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Figura 9).



**Figura 9** - Evolução da retirada de água ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) pelo abastecimento urbano no Brasil. Fonte: Adaptado de ANA (2021).

Os limites dos recursos hídricos no planeta estão cada vez mais manifestos com o crescimento da população mundial e, conseqüentemente o aumento do uso diário de água. Esta situação desencadeia a necessidade de planejar a distribuição de água de forma mais eficiente, por meio de uma estimativa razoável da demanda hídrica (SALLOOM et al., 2022). A Tabela 7 apresenta informações de alguns estudos desenvolvidos para determinar a demanda hídrica no setor populacional em diferentes regiões do mundo.

**Tabela 7 -** Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor populacional.

Área de estudo	Descrição do estudo	Autor(es)/Ano
177 países	O modelo de demanda hídrica doméstica foi atualizado baseado no conceito de mudança estrutural, a qual tem como função observar as alterações na renda média da população, evidenciando que quando a renda aumenta há tendência ao uso mais intensivo da água. A mudança estrutural é representada por uma curva sigmoide (que mostra como a intensidade do uso da água altera a partir da renda). Com relação ao consumo doméstico de água, este foi determinado por meio da relação consumo/retirada de água para o período de 1950 a 1999.	Flörke et al./2013
Escala Global	O modelo de demanda de água municipal global foi baseado em dados estatísticos globais de uso de água na escala do país, e dependeu de algumas variáveis socioeconômicas, como: população, renda, preço da água, tecnologia de uso final e taxas de melhoria de eficiência. O modelo foi calibrado para o ano base de 2005 e simulado até o término do século XXI, e é associado ao Global Change Assessment Model (GCAM), que consiste em um modelo de avaliação integrada de mudança global.	Hejazi et al./2013
Cidade de Dhaka (Bangladesh)	A estimativa da taxa de crescimento da população, a demanda de água e a oferta de água foi baseada no modelo linear logarítmico. O consumo de água per capita foi calculado com base na razão entre o volume total de água pelo número de habitantes da respectiva cidade.	Arfanuzzaman ;Atiq Rahman/2017
Carolina do Norte e Carolina do Sul (Estados Unidos da América)	Para conhecer a demanda hídrica foram separados os registros de uso de água em nível municipal para unidades de setores censitários baseados em um método ponderado. Nesta etapa foi utilizada a álgebra raster para obter a densidade populacional, o produto obtido compreende nas estimativas de uso de água em nível de setor censitário.	Sanchez et al./2020
Espanha	A avaliação da demanda de água residencial foi baseada em 151.068 observações entre o período 2006 a 2012, utilizando um sistema de estimativa de demanda quadrática quase ideal (QUAIDS).	Suárez-Varela /2020
Cidade de Melbourne (Austrália)	Foi determinada a demanda de água urbana de médio prazo a partir de vários fatores, sendo eles: consumo de água municipal; temperaturas máxima, mínima e média; precipitação; evaporação; radiação solar; pressão de vapor; umidade relativa máxima; e evapotranspiração potencial. O estudo apresenta um novo método que combina o algoritmo de otimização de enxame de partículas (PSO), para identificar os melhores valores de coeficientes para o modelo de demanda hídrica.	Zubaidi et al./2020
Bacia do Rio Qiantang (China)	A demanda de água utilizada para consumo humano foi baseada na densidade populacional, a qual possui uma resolução espacial de 1 km x 1 km.	Li et al./2021
Cidade de Valência (Espanha)	A análise da demanda hídrica para uso doméstico foi realizada por um modelo hierárquico em escala intraurbana. Para análise empírica fizeram uso de dados disponíveis em nível domiciliar entre 2009 e 2011.	Maldonado-Devis; Almenar-Llongo/2021
Estado de Oyo (Nigéria)	A demanda hídrica populacional foi estimada por meio do conhecimento do requisito mínimo de água em diversas atividades domésticas realizadas na Nigéria, bem como, o número médio de pessoas por domicílio, o qual foi adotado como padrão 7 pessoas.	Solihu e Bilewu/2021

### 2.3.4 Atividade industrial

A indústria é um dos principais usuários de água e poderá aumentar a demanda pelo recurso em 400% até 2050 (OECD, 2012). Corresponde a 22% do uso total de água no mundo, seu rápido aumento é devido ao desenvolvimento econômico (WANG et al., 2018). A demanda de água industrial compreende a quantidade de água utilizada nos processos de resfriamento, processamento e operações de fabricação e geração de energia.

A demanda global por água vem aumentando a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano nas últimas décadas devido ao crescimento populacional, desenvolvimento da economia e as alterações nos padrões de consumo, entre outros fatores, e continuará a desenvolver de forma significativa nos próximos anos. As demandas industrial e doméstica de água aumentarão de forma mais acelerada quando comparada com a demanda agrícola, porém a agricultura permanecerá como o maior usuário. O crescimento da demanda por água ocorrerá principalmente em países com economias em desenvolvimento (WWAP, 2018).

As empresas de diferentes portes enfrentam vários problemas de sustentabilidade hídrica, independente das que se localizam em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, o ponto chave está especialmente nas medidas de eficiência para conservação dos recursos hídricos. Enquanto que, nos países subdesenvolvidos a prioridade para a indústria é adquirir e garantir o acesso as fontes de água confiáveis, o que em muitas das vezes é desafiador nas áreas com escassez hídrica (WWAP, 2015). De acordo com Willet et al. (2019) o uso da água nas indústrias necessita basear-se em taxas sustentáveis de captação de água.

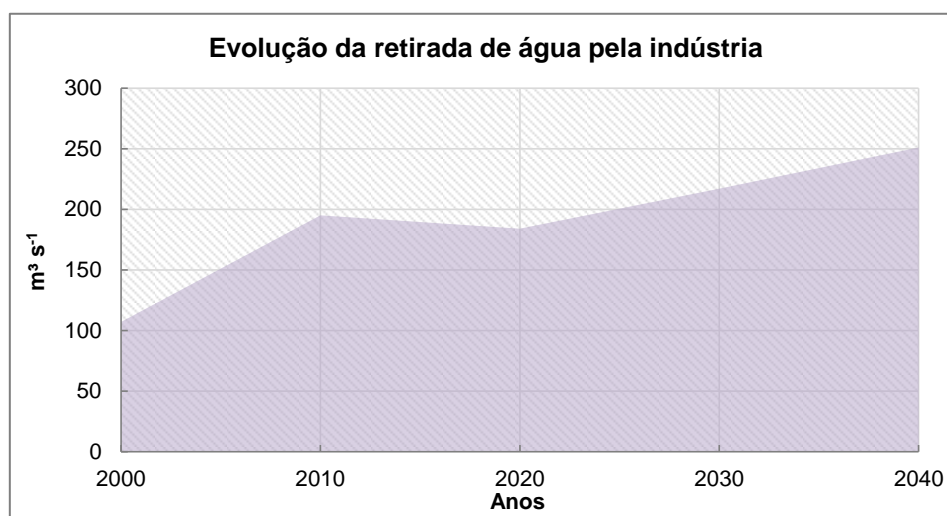
A Tabela 8 apresenta a demanda de água dos continentes para o setor industrial no ano de 2010 e uma projeção para 2050. A maior quantidade de água demandada pelo setor consiste nas atividades industriais concentradas na Ásia, correspondendo a  $316 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ . Para 2050, o continente asiático tende a ser o maior consumidor de água, a demanda hídrica do setor industrial poderá aumentar em 141% em comparação com 2010. Enquanto que, em 2010 a menor demanda de água ocorreu na Oceania, representando  $2 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ , a partir da projeção para 2050 o continente continuará demandando a menor quantidade de água para fins industriais.

**Tabela 8** - Demanda hídrica para uso industrial ( $\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$ ) dos continentes em 2010 e 2050.

Continentes	Demanda de água para uso industrial ( $\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$ ) (2010)	% da Demanda de água para uso industrial com relação a demanda total (2010)	Demanda de água para uso industrial ( $\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$ ) (2050)	% da Demanda de água para uso industrial com relação a demanda total (2050)
África	18	8	64	18
Ásia	316	10	760	19
América Central e do Norte	229	35	182	27
América do Sul	31	19	47	21
Europa	241	54	325	58
Oceania	2	5	3	7
<b>Total</b>	<b>838</b>	<b>18</b>	<b>1.381</b>	<b>24</b>

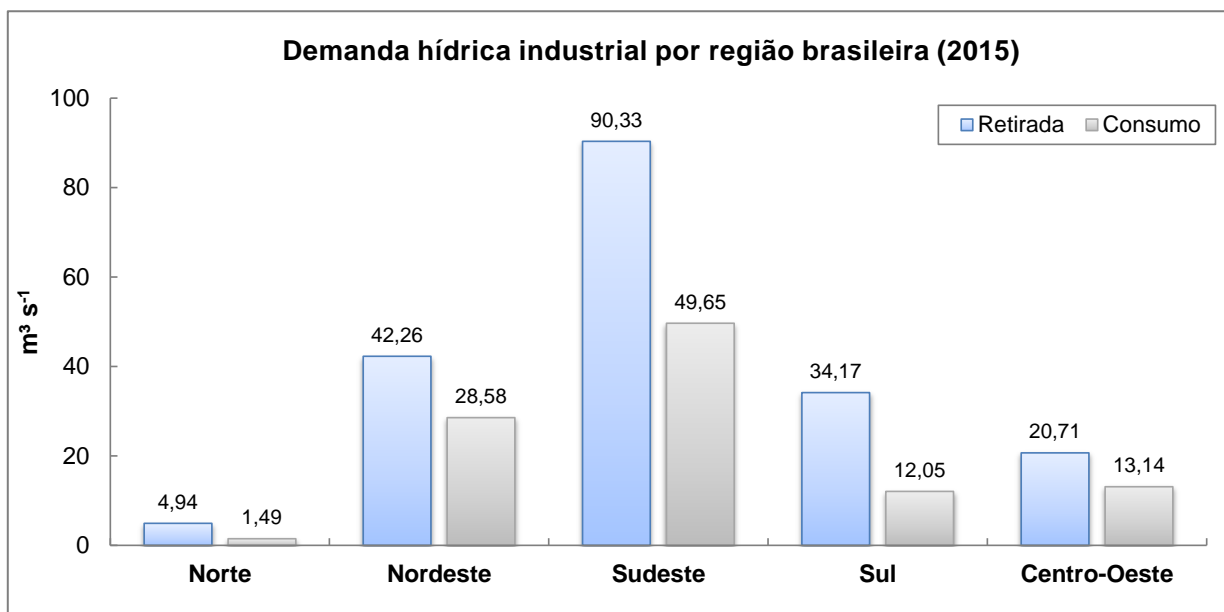
Fonte: Modificado de Burek et al. (2016).

Considerando os usos consuntivos no Brasil, as indústrias representam o terceiro uso que mais utiliza água. A evolução da retirada de água por este setor mostra um acréscimo significante entre os anos 2000 a 2010, correspondendo a 82%. No entanto, a partir de 2010 até 2020, ocorreu uma baixa redução na retirada compreendendo a  $195 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2010 e  $184 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2020. Considerando a projeção para 2040, poderá ocorrer um aumento de 36% quando comparado com a retirada em 2020 (Figura 10).



**Figura 10** - Evolução da retirada de água ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) pela indústria no Brasil. Fonte: Adaptado de ANA (2021).

A maior concentração de indústrias no país se encontra na região Sudeste (Figura 11), principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, com isso a região se destaca com as maiores demandas de água (ANA, 2017).



**Figura 11** - Demanda de água industrial (retirada e consumo) por regiões brasileiras em 2015. Fonte: Modificado de ANA (2017).

Dentre os grupos industriais brasileiros, cinco são responsáveis por 65% da demanda de retirada e 83% da demanda de consumo. As indústrias sucroalcooleiras se destacam nas vazões de retirada e no consumo, envolvendo as indústrias dos grupos de fabricação e refino de açúcar e fabricação de biocombustíveis (Tabela 9). As maiores demandas hídricas do setor sucroalcooleiro se encontram principalmente na região Sudeste do país (ANA, 2017).

**Tabela 9** - Grupos industriais que possuem as maiores retiradas e consumos de água e suas respectivas vazões (2015).

Denominação do Grupo	Vazão de Retirada (m³ s⁻¹)	Vazão de Consumo (m³ s⁻¹)
Fabricação e refino de açúcar	54,55	54,55
Fabricação de biocombustíveis	25,71	25,71
Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	19,81	2,51
Abate e fabricação de produtos de carne	13,48	1,68
Siderurgia	7,73	2,00

Fonte: Modificado de ANA (2017).

A projeção de aumento das demandas de água nas indústrias enfatiza a necessidade de avaliar a sustentabilidade no uso da água (WILLET et al., 2019). Desta forma, prognosticar a demanda hídrica do setor industrial com precisão é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos (YANG; ZHENG; KE, 2017). A Tabela 10 apresenta alguns estudos que analisaram a demanda de água no setor industrial.

**Tabela 10** - Informações de alguns estudos sobre a demanda hídrica no setor industrial.

Área de estudo	Descrição do estudo	Autor(es)/ Ano
Cidade de Zhangye (China)	A demanda de água no setor industrial para o ano de 2030, envolveu primeiramente a construção de uma base com 420 casos originais de demanda hídrica no setor, de 28 cidades entre os anos de 2000 a 2014. Logo, seis atributos foram considerados como atributos de caso e ponderados por meio de rede neural de retropropagação (BPN). Após, foi aplicada a análise de incidência para o cálculo das semelhanças entre o caso alvo e os casos originais, e foi utilizado o método ponderado de similaridade para a estimativa da demanda hídrica industrial do caso alvo.	Yang; Zheng; Ke/2017
5 SHs do Rio Huaihe (China)	A modelagem da demanda de água no setor industrial levou em consideração as alterações climáticas por meio da análise da precipitação e temperatura que serviram para avaliar a elasticidade climática da demanda de água industrial. Além da integração das variáveis climáticas, também foram considerados fatores econômicos e tecnológicos.	Wang et al./2018
Espanha	A estimativa da demanda de água na indústria, considerou às diferenças entre os ramos de atividades. Foi utilizado um conjunto de dados referente ao período de 1993 a 2013, dividido em 11 setores. O modelo utilizado foi baseado em uma função de produção translog com cinco variáveis (água, capital, trabalho, energia e insumos).	Gracia-De-Rentería; Barberán; Mur/2019
Índia	A demanda de água na indústria foi determinada por meio da integração de dados estatísticos baseados em censo na Índia. A demanda foi estimada em escala estadual e para o período mensal entre os anos 1991 a 2010.	Joseph et al./2019
Cidade de Suzhou (China)	O modelo de oferta e demanda de água no setor industrial foi determinado pelo método de dinâmica de sistemas e a função de produção Cobb-Douglas (C-D). Neste modelo, a demanda de água industrial consiste na soma da demanda de água industrial geral e a demanda de água da indústria de energia.	Li et al. /2019
Escócia	A partir da combinação de um conjunto de dados único com indicadores econômicos em nível industrial e setorial, o estudo realizou uma decomposição das mudanças na demanda de água industrial entre os anos de 2012 a 2016.	Allan et al./2020
Jordânia	Para o cálculo da demanda de água industrial foram coletados dados de cinco setores industriais, incluindo 395 fábricas industriais, por meio de um questionário estruturado. Os dados levantados que foram avaliados envolveram o número de funcionários, os tipos e as quantidades de produtos, a demanda de água, as quantidades de geração de efluentes e as práticas de gestão.	Saidan/2020
Município de Zaragoza (Espanha)	A demanda hídrica para usos industriais no período (1993 a 2012) foi estimada com base no uso de microdados de 8.615 empresas, envolvendo todas atividades industriais (manufatura, construção e serviços) divididas em 24 subsetores.	Gracia-De-Rentería; Barberán; Mur/2021

## 2.4 Escassez hídrica

Nos tempos atuais, a escassez de água se configura em uma das preocupações a serem enfrentadas, devido ao aumento da demanda hídrica pelos usos da população, e suas consequências na produção de energia e alimentos. Parte das demandas é estimulada pelo crescimento populacional e também, pelo maior consumo per capita nos setores urbano, doméstico e industrial (COSGROVE; LOUCKS, 2015).

Nas últimas décadas, tornou-se notória a escassez hídrica, porém há regiões que apresentam uma quantidade de água suficiente para suprir os usos, no entanto, são grandes as variações espaciais e temporais, que causam à falta de água em períodos específicos do ano (MEKONNEN;

HOEKSTRA, 2016). Esta escassez resultante do aumento da demanda e da redução da oferta hídrica compromete a saúde pública, a qualidade dos ecossistemas e os recursos naturais (KAEWMAI et al., 2019).

Um grande desafio mundial da atualidade é o avanço da escassez de recursos essenciais para a sustentabilidade. As Nações Unidas retratam que até o ano de 2030, serão necessários 30% mais de água, 45% mais de energia e 50% mais de alimento. A sustentabilidade que envolve os três eixos (Água, Energia e Alimento) se tornou um assunto crítico para a ciência ambiental (YUAN; LO, 2020).

Considerando os fatores pertinentes ao eixo “Água”, a escassez hídrica tornou-se um assunto importante para o desenvolvimento sustentável (HUANG; YUAN; LIU, 2021), de acordo com Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 - Água Limpa e Saneamento, reduzir a exposição da população à escassez hídrica e aprimorar o acesso universal à água potável são metas de extrema importância (HUANG et al., 2021), no entanto, assegurar o abastecimento de água com o aumento da escassez é uma dificuldade que a humanidade vem enfrentando rumo ao desenvolvimento sustentável (SUN et al., 2021).

A escassez hídrica é um assunto de âmbito global de grande importância que causa impactos situados em diversas regiões do mundo, considerando o Oriente Médio, Sul do continente europeu, extremidade oeste dos EUA. A gestão de políticas voltadas a vertente hídrica está se esforçando no cumprimento de metas que conservem a água, levando em consideração as situações ambientais e demográficas, como as alterações no clima, processos de desmatamento, crescimento populacional, bem como, abordagens de comando e controle, integrando medidas de interrupção em alguns casos (GARRONE; GRILLI; MARZANO, 2019).

A gestão dos recursos hídricos e os padrões de uso e cobertura do solo estão conectados entre si. O fornecimento de recursos hídricos está diretamente relacionado com os processos hidrológicos, os quais sofrem interferência principalmente do clima e das alterações no uso e cobertura do solo nas BHs (KUMAR et al., 2019). Esta situação associada à ausência de gestão dos recursos hídricos, poderá acarretar na diminuição de oferta de água, o que afetará não somente as atividades humanas, mas também as funcionalidades dos sistemas ambientais (NILSALAB; GHEEWALA; SILALERTRUKSA, 2017).

A gestão dos recursos hídricos consiste em um desafio em BH que apresenta escassez de água, onde o volume de água disponível combinado com uma demanda hídrica potencial supera a capacidade de abastecimento do sistema natural (ALDAYA et al., 2019). Uma BH se enquadra com

escassez física de água (em que os recursos hídricos estão próximos ou ultrapassando os limites sustentáveis) quando mais de 75% de seu fluxo total do rio é utilizado para fins de irrigação, usos domésticos e industriais, levando em consideração a reciclagem dos fluxos de retorno (CA, 2007).

Para Deng et al. (2021), o esclarecimento da relação entre a oferta e a demanda hídrica é essencial para aperfeiçoar a gestão dos recursos hídricos. Essa relação proporciona conferir o grau de pressão desempenhado pelos usuários sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (ANA, 2019). O desequilíbrio do balanço hídrico é compreendido como uma das dimensões da insegurança hídrica, que associado a dimensões de operação e de gestão dos recursos hídricos e do saneamento, e as alterações climáticas, possibilitam a ocorrência de crises hídricas, como as que o Brasil sofreu nos últimos anos (ANA, 2021).

O aumento das demandas de água no Brasil, a partir do crescimento populacional e das atividades econômicas que necessitam de água influenciam para a ocorrência de um aumento do estresse hídrico. No entanto, a relação entre a demanda e a disponibilidade de água é muito satisfatória, por ser inferior a 10%, conforme a ONU (ANA, 2019). A Figura 12 apresenta a média dos níveis de estresse hídrico global no ano de 2015 e a Tabela 11 mostra a proporção entre a retirada de água e o total dos recursos de água disponíveis no Brasil, entre os anos de 2006 a 2016.

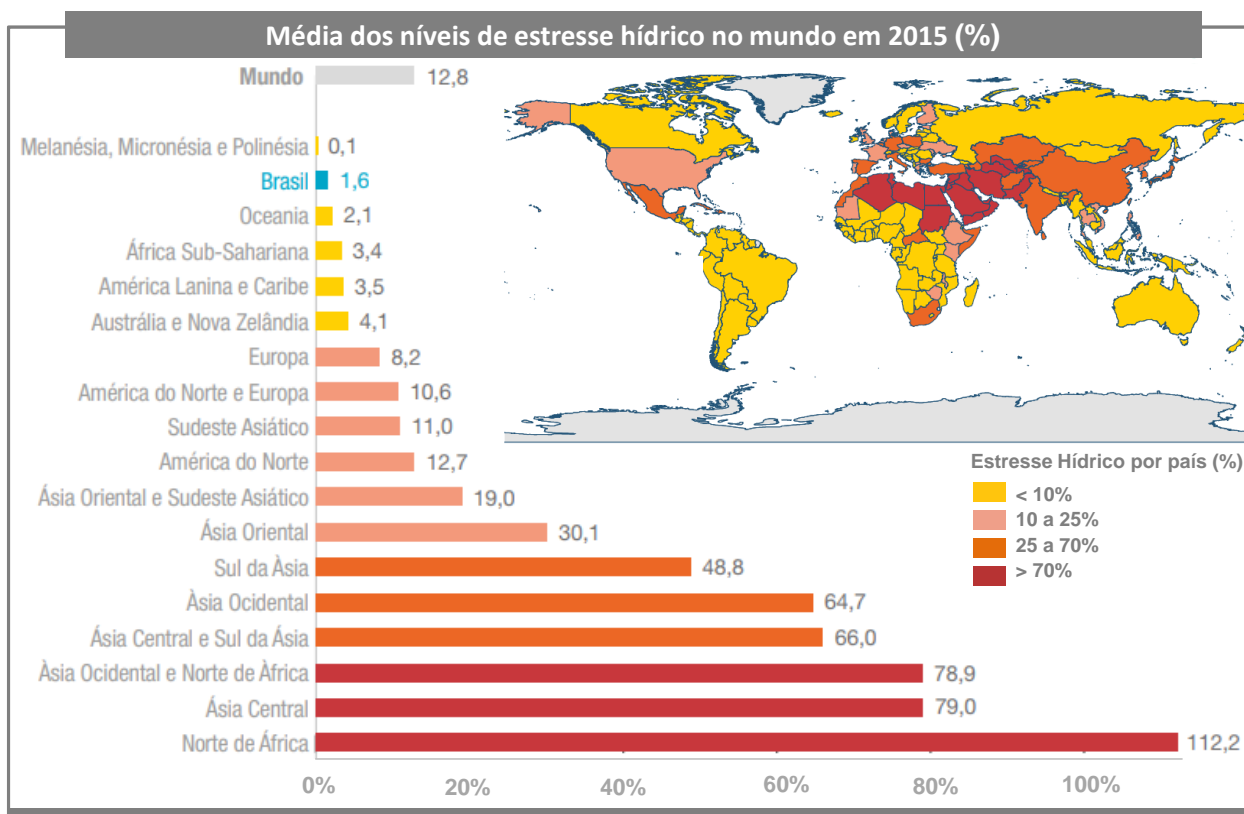


Figura 12 - Média dos níveis de estresse hídrico no mundo em 2015 (%). Fonte: Adaptado de ANA (2019).



Com as diferenças nas características do país, um valor único referente ao nível de estresse hídrico não reflete as especificidades de todas as doze regiões hidrográficas brasileiras. As áreas mais críticas são a região do Atlântico Nordeste Oriental, localizada no semiárido brasileiro, e a região do Atlântico Sul. Além destas, a situação das regiões hidrográficas do Atlântico Leste e do São Francisco possuem as demandas mais significativas em relação às suas disponibilidades hídricas (ANA, 2019).

**Tabela 11-** Nível de estresse hídrico por regiões hidrográficas (%).

<b>Regiões Hidrográficas</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Amazônica	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tocantins-Araguaia	1,1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,3	1,4	1,4	1,6	1,7	1,7
Atlântico-Nordeste Ocidental	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	2,0
Atlântico-Nordeste Oriental	45,0	45,5	43,3	41,0	45,6	39,9	49,1	47,7	49,7	47,3	45,3
Parnaíba	6,1	6,5	5,8	5,4	6,1	5,6	6,9	6,2	6,2	5,9	5,9
Atlântico Leste	11,7	13,6	13,7	13,6	14,9	15,0	18,8	17,0	18,3	16,3	16,0
São Francisco	10,9	12,8	11,7	10,7	13,3	13,0	17,7	15,8	17,7	15,3	15,6
Atlântico Sudeste	7,1	7,5	7,6	6,9	8,1	7,7	8,8	8,8	9,8	8,9	8,1
Paraná	6,0	6,5	6,5	5,9	7,0	7,1	7,5	7,5	8,4	7,7	7,6
Paraguai	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,0
Atlântico Sul	20,3	19,7	21,0	18,6	20,6	20,3	21,7	22,8	19,5	22,8	23,0
Uruguai	6,8	6,1	7,3	6,4	5,7	6,7	7,1	6,8	5,8	7,2	7,4
BRASIL	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

Fonte: Adaptado de ANA (2019).

A estimativa da escassez pode ser realizada pelo conhecimento dos recursos de água doce disponíveis e pela retirada de água para as atividades humanas, que são afetados pelas alterações no clima e também pelas atividades antrópicas (HUANG; YUAN; LIU, 2021). Essas mudanças provocadas pelas ações humanas no ciclo hidrológico natural em integração com a atenção global provocarão expressivas mudanças na disponibilidade e demanda de água e intensificarão os conflitos entre os setores usuários. Dessa forma, aumenta a necessidade em atualizar os planos de governança hídrica existentes para fins de atender às demandas futuras e assegurar o uso racional da água. Os avanços exigirão o planejamento de recursos hídricos em escala especial, ou seja, de maior detalhe. Além disso, darão maior enfoque na reciclagem de água, na melhoria da eficiência do uso da água pelos setores usuários e a realização do monitoramento em tempo real tanto das reservas como das demandas hídricas (TZANAKAKIS; PARANYCHIANAKIS; ANGELAKIS, 2020).

Para Zeng et al. (2013) existem quatro abordagens principais para avaliar a escassez de água (Tabela 12). Segundo os autores, é necessário um indicador de escassez de água que associe todos os recursos hídricos, o uso da água e os impactos no ambiente, no entanto, tal abordagem deve ser de simples para aplicar com dados de entrada de fácil aquisição, além de permitir objetiva interpretação.

**Tabela 12** - Principais abordagens para avaliar a escassez hídrica.

Índice*	Fórmula*	Limite do indicador*	Entradas principais	Vantagem	Desvantagem	NC
Índice Falkenmark (índice de estresse hídrico)  Elaborado por Falkenmark e colaboradores no ano de 1989	$WSI = WA/P$  WSI: índice de estresse hídrico (m <sup>3</sup> /cap/ano) WA: disponibilidade hídrica P: população	<u>Estresse hídrico:</u> WSI = 1000-1700 <u>Escassez de água:</u> WSI = 500-1000 <u>Escassez absoluta:</u> WSI < 500	- Disponibilidade de água - População	- Os dados estão facilmente disponíveis - O significado é de fácil entendimento	- Não considera a qualidade da água - Não reflete a contribuição da infraestrutura hídrica - Não mostra a diferença na demanda de água devido as diferentes condições climáticas e estilo de vida	Baixo
Índice de criticidade (CR)  Elaborado por Alcamo e colaboradores no ano de 2000	$CR = W/WA$  CR: razão de criticidade W: retirada de água WA: disponibilidade de água	<u>Sem estresse hídrico:</u> CR = 0-0,1 <u>Estresse hídrico baixo:</u> CR = 0,1-0,2 <u>Estresse hídrico médio:</u> CR = 0,2-0,4 <u>Estresse hídrico alto:</u> CR = 0,4-0,8 <u>Estresse hídrico muito alto:</u> CR > 0,8	- Disponibilidade de água - Captação de água	- Os dados estão facilmente disponíveis - O método relaciona a oferta anual de água e a demanda humana	- Não considera a escassez induzida pela poluição da água - Não inclui a capacidade de adaptação da sociedade	Baixo
Indicador IWMI  Elaborado por Seckler e colaboradores no ano de 1998	$WS = PWS/UWS$  UWS: abastecimento de água utilizável PWS: abastecimento de água primário	<u>Escassez física de água:</u> WS ≥ 60% (a região não poderá atender a demanda de água no futuro) <u>Escassez econômica de água:</u> WS < 60%, IPWS ≥ 25% (a região tem recursos hídricos suficientes, mas teria que fazer investimentos significativos para tornar esses recursos disponíveis para as pessoas) <u>Pouca ou nenhuma água escassa:</u> WS < 60%, IPWS < 25%	- Abastecimento de água utilizável - Abastecimento primário de água - População - Recursos hídricos - Capacidade adaptativa da sociedade	- Considera a disponibilidade de água para humanos - Considera as demandas de água baseada no uso consuntivo da água - Leva em consideração a capacidade adaptativa da sociedade	- São muitos dados de entrada, complexos e difíceis de coletar - São necessários pareceres especializados. - É muitas vezes prático para avaliação em nível de país, mas não em um nível espacial inferior.	Alto
Índice de pobreza hídrica  Elaborado por Sullivan no ano 2002	$WPI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$  WPI: valor do índice de pobreza hídrica X i : componente i da estrutura do WPI (avaliação em %) w i : peso aplicado ao componente i.	<u>O nível mais baixo possível de pobreza hídrica:</u> WPI = 100  <u>Nível de pobreza hídrica:</u> 0 < WPI < 100  <u>Nível mais alto possível de pobreza hídrica:</u> WPI = 0	- Recursos hídricos: disponibilidade física das águas superficiais e subterrâneas - Acesso à água: acesso humano à água - Capacidade: eficácia da capacidade das pessoas de gerir a água - Uso da água: diferentes usos da água - Meio ambiente: avaliação da integridade do ecossistema aquático	- Considera cinco dimensões: acesso à água; quantidade, qualidade e variabilidade da água; usos da água; capacidade de gestão da água; e aspectos ambientais	- São muitos dados de entrada, complexos e difíceis de coletar - São necessários pareceres especializados. - O significado deste índice é de difícil entendimento.	Alto

\*Siglas em inglês. NC: Nível de Complexidade. Fonte: Modificado de Zeng et al. (2013).

A Tabela 13 apresenta alguns estudos que estimaram a escassez hídrica como forma de auxiliar na gestão e planejamento dos recursos hídricos.

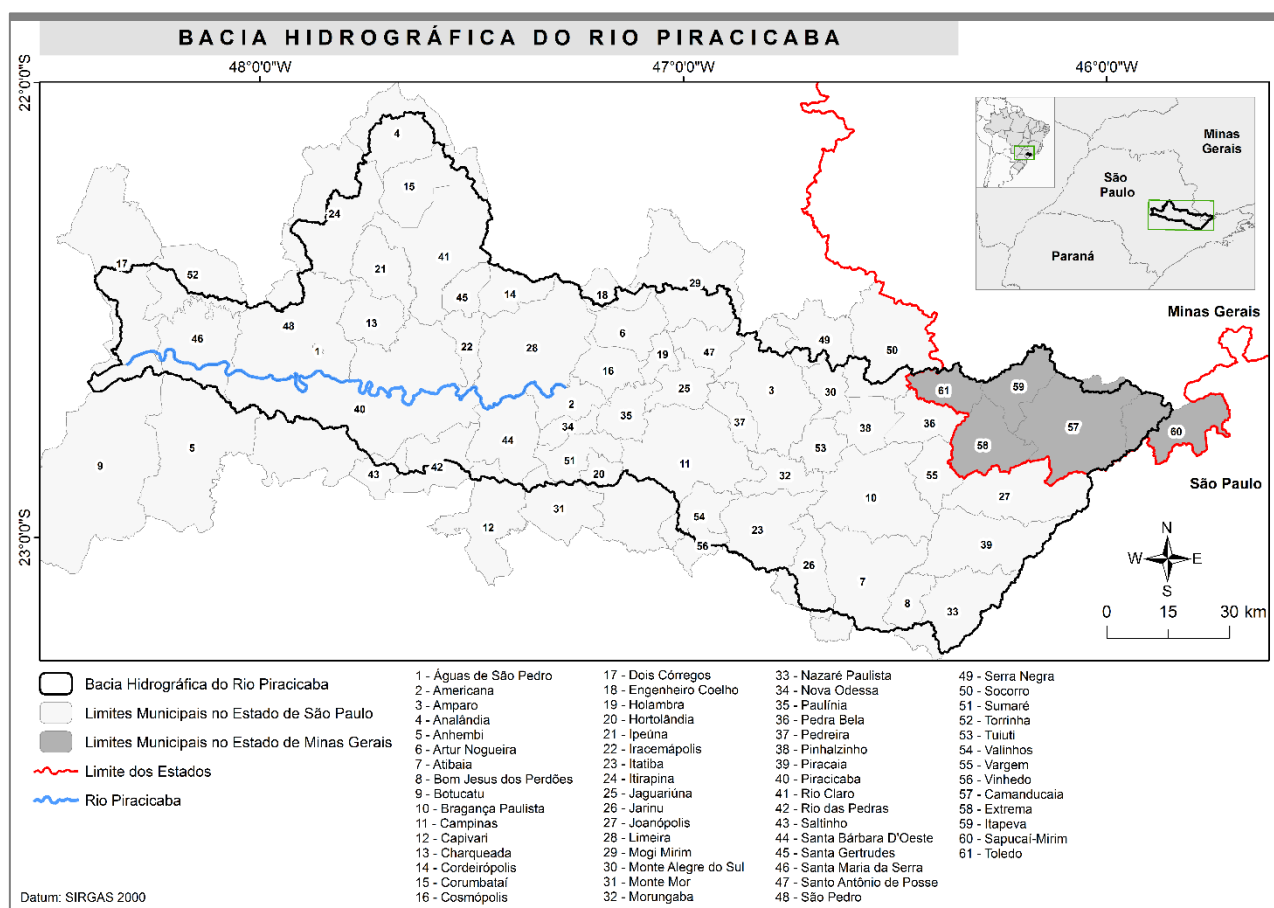
**Tabela 13** - Informações de alguns estudos sobre a escassez hídrica.

Área de estudo	Descrição do estudo	Autor(es)/ Ano
Cidade de Pequim (China)	A avaliação da escassez de água foi realizada utilizando um índice, o qual considera a quantidade e a qualidade de água. O índice é definido como a soma do índice de escassez de água azul com o índice de escassez de água cinza.	Zeng et al./2013
Bacia do Rio Huangqihai (China)	Um indicador foi desenvolvido para avaliar a escassez hídrica, levando em consideração a quantidade e a qualidade de água, bem como, o requisito de vazão ambiental.	Liu; Liu; Yang/2016
Distrito de irrigação de Hetao (China)	Foi desenvolvida uma abordagem para determinar a escassez de água azul, na qual foram associadas as probabilidades de produção, consumo e transferência de água em uma única estrutura. O valor da escassez de água azul foi estimado e analisado para a produção e o consumo.	Liu et al./2017
Nove sub-regiões	Foi redefinida a escassez de água provocada pela degradação da qualidade da água em conjunto com a escassez da quantidade de água. Além disso, foi elaborado um método de avaliação de escassez hídrica utilizando a técnica sistemática <i>Water Pinch Analysis</i> (WPA).	Jia et al./2020
Seis sub-bacias hidrográficas da BH do Rio Amarelo (China)	Realizaram a investigação da provável futura escassez hídrica sob as alterações climáticas e as atividades humanas. Foram aplicadas análises de regressão múltipla de correlação bivariada para avaliar a relação entre a escassez futura de água e os fatores hidroclimáticos e antrópicos.	Omer et al./2020
Escala Global	Utilizaram-se simulações de diferentes modelos hidrológicos globais e foi realizada uma avaliação da futura escassez de água em escala global para o período de 2020 a 2050, integrando medidas de adaptação para alocação de água em bacias internas, ou seja, fechadas (que não possui fluxo concentrado de entrada ou saída).	Huang et al./2021
Escala Global	A quantificação da escassez hídrica foi realizada utilizando três indicadores, sendo: a escassez de água baseada apenas na quantidade de água superficial; a escassez de água abrangendo tanto a quantidade quanto a qualidade da água superficial para diferentes usos setoriais; e a escassez de água baseada na quantidade e qualidade das águas superficiais, considerando a dessalinização de várias fontes e o reúso de águas residuais após tratamento realizado pelo respectivo setor.	Van Vliet et al./2021

### 3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA

As áreas de estudo deste trabalho estão situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), que compõem parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) (UGRHI-5), sendo uma das 22 UGRHIs do Estado de São Paulo.

A área de abrangência da BHRP compreende a 12.655,01 km<sup>2</sup>, sendo que 92,6% deste contingente se encontra na porção leste do estado de São Paulo e 7,4% na porção sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 13). As principais rodovias de acesso são: Anhanguera (SP-330), Bandeirantes (SP-348), Dom Pedro I (SP-65), Fernão Dias (BR-381) e Santos Dumont (SP-75) (COBRAPE, 2010).



**Figura 13** - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP).

A BHRP envolve 61 municípios, 42 destes apresentaram uma população inferior a 50.000 habitantes, o que corresponde a 69% do total dos municípios. Os municípios que se enquadraram entre 50.000 a 100.000 habitantes, são apenas 6, sendo eles: Amparo, Cosmópolis, Mogi Mirim, Nova

Odessa, Paulínia e Vinhedo. Os 13 municípios restantes apresentaram população superior a 100.000 habitantes, o município de Campinas se destacou dentre os demais com um número populacional de 1.080.113 habitantes, considerando o censo demográfico do ano de 2010, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A Tabela 14 apresenta a extensão territorial em km<sup>2</sup> dos municípios situados na BHRP, bem como, a população e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) segundo os dados do censo demográfico do IBGE, referente ao ano de 2010.

**Tabela 14** - Extensão territorial (km<sup>2</sup>) e população dos municípios que abrangem a BHRP.

Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	População (habitantes) / IDHM	Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	População (habitantes) / IDHM
1 - Águas de São Pedro	3,62	2.707 / 0,854	32 - Morungaba	146,76	11.769 / 0,715
2 - Americana	133,99	210.638 / 0,811	33 - Nazaré Paulista	326,15	16.414 / 0,678
3 - Amparo	445,34	65.829 / 0,785	34 - Nova Odessa	73,83	51.242 / 0,791
4 - Analândia	326,31	4.293 / 0,754	35 - Paulínia	138,83	82.146 / 0,795
5 - Anhembi	737,90	5.653 / 0,721	36 - Pedra Bela	158,55	5.780 / 0,677
6 - Artur Nogueira	178,10	44.177 / 0,749	37 - Pedreira	108,83	41.558 / 0,769
7 - Atibaia	478,45	126.603 / 0,765	38 - Pinhalzinho	154,51	13.105 / 0,725
8 - Bom Jesus dos Perdões	108,34	19.708 / 0,713	39 - Piracaia	385,43	25.116 / 0,739
9 - Botucatu	1486,11	127.328 / 0,800	40 - Piracicaba	1379,76	364.571 / 0,785
10 - Bragança Paulista	512,50	146.744 / 0,776	41 - Rio Claro	498,89	186.253 / 0,803
11 - Campinas	794,80	1.080.113 / 0,805	42 - Rio das Pedras	226,87	29.501 / 0,759
12 - Capivari	323,14	48.576 / 0,750	43 - Saltinho	99,85	7.059 / 0,791
13 - Charqueada	176,05	15.085 / 0,736	44 - Santa Bárbara D'Oeste	271,23	180.009 / 0,781
14 - Cordeirópolis	137,68	21.080 / 0,758	45 - Santa Gertrudes	98,38	21.634 / 0,737
15 - Corumbataí	278,90	3.874 / 0,754	46 - Santa Maria da Serra	253,08	5.413 / 0,686
16 - Cosmópolis	154,73	58.827 / 0,769	47 - Santo Antônio de Posse	154,16	20.650 / 0,702
17 - Dois Córregos	634,32	24.761 / 0,725	48 - São Pedro	612,16	31.662 / 0,755
18 - Engenheiro Coelho	109,99	15.721 / 0,732	49 - Serra Negra	203,72	26.387 / 0,767
19 - Holambra	65,60	11.299 / 0,793	50 - Socorro	448,94	36.686 / 0,729
20 - Hortolândia	62,44	192.692 / 0,756	51 - Sumaré	153,55	241.311 / 0,762
21 - Ipeúna	190,22	6.016 / 0,753	52 - Torrinha	315,84	9.330 / 0,744
22 - Iracemápolis	115,22	20.029 / 0,776	53 - Tuiuti	126,72	5.930 / 0,728
23 - Itatiba	322,29	101.471 / 0,778	54 - Valinhos	148,57	106.793 / 0,819
24 - Itirapina	565,34	15.524 / 0,724	55 - Vargem	142,55	8.801 / 0,699
25 - Jaguariúna	141,43	44.311 / 0,784	56 - Vinhedo	81,62	63.611 / 0,817
26 - Jarinu	207,54	23.847 / 0,733	57 - Camanducaia	528,42	21.080 / 0,689
27 - Joanópolis	374,14	11.768 / 0,699	58 - Extrema	244,49	28.599 / 0,732
28 - Limeira	581,09	276.022 / 0,775	59 - Itapeva	177,27	8.664 / 0,720
29 - Mogi Mirim	497,82	86.505 / 0,784	60 - Sapucaí-Mirim	284,9	6.241 / 0,680
30 - Monte Alegre do Sul	110,30	7.152 / 0,759	61 - Toledo	136,74	5.764 / 0,661
31 - Monte Mor	240,71	48.949 / 0,733			

Fonte: IBGE (2010).

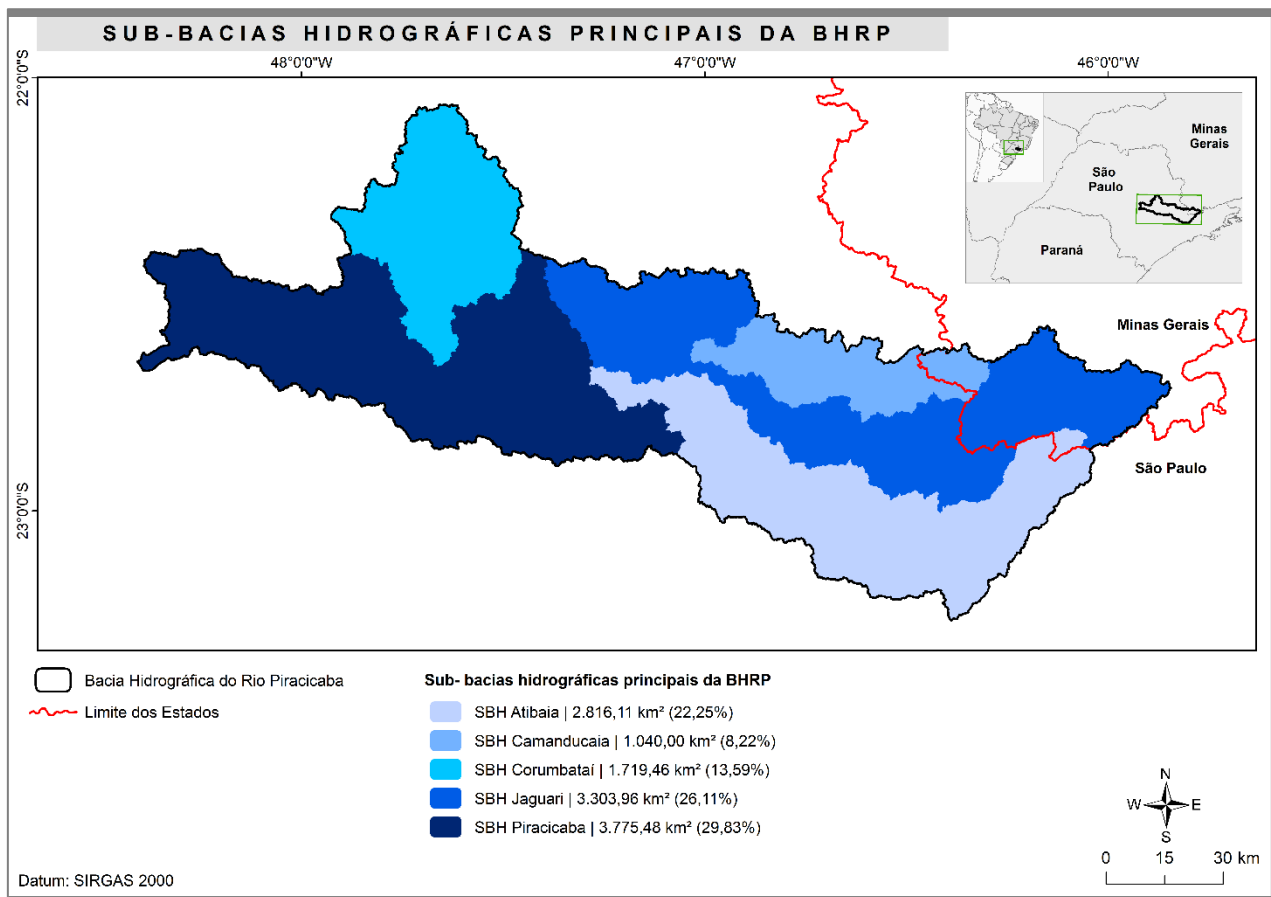
Os municípios de Águas de São Pedro e Valinhos apresentaram os maiores valores quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), na ordem de 0,854 e 0,819, respectivamente. Estes valores podem ter influência das características destes municípios, uma vez que, o município de Águas de São Pedro se destaca pelo seu potencial turístico, o que contribui para o seu desenvolvimento local. Enquanto que, o município de Valinhos se situa em um dos pólos comerciais e industriais bem desenvolvidos que movimentam a economia do estado de São Paulo, o que influencia diretamente outros setores do desenvolvimento municipal. Em comparação, os menores valores do IDHM registrados foram nos municípios de Toledo no estado de Minas Gerais e Pedra Bela situado no estado de São Paulo, apresentando respectivamente, 0,661 e 0,677.

### **3.1 Hidrografia**

A confluência do Rio Jaguari com o Rio Atibaia dá origem ao Rio Piracicaba, que deságua no Rio Tietê, entre os municípios de Dois Córregos e Botucatu sentido oeste do estado de São Paulo. A BHRP apresenta cinco principais sub-bacias hidrográficas, sendo elas: Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba (Figura 14). A sub-bacia do Rio Piracicaba apresenta maior representatividade com base na sua área de drenagem, com 3.775,48 km<sup>2</sup> (29,83% da área total da BHRP), enquanto que, a sub-bacia do Rio Camanducaia apresenta em menor extensão, compreendendo 1.040,00 km<sup>2</sup> (8,22% da área total da BHRP).

Com relação às sub-bacias dos Rios Jaguari e Atibaia, estas desenvolveram sua maior parte no Planalto Atlântico, que apresenta maior impermeabilidade devido à presença de terrenos cristalinos, e tal condição influencia nas suas vazões. Estas sub-bacias se localizam em uma região de destaque no setor econômico do estado de São Paulo (MORTATTI et al., 2002).

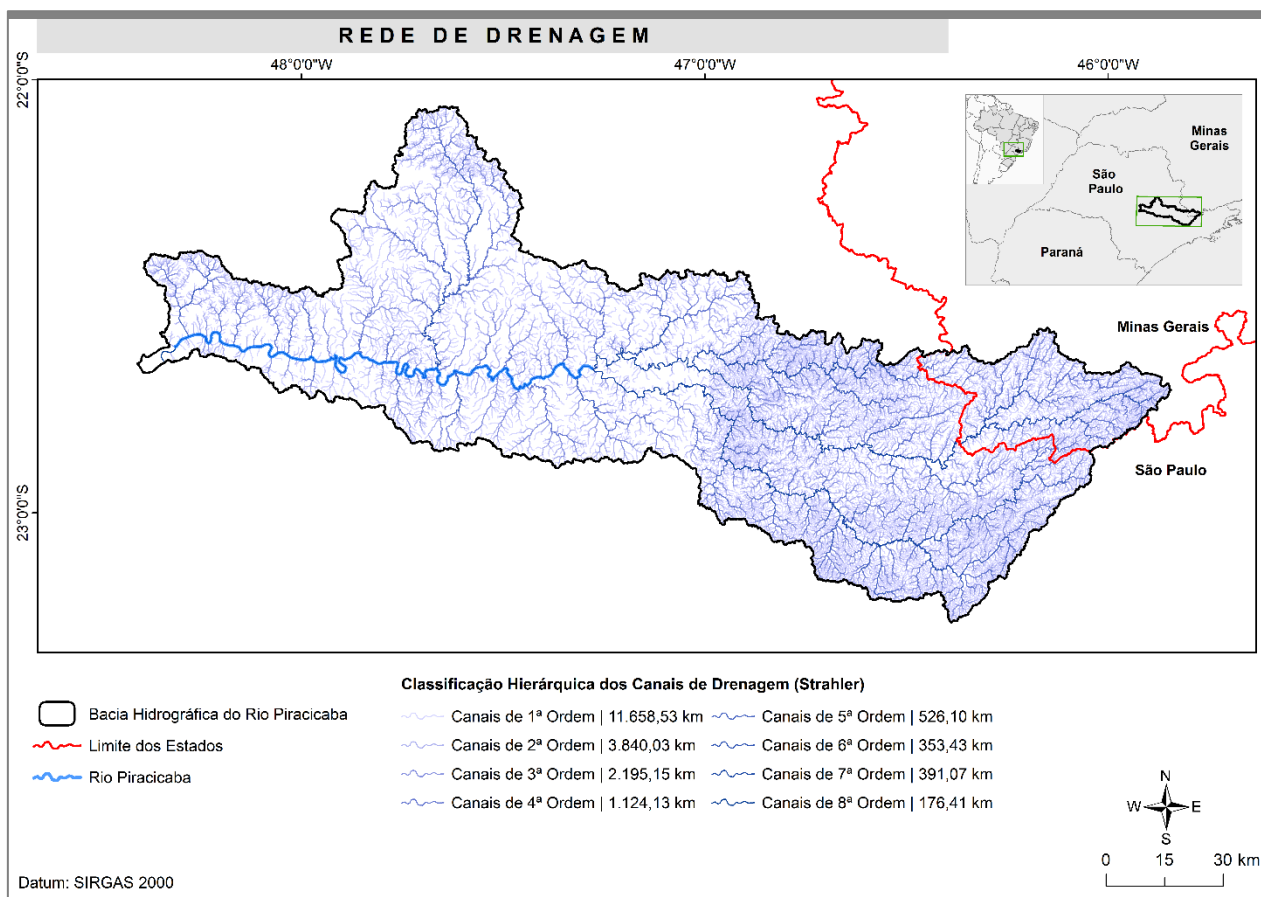
A sub-bacia do Rio Corumbataí se encontra localizada entre a porção ocidental da Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental, e é formada pelo próprio Rio Corumbataí e por três principais tributários, sendo eles: Passa Cinco; Ribeirão da Cabeça; e Ribeirão Claro. O Rio Corumbataí aflora a 750 metros de altura na Serra de Santana e deságua diretamente no Rio Piracicaba (BORTOLETTO JÚNIOR et al., 2002).



**Figura 14** - Principais sub-bacias hidrográficas da BHRP. Fonte: Adaptado da Agência das Bacias PCJ (2018).

A BHRP apresenta o total de 20.264,85 km de canais de drenagem, conforme a base hidrográfica disponibilizada na plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), na escala de 1:50.000. A classificação hierárquica da rede de drenagem da BHRP se classifica até a 8ª ordem de ramificação, segundo o método de Strahler (1957) (Figura 15).

A região leste, mais especificamente na cabeceira da BHRP, apresenta maior densidade de canais de drenagem quando comparada com a porção centro-oeste, tal condição está associada com as características do meio físico destas regiões, visto que, a porção leste possui terrenos cristalinos, que apresentam propriedades que dificultam o processo de infiltração garantindo naturalmente maior fluxo superficial. Na porção centro-oeste, os terrenos são sedimentares, os quais proporcionam condições mais favoráveis ao processo de percolação de água no solo, podendo contribuir com a recarga dos aquíferos.



**Figura 15** - Classificação da rede de drenagem da BHRP conforme Strahler (1957). Fonte: Adaptado de ANA (2013).

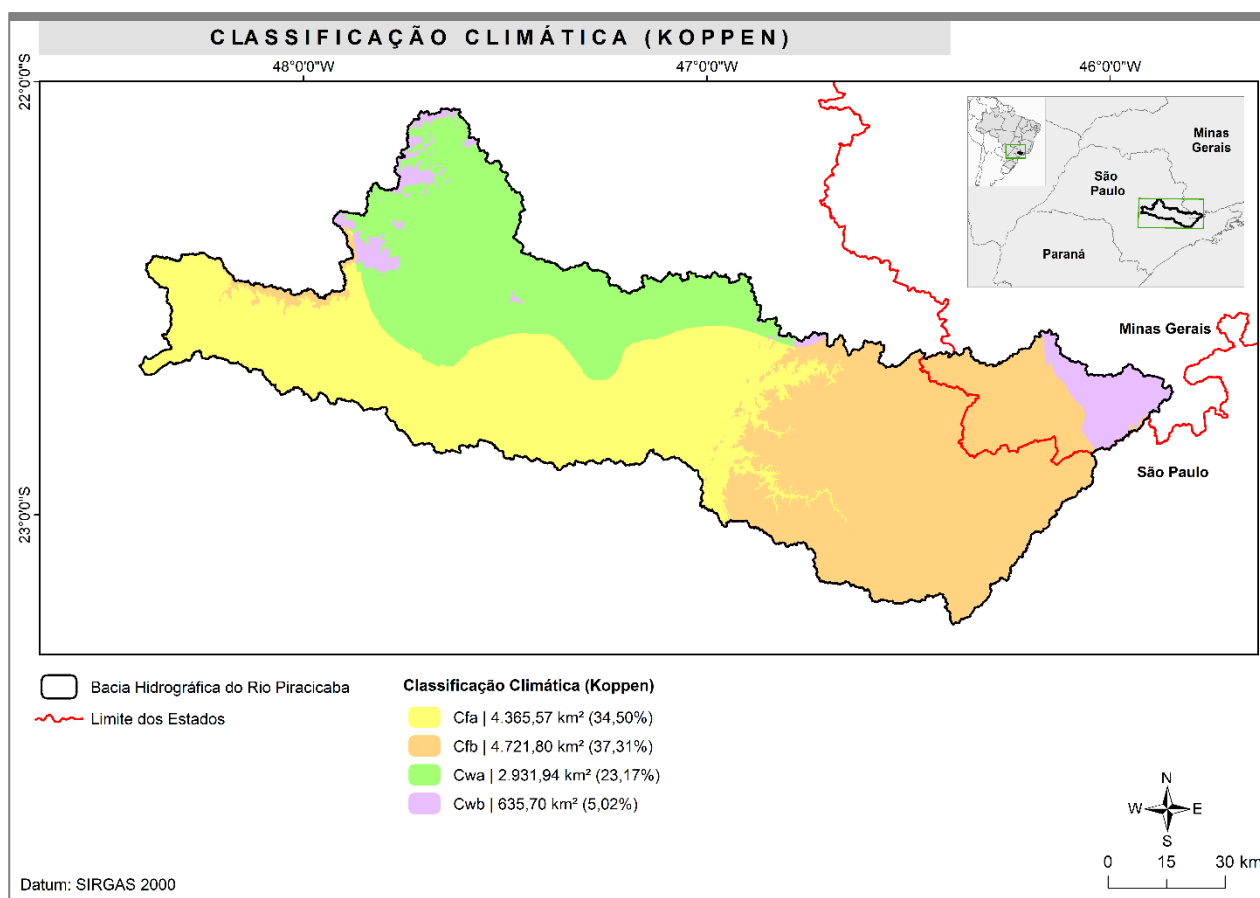
### 3.2 Clima

A precipitação anual da BHRP se enquadra entre 1.195 mm e 1.609 mm, os valores mais elevados se concentram nos municípios que estão situados na extremidade leste da bacia hidrográfica, mais especificamente na região da Serra da Mantiqueira, enquanto que os menores valores de precipitação média anual são encontrados na porção centro-oeste da bacia. Ao contrário da precipitação, a temperatura média anual nos municípios localizados na porção centro-oeste é mais elevada, e varia entre 21,1 a 22,4°C. Nos municípios situados na região leste as temperaturas médias oscilam entre 17,0 a 21,0°C (PROFILL-RHAMA, 2018).

A posição que se encontra a BHRP proporciona vasta radiância em toda a sua área, porém, na sua porção leste estão situados municípios que apresentam temperatura média inferior a 20°C, resultante da influência da altitude sobre a latitude. Dessa forma, a hipsometria da área influencia em diferenças consideráveis nos valores de temperatura quando comparadas as regiões que apresentam maiores altitudes na Serra da Mantiqueira com as regiões situadas na Depressão Periférica Paulista (PROFILL-RHAMA, 2018).



O clima da BHRP é classificado em quatro tipos específicos, de acordo com a classificação climática de Köppen (Figura 16). A Tabela 15 apresenta as descrições de cada uma das classes climáticas presentes na bacia hidrográfica.



**Figura 16** - Tipos de clima da BHRP de acordo com a classificação de Köppen. Fonte: Adaptado de Alvares et al., (2013).

**Tabela 15** - Descrições dos tipos de clima da BHRP de acordo com a classificação de Köppen.

Tipos de Clima	Descrição
Cfa	Subtropical não apresentando estação seca, porém ao considerar o mês mais seco do ano a precipitação é superior a 40 mm. O verão é quente apresentando temperatura média superior ou igual a 22°C. Abrange 34,50%, desde a região central até a extremidade oeste da BHRP
Cfb	Subtropical sem estação seca, considerando o mês mais seco, a precipitação chega a atingir mais de 40 mm. O verão é moderado com temperatura média inferior a 22°C. É o tipo de clima de maior ocorrência, correspondendo a 37,31% da área total da BHRP. Abrange parte da porção central da bacia hidrográfica, também é encontrado próximo aos divisores topográficos das bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Jundiá até atingir o extremo leste da BHRP
Cwa	Subtropical com inverno seco, o mês mais seco do ano apresenta precipitação inferior a 40 mm. O verão é quente, com temperatura média superior ou igual a 22°C. Compreende 23,17% da BHRP, envolvendo a porção norte da sub-bacia do Rio Piracicaba, a porção oeste da Jaguari e próximo a totalidade da sub-bacia do Rio Corumbataí
Cwb	Subtropical com inverno seco, o mês mais seco apresenta precipitação inferior a 40 mm. O verão é moderado, com temperatura média inferior a 22°C. Está situado principalmente na porção mineira, em regiões de maior altitude, e na porção oeste da sub-bacia do Rio Corumbataí, este clima apresenta em menor ocorrência, compreendendo a 5,02% da área total da BHRP

Fonte: Adaptado de Alvares et al., (2013).

### 3.3 Geologia

A geologia da BHRP no estado de São Paulo está representada pela borda centro-leste da Bacia Sedimentar do Paraná, com diversas litologias que estão associadas a quatro grandes domínios geológicos: o Embasamento Cristalino; as Rochas Sedimentares; as Rochas Ígneas Básicas (efusivas/intrusivas); e as Coberturas Sedimentares Cenozóicas. O trecho mineiro da BHRP abrange os maciços Medianos de Guaxupé e Socorro (IRRIGART, 2007). A Figura 17 apresenta o mapa geológico da BHRP.

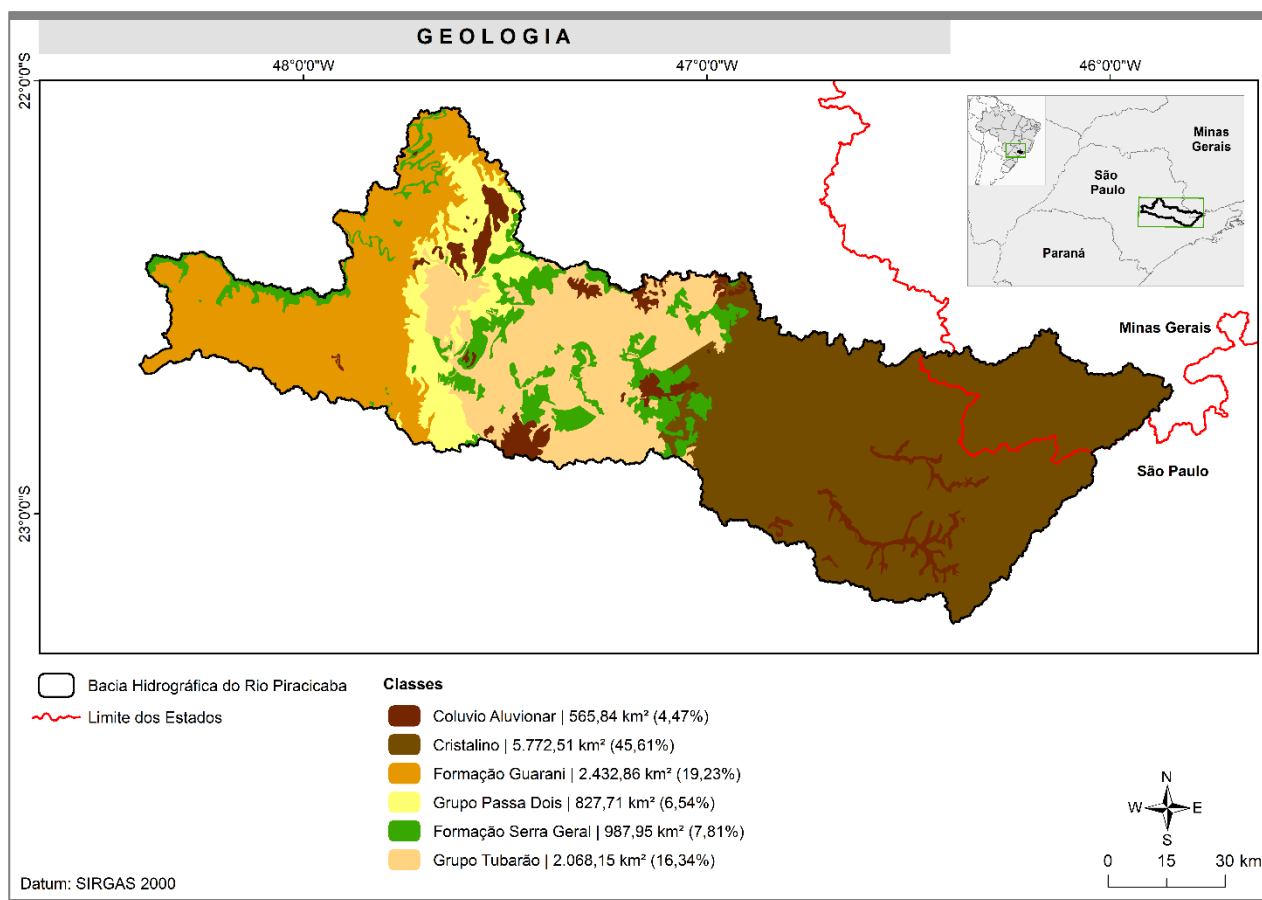


Figura 17 - Classes geológicas da BHRP. Fonte: Adaptado do IPT (1981) e Agência das Bacias PCJ (2018).

Observa-se que a bacia hidrográfica apresenta maior predominância de três classes, sendo elas, respectivamente: Cristalino (45,61% da área total), a qual está localizada em maior parte da porção centro-leste; Guarani (19,23% da área total), que se situa no extremo oeste com intercalações de rochas da Formação Serra Geral; e Tubarão (16,34% da área total) que se localiza na porção central da bacia hidrográfica. Os depósitos Colúvio Aluvionares e as Formações do Grupo Passa Dois representam em menor parte o substrato rochoso da BHRP, compreendendo o total de 11,01% (1.393,55 km²).

Algumas informações das classes geológicas da BHRP estão descritas sucintamente a seguir:

*Depósitos Coluvio Aluvionares:* os depósitos coluvionares, compreendem aos materiais de cobertura inconsolidados, situados nos divisores topográficos e suas encostas, apresentando características físicas variáveis, como espessuras e composições. Estes depósitos mostram maior desenvolvimento nas regiões em que os relevos são mais planos, e em áreas específicas como as rampas coluvionares, no geral associadas as áreas de escarpas. As composições mineralógica e granulométrica estão sujeitas as características do substrato rochoso de origem. Com relação aos depósitos aluvionares são compostos por areias inconsolidadas com diferentes granulometrias, argilas e cascalheiras fluviais (IRRIGART, 2007).

*Embasamento Cristalino:* as rochas cristalinas estão distribuídas em blocos sobrepostos em decorrência do movimento tectônico e dos eventos regionais de formação geológica, deformação, remobilização, intrusão e extrusão de rochas, que a partir destes processos possibilitam determinar os grupos, suítes e complexos. A seguir, são apresentadas informações mais específicas da região de domínio das rochas cristalinas, conforme Lopes (1994).

- Complexo Itapira: o limite oeste confronta com a borda da Bacia do Paraná, onde é recoberto pelos sedimentos da Formação Itararé, em determinadas áreas faz contato com o diabásio intrusivo. Na região sul e sudeste, o limite estabelecido com o Grupo São Roque se dá com a Falha de Jundiuvira, enquanto que, na região leste o Complexo Itapira encontra-se dividido em dois blocos, sendo intercalados pelo Complexo Pinhal.

- Complexo de Amparo: ocorre na região norte da área de domínio das rochas cristalinas, confrontando-se a leste com o Complexo Itapira por meio da Falha de Monte Sião.

- Complexo Pinhal: conhecido também por Complexo Socorro, sua ocorrência se concentra na porção centro-norte da área de afloramento das rochas cristalinas, apresentando divisa a oeste com o Complexo Itapira, pela Falha de Socorro e, a leste, pela Falha de Camanducaia.

- Complexo Embu: ocorre na região das cabeceiras do Rio Atibaia, no extremo da região sudeste da bacia hidrográfica.

- Grupo São Roque: ocorre também na região sudeste da bacia hidrográfica, assim como o Complexo de Embu, no entanto, a litologia é constituída por filitos, quartzo xistos e quartzitos.

- Suítes Graníticas: os granitóides e granitos de diferentes petrografias estão especializados por toda a região centro-sul da área de domínio das rochas cristalinas, o granito Morungaba se destaca por sua maior abrangência territorial, tendo limite ao norte com o Complexo Amparo. Vale destacar também o granito Atibaia, presente na porção sul da região.

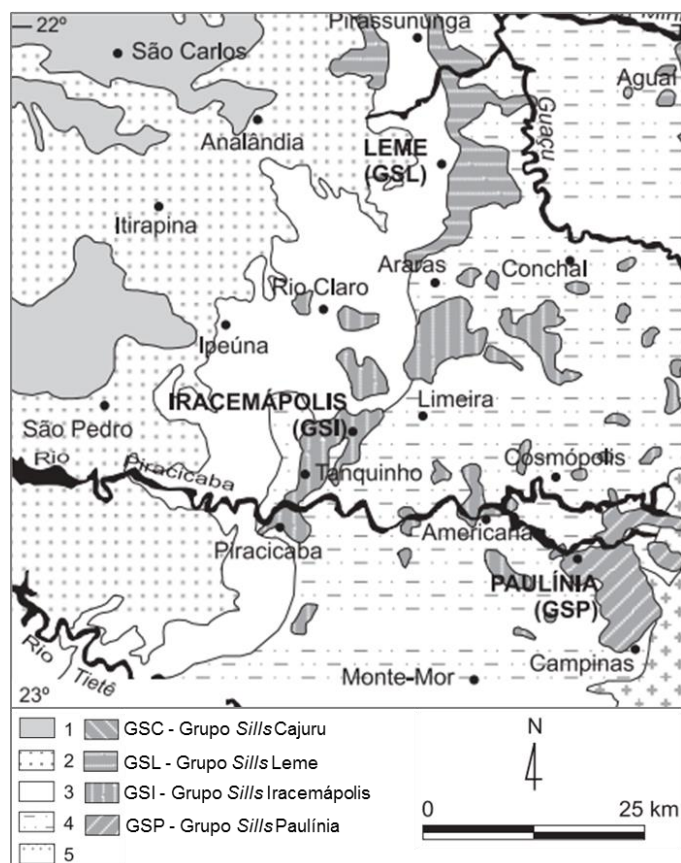
*Formação Botucatu ou Guarani:* é composta por arenitos muito finos a médios de origem eólica, quartzosos, com restrita matriz siltica. Os arenitos recobrem a Formação Pirambóia de forma concordante na BHRP, o contato com as rochas de basalto sobreposto acontece por meio da interdigitação do arenito com os derrames. Na BHRP, esta Formação apresenta espessura de 80 metros.

*Grupo Passa Dois:* é constituído pelas Formações Irati e Corumbataí, a distribuição espacial de suas formações é oriunda de fatores posicionais e erosivos. A Formação Irati está distribuída horizontalmente na bacia como consequência da grande estabilidade tectônica e da baixa taxa de sedimentação (GAMA JÚNIOR; BANDEIRA JÚNIOR; FRANÇA, 1982). Na BHRP, a Formação Corumbataí apresenta espessura de até 150 metros, se encontra assentada sobre a Formação Irati, sendo composta na sua parte inferior por siltitos, argilitos e folhelhos de cor cinza a roxo acinzentado (LOPES, 1994).

*Formação Serra Geral:* as rochas ígneas intrusivas compreendem os diabásios, que afloram na porção norte da Província Magmática do Paraná, mais especificamente na região oeste do Estado de São Paulo. Na região centro-oeste da BHRP, as rochas intrusivas na forma de *sills* (consiste em camadas de rochas em formato tabular, que se abriga em paralelo às estruturas principais da rocha encaixante) e de diques estão acomodadas em arenitos, diamictitos, siltitos e argilitos na Unidade Tubarão (Figura 18). No entanto, existem *sills* e diques também acomodados nos folhelhos negros da Formação Irati, nos siltitos, argilitos, e folhelhos cinzas com lentes e bancos de calcários da Formação Corumbataí, e nos arenitos siltico-argilosos da Formação Pirambóia (MACHADO et al., 2005).

*Grupo Tubarão:* apresenta testemunhos da glaciação permocarbonífera, onde desenvolveram diversos ambientes que deram origem aos depósitos sedimentares de características variadas. Especialmente, no norte de Campinas (SP) há presença de corpos de diabásio intercalados a estes sedimentos. Considerando o limite da BHRP, a área apresenta duas Formações do Grupo Tubarão, sendo elas: Itararé e Tatuí (ODA et al., 2005).

A Tabela 16 apresenta a descrição das litologias presentes na BHRP.



**Figura 18** - Mapa geológico que abrange parte da BHRP. (1) Grupo Bauru. (2) Derrames da Formação Serra Geral. (3) Formações Corumbataí e Irati. (4) Unidade Tubarão. (5) Embasamento cristalino. Fonte: Adaptado de Machado et al. (2005).

**Tabela 16** - Descrição das classes geológicas na região da BHRP.

Era	Período	Grupo/ Complexo/ Formação	Símbolo	Litologia	
Cenozóica	Quaternário/Terciário	Depósitos aluvionares recentes	Qa	Areias com granulometria variando de fina a grossa e sedimentos silto-argilosos existentes nas planícies dos principais rios	
		Depósitos continentais indiferenciados	Qi	Inclui sedimentos elúvio-coluvionares de natureza arenosa-argilosa e depósitos diferenciados associados a encostas	
		Formação Rio Claro e Depósitos correlatos	TQr TQir	Arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e intercalações argilosas pouco expressivas	
		Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Correlatas a Formação São Paulo	TQis	Sedimentos pouco consolidados abrangendo argilas, siltes e arenitos finos argilosos com raros e pequenos níveis de cascalhos	
Mesozóica	Cretáceo/Jurássico/Triássico	Formação Itaqueri	KTi	Arenitos de cimento com textura argilosa, apresentando lentes alongadas de folhelhos e conglomerados	
		Grupo São Bento	Formação Serra Geral	JKsg	Rochas vulcânicas básicas em derrames basálticos de coloração cinza a negra, textura afanítica com intercalações de arenitos intertrapeanos (interderrames), finos a médios, de estratificação cruzada
			Formação Botucatu	JKb	Arenitos eólicos avermelhados finos a médios com estratificações cruzadas de médio a grande porte
			Formação Pirambóia	TRjp	Arenitos finos a médios, avermelhados, silte-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela; níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores diferenciadas
		Intrusivas Básicas Tabulares	JKβ	Soleiras diabásicas, em geral diques básicos	

Fonte: Adaptado de IPT (1981).

**Tabela 16** - Descrição das classes geológicas na região da BHRP (Continuação).

<b>Era</b>	<b>Período</b>	<b>Grupo/ Complexo/ Formação</b>		<b>Símbolo</b>	<b>Litologia</b>
Paleozóica	Permiano/ Carbonífero	Grupo Passa Dois	Formação Corumbataí	Pc	Argilitos, folhelhos e siltitos com intercalações de bancos carbonáticos, silixíticos, e camadas de arenitos de textura fina
			Formação Irati	Pi	Siltos, argilitos e folhelhos sílticos, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários, silicificados e níveis conglomeráticos pouco expressivos
		Grupo Tubarão	Formação Tatuí	Ptt	Siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários e sílex
			Formação Itararé	CPi	Arenitos de granulação diversa, imaturos, passando a arcósios, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos folhelhos ritmitos, com poucas camadas de carvão
	Cambriano/Ordoviciano (Eopaleozóico)	Suítes Graníticas Pós - tectônicas - Fácies Itú		eOγi	Corpos graníticos a granodioríticos alóctones, isótopos, granulação fina a grossa
Proterozóico Inferior	Suítes Graníticas Indiferenciadas e Sintectônicas		PSeOγ	- Corpos Granitos e granitóides de granulação variada, termos porfiríticos - Granitos Fácies Cantareira – Corpos graníticos foliados, granulação fina a média, textura porfirítica freqüente	
	GRUPO SÃO ROQUE		PSs	- Filitos, quartzo filitos e filitos grafitosos em sucessões rítmicas incluindo subordinadamente metassiltitos e quartzo xistos - Cloritaxistos, quartzo-micaxistos, incluindo intercalações de metassiltitos, metagrauvacas e calcários - Quartzitos feldspáticos com metagrauvacas subordinadas - Anfibolitos, metagabros e epidoto anfibolitos	
Proterozóico Inferior	GRUPO AÇUNGUI/ COMPLEXO EMBU		PSe	Migmatitos heterogêneos de estruturas variadas, predominando estromatitos de paleossoma xistoso, gnáissico ou anfibolítico	
	GRUPO PARAISÓPOLIS		-	Migmatitos granitóides e restitos anfibolíticos e biotíticos, paleossoma de ortognaisse tonalíticos, trondjomítico e granodioríticos, biotita-gnaisses porfiroclástico e intercalações de meta sedimentos, rochas máficas e ultramáficas com ou sem hiperstênio	
	COMPLEXO PIRACAIA		-	Ortognaises graníticos a granodioríticos, migmatizados, com lentes de metassedimentos e migmatitos estromáticos com paleossoma/mezossoma de biotita gnaisses-graníticos e hornblenda-biotita gnaisses grandioríticos a tonalíticos e gnaisses quartzo monzodioríticos, com neossoma granítico	
	COMPLEXO AMPARO		PLa	- Biotita gnaisses, gnaisses migmatizados, migmatitos de estruturas diversas - Charnockitos e enderbitos em corpos individualizados - Migmatitos bandados, granulitos diversos migmatizados - Quartzitos feldspáticos, micáceos com intercalações de xistos e subordinadamente filitos e gonditos - Rochas calcossilicáticas e escarnitos - Biotita xistos com intercalações quartzíticas	

Fonte: Adaptado de IPT (1981).

### 3.4 Hidrogeologia

As unidades aquíferas da BHRP são provenientes das unidades geológicas existentes, com a presença de aquíferos aflorantes de porosidade de fraturas/fissuras (Serra Geral, Diabásio, Cristalino e Pré-Cambriano) e de porosidade intergranular podendo ser aquífero livre a semi-confinado (Cenozóico, Bauru, Guarani-Botucatu, Passa Dois e Tubarão) e aquífero confinado (Guarani-Botucatu confinado) (IRRIGART, 2007).

As descrições das unidades aquíferas presentes na área de estudo, de acordo com Lopes (1994) estão apresentadas a seguir:

**Aquífero Serra Geral:** formado pelas rochas extrusivas básicas caracterizadas pelos derrames basálticos, que sobrepõem a Formação Botucatu para a região oeste da área. Esta unidade abrange apenas 272,78 km<sup>2</sup> (2,16% da área total) e está especificamente localizada no extremo oeste da BHRP.

**Aquífero Diabásio:** é composto por rochas intrusivas básicas integradas a Formação Serra Geral que cruzam o seguimento sedimentar, especialmente a Formação Itararé na porção centro-norte da BHRP, em formatos de diques de grande espessura, lacólitos, *Sills* e corpos com formatos irregulares. Sua área de abrangência atinge a 533,10 km<sup>2</sup> (4,21% da área total).

**Aquífero Cristalino:** situado predominantemente na região leste da BHRP, compreende a maior unidade aquífera da bacia, abrangendo 5.720,72 km<sup>2</sup> (45,20% da área total). Apresenta descontinuidades na rocha em profundidade, provocadas por diversas estruturas geológicas (falhamentos, fraturas e lineamentos). É considerado um aquífero de porosidade granular, apresentando potencialidade a utilização da água subterrânea. O horizonte de rocha alterada com espessura de até 60 metros em áreas com predominância de gnaisses e metassedimentos condicionam os maiores níveis do escoamento básico nas sub-bacias localizadas nessas regiões.

**Aquífero Cenozóico:** abrangem os depósitos de sedimentos dos períodos Terciário e Quaternário, apresenta espessura que pode atingir até 30 metros de profundidade.

**Aquífero Itaqueri (correlato ao Bauru):** esta unidade se destaca no estado de São Paulo, possuindo maior extensão do tipo livre. Contudo, ocorre de forma limitada na BHRP, restringindo-se a uma pequena faixa localizada no topo da cuesta basáltica nos limites oeste e noroeste.

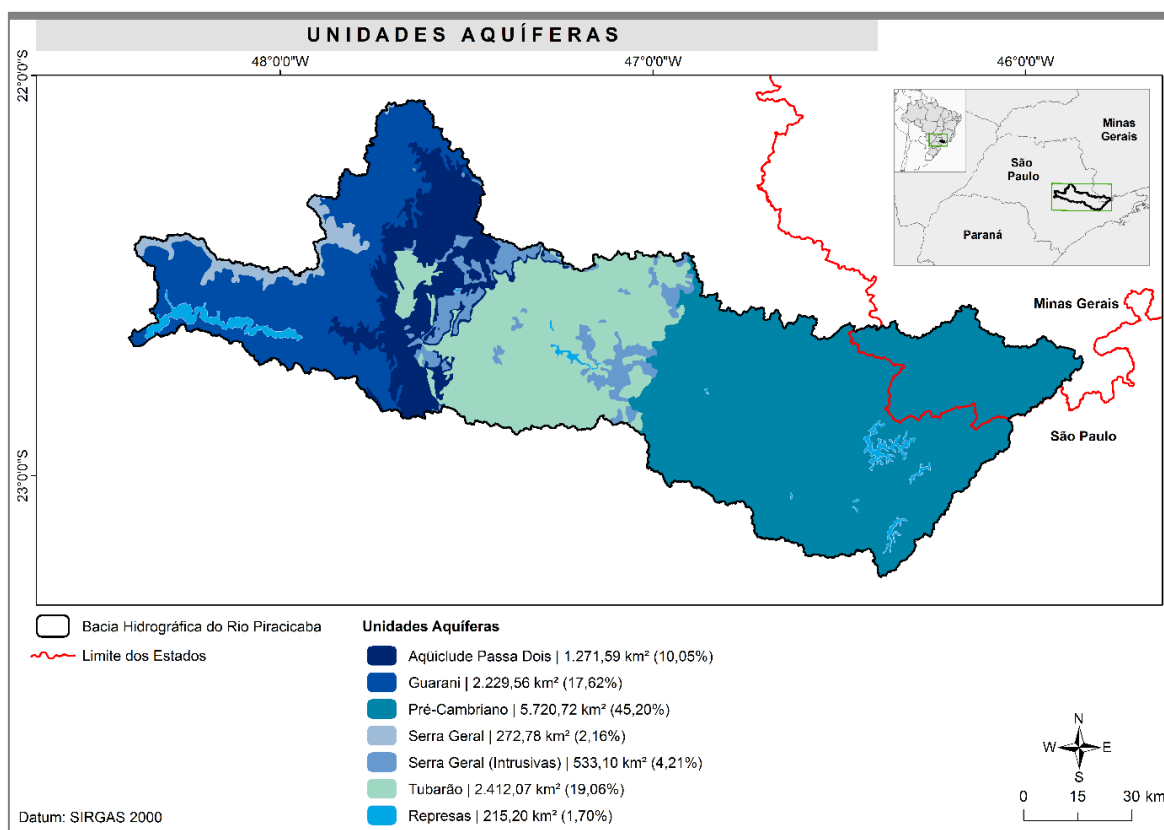
**Aquífero Guarani-Botucatu:** se situa na região oeste da BHRP, apresentando 2.229,56 km<sup>2</sup> (17,62% da área total), se destaca como a principal unidade aquífera regional da Bacia Sedimentar do Paraná. Vale ressaltar, que parte de sua área se encontra próxima ao contato com a Formação

Corumbataí, que apresenta predominância de sedimentos com texturas mais argilosas da parte inferior da Formação Pirambóia. Esta unidade sobressai com relação à reserva e a produtividade de água subterrânea, porém, na BHRP está situada em uma região que não apresentam altas demandas.

Aquicluda Passa Dois: sua litologia se caracteriza como lamítica com pouca permeabilidade, oriunda principalmente da Formação Corumbataí e da Formação Irati. Ocorre também na região oeste da BHRP, abrangendo 1.271,59 km<sup>2</sup> (10,05% da área total).

Aquífero Tubarão: também conhecido por Itararé, está localizado na região central da BHRP, constituindo 2.412,07 km<sup>2</sup> (19,06% da área total), é composto por depósitos glaciais e retrabalhamentos fluviais e lacustres com predominância de sedimentos siliciclásticos. Esta unidade apresenta baixa permeabilidade, e está situada em uma região de grande demanda, com um setor industrial bem desenvolvido e com expressivo contingente populacional. Além disso, o aquífero fica comprometido na medida em que perpassa intrusões de diabásio nas regiões Centro e Norte da sua área de abrangência.

A Figura 19 apresenta a espacialização das principais unidades aquíferas existentes na BHRP. A Tabela 17 apresenta as características hidrogeológicas das unidades aquíferas presentes na região da BHRP.



**Figura 19** - Unidades aquíferas existentes na BHRP. Fonte: Adaptado de IRRIGART (2007) e Agência das Bacias PCJ (2018).



**Tabela 17** - Características hidrogeológicas das principais unidades aquíferas presentes na região.

Unidades Aquíferas - Características Hidrogeológicas							
Aquífero	Físicas		Dinâmicas		Potenciais		
	Propriedades	E (m)	T (m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> )	PA (m dia <sup>-1</sup> )	CE (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	V (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	P (m)
Diabásio	Extensão limitada, livre a semiconfinado, porosidade de fissuras, descontínuo, heterogêneo, aquífero eventual	180	0,20 a 50	-	<0,01 a 4	2 a 30	50 a 150
Serra Geral	Extensão limitada, livre, porosidade de fissuras, descontínuo, heterogêneo, aquífero eventual	80	0,10 a 20	-	<0,01 a 1	2 a 10	50 a 100
Botucatu	Extensão regional, livre a semiconfinado, porosidade granular, contínuo, heterogêneo a homogêneo isotrópico	200	10 a 120	0,10 a 4	0,2 a 5	10 a 110	50 a 200
Passa Dois	Extensão regional, livre a semiconfinado, porosidade granular de fissuras, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico, aquífero eventual	220	0,10 a 10	0,001 a 0,20	0,01 a 1	2 a 25	50 a 150
Tubarão (Itararé)	Extensão regional, livre a semiconfinado, porosidade granular, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico	1.100	0,30 a 40	0,002 a 0,7	0,03 a 6	2 a 80	100 a 400
Cristalino	Extensão regional, livre a semiconfinado, porosidade de fissuras, descontínuo, heterogêneo, aquífero eventual	170	0,10 a 100	-	0,01 a 7	1 a 50	50 a 170
Cenozóico	Extensão limitada, livre, porosidade granular, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico	30	2 a 50	0,1 a 2	0,10 a 5	1 a 35	15 a 30
Bauru	Extensão limitada, livre, porosidade granular, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico	50	1 a 20	0,01 a 0,50	0,10 a 1	1 a 5	30 a 50

E: Espessura na região; T: Transmissividade; PA: Permeabilidade Aparente; CE: Capacidade Específica; V: Vazões verificadas nos poços; P: Profundidades

Fonte: Adaptado de Lopes (1994).

### 3.5 Pedologia

A BHRP apresenta quatro grupos principais de solos, sendo respectivamente: Cambissolos e Neossolos (Grupo 1) compreendendo 6,46% da área total da BHRP; Gleissolos (Grupo 2) envolvendo 1,64% da área total; Latossolos e Nitossolos (Grupo 3) correspondendo a 40,20%; e os Argissolos (Grupo 4) representando o grupo predominante na bacia com 46,04%. A seguir, estão descritas as características destes grupos de solos conforme Caram (2010).

Cambissolos e Neossolos (Grupo 1): Os Cambissolos apresentam espessuras rasas a profundas, com relação a sua capacidade de drenagem variam de bem até imperfeitamente drenados. Estes solos apresentam textura média a muito fina, com predominância de partículas de argila, normalmente são encontrados em relevo ondulado. Os Neossolos apresentam espessura rasa a pouco profunda, o que caracteriza o alto nível de erodibilidade. A textura destes solos varia de arenosa a argilosa, podem ocorrer em áreas de baixa declividade e em relevo fortemente ondulado.

Gleissolos (Grupo 2): São solos hidromórficos, profundos, com textura média a muito argilosa, encontrados em terrenos planos. Apresentam umidade excessiva no período chuvoso, o contrário acontece no período de estiagem.

Latossolos e Nitossolos (Grupo 3): Os Latossolos são profundos, com textura média a muito argilosa, apresentam grande capacidade em armazenar água. Este tipo de solo favorece a utilização de mecanização agrícola, por ser encontrado em terrenos menos acidentados. Com relação aos Nitossolos, também são profundos e bem drenados, com predominância da fração argila, o que favorece maior suscetibilidade a compactação. Diferente dos Latossolos, os Nitossolos ocorrem em terrenos ondulados, o que condiciona a ocorrência de processos erosivos.

Argissolos (Grupo 4): São solos que apresentam diversas profundidades, com diferentes texturas nos horizontes A e B, no entanto, destaca-se a textura média na camada superficial, e argilosa na subsuperficial. São caracterizados com alta suscetibilidade a processos erosivos, por apresentar rápida infiltração de água no horizonte A, diminuindo a velocidade no horizonte B, com isso a porção não infiltrada segue o fluxo superficial provocando erosão.

A Figura 20 apresenta o mapa pedológico da BHRP, na escala de 1:500.000, elaborado por Oliveira et al. (1999). A Tabela 18 apresenta uma síntese das características físicas dos principais grupos de solos, que pode interferir diretamente no desempenho hidrológico da BHRP.

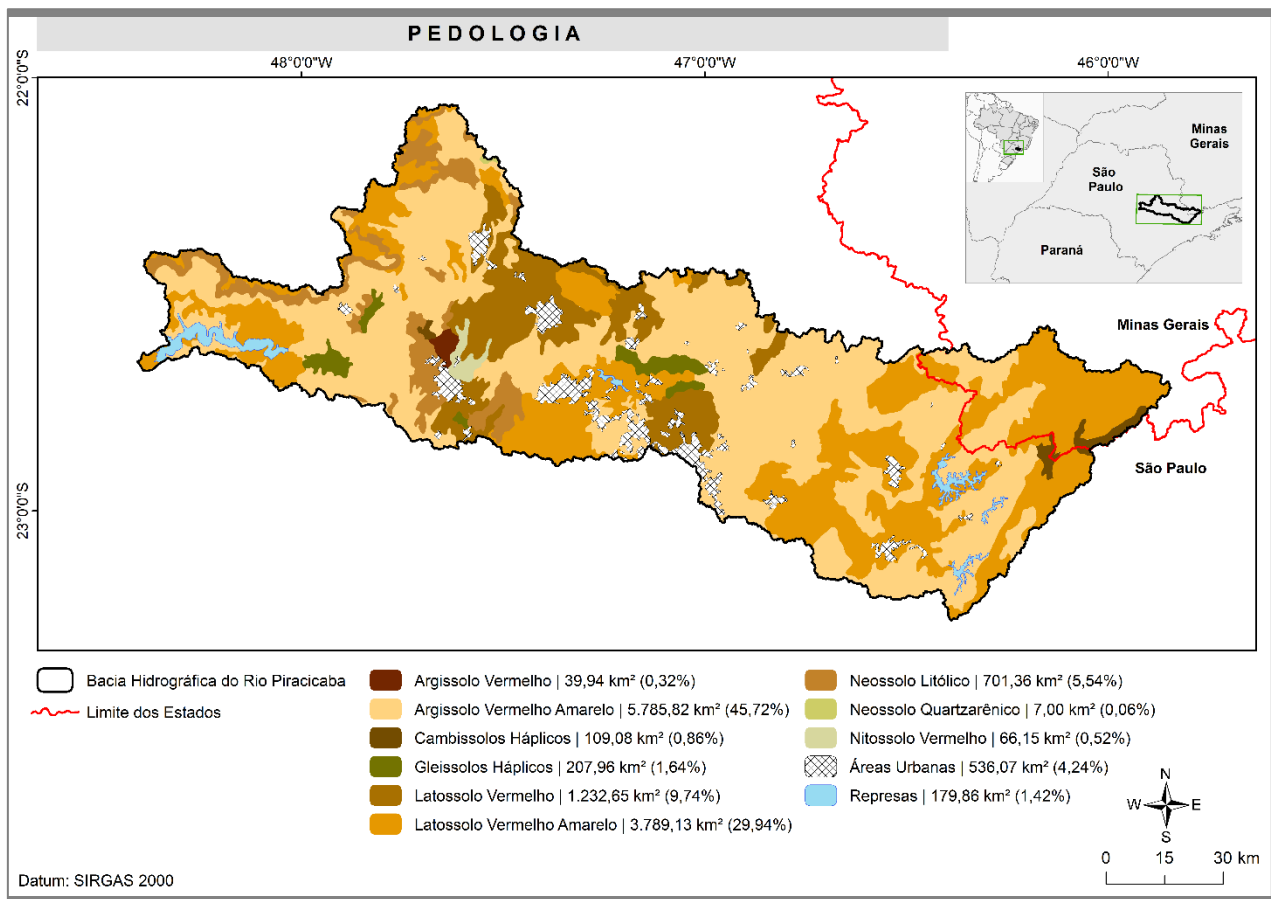


Figura 20 - Classes pedológicas existentes na BHRP. Fonte: Adaptado de Oliveira et al., (1999).

Tabela 18 - Características dos principais grupos de solos na BHRP.

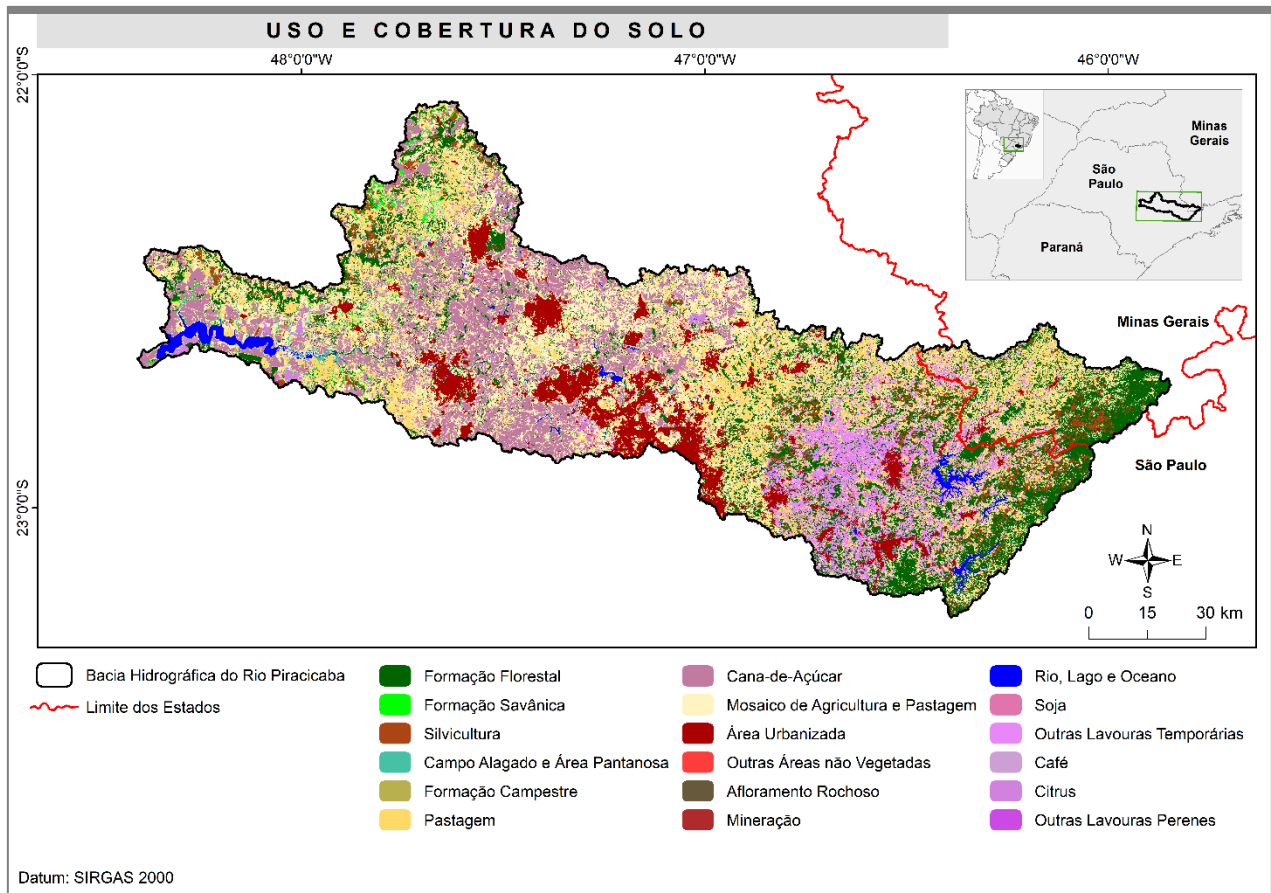
Grupos de Solos	Profundidade	Drenagem	Textura	Relevo	
1	Cambissolos	Raso a profundo	Bem até imperfeitamente drenados	Média, argilosa ou muito argilosa	Suave ondulado
	Neossolos	Raso a pouco profundo	Imperfeita	Arenosa a argilosa	Plano a forte ondulado
2	Gleissolos	Profundo	Mal ou muito mal	Média, argilosa ou muito argilosa	Plano
3	Latossolos	Profundo	Fortemente a bem	Média, argilosa ou muito argilosa	Plano a suave ondulado
	Nitossolos	Profundo	Bem	Argilosa ou muito argilosa	Forte ondulado e ondulado
4	Argissolos	Raso a profundo	Forte a imperfeitamente	Arenosa/Argilosa (Horizonte A) e Média/Muito Argilosa (Horizonte B)	Ondulado a forte ondulado

Fonte: Adaptado de Caram (2010).

### 3.6 Uso e cobertura do solo

As classes de uso e cobertura do solo são bastante diversificadas na BHRP (Figura 21), na sua porção oeste há maior predominância de monocultivo, mais especificamente de cana-de-açúcar (que compreende 14,31% da área total da bacia), o que favorece as atividades dos setores agrícola e

econômico, com a presença de usinas sucroalcooleiras que atuam na produção de etanol e açúcar na região.



**Figura 21** - Mapa de uso e cobertura do solo da BHRP. Fonte: Adaptado do MapBiomias (2020).

O setor agrícola na BHRP também está representado pelo cultivo de lavouras permanentes que ocupam a região centro-norte da bacia hidrográfica, com a produção de citros, mais especificamente de laranjas. A distribuição da produção nacional de laranja abrange todo o país, porém a maior parte concentra-se no estado de São Paulo, que produziu no ano de 2020, 12.955.120 toneladas de laranja, o que compreende 77,54% da produção brasileira. Deste total, 8,02% da produção são provenientes dos municípios que compõem a BHRP (IBGE, 2021).

A região central da BHRP se destaca com a concentração das áreas urbanizadas, compreendendo a região metropolitana de Campinas, que representa um complexo urbano-industrial bastante diversificado. Enquanto que, no extremo leste há maior predominância das áreas de vegetação natural (campo e matas nativas), regiões menos exploradas quanto as práticas agrícolas, devido as suas características físicas, ressaltando o relevo mais acidentado o que dificulta o manejo nestas áreas. Outra classe que se destaca é a silvicultura em meio as matas nativas, encontrada desde a porção sudoeste do estado de Minas Gerais até o extremo leste da BHRP.

A Figura 22 apresenta graficamente os valores absolutos de área (km<sup>2</sup>) das classes do mapa de uso e cobertura do solo da BHRP.

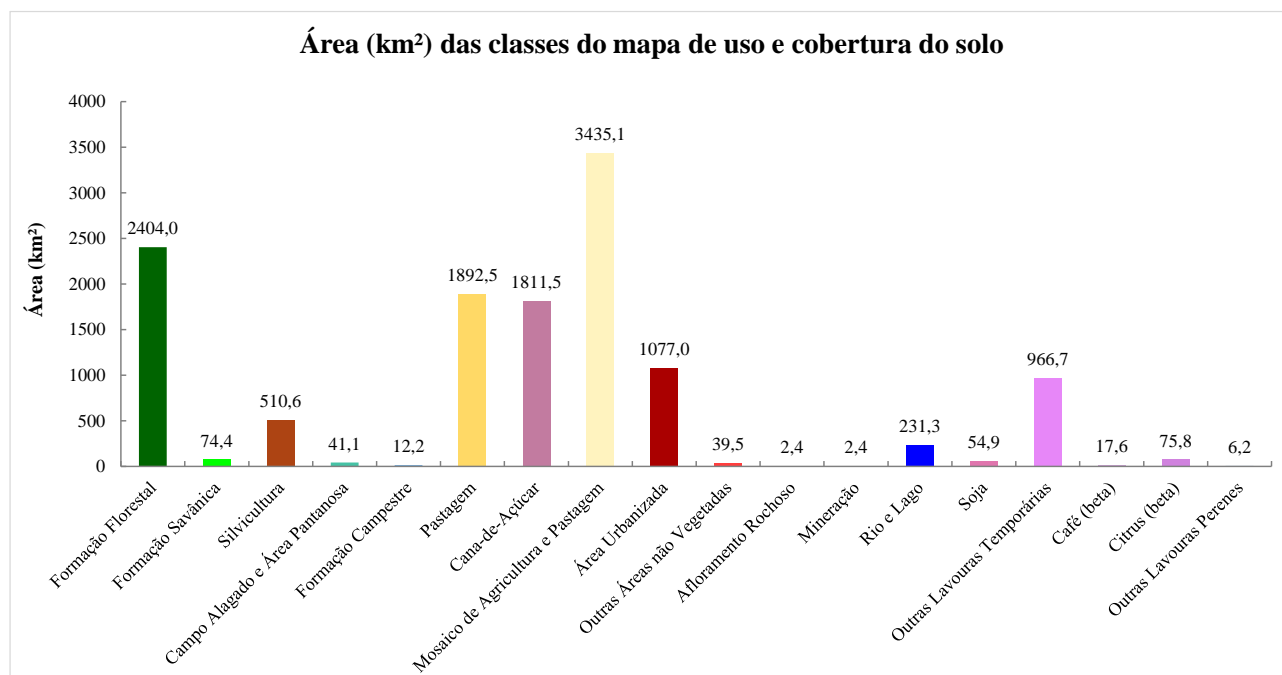


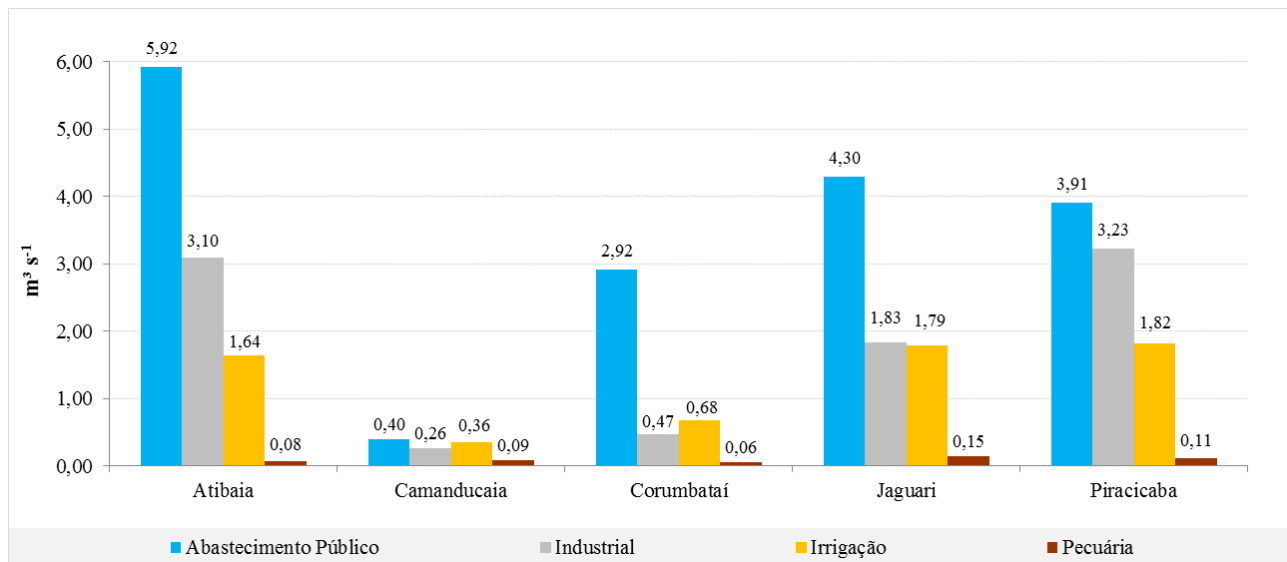
Figura 22 - Área (km<sup>2</sup>) das classes do mapa de uso e cobertura do solo da BHRP.

### 3.7 Demanda hídrica nas principais sub-bacias hidrográficas da BHRP

A demanda de água predominante nas principais sub-bacias da BHRP é representada pelo setor de abastecimento público, este setor se sobressai na sub-bacia do Rio Atibaia com 5,92 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, seguido da sub-bacia do Rio Jaguari com 4,30 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. A demanda hídrica do uso industrial se enquadra no segundo mais ocorrente na BHRP, sendo maior na sub-bacia do Rio Piracicaba, compreendendo a 3,23 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, onde se concentram diversas atividades do ramo industrial, incluindo a fabricação de automóveis. A menor demanda de água desse setor ocorre na sub-bacia do Rio Camanducaia sendo inferior a 0,30 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

O terceiro uso é representado pela irrigação, os maiores consumos de água se encontram nas sub-bacias do Rio Piracicaba e do Rio Jaguari, correspondendo respectivamente, 1,82 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e 1,79 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Por fim, a pecuária se enquadra no setor que menos utiliza água na BHRP, a quantidade demandada não apresenta variação significativa entre as principais sub-bacias, no entanto, a sub-bacia do Rio Jaguari se destaca com relação às demais, compreendendo 0,15 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

A Figura 23 apresenta a demanda hídrica em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> das principais sub-bacias da BHRP, de acordo com os dados disponibilizados pela Agência das Bacias PCJ no ano de 2018.



**Figura 23** - Demanda hídrica nas principais sub-bacias hidrográficas da BHRP. Fonte: Agência das Bacias PCJ (2018).

## **4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS**

---

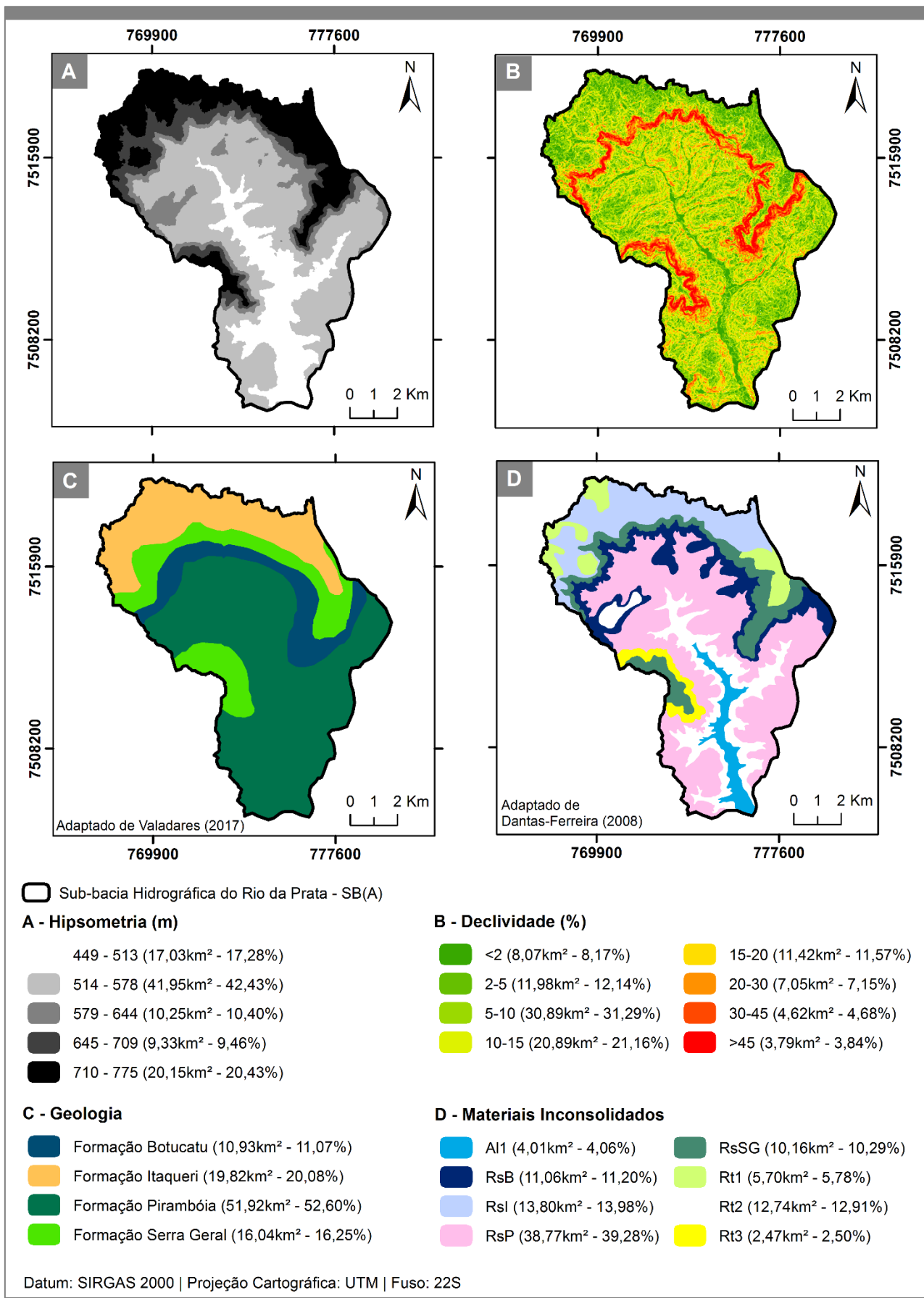
Este trabalho foi realizado em quatro Pares de sub-bacias hidrográficas morfometricamente similares situadas na BHRP. As regiões oeste e leste da BHRP onde se situam as áreas de estudo se diferenciam de forma significativa quanto aos atributos dos meios físico e antrópico, visto que, a porção oeste é caracterizada por terrenos sedimentares, com predomínio de áreas com declividades mais baixas e de drenagem menos densa, enquanto, a porção leste se configura em regiões que apresentam áreas de drenagem menores situadas em terrenos cristalinos, com relevo mais acidentado. A seguir, são apresentadas as características do meio físico das sub-bacias estudadas.

### **4.1 Par 1: Sub-bacia Hidrográfica do Rio da Prata - SB(A) e Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B)**

A SB(A) situa-se no oeste da BHRP, a sua área compreende a 98,71 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Dois Córregos e Mineiros do Tietê. As classes hipsométricas variam entre 449 a 775 metros, sendo que, 42,43% da sua área total correspondem as altitudes entre 514 a 578 metros (Figura 24). Nesta área, os terrenos apresentam predominantemente declividades suaves, compreendendo a maior parte com inclinações que variam entre 5 a 10%, representando 31,29% da área total. As declividades mais elevadas (> 45%) concentram-se na porção norte da sub-bacia, onde situa-se a Serra de São Pedro.

A SB(A) apresenta quatro formações geológicas, sendo elas: Formação Botucatu; Formação Itaqueri; Formação Pirambóia; e Formação Serra Geral. A Formação Pirambóia apresenta em maior ocorrência, distribuída desde a porção central ao sul da área. Na região norte, a Formação Itaqueri se destaca com 20,08% da área total, enquanto que a Formação Serra Geral corresponde a 16,25%, concentrada principalmente em regiões que o relevo é mais declivoso.

Com relação aos materiais inconsolidados, a SB(A) apresenta maior predominância de materiais residuais com textura arenosa, provenientes da Formação Pirambóia com espessuras superiores a 2,0 metros e inferiores a 3,0 metros. No norte da sub-bacia concentra-se principalmente os materiais arenosos e silto-argilosos originados da Formação Itaqueri, com profundidades inferiores a 5,0 metros, correspondendo a 13,98% da área total.



**Figura 24 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio da Prata - SB(A).**



A SB(B) situa-se parcialmente nos municípios de Brotas, Santa Maria da Serra, São Pedro e Torrinha, com extensão territorial de 98,42 km<sup>2</sup>. Esta sub-bacia apresenta altitudes que variam de 445 a 928 metros, as maiores cotas concentram-se na porção norte compreendendo entre 832 a 928 metros (Figura 25). Com relação à inclinação do terreno, a SB(B) também apresenta a predominância de baixas declividades (5 a 10%), esta característica associada aos materiais inconsolidados com maior ocorrência favorece o processo de infiltração, e conseqüentemente a recarga de aquíferos. As declividades mais acentuadas ocorrem na porção norte pouco abaixo do divisor topográfico.

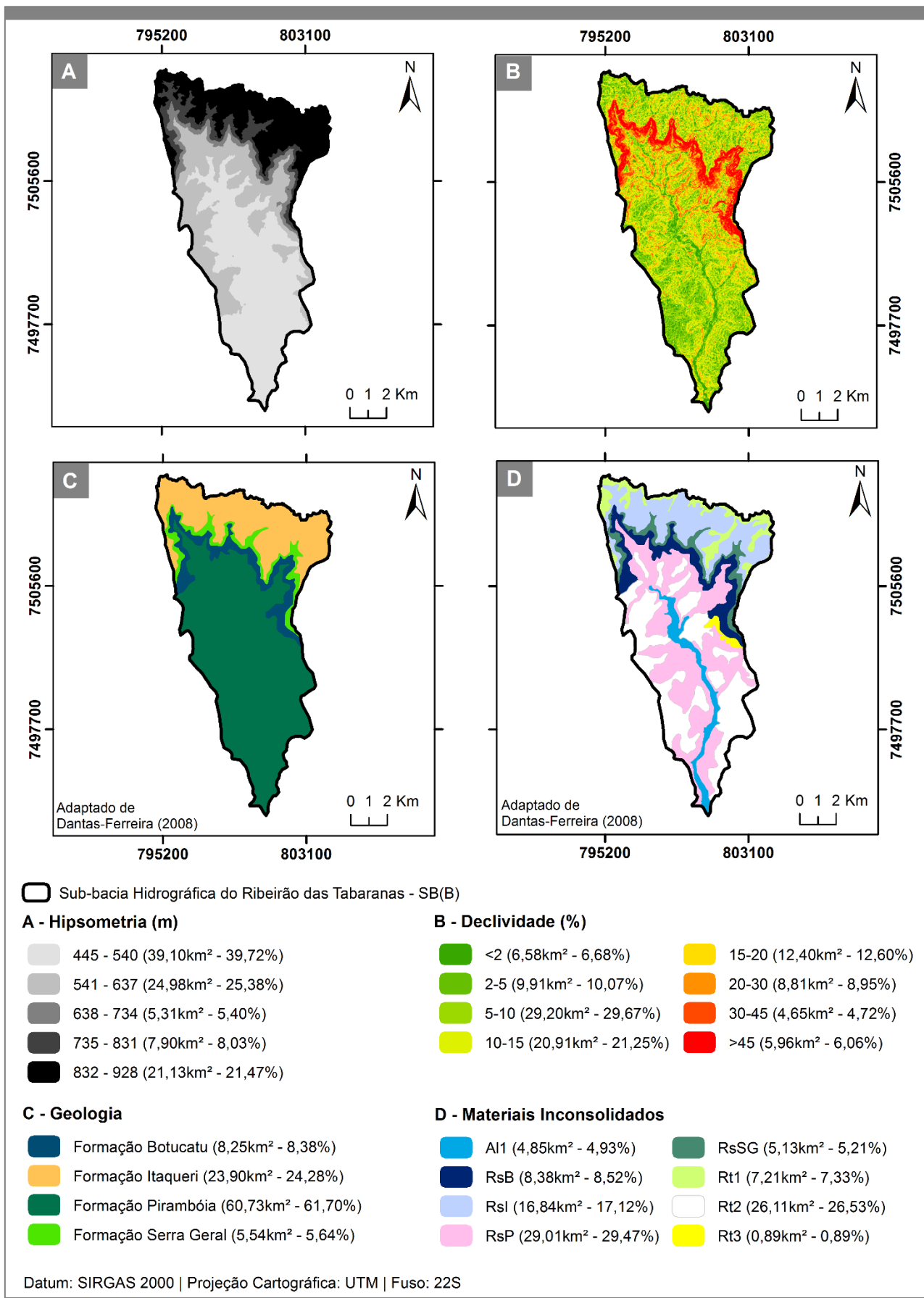
Os materiais geológicos nas regiões com declives mais acentuados na SB(B) são oriundos de duas formações, mais especificamente da Formação Botucatu e da Formação Serra Geral. Com relação aos materiais inconsolidados, as áreas em que o relevo é mais plano encontra-se solos residuais da Formação Pirambóia, com textura arenosa e espessuras superiores a 2,0 metros e inferiores a 3,0 metros, e também solos retrabalhos arenosos variando em pouco centímetros podendo atingir mais que 20 metros de espessura.

A Tabela 19 apresenta a descrição das unidades dos materiais inconsolidados existentes nas sub-bacias hidrográficas SB(A) e SB(B).

**Tabela 19** - Descrição dos materiais inconsolidados existentes nas sub-bacias hidrográficas SB(A) e SB(B).

<b>Unidades</b>	<b>Descrição</b>
Al1	Aluvião arenoso com pedregulhos - < 1 metro
RsB	Solos arenosos - Formação Botucatu - < 2,0 metros
RsI	Solos arenosos / silto-argilosos - Formação Itaqueri - < 5,0 metros
RsP	Solos arenosos - Formação Pirambóia - > 2,0 e < 3,0 metros
RsSG	Solos argilo-siltosos - Formação Serra Geral - > 2,0 metros
Rt1	Solos arenosos da Serra, associado a fácies Concrecionárias
Rt2	Arenoso em topo - poucos centímetros a > 20 metros
Rt3	Solos areno-argilosos - <5,0 metros predominantemente < 2 metros

Fonte: Adaptado de Dantas-Ferreira (2008).



**Figura 25** - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B).

## 4.2 Par 2: Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C) e Sub-bacia Hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D)

A SB(C) se encontra inserida parcialmente nos municípios de Cordeirópolis, Iracemópolis, Limeira, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes, apresentando 116,27 km<sup>2</sup>. A maior parte da área possui altitudes entre 559 a 620 metros, compreendendo 62,79% da área total (Figura 26). A área também apresenta baixa inclinação do terreno, sendo um fator positivo para atividades agrícolas, porém as declividades mais acentuadas se concentram principalmente na porção norte da sub-bacia.

Do ponto de vista geológico, a SB(C) apresenta cinco formações, sendo que a Formação Serra Geral se encontra em maior ocorrência na área, representando 52,74% da área total. Com relação aos materiais inconsolidados, a unidade predominante consiste em solos retrabalhados com textura argilosa de grande espessura, estando associada principalmente às rochas intrusivas básicas (PEJON, 1992). A Tabela 20 apresenta a descrição das unidades de materiais inconsolidados existentes na SB(C).

**Tabela 20** - Descrição dos materiais inconsolidados existentes na sub-bacia hidrográfica SB(C).

Unidades	Descrição
RsIr	Solo residual silto-argiloso - Formação Irati
RsSG1	Solo residual silto-argiloso - Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas
RsT	Solo residual argiloso - Formação Tatuí
RsC	Solo residual argiloso - Formação Corumbataí
RsSG2	Solo residual argiloso - Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas
RtC	Solo retrabalhado argiloso - Formação Corumbataí
RtSG	Solo retrabalhado argiloso - Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas
MT	Material hidromórfico

Fonte: Adaptado de Pejon (1992).

Com relação a SB(D), está localizada nos municípios de Cordeirópolis, Iracemópolis e Limeira, com extensão territorial de 115,56 km<sup>2</sup>. A amplitude topográfica corresponde a 332 metros, as altitudes mais baixas se destacam consideravelmente por toda área, enquanto que, as maiores altitudes se encontram apenas em pequena porção na cabeceira da sub-bacia, representando apenas 0,70 km<sup>2</sup>.

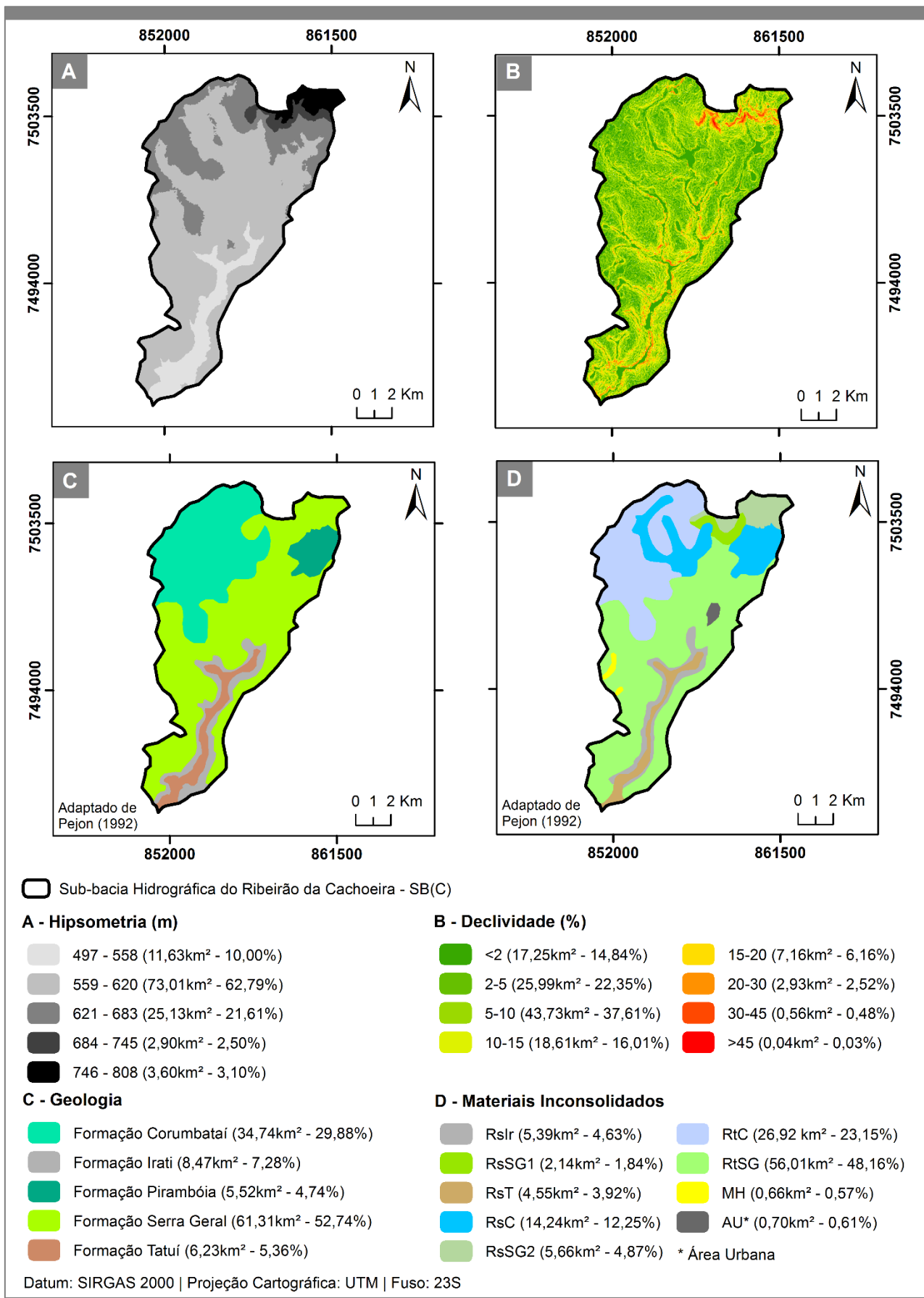
Na SB(D) há o predomínio de declividades suaves, no entanto, as declividades mais elevadas concentram principalmente na região norte onde situam as áreas com maiores altitudes.

A geologia está representada pelas mesmas formações existentes na SB(C), incluindo a Formação Itararé. As formações que se destacam quanto a área de abrangência são respectivamente, a Formação Tatuí e a Formação Itararé, compreendendo 85,67% da área total da sub-bacia (Figura 27). Dessa forma, estas formações dão origem aos materiais inconsolidados com maior ocorrência, apresentando textura argilosa e siltosa. A Tabela 21 apresenta a descrição dos materiais inconsolidados presentes na SB(D).

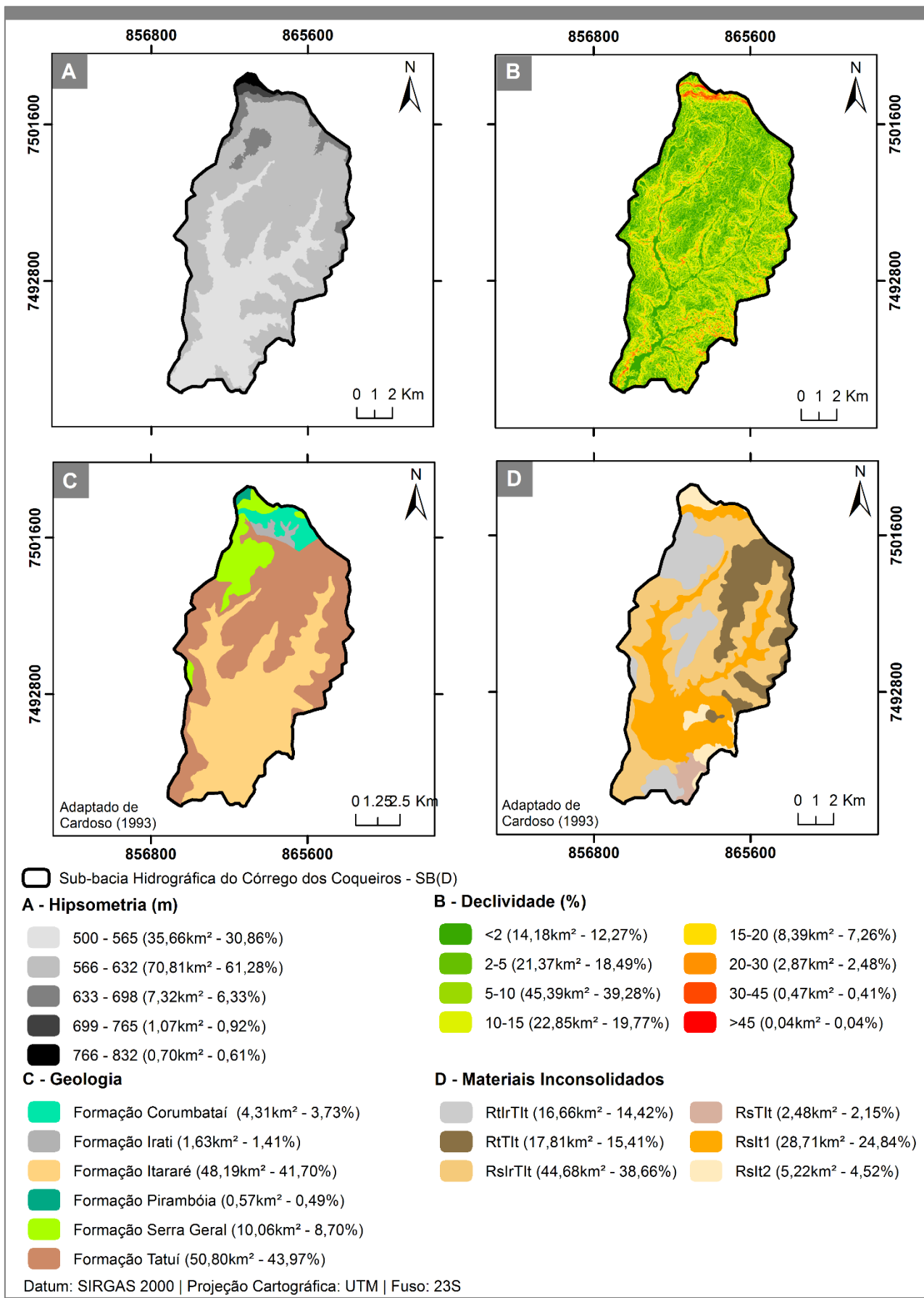
**Tabela 21** - Descrição dos materiais inconsolidados existentes na sub-bacia hidrográfica SB(D).

<b>Unidades</b>	<b>Descrição</b>
RtIrTIt	Solo retrabalhado argiloso - Formações Irati, Tatuí, associação III do Subgrupo Itararé
RtTIt	Solo retrabalhado arenoso e arenoso-argiloso - Formação Tatuí, associação III do Subgrupo Itararé
RsIrTIt	Solo residual argiloso - Formações Tatuí e Irati, associação III do Subgrupo Itararé
RsTIt	Solo residual areno-argiloso e areno-siltoso - Formação Tatuí e arenitos e diamictitos com matriz arenosa das Associações II e III do Subgrupo Itararé
Rslt1	Solo residual siltoso, silto-argiloso e areno-siltoso - Associação II do Subgrupo Itararé
Rslt2	Solo residual arenoso - Associação I do Subgrupo Itararé

Fonte: Adaptado de Cardoso (1993).



**Figura 26** - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C).



**Figura 27** - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D).

### **4.3 Par 3: Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E) e Sub-bacia Hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F)**

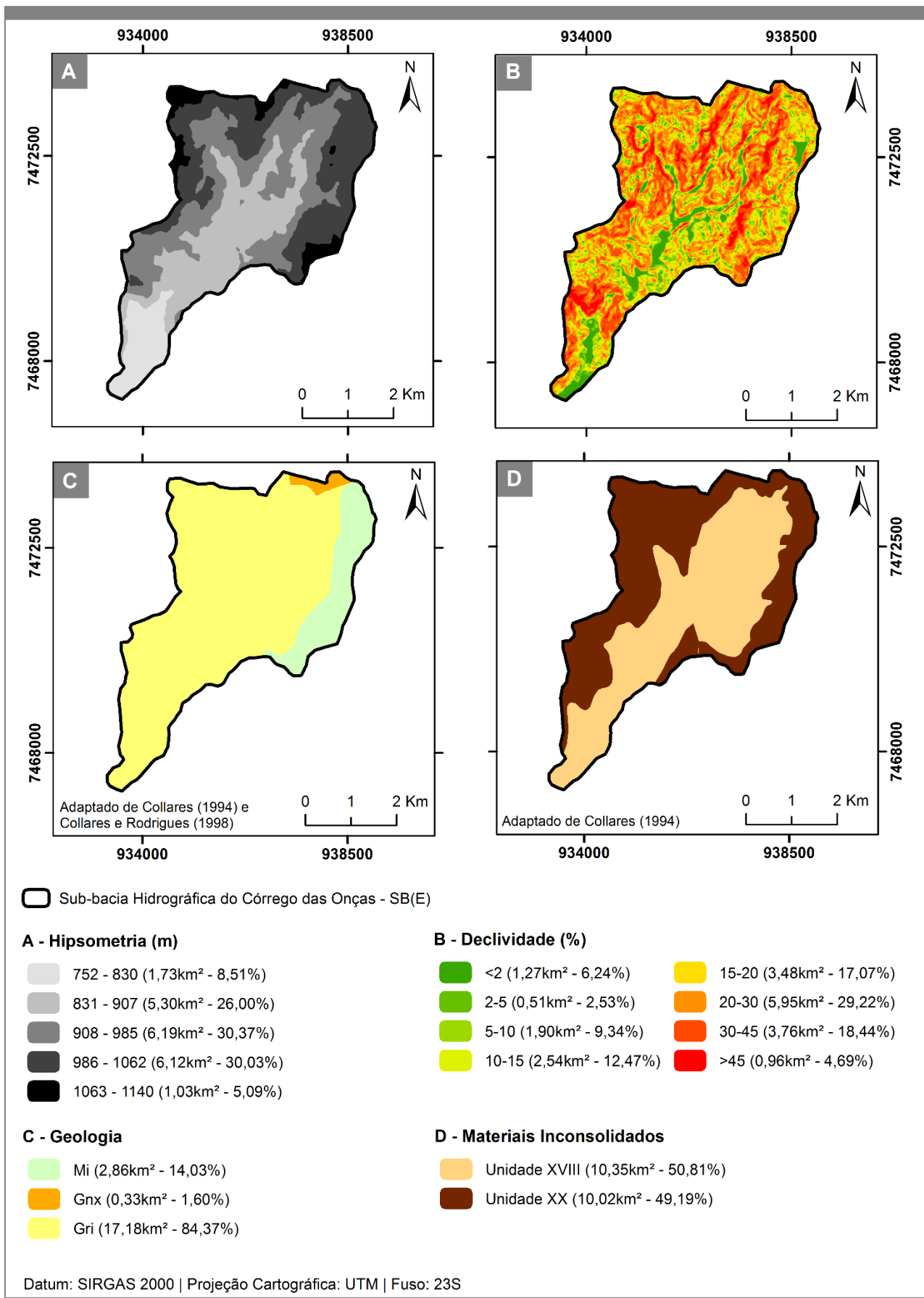
A SB(E) está situada parcialmente nos municípios de Amparo e Tuiuti, localizados na porção leste da BHRP. Esta área apresenta uma extensão territorial de 20,37 km<sup>2</sup>, sua amplitude topográfica é na ordem de 388 metros, sendo que as maiores altitudes (superiores a 1.063 metros) são pouco expressivas quanto ao tamanho da área que ocupam, compreendendo respectivamente 1,03 km<sup>2</sup> (5,09% da área total da sub-bacia) (Figura 28).

Com relação à inclinação da superfície, a SB(E) apresenta maior ocorrência de declividades entre 20% a 45% distribuídas por toda a área, esta característica favorece maior potencial ao escoamento superficial. Nessas regiões, a unidade geológica predominante compreende aos Granitóides Indiferenciados (Gri), que correspondem a 84,37% da área total da sub-bacia.

A SB(E) apresenta apenas dois tipos de materiais inconsolidados, estes são distribuídos na área quase de forma igualitária, sendo representados pelas Unidades XVIII e XX. De acordo com Collares (1994), a Unidade XVIII compreende os solos retrabalhados laterítico, argiloso, e residual laterítico, apresentando granulometria bastante distribuída, com até 2 metros de profundidade. Nesta unidade, a segunda camada do perfil de alteração compreende o solo laterítico arenoso, com existência de pouca mica. Vale ressaltar, que na área há muitos matacões.

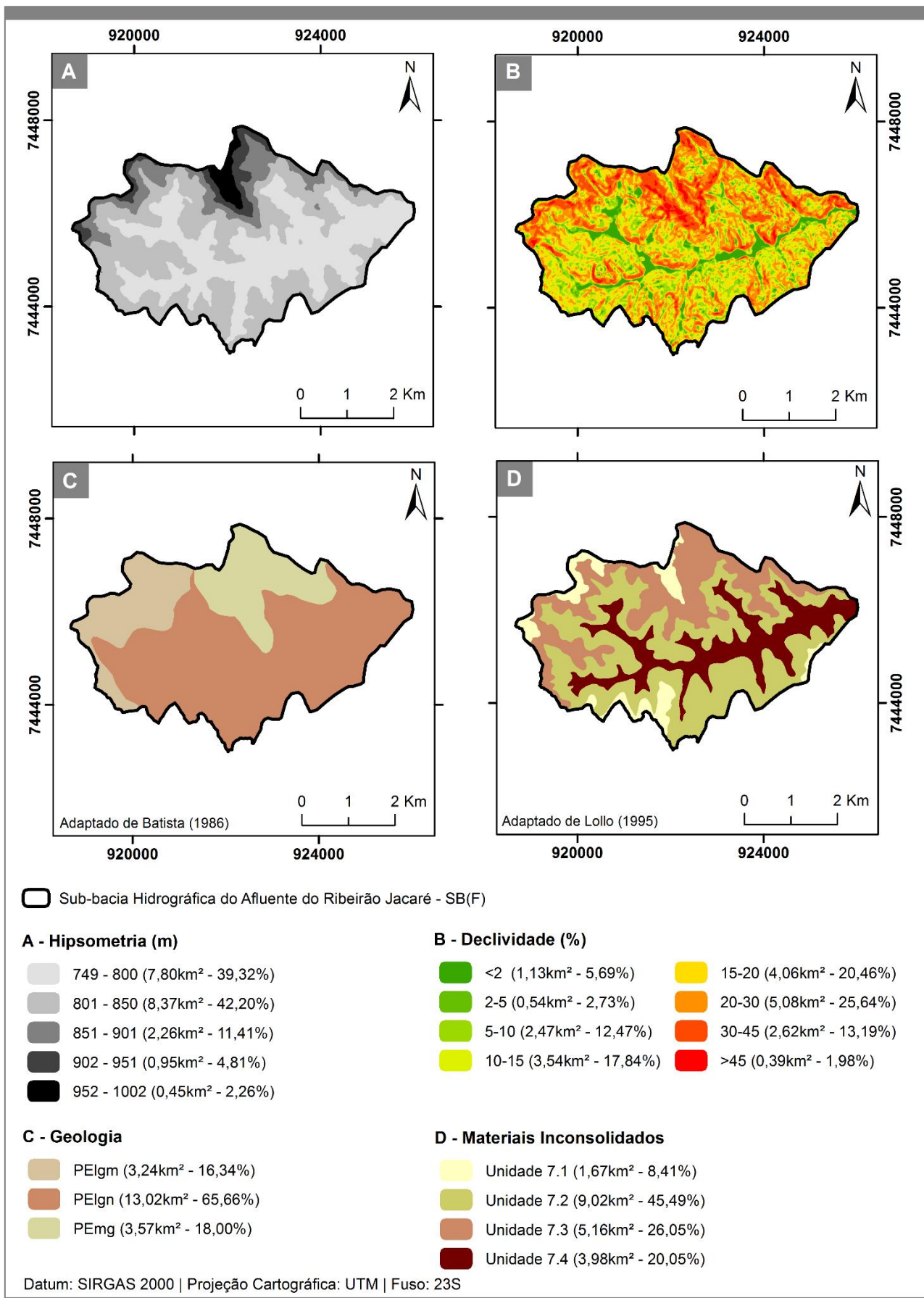
Com relação a Unidade XX, esta é representada por solo laterítico com predominância da fração de argila, situados nos topos de morro, com profundidade superior a 3 metros. No entanto, na meia encosta a ocorrência do solo saprolito de areia siltosa, apresentando profundidade superior a 5 metros. Nas áreas que a inclinação do terreno é superior a 20% praticamente não ocorre o solo laterítico e o saprolítico (COLLARES, 1994).

A SB(F) possui uma extensão de 19,83 km<sup>2</sup> e se encontra entre os limites da BHRP e da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, esta área abrange três municípios, porém engloba maior área do município de Itatiba. As classes altimétricas desta sub-bacia apresentam variação de 749 a 1.002 metros, porém as altitudes de maior ocorrência se enquadram entre 749 a 850 metros, consistindo 81,52% da área total (Figura 29). Enquanto que, as áreas que apresentam maiores altitudes, são as que também se destacam com maior inclinação da superfície, sendo situadas especificamente na margem esquerda do curso d'água principal.



**Figura 28** - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E).





**Figura 29** - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F).

A geologia na SB(F) é representada por três unidades, sendo que a unidade predominante compreende 65,66% da área total da sub-bacia. Esta unidade encontra-se na região norte da Folha de Jundiaí, e no sudoeste da área urbana de Itatiba, com exposição em matacões. A oeste a unidade faz contato com granitos róseos não foliados, enquanto que, nas porções sul e leste o contato é feito com rochas supracrustais. No norte, devido à falta de afloramentos os granitos brancos foliados são difíceis de serem observados, dessa forma, são considerados intrusivos, com verificação destes nos migmatitos (BATISTA, 1986). A Tabela 22 apresenta as descrições das unidades geológicas existentes nas sub-bacias hidrográficas do Par 3.

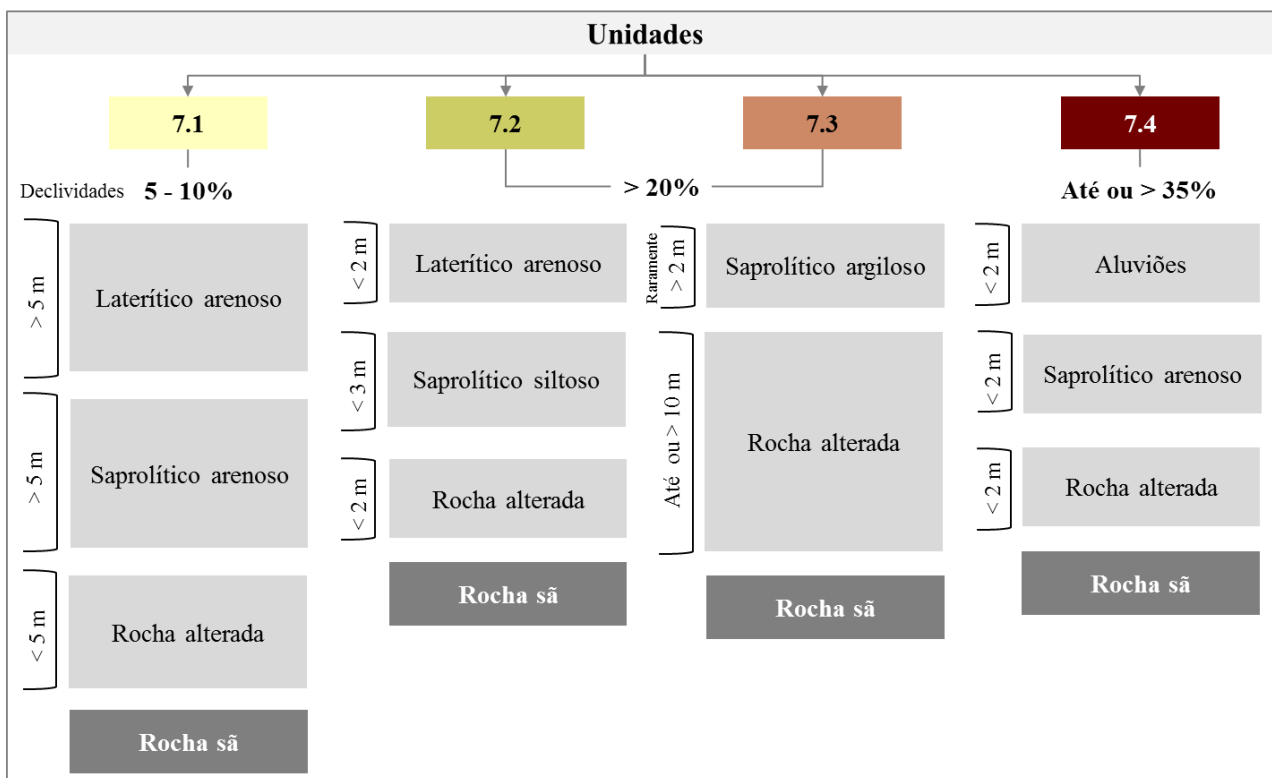
**Tabela 22** - Descrições das unidades geológicas das sub-bacias hidrográficas SB(E) e SB(F).

Sub-bacias	Classes	Descrição
SB(E)	Milonitos (Mi)	Compreende ao material milonitizado da Zona de Falha Socorro e Faixa Dúctil Mostardas de Campos Neto et al. (1984). São rochas intensamente milonitizadas, que derivam de granitóides, xistos e principalmente de gnaisses. Em alguns locais há ocorrência de lentes de anfibolitos, dioritos e carbonatos.
	Intercalações de Biotita-gnaisses e Biotita-xisto (Gnx)	Compreendem aos gnaisses e xistos que apresentam alto teor em máficos e com pouca presença de quartzo. Neste domínio ocorrem solos com rasas profundidades e uma densa camada de saprolito, sendo este e o solo saprolítico bastante micáceos.
	Granitóides Indiferenciados (Gri)	Constituem aos granitos do Complexo Morungaba e a uma fração da Suite Migmatítica Catapora de Campos Neto et al. (1984). Compreendem a diferentes granitos que apresentam minerais com baixo a médio teores de ferro e magnésio e lentes anfibolíticas associadas. O material intemperizado é frágil e apresenta pouca mica. Há ocorrência de muitos matacões.
SB(F)	PElgm	Composta por migmatitos estromáticos com leucossoma granítico branco, em geral granatífero, por vezes apresentando megacristais de feldspato, melanossoma é de biotita gnaisse apresenta maior grau de anatexia sofrida por PEIgn.
	PEIgn	Correspondem a biotita gnaisses com alternância de biotita xistos; intercalações de quartzitos, gonditos, anfibolito e migmatito de injeção.
	PEmg	Consistem em migmatitos graníticos com granada, nebulíticos a estramáticos.

Fonte: Adaptado de Collares (1994), Collares e Rodrigues (1998), e Batista (1986).

Com relação aos materiais inconsolidados, o solo de maior predomínio na SB(F) apresenta uma camada de material laterítico arenoso com espessura inferior a 2 metros, seguida da camada de saprolítico siltoso com espessura inferior a 3 metros (LOLLO, 1995).

A Figura 30 apresenta as informações das unidades dos materiais inconsolidados, de acordo com Lollo (1995), vale ressaltar que estas unidades também abrangem as sub-bacias hidrográficas que compõem o Par 4.



**Figura 30** - Descrição das unidades referente aos materiais inconsolidados existentes nas sub-bacias hidrográficas SB(F), SB(G) e SB(H). Fonte: Adaptado de Lollo (1995).

#### 4.4 Par 4: Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G) e Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H)

A SB(G) situa-se parcialmente nos municípios de Atibaia e Jarinu, apresentando uma área de 10,96 km<sup>2</sup>. As altitudes nesta sub-bacia se encontram entre 774 a 957 metros, sendo que 70,07% compreende regiões que apresentam até 847 metros de altitude. As declividades que se destacam, variam entre 20% a 30%, distribuídas em toda a área da sub-bacia compreendendo 28,37%. As baixas declividades são encontradas principalmente no fundo de vales.

A unidade geológica de maior ocorrência (81,74%) é oriunda do Grupo Complexo Amparo, este é formado basicamente por granada, biotita e gnaisses (OLIVEIRA, 1985). A descrição detalhada das unidades geológicas existentes nas sub-bacias hidrográficas SB(G) e SB(H) está apresentada na Tabela 23.

**Tabela 23** - Descrições das unidades geológicas das sub-bacias hidrográficas SB(G) e SB(H).

Sub-bacias	Classes	Descrição
SB(G)	agn	Grupo Complexo Amparo: Granada - biotita - gnaisses com ou sem sillimanita, hornblenda-biotita-gnaisses, bandados, ocelares, com intercalações de micaxistos, xistos básicos, quartzitos, quartzitos feldspáticos e micáceos, metarcóseos localmente conglomeráticos, anfibolitos.
	sgr	Grupo Maciço de Socorro: granitos róseos de granulação fina, inequigranulares e equigranulares.
SB(H)	Bryle	Suíte Granitóide Imbiriçu: granodioritos e granitos predominantemente porfíricos, com associações frequentes de tonalitos, quartzo monzonitos e quartzo monzodioritos. Localmente granitos e quartzo sienitos equigranulares. Granitos e granodioritos, equi e inequigranulares, com associações de quartz dioritos e dioritos homogêneos. Granitóides protomiloníticos.
	BryCb	Suíte Granítica Catapora: granitos granatíferos, rosados a cinza, médio a fino, localmente grosseiro. Sillimanita-biotita-granada granito branco a cinza claro, com mobilizados granítico-granatíferos esbranquiçado e com estruturas agmatíticas.
	TrPx	Unidade de Xistos Superiores: granada-biotita-quartzo muscovita xistos, granada-mica-quartzo xistos, e subordinadamente quartzitos miloníticos. Intercala localmente quartzo anfibolitos, meta-hornblenda gabros, piroxênio anfibólio gnaisses e biotita gnaisses. Migmatizados.
	TrPgb	Unidade dos Gnaisses Bandados: granada-labradorita-hornblenda gnaisses bandados, com bandas quartzosas e quartzo anfibolíticas. Hornblenda gnaisses com bandas de gnaisses tonalíticos (porfirocláticos). Secundariamente: granada-sillimanita-biotitagnaisses bandados, gnaisses granodioríticos, quartzo anfibolitos, gonditos, quartzitos. Migmatizados.

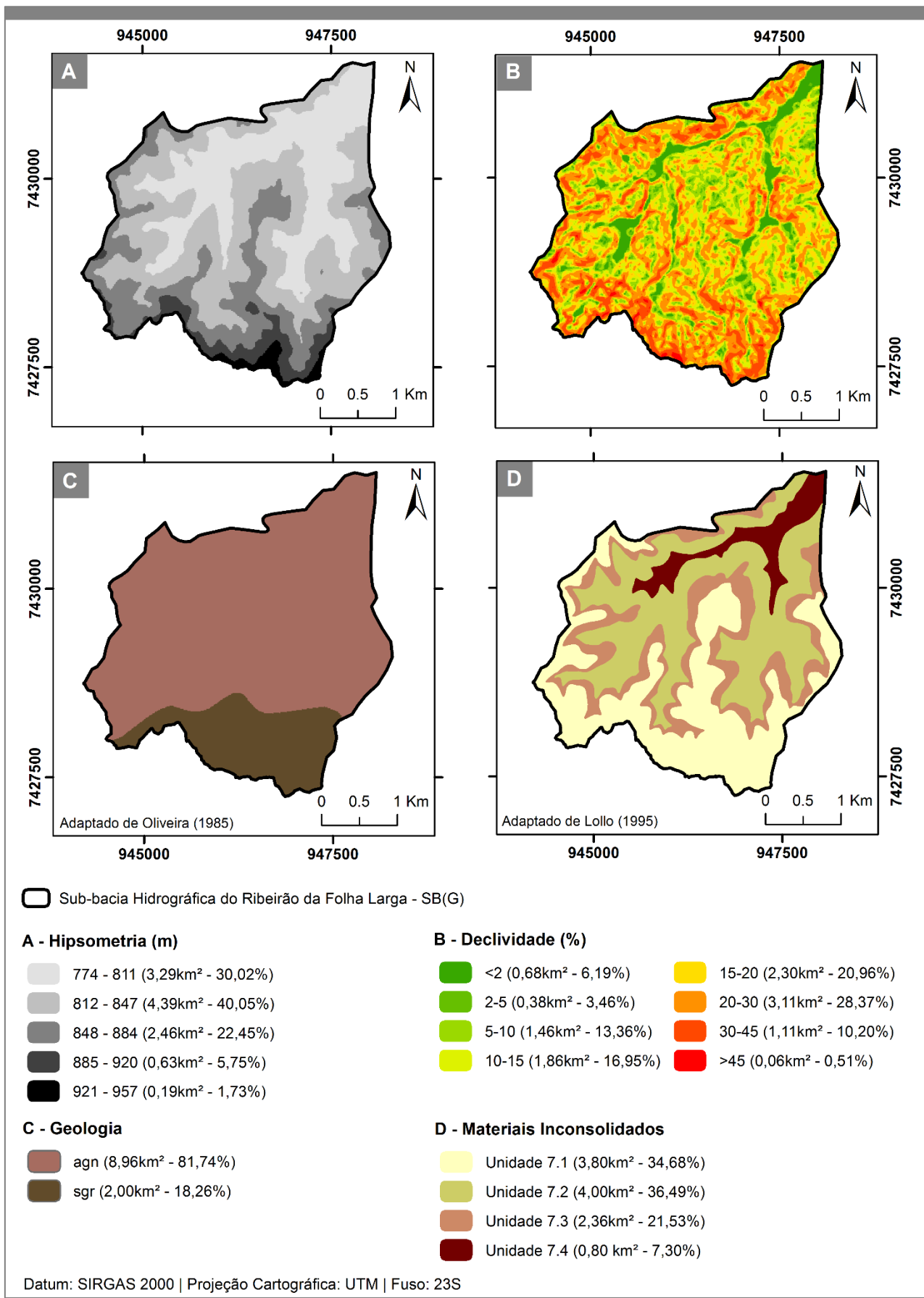
Fonte: Adaptado de Oliveira (1985) e Campos Neto et al. (1983).

Com relação aos materiais inconsolidados, as unidades que se destacam na SB(G) são a 7.1 e a 7.2 (Lollo, 1995), com relação aos seus perfis, estes apresentam a primeira camada de solo laterítico arenoso, sendo que na unidade 7.1 a espessura pode atingir mais que 5 metros, enquanto que, na unidade 7.2 a camada é inferior a 2 metros (Figura 31). A descrição com mais detalhe das unidades de materiais inconsolidados foi apresentada na Figura 30.

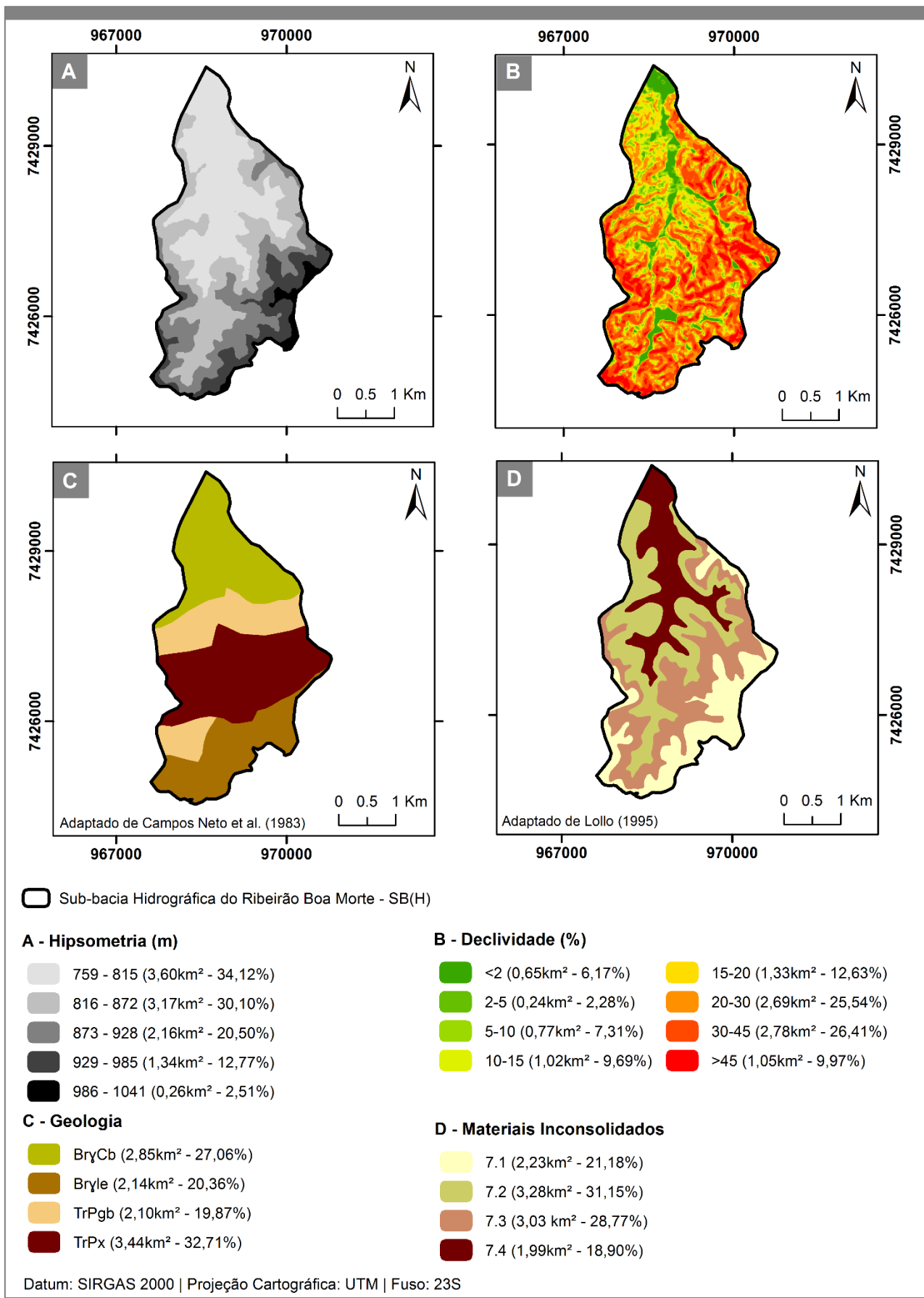
A SB(H) se encontra totalmente inserida no município de Nazaré Paulista, compreendendo a 10,53 km<sup>2</sup>. A maior parte da área apresenta relevo acidentado com predominância de declividades entre 30 a 45%. Assim como na SB(G), as áreas planas são encontradas próximas as regiões de vales (Figura 32).

A Unidade de Xistos Superiores compreende o domínio geológico mais predominante na SB(H), e ocorre na porção central. Enquanto que, nas áreas próximas a foz do curso d'água principal há existência da segunda unidade de maior ocorrência, denominada de Suíte Granítica Catapora.

As unidades de materiais inconsolidados predominantes na SB(H) correspondem as unidades 7.2 e 7.3 (LOLLO, 1995). A unidade 7.2 é representada por um solo residual laterítico com textura arenosa encontrados em altitude de até 872 metros. A unidade 7.3 consiste em um saprolítico com textura argilosa e com espessura raramente superior a 2 metros.



**Figura 31** - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G).



**Figura 32 - Atributos do meio físico da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H).**

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Materiais utilizados

Os materiais que foram utilizados neste trabalho estão apresentados sinteticamente na Tabela 24.

**Tabela 24** - Informações dos materiais utilizados na pesquisa.

<b>Materiais</b>	<b>Informações</b>
Documentos cartográficos	Os mapas temáticos da BHRP foram adquiridos por meio da Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e também por meio de mapeamentos existentes disponíveis em produções científicas, como artigos, dissertações e teses.
Imagens de satélite	Imagens dos satélites RapidEye® e PlanetScope®, com resolução espacial de 5 metros e 3,125 metros respectivamente, adquiridas por meio da plataforma Planet®.
<i>Softwares</i>	Os procedimentos para elaboração dos resultados foram realizados com o auxílio das ferramentas dos <i>softwares</i> ArcGIS 10.5.1® e Statistica 13®.
Equipamentos	Câmera de dispositivo móvel para registros em campo; GPS Garmin portátil para identificar a localização em campo dos pontos de amostragem com finalidade de validar os documentos cartográficos elaborados, e também para o registro dos dados coletados.

### 5.2 Métodos

Este trabalho envolveu desde o levantamento e a preparação de dados existentes, como a elaboração de novos dados para oito sub-bacias hidrográficas situadas na BHRP, como também, prognósticos baseados nas análises realizadas para auxiliar na melhor gestão dos recursos hídricos.

Os itens 5.2.1 a 5.2.4 apresentam em maiores detalhes os procedimentos realizados neste trabalho. As principais etapas desenvolvidas são apresentadas no esquema ilustrativo da Figura 33.

# ETAPAS METODOLÓGICAS

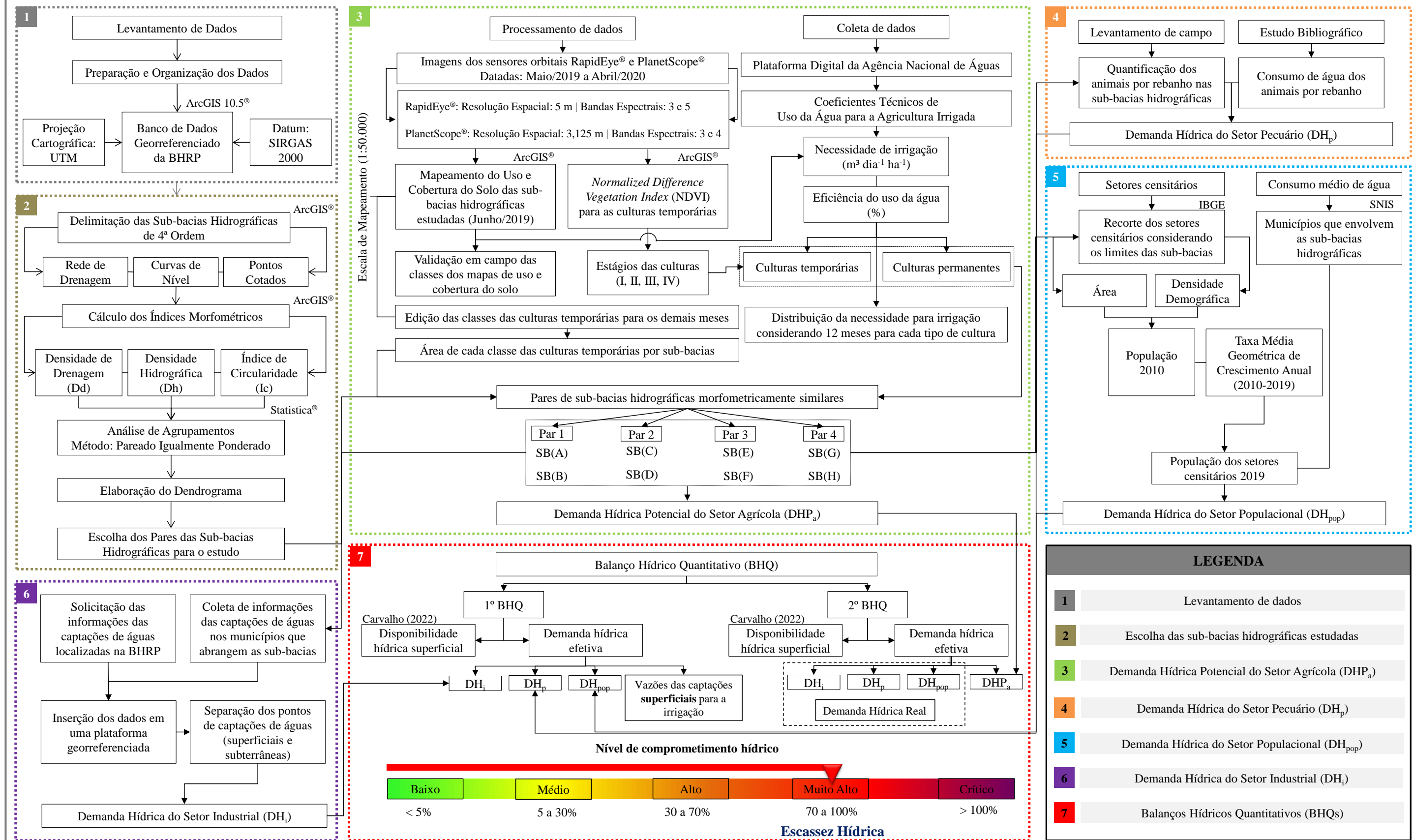


Figura 33 - Etapas metodológicas desenvolvidas nesta pesquisa.



## 5.2.1 Levantamento e preparação de dados existentes da BHRP

Em primeiro momento, foi realizada a busca de dados referentes aos meios físico e antrópico, considerando os estudos técnicos e científicos na área de abrangência da BHRP. Os dados levantados foram compatíveis com a escala do trabalho (1:50.000), e foram utilizados para a elaboração da caracterização das áreas de estudo, sendo alguns fundamentais para a formulação dos resultados obtidos.

Após a aquisição destes dados, foi estruturado um banco de dados para a BHRP, considerando o Datum de Referência (SIRGAS 2000) e a Projeção Cartográfica (Universal Transversa de Mercator - UTM), tal procedimento foi realizado utilizando os recursos do *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>. A Tabela 25 apresenta a descrição dos atributos ambientais utilizados em etapas subsequentes deste trabalho.

**Tabela 25** - Descrição dos atributos ambientais utilizados no trabalho.

Atributo	Finalidade	Fonte	Escala
Limite da BHRP	Caracterização da BHRP	Agência das Bacias PCJ (2018)	1:50.000
Limite das cinco principais sub-bacias hidrográficas da BHRP		Agência das Bacias PCJ (2018)	1:50.000
Hidrografia		Plataforma Geonetwork ANA (2013), vetor disponível no link <a href="https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/9a761447-7aa2-470e-a5f0-9ad63468fa3c">https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/9a761447-7aa2-470e-a5f0-9ad63468fa3c</a>	1:50.000
Clima		Alvares et al. (2013)	Escala Nacional (Brasil)
Geologia		IPT (1981) e Agência das Bacias PCJ (2018)	1:500.000
Hidrogeologia		IRRIGART (2007) e Agência das Bacias PCJ (2018)	-
Pedologia		Oliveira et al. (1999)	1:500.000
Curvas de Nível e Pontos Cotados	Delimitação das sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação	Dados vetoriais e cartas topográficas do IBGE (2019)	1:50.000
Hidrografia		Plataforma Geonetwork ANA (2013), vetor disponível no link <a href="https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/9a761447-7aa2-470e-a5f0-9ad63468fa3c">https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/9a761447-7aa2-470e-a5f0-9ad63468fa3c</a>	
Geologia	Caracterização das sub-bacias hidrográficas estudadas	Batista (1986); Cardoso (1993); Collares (1994); Collares e Rodrigues (1998); Dantas-Ferreira (2008); Campos Neto et al. (1983); Pejon (1992); Oliveira (1985); e Valadares (2017)	
Materiais Inconsolidados		Cardoso (1993); Collares (1994); Collares e Rodrigues (1998); Dantas-Ferreira (2008); Pejon (1992); e Lollo (1995)	

**Tabela 25** - Descrição dos atributos ambientais utilizados no trabalho (Continuação).

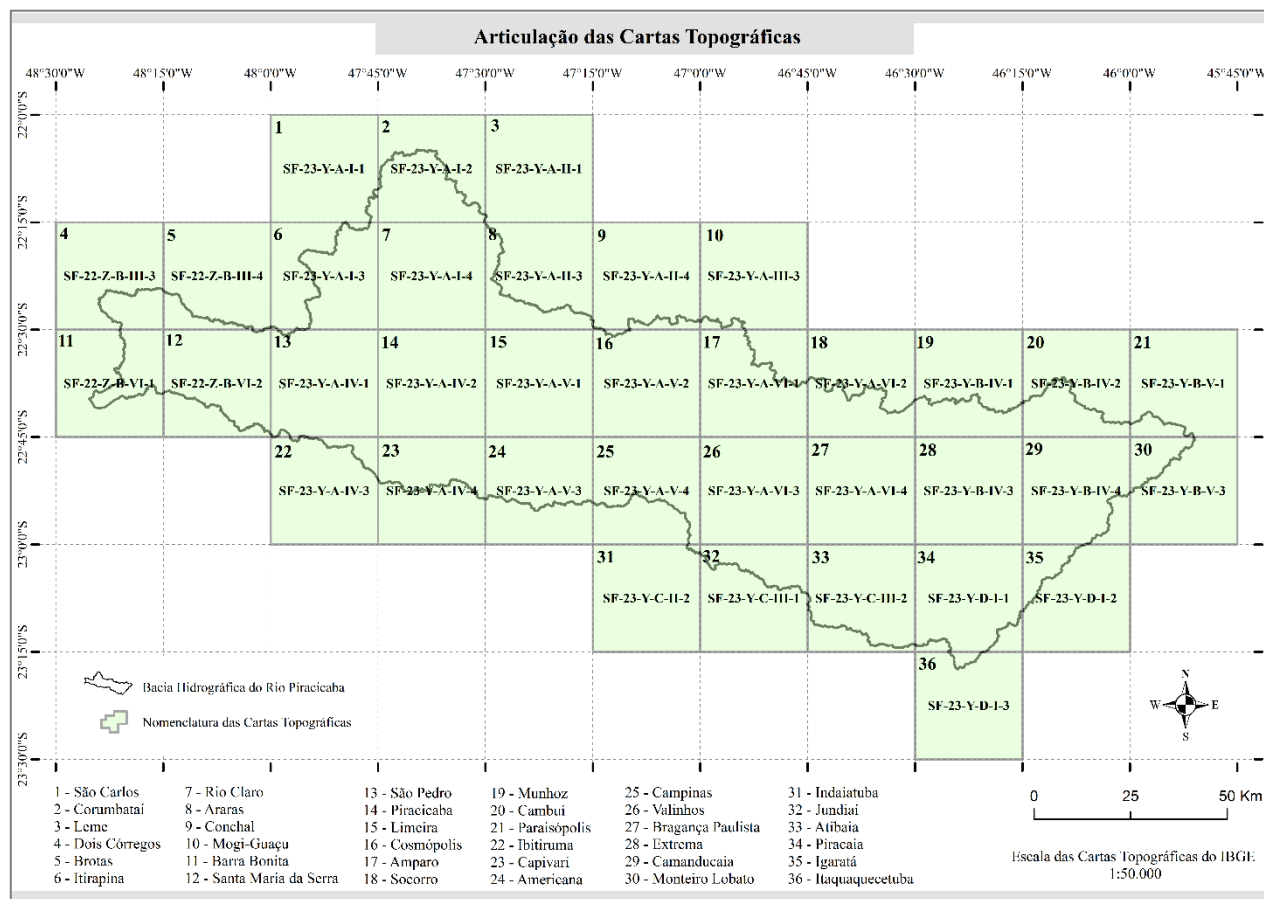
<b>Atributo</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>
Declividade	Caracterização das sub-bacias hidrográficas estudadas	Imagens orbitais do sensor Alos Palsar por meio da plataforma Vertex Alaska, com resolução espacial de 12,5 x 12,5 metros	
Hipsometria			
Necessidade de irrigação das culturas temporárias e permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas	Atributos utilizados para a determinação da demanda hídrica potencial do setor agrícola das sub-bacias hidrográficas estudadas	Dados disponíveis pela ANA por meio do link <a href="https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYWWM0NDMzNmYtNTYxZC00ZThjLWIyYjctM2NiMDVjZTQxOWI3IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItdmY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4O CJ9">https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYWWM0NDMzNmYtNTYxZC00ZThjLWIyYjctM2NiMDVjZTQxOWI3IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItdmY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4O CJ9</a>	
Uso e Cobertura do Solo		Mapeamento realizado por Lorandi et al. (2019), por meio de imagens orbitais do satélite RapidEye® da plataforma Planet® datadas de junho de 2019, com resolução espacial de 5 x 5 metros	
		Mapeamento das culturas temporárias realizado pela autora por meio de imagens dos sensores RapidEye® e PlanetScope® disponíveis na plataforma Planet®, datadas de maio a dezembro de 2019 e de janeiro a abril de 2020	
	Caracterização da BHRP	Coleção 6 - MapBiomass Classificação do uso e cobertura do solo da BHRP, referente ao ano de 2020	
Setores censitários	Utilizado para a determinação da demanda hídrica do setor populacional das sub-bacias hidrográficas estudadas	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010)	1:50.000
Consumo médio per capita de água		Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2019) <a href="http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#">http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#</a>	-
Pontos de captações de água	Utilizado para a determinação da demanda hídrica do setor industrial das sub-bacias hidrográficas estudadas	Sistema de Informação ao Cidadão (SIC) a Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ)	-
Vazões das sub-bacias hidrográficas estudadas	Utilizadas para a análise dos balanços hídricos quantitativos das sub-bacias hidrográficas estudadas	Aferidas <i>in situ</i> Carvalho et al. (2020), Carvalho et al. (2022) e Carvalho (2022)	-

### 5.2.2 Obtenção das sub-bacias hidrográficas estudadas

Neste estudo optou-se por trabalhar com sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação, por se tratar de uma extensão territorial suficiente que permite identificar características ambientais heterogêneas, proporcionando uma análise mais pormenorizada, por levar em consideração as especificidades de cada sub-bacia hidrográfica.

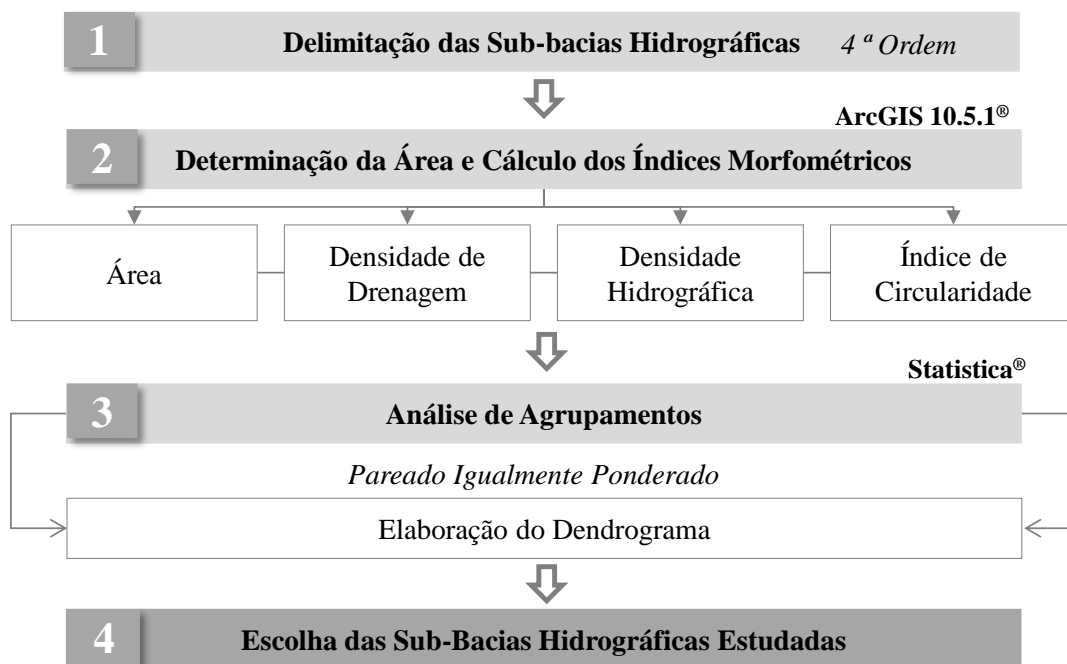
Para a delimitação das sub-bacias foi utilizada a rede de drenagem da plataforma Geonetwork da Agência Nacional de Águas (ANA), as curvas de nível e os pontos cotados, disponibilizados pela plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), todos na escala de 1:50.000. Esta etapa foi executada no *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>, por meio da delimitação manual em tela, ou seja, delimitação não automática, utilizando os dados da base cartográfica mencionados anteriormente. Vale ressaltar que, a classificação hierárquica pluvial seguiu o método de Strahler (1957).

A Figura 34 apresenta a articulação das cartas topográficas na escala de 1:50.000, que envolvem a região da BHRP. As cartas topográficas que não possuem os dados (pontos cotados e curvas de nível) em formato vetorial, foram georreferenciadas e projetadas na plataforma georreferenciada do *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>, para completar toda a área de drenagem da BHRP.



**Figura 34 -** Articulação das Cartas Topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000.

O método apresentado nesta etapa consiste na utilização de análise estatística para a escolha das sub-bacias estudadas. Optou-se por desenvolver o estudo, considerando pares de sub-bacias, de forma a contribuir na designação dos atributos ambientais que interferem diretamente na demanda hídrica das áreas de drenagem. A Figura 35 apresenta as etapas desenvolvidas para a aquisição das sub-bacias em estudo.



**Figura 35** - Etapas desenvolvidas para a obtenção das sub-bacias hidrográficas estudadas.

Logo após o estabelecimento das sub-bacias de 4ª ordem, além da Área (A) em km<sup>2</sup> foram calculados três índices morfométricos, apresentados na Tabela 26. Este procedimento foi realizado com o auxílio das ferramentas do *software* ArcGIS10.5.1<sup>®</sup>.

**Tabela 26** - Índices morfométricos utilizados para a análise de agrupamentos das sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação.

Índice Morfométrico	Fórmula	Autor
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = \frac{\sum L}{A}$ ∑L = comprimento total dos canais de drenagem A = área da bacia	HORTON (1945)
Densidade Hidrográfica (Dh)	$Dh = \frac{n}{A}$ N = número de canais de drenagem de 1ª ordem A = área da bacia	HORTON (1945)
Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = \frac{A}{Ac}$ A = área da bacia Ac = área do círculo cujo perímetro é igual ao da bacia	MILLER (1953)

Com relação aos índices morfométricos, a Densidade de Drenagem (Dd) apresenta o grau de desenvolvimento da rede de drenagem de uma BH, correlacionando o comprimento total dos canais de drenagem com a área da bacia. Quando o índice apresenta valores altos, a capacidade de infiltração de água é reduzida, no entanto, os valores mais baixos contribuem com o processo de infiltração, e consequentemente com a recarga dos aquíferos (MOURA, 2013).

A Densidade Hidrográfica (Dh) retrata o comportamento hidrográfico da bacia, compreende a razão entre o número de rios e a área da BH. Enquanto que, o Índice de Circularidade (Ic) representa a razão entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro, sendo o perímetro igual ao da área total da bacia.

Após os cálculos, os dados quantitativos foram tabulados em planilha do *software* Excel, no formato *.xls*. No Apêndice A se encontra a tabela dos valores dos índices referentes a cada SB de 4ª ordem de ramificação.

Estes valores foram inseridos no *software* Statistica 13<sup>®</sup> para a análise do nível de similaridade considerando os valores da área e dos índices morfométricos calculados, não foram utilizados mais parâmetros morfométricos para evitar a subjetividade da análise estatística. A análise estatística hierárquica empregada foi à análise de agrupamentos, o método adotado foi o pareado igualmente ponderado (no inglês, *Unweighted Pair-Group Method*), em que cada membro do agrupamento apresenta o mesmo peso.

Considerando o método de agrupamento pareado, de início este método busca os coeficientes mais altos de associação mútua. Logo, formam pares que proporcionam valores médios que dá origem a um novo elemento. No método de agrupamento pareado igualmente ponderado, o qual foi adotado neste trabalho, para o cálculo dos valores médios, adota-se o mesmo peso na integração de dois elementos (LANDIM, 2011). Quanto ao coeficiente de similaridade adotou-se o coeficiente de distância, por agrupar melhor as amostras (sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação) do que a utilização do coeficiente de correlação indicado para agrupar variáveis.

Posteriormente, foi elaborado um dendrograma que consiste em um gráfico que apresenta as relações dos grupos formados com base nos parâmetros analisados. Em seguida, foram escolhidos 4 pares de sub-bacias para os cálculos das demandas hídricas e do balanço hídrico quantitativo. A escolha destes pares levou em consideração a posição geográfica das sub-bacias, optando-se desta forma, por pares localizados nas extremidades e nas porções centrais da BHRP.

### **5.2.3 Determinação da demanda hídrica nas sub-bacias hidrográficas em estudo**

Esta etapa envolveu o cálculo da demanda hídrica de quatro setores, sendo eles: Agrícola; Pecuário; Populacional; e, Industrial. Os procedimentos realizados para cada setor se encontram detalhados nos itens 5.2.3.1 a 5.2.3.4.

### 5.2.3.1 Demanda hídrica potencial diária do setor agrícola (DHP<sub>a</sub>) nas sub-bacias hidrográficas em estudo

A determinação da Demanda Hídrica Potencial do Setor Agrícola (DHP<sub>a</sub>) nas sub-bacias em estudo, abrangeu em primeiro momento o mapeamento do uso e cobertura do solo, com a finalidade de identificar as classes de usos existentes. Este mapeamento foi elaborado na escala 1:50.000, por meio de ferramentas de vetorização do *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>, sem a utilização de recursos automáticos, ou seja, sem o uso da técnica de classificação automática supervisionada (LORANDI et al., 2019).

As imagens ortorretificadas utilizadas no mapeamento foram adquiridas pela plataforma Planet<sup>®</sup> (<https://www.planet.com/>) do sensor remoto RapidEye<sup>®</sup>, datadas do mês de junho do ano de 2019, com resolução espacial de 5 metros. Estas imagens foram reprojetaadas para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), bem como, o datum de referência SIRGAS 2000. Após a inserção das imagens de satélite no *software*, as classes de uso e cobertura do solo foram delimitadas para cada uma das sub-bacias, e validadas em campo.

Após a delimitação das classes do uso e cobertura do solo, foram editados os polígonos referentes as culturas temporárias (cana-de-açúcar, mandioca, milho, soja, tomate e vagem) presentes nas sub-bacias, considerando um dia de cada mês do período analisado (maio a dezembro de 2019 e janeiro a abril de 2020), exceto o mês de junho, no qual foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo contemplando as áreas totais das sub-bacias. Vale ressaltar, que as sub-bacias SB(G) e SB(H) não apresentam nenhuma das culturas temporárias mencionadas anteriormente.

Para a atualização das áreas das culturas temporárias foi necessário a adoção de imagens de dois satélites, sendo eles: RapidEye<sup>®</sup> e PlanetScope<sup>®</sup>. Assim como no mês de junho, as demais imagens foram adquiridas na plataforma Planet<sup>®</sup>, optou-se no momento do *download* a opção “*Surface Reflectance*”, ou seja, as cenas passaram pelo processo de conversão da radiância para a reflectância da atmosfera. Estes produtos asseguram consistência em condições atmosféricas localizadas, diminuindo a incerteza na resposta espectral no decorrer do tempo e localização (PLANET TEAM, 2020).

A Tabela 27 apresenta a data das imagens e o sensor correspondente, considerando as áreas de estudo.

**Tabela 27** - Datas das imagens dos sensores orbitais utilizados.

Meses/Ano	SB(A)	SB(B)	SB(C)	SB(D)	SB(E)	SB(F)
Maio/2019	5 de maio	5 de maio	6 de maio	6 de maio	22 de maio	22 de maio
Junho/2019	6 de junho	6 de junho	9 de junho	9 de junho	22 de junho	22 de junho
Julho/2019	24 de julho	28 de julho	28 de julho	28 de julho	20 de julho	20 de julho
Agosto/2019	30 de agosto	30 de agosto	25 de agosto	25 de agosto	30 de agosto	31 de agosto
Setembro/2019	10 de setembro	7 de setembro	7 de setembro	7 de setembro	10 de setembro	10 de setembro
Outubro/2019	5 de outubro	5 de outubro	5 de outubro	5 de outubro	4 de outubro	4 de outubro
Novembro/2019	2 de novembro	2 de novembro	3 de novembro	3 de novembro	1 de novembro	3 de novembro
Dezembro/2019	26 de dezembro	26 de dezembro	7 de dezembro	7 de dezembro	31 de dezembro	7 de dezembro
Janeiro/2020	27 de janeiro	26 de janeiro	16 de janeiro	16 de janeiro	27 de janeiro	28 de janeiro
Fevereiro/2020	17 de fevereiro	17 de fevereiro	17 de fevereiro	17 de fevereiro	17 de fevereiro	17 de fevereiro
Março/2020	7 de março	10 de março	24 de março	24 de março	11 de março	11 de março
Abril/2020	22 de abril	21 de abril	22 de abril	22 de abril	27 de abril	24 de abril
	RapidEye®	Resolução Espacial: 5 metros				
	PlanetScope®	Resolução Espacial: 3,125 metros				

Além do mapeamento das culturas temporárias das sub-bacias, foi elaborado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (no inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) também no *software* ArcGIS 10.5.1®. Este índice compreende em um indicador de sensoriamento remoto bastante utilizado com intuito de monitorar o crescimento e a produção de culturas, o manejo de terras agrícolas, além de ser utilizado para análise das variações da vegetação associando com condições climáticas e ambientais (GARRIDO-RUBIO et al., 2020; HUANG et al., 2020; HAN et al., 2019; LI et al., 2019; NANZAD et al., 2019; PENG et al., 2019; LAMCHIN et al., 2018; XU et al., 2017).

Para a elaboração deste índice foram consideradas as bandas espectrais 3 e 5 das imagens ortorretificadas do sensor remoto RapidEye® e as bandas espectrais 3 e 4 das imagens ortorretificadas do sensor PlanetScope®. A banda 3 dos dois sensores compreende os valores de refletância nos comprimentos de onda do Vermelho, e as bandas 4 e 5 correspondem aos valores de reflectância nos comprimentos de onda do Infravermelho Próximo. O processamento realizado consistiu na razão da diferença das refletâncias da banda do infravermelho próximo e da banda do vermelho, pela soma das duas bandas, de acordo com a Equação 1 (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Em que,

NIR: a refletância no comprimento de onda que compreende ao Infravermelho Próximo; e

RED: a refletância no comprimento de onda que compreende ao Vermelho.

O NDVI foi aplicado para identificar o estágio das culturas temporárias presentes nas sub-bacias. Os valores do índice variam de 1 a -1, quanto mais próximo ou igual a 1 o resultado do índice compreende que a cobertura vegetal é mais desenvolvida e densa na área observada, devido à maior refletância da região do infravermelho e menor reflectância do vermelho do espectro eletromagnético. Quando os resultados estão próximos de -0,1 e +0,1, eles caem em áreas com pouca ou nenhuma vegetação (FATHIZAD et al., 2017), ou seja, o índice retrata áreas em que suas superfícies estão expostas, podendo considerar os períodos de pousios, e/ou entressafras de culturas.

Logo após a obtenção do NDVI, foram identificados os seus limites máximo e mínimo para cada cultura temporária, a partir disso, as matrizes resultantes para cada tipo de cultura foram reclassificadas em intervalos iguais em quatro níveis que compreendem os seus estágios de desenvolvimento, exceto a cultura da vagem, a qual foi considerada três estágios de desenvolvimento (Tabela 28). A Tabela 39 no Apêndice B mostra os limites do NDVI para cada cultura temporária existente nas sub-bacias.

**Tabela 28** - Intervalos do NDVI para os estágios de desenvolvimento das culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas.

<b>Estágios de Desenvolvimento</b>	<b>Cana-de-Açúcar</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Milho</b>	<b>Soja</b>	<b>Tomate</b>	<b>Vagem</b>
<b>Estágio I</b>	< 0,26	< 0,26	< 0,30	< 0,38	< 0,29	< 0,38
<b>Estágio II</b>	0,26 - 0,51	0,26 - 0,49	0,30 - 0,49	0,38 - 0,56	0,29 - 0,50	0,38 - 0,66
<b>Estágio III</b>	0,51 - 0,75	0,49 - 0,71	0,49 - 0,68	0,56 - 0,74	0,50 - 0,71	0,66 - 0,95
<b>Estágio IV</b>	0,75 - 1,00	0,71 - 0,94	0,68 - 0,87	0,74 - 0,91	0,71 - 0,92	-

Em segundo momento, esses níveis foram quantificados por sub-bacias hidrográficas, considerando separadamente cada cultura temporária, o que compreendeu uma variável para a determinação da DHP<sub>a</sub>. A DHP<sub>a</sub> foi calculada de forma a expressar a quantidade de água utilizada para irrigação das áreas agrícolas nas sub-bacias, caso ocorra a necessidade. Então, por isso, corresponde a uma demanda potencial para estas áreas, não representando a realidade atual das sub-bacias.



### 5.2.3.1.1 Necessidade de irrigação das culturas das sub-bacias hidrográficas estudadas

Nesta etapa foi coletada a necessidade de irrigação ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ) para cada cultura das sub-bacias estudadas, dentre os coeficientes disponíveis para acesso na plataforma digital da Agência Nacional de Águas (ANA), denominada “Coeficientes Técnicos para Agricultura Irrigada”. A necessidade de irrigação consiste no déficit de consumo (necessidade hídrica da cultura que não é atendida pela precipitação efetiva) levando em consideração as perdas totais do sistema de irrigação. Os valores da necessidade de água por cada cultura, considera-se o seu estágio de desenvolvimento e o clima da região. As simulações para as culturas temporárias são apresentadas por estágio da cultura (I a IV), enquanto que, para as culturas permanentes são disponibilizados valores médios (ANA, 2019).

A estimativa realizada pela ANA da necessidade de água retirada em cada mês para à irrigação das culturas envolveu, a precipitação efetiva, a evapotranspiração real, a eficiência de irrigação e as características da cultura (ANA, 2019).

As séries de precipitação média em periodicidade mensal foram determinadas a partir da utilização dos dados de 10.083 estações do Banco de Dados de Informações Hidrológicas (Hidro/ANA), as quais possuem dados acima de 60 meses. As séries mensais das estações foram interpoladas para uma malha quadrada, abrangendo todo território nacional (ANA, 2019).

A precipitação efetiva (Equação 2) foi estimada pela ANA com base no armazenamento de água no solo, na evapotranspiração da cultura e na precipitação, por meio do estudo desenvolvido pelo USDA (1970). O fator médio de armazenamento de água no solo foi atribuído em 1,0, o que corresponde a um valor de armazenamento médio de 75 mm (ANA, 2019).

$$P_e = SF (0.70917 P_t^{0,82416} - 0.11556) \times (10^{0,02426 ETc}) \quad (2)$$

Em que:

$P_e$ : precipitação efetiva média mensal (mm);

$P_t$ : precipitação total média mensal (mm);

ETc: evapotranspiração média mensal da cultura (mm);

SF: fator de armazenamento de água no solo (fixado em 1).

Com relação a evapotranspiração real da cultura, empregou-se os cálculos da evapotranspiração de referência (Equação 3) calculada pelo método Penman-Monteith-FAO, conforme Allen et al. (1998), e da evapotranspiração potencial da cultura (Equação 4) (ANA, 2019).

$$ET_0 = \frac{0.480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (3)$$

Em que:

$ET_0$ : evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$R_n$ : radiação líquida à superfície de cultura ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$G$ : densidade do fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );

$T$ : temperatura média do ar diária a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$U_2$ : velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );

$e_s$ : pressão de vapor de saturação (kPa);

$e_a$ : pressão atual de vapor (kPa);

$(e_s - e_a)$ : déficit de pressão de vapor de saturação (kPa);

$\Delta$ : declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ); e

$\gamma$ : constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

A evapotranspiração potencial da cultura depende da  $ET_0$  e dos valores de coeficientes de cultura das diferentes fases de seu desenvolvimento, de acordo com Allen et al. (1998) (ANA, 2019).

$$ET_{pc} = ET_0 K_c \quad (4)$$

Em que:

$ET_0$ : evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ ); e

$K_c$ : coeficientes de cultura para determinada fase de desenvolvimento (adimensional).

A evapotranspiração real da cultura ( $ET_{rc}$ ) é definida como o volume de água evapotranspirado por uma determinada cultura sob condições normais de cultivo (ANA, 2019). A  $ET_{rc}$  envolve a evapotranspiração potencial da cultura e o coeficiente de umidade do solo ( $K_s$ ) (Equações 5 e 6).

$$ET_{rc} = ET_{pc} K_s \quad (5)$$

Em que:

$ET_{pc}$ : evapotranspiração potencial da cultura ( $\text{mm d}^{-1}$ ); e

$K_s$ : o coeficiente de umidade do solo (adimensional).

O coeficiente de umidade do solo depende da capacidade de água disponível (CAD), da profundidade radicular ( $Z$ ) e do fator de disponibilidade ( $f$ ). Para a obtenção dos valores de CAD, a

ANA utilizou os estudos de Rossato (2001), Rossato et al. (2004) e Tomasella et al. (2000). Esta variável depende da utilização de funções de pedo-transferência, que consistem em equações de estimativa da capacidade de retenção de água considerando as propriedades do solo (textura, densidade, matéria orgânica).

Os valores de referência das variáveis Z e f, foram obtidos no Boletim da FAO56 (ALLEN et al., 1998). Para obtenção das variáveis LAA e CTA foi necessário efetuar as Equações 7 e 8 (ANA, 2019).

$$K_s = \frac{\left(1 + \frac{\log(LAA + 1)}{\log(CTA + 1)}\right)}{2} \quad (6)$$

$$LAA = CTA \times f \quad (7)$$

$$CTA = CAD \times Z \quad (8)$$

Em que:

LAA: lâmina atual de água (mm); e

CTA: capacidade total de armazenamento (mm).

CAD: capacidade de água disponível (mm);

Z: profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (m); e

f: fator de disponibilidade de água quando ainda não há estresse hídrico (adimensional).

Os dados desta plataforma são oriundos de simulações mensais de áreas plantadas, com base nas culturas identificadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e seus parâmetros embasados no Boletim FAO 56, como o coeficiente de cultura, profundidade radicular efetiva, fator de disponibilidade da água, bem como, dados climáticos e a eficiência dos sistemas de irrigação (ANA, 2019). Estes dados são disponibilizados por limites municipais, desta forma, foram utilizados como referência para coleta os municípios de maior abrangência em que se situam as sub-bacias estudadas, sendo eles: Dois Córregos; Santa Maria da Serra; Iracemápolis; Limeira; Amparo; e Itatiba.

Para as culturas temporárias, os dados foram coletados considerando os estágios de desenvolvimento de cada cultura (I a IV), exceto a cultura da vagem em que foi considerado apenas três estágios. Vale ressaltar, que os valores da necessidade de irrigação da vagem foram considerados

os mesmos que a da cultura de feijão, uma vez que a vagem pertence a família fabácea, sendo esta a mesma dos feijões comuns, porém sendo consumida verde (ainda em vagens) (BRASIL, 2015).

Assim como para as culturas temporárias, foram consideradas também para as culturas permanentes a eficiência do uso da água (%) com relação ao tipo de irrigação utilizado por cada cultura. Para os dois tipos de cultura, foi adotada a precipitação efetiva em um nível de 100% de garantia, nível em que a cultura consegue aproveitar totalmente a água da chuva.

Com base nas culturas temporárias presentes nas áreas estudadas a eficiência do uso da água foi estabelecida em 80%, que representa o método de aspersão. Com relação as culturas permanentes, a eficiência do uso da água foi adotada em 95%, o que compreende a utilização de método localizado (ANA, 2019).

Logo, foi realizada uma distribuição dos dados de necessidade de irrigação considerando o período de 12 meses para as mesmas culturas existentes nas sub-bacias, uma vez que, as áreas estudadas não apresentam mudanças abruptas, pois a região apresenta atividades agrícolas bem consolidadas. Esta análise permitiu identificar os níveis mínimo e máximo e a mediana referente as necessidades hídricas das culturas por ano.

### 5.2.3.1.2 Cálculo da DHP<sub>a</sub> nas sub-bacias hidrográficas em estudo

A determinação da DHP<sub>a</sub> foi calculada por meio da Equação 9, para cada sub-bacia hidrográfica considerando a necessidade de irrigação para um dia de cada mês do período analisado (maio/2019 a abril/2020), com base nas áreas plantadas das culturas (temporárias e permanentes) existentes.

$$DHP_a = \left[ \left( \sum_{i=1}^n (NIct_i \times A_i) \right) + \left( \sum_{j=1}^n (NIcp_j \times A_j) \right) \right] \quad (9)$$

Em que,

DHP<sub>a</sub>: demanda hídrica potencial diária do setor agrícola (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>);

NIct<sub>i</sub>: necessidade de irrigação das culturas temporárias por estágio de desenvolvimento (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>);

A<sub>i</sub>: área das culturas temporárias por estágio de desenvolvimento (ha);

NIcp<sub>j</sub>: necessidade de irrigação por culturas permanentes (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>); e

A<sub>j</sub>: área das culturas permanentes (ha).

A plataforma “Coeficientes Técnicos para a Agricultura Irrigada” não apresenta valores da necessidade de irrigação da cultura da amora, diante disto, a quantidade de água para a irrigação durante um dia para a cultura foi adotada conforme Reisser Júnior e Antunes (2013). Segundo os autores, o consumo de água por semana da cultura pode variar entre 25 a 30mm, dessa forma, o valor diário da necessidade de irrigação da cultura foi considerado em  $4,29 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , para o maior consumo (30mm) durante a semana.

Assim como para a cultura da amora, a plataforma utilizada não dispõe de valores da necessidade de irrigação para a cultura do morango e nem para flores. Dessa forma, foram considerados os valores de vazão das captações de água existentes para irrigação na SB(G). A demanda de água para estas duas culturas foi calculada em conjunto, uma vez que, esta área apresenta a produção destas culturas durante o decorrer do ano.

A SB(H) também apresenta o cultivo de flores, mais especificamente de rosas, no entanto, não possui nenhuma captação de água para utilizar como referência no cálculo da demanda hídrica potencial. Segundo Barbosa et al. (2005), o volume médio de água utilizado na irrigação da cultura varia entre 2,0 a 3,0  $\text{L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Para o cálculo da demanda hídrica potencial foi utilizado como referência o maior valor de consumo apresentado anteriormente.

No cálculo da  $DHP_a$ , foram também integrados o consumo de água para os viveiros de mudas (exóticas, frutíferas, nativas e ornamentais). A medição da água nesta classe foi estabelecida com base no critério de que um viveiro de 30.000 mudas consome  $0,0012 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de água, portanto, esse dado foi reproduzido para a extensão dos viveiros existentes nas sub-bacias SB(C) e SB(D). Com relação as hortaliças existentes na SB(E), foi considerado o volume diário definido por Brito e Cavalcanti (2013), sendo que o volume diário para a irrigação de 0,0001ha de hortaliças consiste em  $0,024 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ .

### **5.2.3.2 Demanda hídrica diária do setor pecuário ( $DH_p$ ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo**

A Demanda Hídrica do Setor Pecuário ( $DH_p$ ), envolveu o levantamento *in situ* para quantificar os animais por rebanho em cada sub-bacia, bem como, o estudo bibliográfico para o conhecimento da quantidade de água necessária para a dessedentação dos animais. De acordo com Costa et al. (2021), a etapa de levantamento de dados deve acontecer de forma contínua, para fins de descobrir meios que minimizem os desperdícios no ciclo da água nas atividades, bem como contribuir com o desenvolvimento de técnicas para o monitoramento do consumo hídrico por animal.

Para o cálculo da  $DH_p$ , em primeiro momento foram identificadas as áreas de pastagens existentes nas sub-bacias em imagens de satélite de alta resolução disponíveis na plataforma do Google Earth Pro<sup>®</sup>. Após a identificação das áreas, foram realizadas visitas de campo nos meses de junho e setembro do ano de 2020 e nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2021. Os dados foram coletados por meio de informações relatadas pelos próprios proprietários rurais e/ou funcionários.

A catalogação dos dados foi realizada por meio do preenchimento de planilhas em campo, contendo a quantidade dos animais por rebanho e sua geolocalização (Apêndice C). Em seguida, os dados foram inseridos no *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>, para se obter um banco de dados georreferenciado com a distribuição espacial dos animais por sub-bacias.

Com relação ao estudo bibliográfico, foram levantadas nas plataformas de busca, artigos e documentos que apresentam a quantidade de água necessária para cada animal, considerando os rebanhos existentes nas áreas de estudo. Os valores de referência quanto à necessidade de água por tipo de animal, foram adotados àqueles da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, ano base 2017 (ANA, 2017), devido os valores de consumo serem de abrangência nacional, o que retrata melhor a necessidade de água dos animais adaptados em clima tropical.

Com base nos dados foi calculada a demanda hídrica do setor pecuário nas sub-bacias hidrográficas, por meio da Equação 10.

$$DH_p = \sum_{i=1}^n (Na_i \times Cad_i) \quad (10)$$

Em que,

$DH_p$ : demanda hídrica do setor pecuário ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

$Na_i$ : número de animais por rebanhos (Número de animais); e

$Cad_i$ : consumo de água demandada por animal de cada rebanho ( $m^3 \text{ animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).

### **5.2.3.3 Demanda hídrica diária do setor populacional ( $DH_{pop}$ ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo**

A Demanda Hídrica do Setor Populacional ( $DH_{pop}$ ) das sub-bacias estudadas consiste na quantidade de água necessária para satisfazer os consumos domésticos, bem como para uso da população no ambiente comercial, público e industrial.

A determinação desta demanda hídrica envolveu a Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (RG) das populações, bem como a densidade demográfica (habitantes por km<sup>2</sup>). A RG foi calculada pelo método geométrico, o qual indica que a população cresce de acordo com uma progressão geométrica, a uma razão constante por unidade de tempo, conforme a Equação 11.

$$RG = \left[ \left( \sqrt[n]{\frac{P_t + n}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (11)$$

Em que:

$P_t + n$ : população no final do período considerado (habitantes); e

$P_0$ : população no início do período considerado (habitantes).

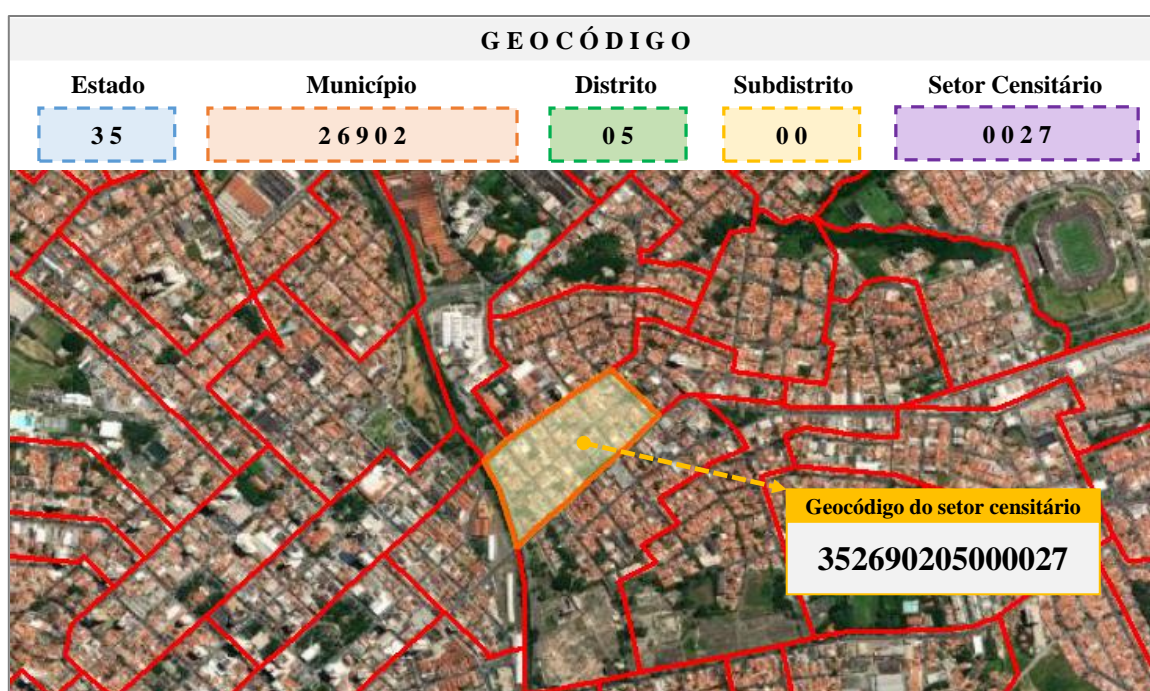
No cálculo da RG foram considerados os períodos de 2000 a 2010 e de 2010 a 2019, o número de habitantes residentes dos anos 2000 e 2010 nos municípios que se situam as sub-bacias, foram obtidos por meio dos censos demográficos elaborados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) destes respectivos anos. Enquanto que, para o ano de 2019, foi coletada no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) a estimativa da população, devido ainda não se ter realizado o levantamento de dados demográficos para a elaboração do novo censo do país (com previsão para o ano de 2022).

A densidade demográfica foi adquirida em formato de tabela (.dbf), por meio de uma solicitação junto ao IBGE no Sistema de Informação ao Cidadão (SIC). Logo, os dados foram associados com os polígonos referentes aos setores censitários do ano de 2010 por meio da ferramenta *Join* do *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>, que permitiu a compilação dos dados numéricos aos dados cartográficos. Os setores censitários são caracterizados como unidades territoriais utilizadas com a finalidade de controle cadastral, com tamanho e número de domicílios que possibilitam o levantamento de dados por um recenseador. O setor é formado por uma área contínua localizada em um único polígono, podendo ser urbano ou rural (IBGE, 2021).

As estimativas anuais de população são consideradas um dado fundamental para as projeções populacionais necessárias para o cálculo de demandas futuras (COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, 2021). Devido a inexistência do número de habitantes no ano de 2019 por setor censitário, foi necessário multiplicar a densidade demográfica pela área de cada setor censitário, sendo as duas variáveis referente ao ano de 2010, para obter a população por setor em cada sub-bacia. Em seguida, a população do ano de

2010 de cada setor censitário foi multiplicada pela RG correspondente ao período entre os anos de 2010 a 2019, tal processo possibilitou obter a população de 2019 por cada setor censitário nas sub-bacias.

Cada setor censitário apresenta um número identificador (geocódigo) que permite localizá-lo no território nacional, como exemplo, a Figura 36 apresenta a sequência dos dígitos que constituem um geocódigo de um respectivo setor censitário e a espacialização de alguns setores censitários presentes na área urbana do município de Limeira.



**Figura 36** - Exemplo da espacialização dos setores censitários, com demonstração de um setor censitário na área urbana do município de Limeira (SP).

Em segundo momento, foi coletada para os municípios em que se situam as sub-bacias, o consumo médio per capita de água referente aos anos de 2000 a 2019, disponível no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS - Série Histórica), acessível pelo link (<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>). Este indicador refere-se a média diária, por habitante, dos volumes utilizados para usos em domicílios, como em ambiente comercial, público e industrial (SNIS, 2019).

Para o cálculo da  $DH_{pop}$  foi utilizado somente o consumo médio por habitantes do ano de 2019. Para uma análise descritiva do uso da água no abastecimento público nos municípios que compõem as sub-bacias estudadas, foi relatado o consumo médio per capita dos anos de 2006 a 2019, visto que, os anos anteriores não apresentaram dados para a maioria dos municípios.



Com base nesses dados, a  $DH_{pop}$  foi calculada considerando variáveis demográficas associada com a quantidade de água necessária utilizada pela população das sub-bacias hidrográficas estudadas. A determinação foi realizada de acordo com a Equação 12.

$$DH_{pop} = \sum_{i=1}^n ((A_{sc} \times DD_{sc}) \times RG) \times C_{per\ capita} \quad (12)$$

Em que:

$DH_{pop}$ : demanda hídrica do setor populacional ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

$A_{sc}$ : área de cada setor censitário referente ao ano de 2010 que abrange a respectiva SB ( $km^2$ );

$DD$ : densidade demográfica referente ao ano de 2010 por setor censitário ( $hab \text{ km}^{-2}$ );

$RG$ : taxa média geométrica de crescimento anual (2010 a 2019) (%); e

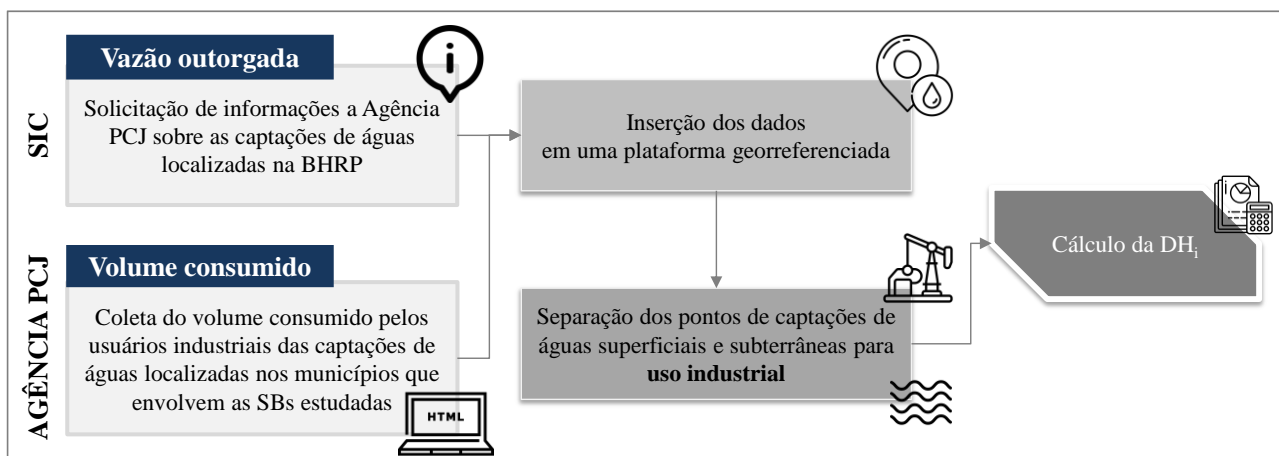
$C_{per\ capita}$ : consumo médio de água per capita no ano de 2019 ( $m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).

#### **5.2.3.4 Demanda hídrica diária do setor industrial ( $DH_i$ ) nas sub-bacias hidrográficas em estudo**

A demanda hídrica nas indústrias envolve as necessidades de água nos processos e operações de fabricação, na geração de energia, no resfriamento, bem como no uso doméstico de água nas próprias indústrias, como limpeza, higiene de funcionários e saneamento, entre outros (SAIDAN, 2020). No entanto, uma das dificuldades para calcular esta demanda é a falta de dados referente ao consumo de água nas indústrias, estes são muito escassos em muitos países em desenvolvimento (JOSEPH et al., 2019).

Assim como em outros locais, as informações das indústrias no Brasil não são armazenadas e disponibilizadas em um único sistema que permite a coleta de informações pelos gestores e para a consulta pública, como a geolocalização, o ramo de atividade, o número de funcionários, as informações dos processos produtivos, muito menos se a indústria adota produção sustentável, entre outros fatores. Desta forma, esta condição é um entrave para determinar a demanda de água no setor.

Diante desta situação, neste trabalho a Demanda Hídrica do Setor Industrial ( $DH_i$ ) das sub-bacias estudadas dependeu das informações dos pontos de captação de água tanto superficiais como subterrâneas inseridos em seus limites fisiográficos. A Figura 37 apresenta um esquema ilustrativo das etapas realizadas para o cálculo da  $DH_i$ .



**Figura 37** - Etapas executadas para a determinação da DH<sub>i</sub> nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Em primeiro momento, foi realizada uma solicitação para obter informações das captações de águas (subterrâneas e superficiais) existentes na BHRP por meio do SIC a Agência das Bacias Hidrográficas PCJ, a qual possui um banco de dados atualizado diariamente das outorgas de direitos do uso dos recursos hídricos, por finalidade de uso. Os dados das captações superficiais e subterrâneas foram disponibilizados em formato *.xlsx*, estes foram separados apenas para os municípios que englobam as sub-bacias estudadas.

Em seguida, os dados por municípios foram inseridos e espacializados separadamente no *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>, para fins de identificar a localização e o número de captações de água, bem como a vazão outorgada utilizada no processo fabril e/ou em algum outro uso na indústria, como o sanitário. Destaca-se que o consumo médio de água demandado por funcionário não foi levado em consideração nesta demanda, uma vez que este dado foi analisado na DH<sub>pop</sub>, quando o recurso é provido da rede pública de abastecimento, de acordo com o mencionado no item 5.2.3.3 deste trabalho.

No entanto, vale ressaltar que algumas captações de água são de usos mistos (Sanitário/Industrial), nestes casos, estes pontos foram considerados, devido a água ser utilizada tanto no processo de produção, como para o uso sanitário na indústria, quando não se utiliza água do sistema público de abastecimento, mas sim do volume outorgado na captação.

Para a determinação mais legítima da demanda hídrica no setor, em segundo momento foi realizada uma solicitação junto a Coordenação de Cobranças de Água das Bacias PCJ, para aquisição do volume consumido por cada usuário regularmente cadastrado na cobrança estadual paulista referente aos anos de 2019 e 2020, independentemente da finalidade de uso. Esses dados também foram disponibilizados em planilhas de formato *.xlsx*, logo foram filtrados os usuários industriais existentes nas áreas de estudo.

Posteriormente, foi executada uma análise integrada das duas bases adquiridas, sendo que a primeira dispõe das vazões que constam nas Portarias de Outorga, e a segunda que compreende o volume consumido anual de cada usuário por setor. A partir de uma simples conversão de unidades foi transformado o volume consumido de  $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$  para  $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , sendo esta a unidade considerada para o cálculo da demanda hídrica nas áreas estudadas. No cômputo da  $DH_i$  foram consideradas as datas de publicação das Portarias de Outorga, bem como os volumes consumidos referente ao período de análise deste trabalho (maio de 2019 a abril de 2020).

Com base nos dados obtidos, a determinação da  $DH_i$  de cada sub-bacia estudada foi calculada baseada no volume consumido ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ) de cada indústria que dispõe de cadastro devidamente regularizado junto ao órgão competente. No entanto, os usuários cadastrados que são isentos de cobrança foram considerados no cálculo utilizando a vazão apresentada na respectiva Portaria de Outorga. Dessa forma, a  $DH_i$  foi determinada de acordo com a Equação 13 apresentada a seguir.

$$DH_i = \left( \sum_{i=1}^n V_{sup_i} \right) + \left( \sum_{j=1}^n V_{sub_j} \right) \quad (13)$$

Onde,  $i$  e  $j$  se referem, respectivamente, as captações superficiais e as captações subterrâneas nas sub-bacias hidrográficas em estudo.

$DH_i$ : demanda hídrica do setor industrial ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ );

$V_{sup_i}$ : volume consumido de cada captação superficial para o uso industrial ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ );

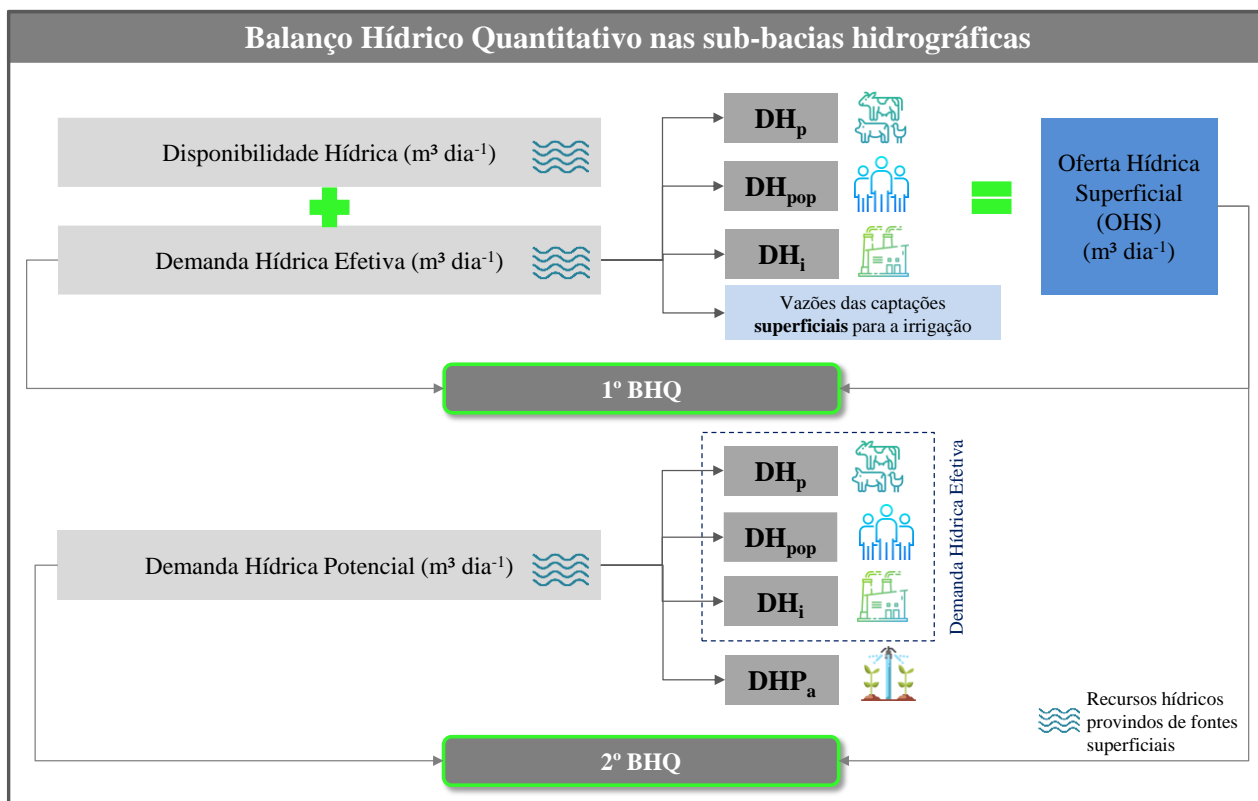
$V_{sub_j}$ : volume consumido de cada captação subterrânea para o uso industrial ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ).

#### 5.2.4 Relação da demanda e oferta hídrica nas sub-bacias hidrográficas em estudo

O Balanço Hídrico Quantitativo (BHQ) é considerado uma ferramenta de gestão para identificar pressões e potenciais conflitos que podem atingir os recursos hídricos perante vários cenários, além de ser um indicador do nível de comprometimento hídrico. Consiste na razão entre a demanda e a oferta hídrica, e se destaca como um elemento essencial para orientar na gestão e no planejamento das BHs (ANA, 2021).

Esta etapa consistiu na elaboração de dois BHQs das sub-bacias hidrográficas estudadas, considerando somente os recursos hídricos superficiais. Para isto, foi essencial o conhecimento da demanda hídrica superficial dos diferentes setores apresentados nos itens anteriores, bem como, a disponibilidade hídrica superficial das áreas estudadas.

Importante destacar que o primeiro BHQ foi elaborado para compreender a situação dos recursos hídricos nas sub-bacias hidrográficas de acordo com dados reais levantados nas áreas, ou seja, considerando as demandas hídricas efetivas dos setores pecuário, populacional e industrial e as captações de águas superficiais destinadas a irrigação. O segundo BHQ foi determinado considerando a  $DHP_a$ , de forma a mostrar o comprometimento dos recursos hídricos das áreas estudadas caso ocorra a necessidade de irrigação das plantações existentes. Os atributos adotados para a realização dos dois BHQs estão apresentados na Figura 38.



**Figura 38** - Etapas para a realização dos BHQs nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Em primeiro momento, foram adotados os pontos de captações de água da mesma base de dados utilizada no item 5.2.3.4. Estes foram espacializados no *software* ArcGIS 10.5.1<sup>®</sup>. Posteriormente, foram identificados os pontos que se encontraram nos limites das áreas de estudo e as suas finalidades de uso. Vale ressaltar, que para os usuários que são isentos de cobrança foi adotado o volume outorgado de acordo com a Portaria de Outorgas, sendo mais comum em usuários rurais (por exemplo, com práticas de irrigação).

Logo, os valores das vazões das captações subterrâneas foram descontados dos valores das respectivas demandas hídricas ( $DHP_a$ ,  $DH_p$ ,  $DH_{pop}$  e  $DH_i$ ), calculadas de acordo com os itens 5.2.3.1 a 5.2.3.4, de forma a garantir que os cálculos dos BHQs consideraram apenas os recursos hídricos superficiais. Vale ressaltar que, também foram respeitados nos cálculos a data de publicação das

respectivas Portarias de Outorgas, tanto referente as captações superficiais como as subterrâneas, considerando o período analisado entre maio/2019 a abril/2020.

Especificamente na SB(E) aconteceu uma anomalia quanto a demanda hídrica do setor populacional, visto que, seu volume consumido para o abastecimento público é oriundo de fonte subterrânea e supera ao calculado pelo método adotado neste trabalho, dessa forma optou-se por considerar no cálculo dos BHQs, a demanda como sendo zero, assegurando que o abastecimento da área não provém de captação superficial. As vazões referentes as captações superficiais e subterrâneas nas sub-bacias estudadas estão listadas na Tabela 53 no Apêndice F.

A disponibilidade hídrica superficial foi obtida por meio do método de batimetria realizado *in situ* nas sub-bacias estudadas, com o uso de molinete hidrométrico para aferir a velocidade de fluxo dos canais de drenagem principais das sub-bacias hidrográficas estudadas, bem como a vazão. O monitoramento fluviométrico foi realizado uma vez em cada mês entre o período de maio de 2019 a abril de 2020, conforme Carvalho (2022).

Neste trabalho, considerou-se que a oferta hídrica superficial de cada sub-bacia corresponde a soma das vazões das captações superficiais para a irrigação com a demanda hídrica efetiva dos setores pecuário, populacional e industrial, e a disponibilidade hídrica superficial (Equação 14). A  $DHP_a$  não foi considerada neste caso por ser uma demanda potencial, ou seja, pode ou não ocorrer nas sub-bacias, em função das necessidades hídricas de cada área.

$$OHS = Q_{sup} + DH_p + DH_{pop} + DH_i + DH \quad (14)$$

Em que,

OHS: oferta hídrica superficial ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

$Q_{sup}$ : vazão das captações superficiais para a irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

$DH_p$ : demanda hídrica do setor pecuário ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

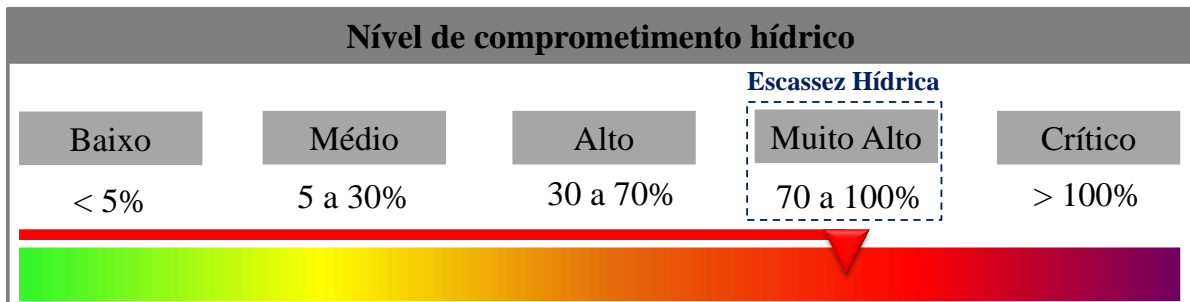
$DH_{pop}$ : demanda hídrica do setor populacional ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

$DH_i$ : demanda hídrica do setor industrial ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ );

DH: disponibilidade hídrica superficial ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ).

Para identificar se as áreas de estudo sofrem escassez hídrica, foram adotados os níveis de comprometimento hídrico estabelecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), associando o critério definido por Ca (2007) que retrata a escassez de água em áreas cuja demanda hídrica é  $\geq 75\%$  da oferta hídrica superficial (Figura 39).

Dessa forma, foi calculado o percentual da demanda utilizada em relação a oferta hídrica superficial em cada sub-bacia. O procedimento foi realizado considerando tanto a demanda hídrica efetiva dos setores quanto a demanda hídrica potencial do setor agrícola, apresentados nos dois BHQs.



**Figura 39** - Nível de comprometimento hídrico conforme a ANA (2021).

### 6.1 Obtenção das sub-bacias hidrográficas estudadas

Dar prioridade as sub-bacias hidrográficas em relação a uma área de drenagem maior é uma etapa decisiva para alcançar uma gestão eficiente dos recursos naturais (RAHMATI et al., 2019). No entanto, uma das etapas iniciais e mais comumente realizadas em análises hidrológicas ou ambientais é a caracterização da morfometria de uma BH, com a finalidade de interpretar as diversas questões que se relacionam com a dinâmica ambiental, regional e local (TEODORO et al., 2007).

Considerando, portanto, que a sub-bacia hidrográfica é a uma unidade mais apropriada para estudo hidrológico, foi realizada uma análise estatística baseada na extensão territorial e em três índices morfométricos para a escolha das sub-bacias hidrográficas a serem estudadas com mais detalhe em relação a demanda hídrica. Os procedimentos metodológicos para a seleção das áreas de drenagem de 4ª ordem de ramificação estão descritos em detalhes no item 5.2.2 deste trabalho, conforme Lorandi et al. (2019).

As sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação na BHRP totalizam 180, estas abrangem uma dimensão territorial que varia de 2,89 km<sup>2</sup> a 304,07 km<sup>2</sup>. A Figura 40 apresenta a distribuição dos valores absolutos referente a área, a densidade de drenagem, a densidade hidrográfica e o índice de circularidade das 180 sub-bacias hidrográficas. Pode-se notar que, a maioria das sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem situadas na BHRP apresentam extensões inferiores a 100 km<sup>2</sup>, densidade de drenagem abaixo de 4 km/km<sup>2</sup>, densidade hidrográfica não ultrapassando a 4 canais por km<sup>2</sup>, e o índice de circularidade inferior a 0,6.

Após a análise de agrupamentos considerando a área e os índices morfométricos (Tabela 38, Apêndice A), por meio do dendrograma (apresentado na Figura 122 do Apêndice A) foram observados 45 grupos de sub-bacias hidrográficas. Das 180 sub-bacias de 4ª ordem, 50 não correspondem a nenhum dos grupos formados, estas foram definidas como unidades anômalas, ou seja, são áreas que apresentam dissimilaridade com relação aos parâmetros considerados na análise estatística.

Dos grupos formados foram escolhidos 4, visto que para cada grupo escolhido foi considerado um par de sub-bacias hidrográficas. Para a escolha dos pares foram analisadas a localização das sub-bacias hidrográficas na BHRP, a fim de abranger regiões que apresentam diferenças quanto as suas

características físicas e antrópicas, para compreender como as especificidades de cada área interferem na relação da demanda e oferta hídrica nos pares de sub-bacias hidrográficas morfometricamente semelhantes.

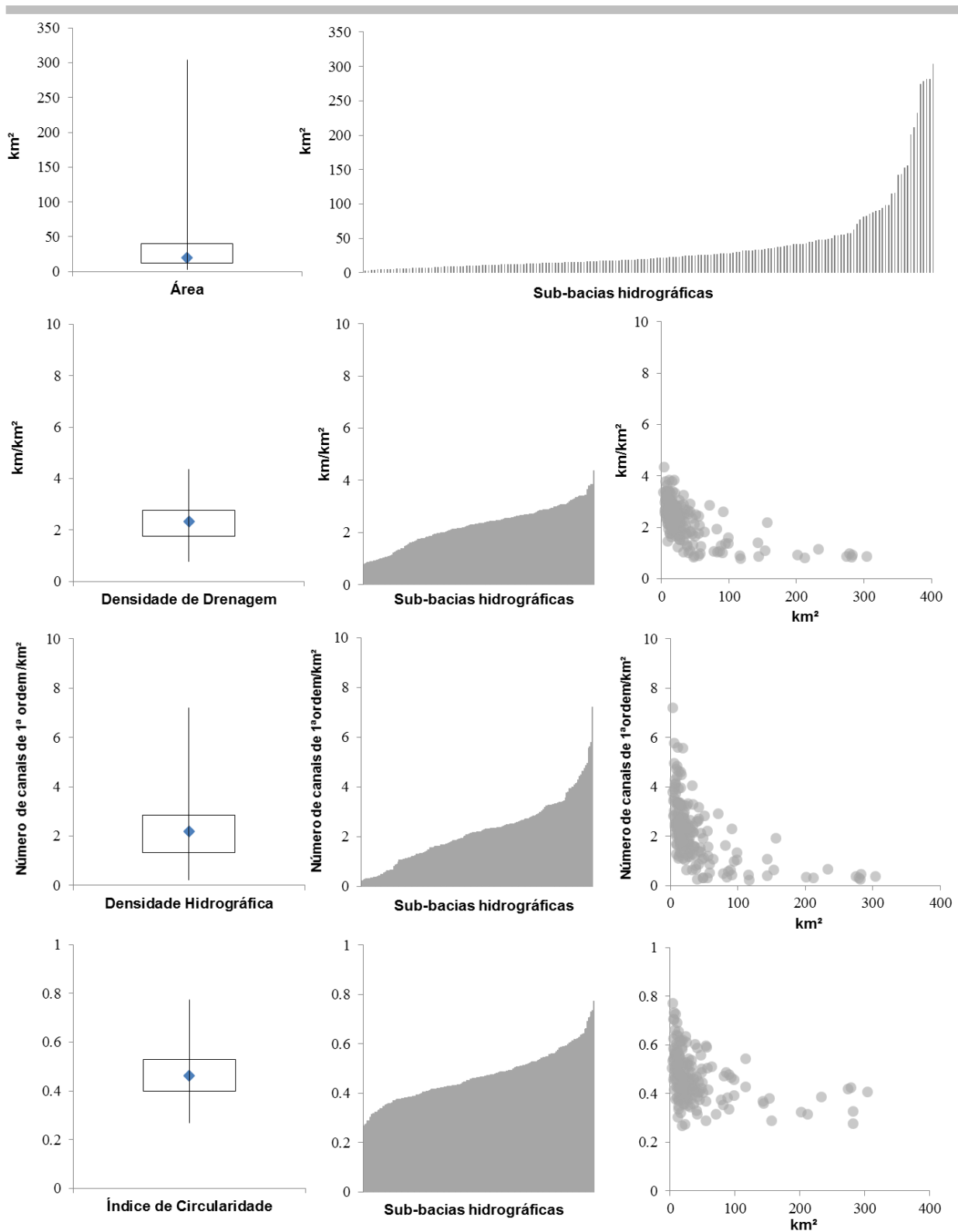
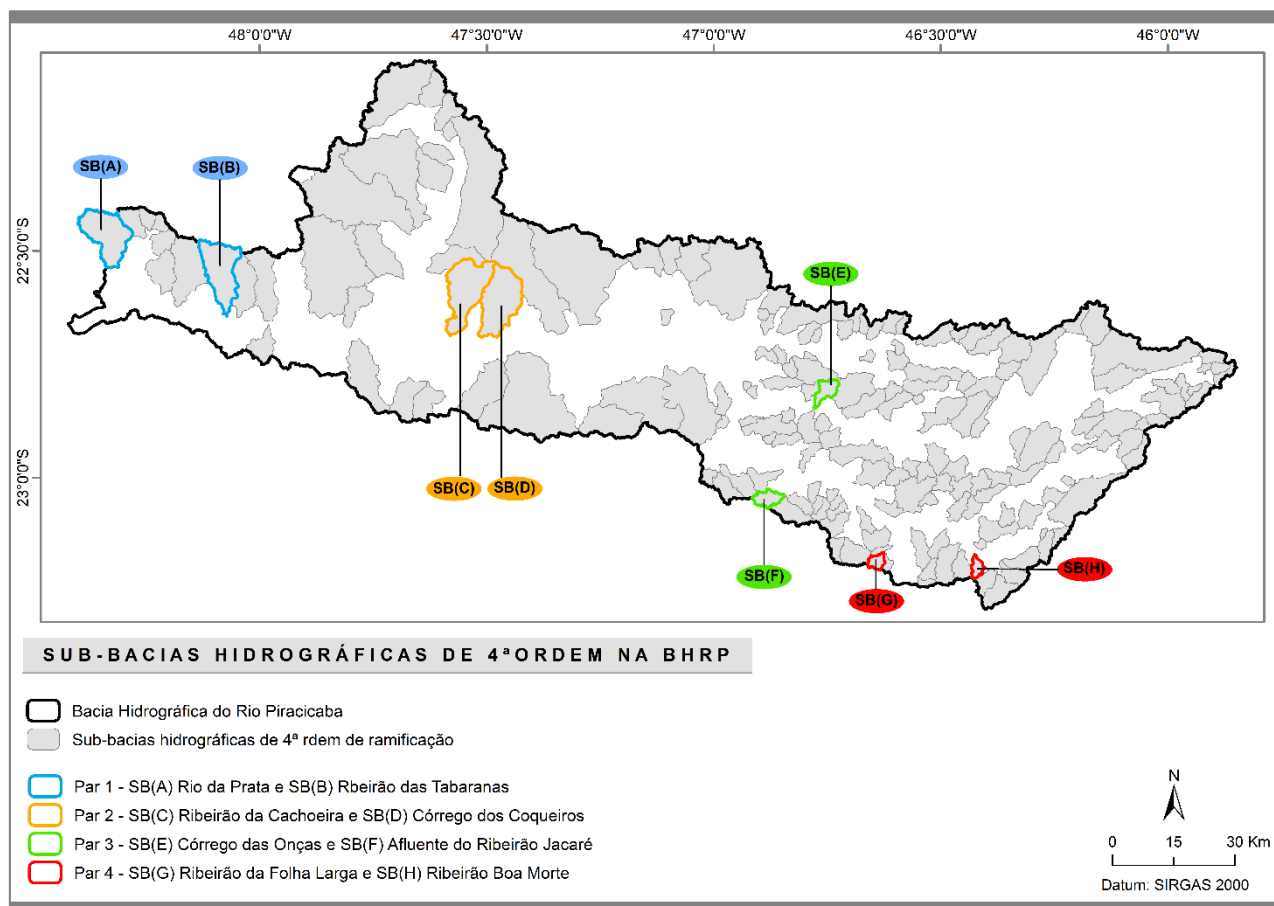


Figura 40 - Distribuição dos valores de cada atributo para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem da BHRP.



A Figura 41 apresenta a localização das 180 sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação na BHRP, bem como, os 4 Pares de sub-bacias hidrográficas estudadas. A Tabela 29 apresenta os valores referentes a área e os índices morfométricos dos 4 Pares de sub-bacias hidrográficas escolhidas.



**Figura 41** - Sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação da BHRP e os quatro Pares das sub-bacias hidrográficas estudadas.

**Tabela 29** - Dados quantitativos dos pares de sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem.

Pares	Sub-Bacias Hidrográficas	A	Dd	Dh	Ic
1	SB(A) Sub-bacia Hidrográfica do Rio da Prata	98,71	1,60	1,34	0,46
	SB(B) Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas	98,42	1,38	1,06	0,39
2	SB(C) Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira	116,27	0,79	0,22	0,43
	SB(D) Sub-bacia Hidrográfica do Córrego dos Coqueiros	115,56	0,91	0,44	0,55
3	SB(E) Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças	20,37	2,35	2,21	0,45
	SB(F) Sub-bacia Hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré	19,83	2,42	2,37	0,47
4	SB(G) Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga	10,96	2,86	3,29	0,57
	SB(H) Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Boa Morte	10,53	3,08	3,33	0,51

A: Área (km²) Dd: Densidade de drenagem (km/km²) Dh: Densidade hidrográfica (canais/km²) Ic: Índice de Circularidade

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2020).

De acordo com os valores apresentados, os Pares 1 e 2 abrangem maiores áreas de drenagem, as sub-bacias hidrográficas que os compõem estão situadas em terrenos sedimentares situadas na porção oeste da BHRP, esta condição pode influenciar a densidade de drenagem pelo motivo da região apresentar solos bem drenados configurando em maior potencialidade à infiltração. Nestes pares, as sub-bacias hidrográficas apresentam a Dd entre 0,79 a 1,60 km/km<sup>2</sup>, de acordo com os valores do índice é classificada como regular a boa (VILLELA e MATTOS, 1975).

Em comparação, as sub-bacias hidrográficas que formam os Pares 3 e 4 estão localizadas em terrenos cristalinos na porção leste da BHRP, apresentando menores extensões territoriais com inclinações mais acentuadas da superfície, favorecendo assim maior potencial ao escoamento superficial. Conforme os valores apresentados, a Dd é caracterizada como boa a muito boa, variando entre 2,35 a 3,08 km/km<sup>2</sup> (VILLELA e MATTOS, 1975).

Com relação a Dh, os Pares 1 e 2 apresentaram os menores valores, sendo que, as sub-bacias SB(C) e SB(D) representam os valores mais baixos não atingindo um canal por km<sup>2</sup>. As variabilidades nas características físicas dos pares de sub-bacias evidenciam diferentes padrões de drenagem. Dessa forma, a geomorfologia dos Pares 3 e 4 condiciona maior capacidade ao surgimento de pequenos canais de drenagem, que podem vir a cooperar sutilmente com a disponibilidade da água superficial.

Quanto ao Ic, todas as sub-bacias hidrográficas não são superiores a 0,57, isto mostra-se que são áreas que apresentam forma mais alongada, visto que, quando o Ic se aproxima ou iguala a 1, a sub-bacia possui formato circular (Cardoso, 2006), esta característica influencia na saída do fluxo de água da sub-bacia hidrográfica, ou seja, o tempo de concentração é menor, podendo ocasionar picos de enchente.

## **6.2 Determinação da demanda hídrica diária das sub-bacias hidrográficas estudadas**

A seguir são apresentadas as demandas hídricas potenciais do setor agrícola, e as demandas hídricas efetivas dos setores pecuário, populacional e industrial das sub-bacias hidrográficas estudadas, de acordo com os métodos empregados, descritos no item 5.2.3.

### **6.2.1 Demanda hídrica potencial diária do setor agrícola (DHP<sub>a</sub>)**

Com base no mapeamento do uso e cobertura do solo realizado no mês de junho de 2019, o Par 1 representado pelas sub-bacias hidrográficas SB(A) e SB(B), apresentaram suas áreas ocupadas predominantemente por vegetação natural (campos e matas), compreendendo respectivamente,

3.195,0ha (32,4% da área total) e 3.707,8ha (37,7% da área total). Observa-se pelos valores que as sub-bacias hidrográficas se assemelham quanto à preservação de suas áreas naturais.

A segunda classe de maior ocorrência no Par 1 refere-se às culturas temporárias, sendo representada na SB(A) pelo monocultivo de cana-de-açúcar, destacando-se como matéria-prima na produção de açúcar e etanol, constituindo uma área de 2.866ha (29% da área total), distribuída por toda sub-bacia hidrográfica. As culturas temporárias na SB(B) são compostas por cana-de-açúcar, apresentando 1.275,9ha (13% da área total), distribuída na região sul da sub-bacia hidrográfica, e por mandioca (Figura 42) constituindo 705,4ha (7,2% da área total), concentradas principalmente nas porções centro-oeste e sul da SB(B).



**Figura 42** - Plantação de mandioca na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 796092,60 mE; Y: 7501680,41 mS; Zona 22S). Fonte: Autora.

Pelas características da região, as áreas referentes às culturas temporárias podem alterar durante o ano, devido à época de pousio e/ou entressafra das culturas. As áreas consideradas como solo exposto são oriundas destes processos e compreendem 1.299,4 ha para a SB(A) e 364,3 ha para a SB(B). Estas áreas necessitam de manejos mais restritos que assegurem o não surgimento de feições erosivas, uma vez que os solos desta região apresentam maior porosidade, por serem predominantemente de textura arenosa.

As culturas permanentes nas sub-bacias hidrográficas do Par 1 não ultrapassaram 8% de suas áreas. Na SB(A) as culturas permanentes consistiram, principalmente, no cultivo de citros (laranja, limão e tangerina) com 726,3 ha (7,4% da área total) na região central onde as altitudes variam de

449 a 644 metros, seguido da produção de café com 4,4 ha (0,04% da área total). A SB(B) apresentou o cultivo de café e abacate nas regiões próximas a sua cabeceira, compreendendo respectivamente, 349 ha (3,5%) e 3 ha (0,03%), além do cultivo de citros situado nas regiões centro-oeste e sul, com 340,3 ha (3,5%). As Figuras 43 e 44 apresentam áreas com o cultivo de café, e a Figura 45 mostra o cultivo de citros na SB(B).



**Figura 43** - Plantação de café na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 799166,18 mE; Y: 7510815,11 mS; Zona 22S). Fonte: Autora.



**Figura 44** - Café irrigado por gotejamento na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 795205,19 mE; Y: 7510376,83 mS; Zona 22S). Fonte: Autora.



**Figura 45** - Plantação de laranja na sub-bacia hidrográfica SB(B). (Coordenadas UTM - X: 801596,57 mE; Y: 7496079,52mS; Zona 22S). Fonte: Autora.

No Par 1 a silvicultura ocupou poucas áreas nas sub-bacias hidrográficas, apresentando 277,6 ha (2,8%) na SB(A) e 1.218,2 ha (12,4%) na SB(B). A Figura 46 apresenta uma área ocupada por eucalipto na SB(A). A pastagem também foi pouco expressiva neste par, correspondendo a 1.472,2 ha (14,9%) em SB(A) e 1.728 ha (17,6%) em SB(B).



**Figura 46** - Silvicultura na sub-bacia hidrográfica SB(A). (Coordenadas UTM - X: 769866,85 mE; Y: 7512079,63 mS; Zona 22S). Fonte: Autora.

Com relação ao Par 2, este é constituído pelas sub-bacias hidrográficas SB(C) e SB(D), as duas áreas se destacaram com o cultivo de lavouras temporárias, mais especificamente por cana-de-açúcar, correspondendo 5.799,8 ha (49,9% da área total) na SB(C), enquanto na SB(D) a cultura ocupou uma área de 2.415,7 ha (20,9% da área total). Na SB(C) situa-se uma usina de cana-de-açúcar que atua na produção de açúcar e etanol, tal fato justifica o intenso monocultivo na região. Ressalta-se que as áreas destas sub-bacias hidrográficas se tangenciam parcialmente.

Assim como no Par 1, as duas sub-bacias hidrográficas apresentaram solo exposto. Estas áreas também são decorrentes do processo de pousio e/ou entressafra da cultura de cana-de-açúcar, que compreende a época de preparação do solo para um novo ciclo da cultura. As extensões do solo exposto nas sub-bacias SB(C) e SB(D) se enquadraram respectivamente, em 22,5% e 11,2% das suas áreas totais.

Além do cultivo da cana-de-açúcar, a SB(D) apresentou áreas ocupadas por lavouras de mandioca, milho e soja, totalizando 31,1ha. Esta sub-bacia hidrográfica também apresentou cultivos permanentes, com plantações de banana, café, citros (laranja, limão e tangerina) lichia, manga e noz-macadâmia. Dentre os cultivos encontrados, os citros se destacaram, representando 554,9 ha situados nas regiões central e sul. A ocorrência de culturas permanentes não é encontrada na SB(C).

Outras classes distribuídas na SB(D) que ocupam extensões menores são a silvicultura e a pastagem, correspondendo respectivamente, 1,2% e 5,2% da área. No município de Limeira, onde se situa esta sub-bacia hidrográfica, uma de suas atividades econômicas é a produção e comércio de mudas nativas, frutíferas, ornamentais e exóticas, a área ocupada pelos viveiros compreende a 315,6 ha.

O Par 2, diferente do Par 1, apresentou variação significativa quanto a vegetação natural. A SB(D) se destaca em áreas de matas e campos, abrangendo 31,2% de sua área total, enquanto a SB(C) atingiu 20% destas mesmas classes.

Pelo mapeamento do uso e cobertura do solo realizado, o Par 1 apresentou menor heterogeneidade das classes existentes nas extensões das sub-bacias hidrográficas que o compõe, contrapondo o Par 2, devido a SB(C) apresentar predominância de um sistema de monocultivo nas áreas agricultáveis, enquanto que a SB(D) se destacou pela maior diversidade nos seus usos agrícolas.

Com relação aos Pares 3 e 4 das sub-bacias hidrográficas estudadas, estes são compostos respectivamente: pelas sub-bacias hidrográficas SB(E) e SB(F); e pelas sub-bacias hidrográficas SB(G) e SB(H). As áreas de vegetação natural (campo e mata) nestes dois pares de sub-bacias

compreenderam mais que 50% de suas extensões territoriais, representando: 51,5% na SB(E); 59,0% na SB(F); 59,0% na SB(G); e 61,4% na SB(H). Pode-se observar, que os Pares 3 e 4 apresentaram áreas mais significantes de vegetação natural quando comparados com os Pares 1 e 2.

As culturas permanentes existentes na SB(E) estão localizadas próximas a sua cabeceira, e não ultrapassaram 36,2 ha, sendo que deste total, a noz-macadâmia compreende a maior parcela, com 1,7% da área total da sub-bacia, enquanto que o café abrange apenas 0,7 ha. As culturas permanentes presentes na SB(F) foram a uva (15,1 ha), o caqui (14,2 ha) e a amora (0,2 ha). As Figuras 47 e 48 mostram as culturas de caqui e de amora na SB(F).



**Figura 47** - Plantação de caqui na sub-bacia hidrográfica SB(F). (Coordenadas UTM - X: 306490,31 mE; Y: 7449603,56 mS; Zona 23S). Fonte: Autora.



**Figura 48** - Plantação de amora na sub-bacia hidrográfica SB(F). (Coordenadas UTM - X: 307874,18 mE; Y: 7449600,76 mS; Zona 23S). Fonte: Autora.

As culturas temporárias nas sub-bacias SB(E) e SB(F) não foram expressivas com relação as áreas de cultivo, visto que, a SB(E) totalizou apenas 3,6 ha (cana-de-açúcar e hortaliças (Figura 49)), enquanto, a SB(F) apresentou 8,4 ha representando o cultivo de vagem e tomate, compreendendo respectivamente, 0,3% e 0,1% da área total da sub-bacia hidrográfica.



**Figura 49** - Hortaliças na sub-bacia hidrográfica SB(E). (Coordenadas UTM - X: 319710,83 mE; Y: 7475351,95 mS; Zona 23S). Fonte: Autora.

A classe do uso e cobertura do solo que se destacou na SB(E) foi a silvicultura constituindo uma área de 762,1 ha (37,4% da área total), distribuída por toda sub-bacia hidrográfica. Esta classe na SB(F) abrangeu 200,3 ha (10,1% da área total), localizada no lado esquerdo quanto ao sentido de fluxo do rio principal. Com relação a pastagem, as sub-bacias hidrográficas do Par 3 não apresentam aptidão para criação de rebanhos em pastos, devido as características físicas destas áreas, como declividades acentuadas e pouca área destinada para tal finalidade, compreendendo em 5,6% e 11,3%, respectivamente, das sub-bacias SB(E) e SB(F).

No Par 4, a cultura permanente foi encontrada apenas na SB(G), representada pelo cultivo de pêsego (Figura 50), a área ocupada pela cultura compreendeu 42 ha, que correspondeu aproximadamente 3,8% da área total. Com relação as culturas temporárias, na SB(G) atingiram 78,7 ha, com os cultivos de flores (Aster, Crisântemo, Margarida e Tango) (Figura 51 e Figura 52) e morangos (Figura 53). Na SB(H) as flores também representaram a cultura temporária, com 2,3ha (0,2% da área total).



Na SB(G) a silvicultura ocupou 8,8% da extensão territorial, sendo que esta mesma classe na SB(H) consistiu em 235,7 ha (22,4%), situada na porção leste da sub-bacia hidrográfica próxima as áreas de vegetação nativa. A pastagem neste par de sub-bacias hidrográficas foi mais evidente na SB(G) representando 6,9% da área total.



**Figura 50** - Plantação de pêsego na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 331270,36 mE; Y: 7435703,77mS; Zona 23S). Fonte: Autora.



**Figura 51** - Flores (Crisântemo) na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 333096,72 mE; Y: 7436355,83 mS; Zona 23S). Fonte: Autora.

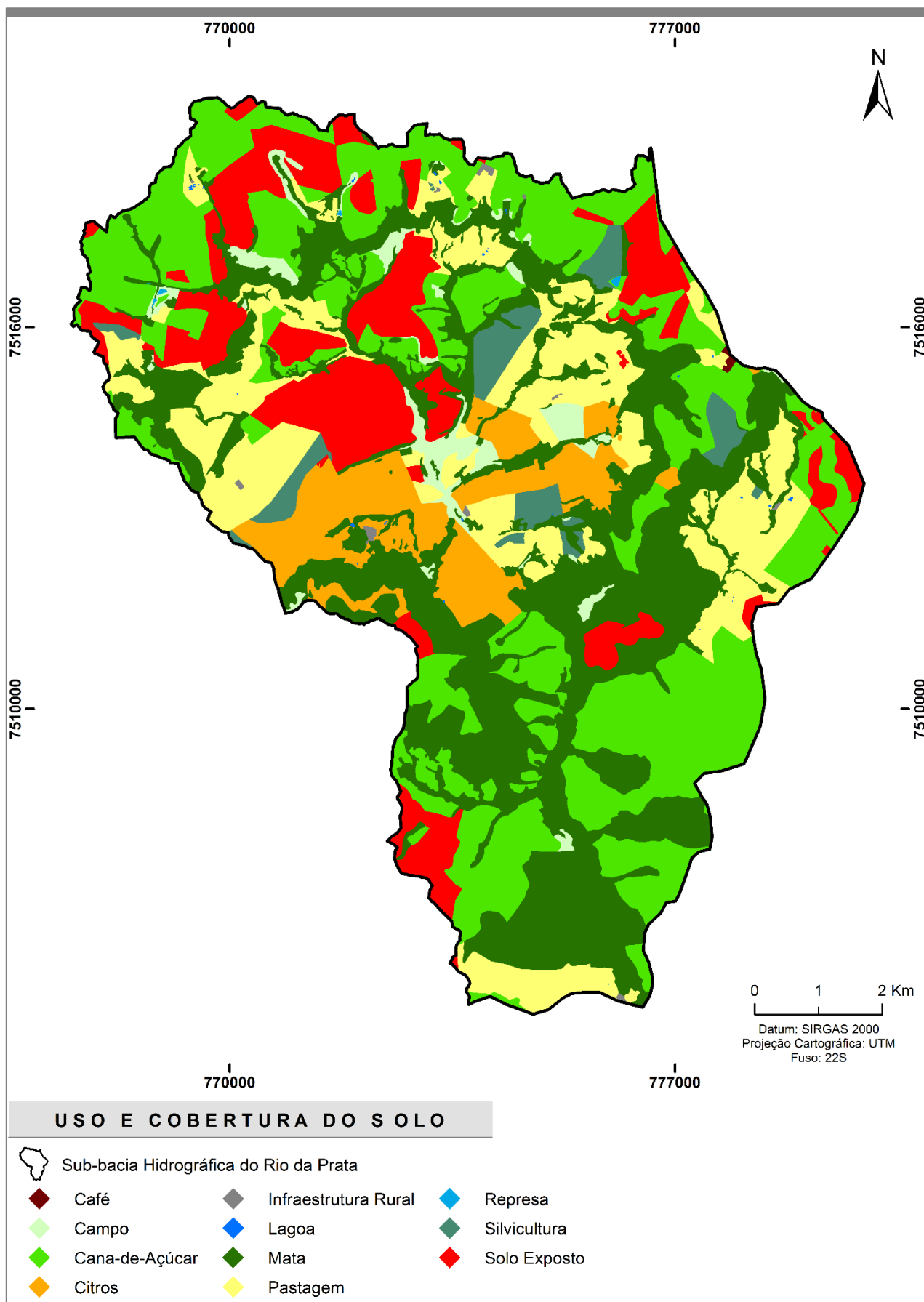


**Figura 52** - Flores (Tango) na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 333397,23 mE; Y: 7436750,57 mS; Zona 23S). Fonte: Autora.

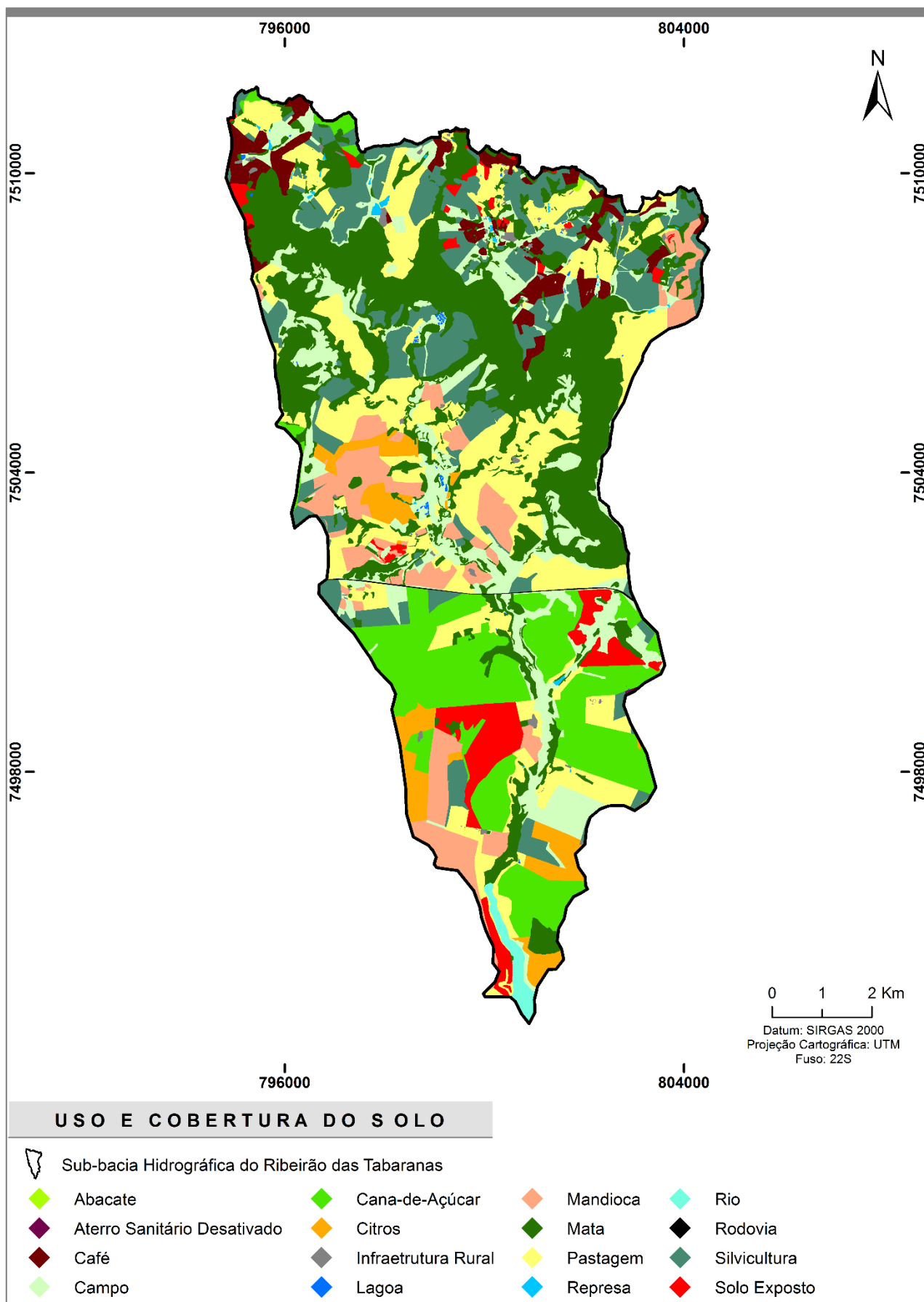


**Figura 53** - Cultura do morango na sub-bacia hidrográfica SB(G). (Coordenadas UTM - X: 331403,06 mE; Y: 7435314,22 mS; Zona 23S). Fonte: Autora.

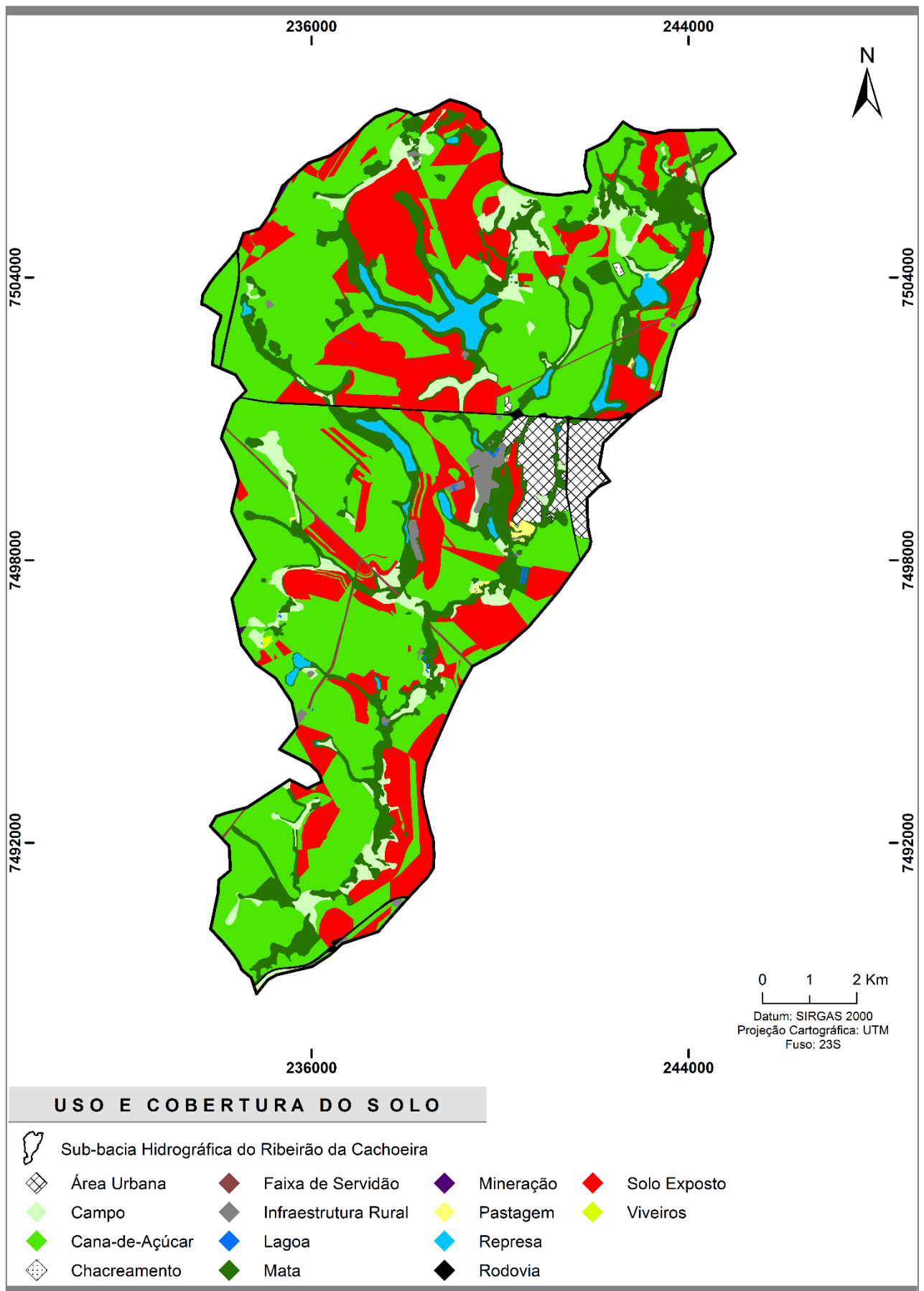
A Tabela 40 no Apêndice B apresenta a quantificação das classes dos mapas de uso e cobertura do solo das sub-bacias hidrográficas estudadas mostrados nas Figuras 54 a 61.



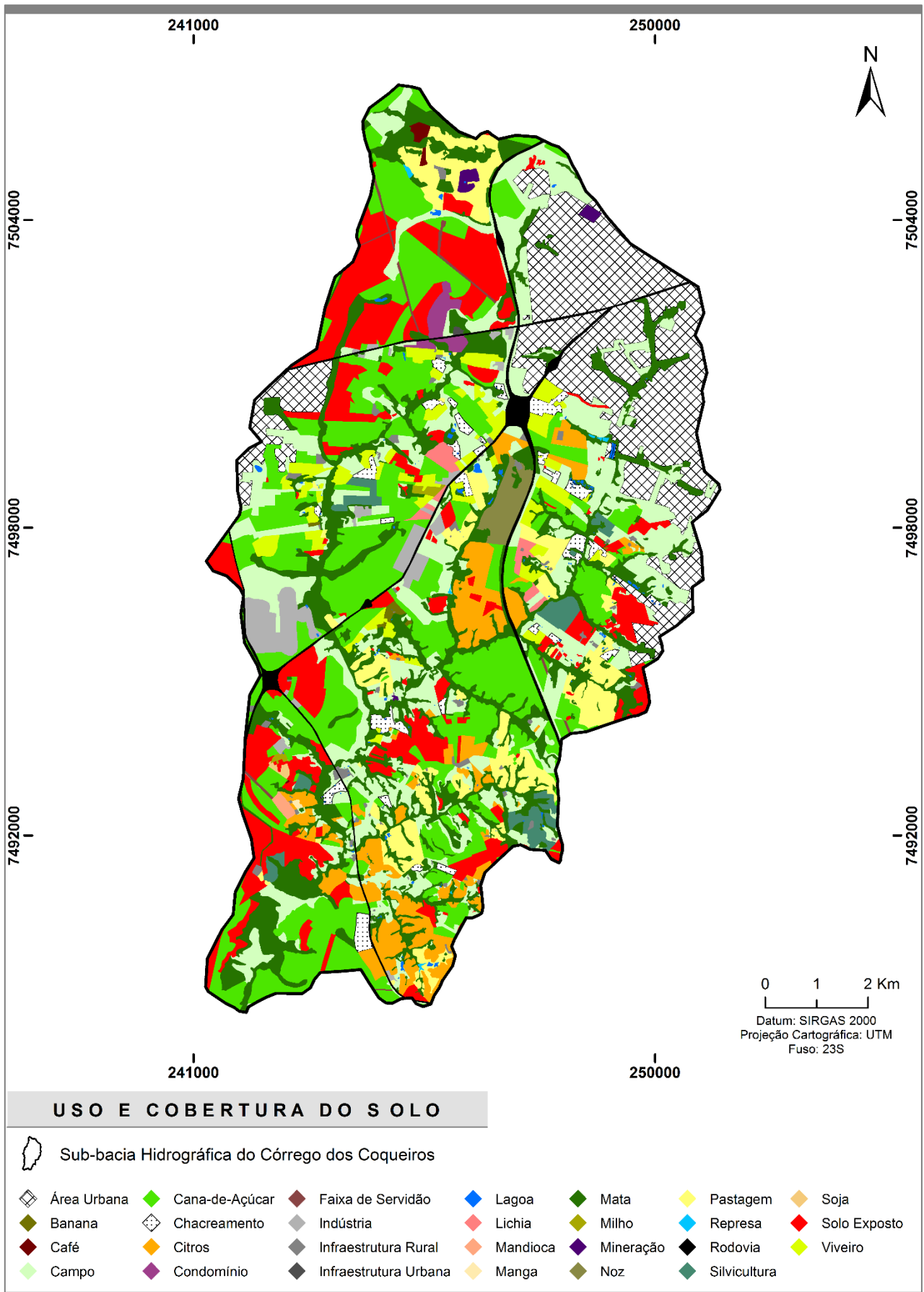
**Figura 54** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).



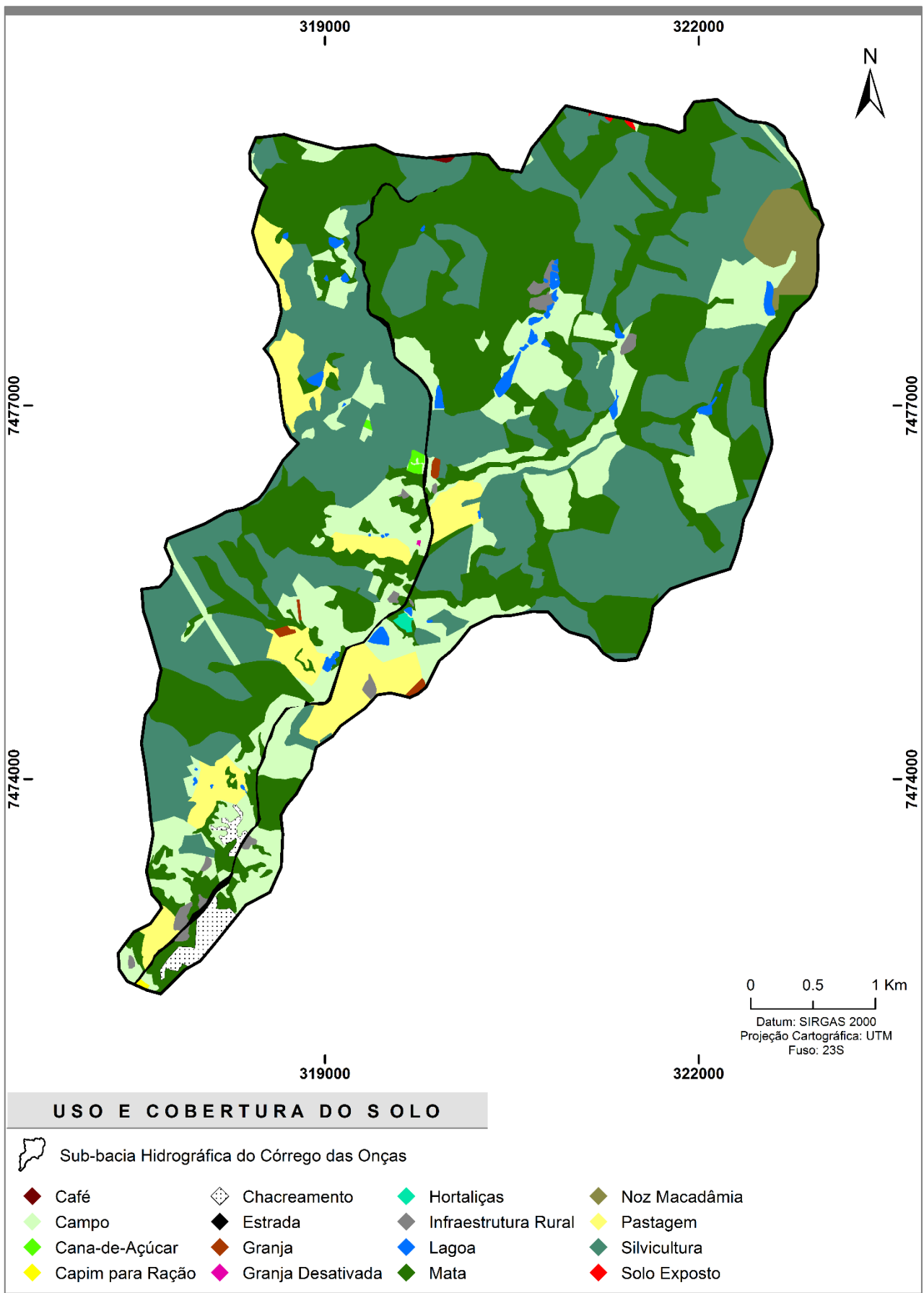
**Figura 55** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).



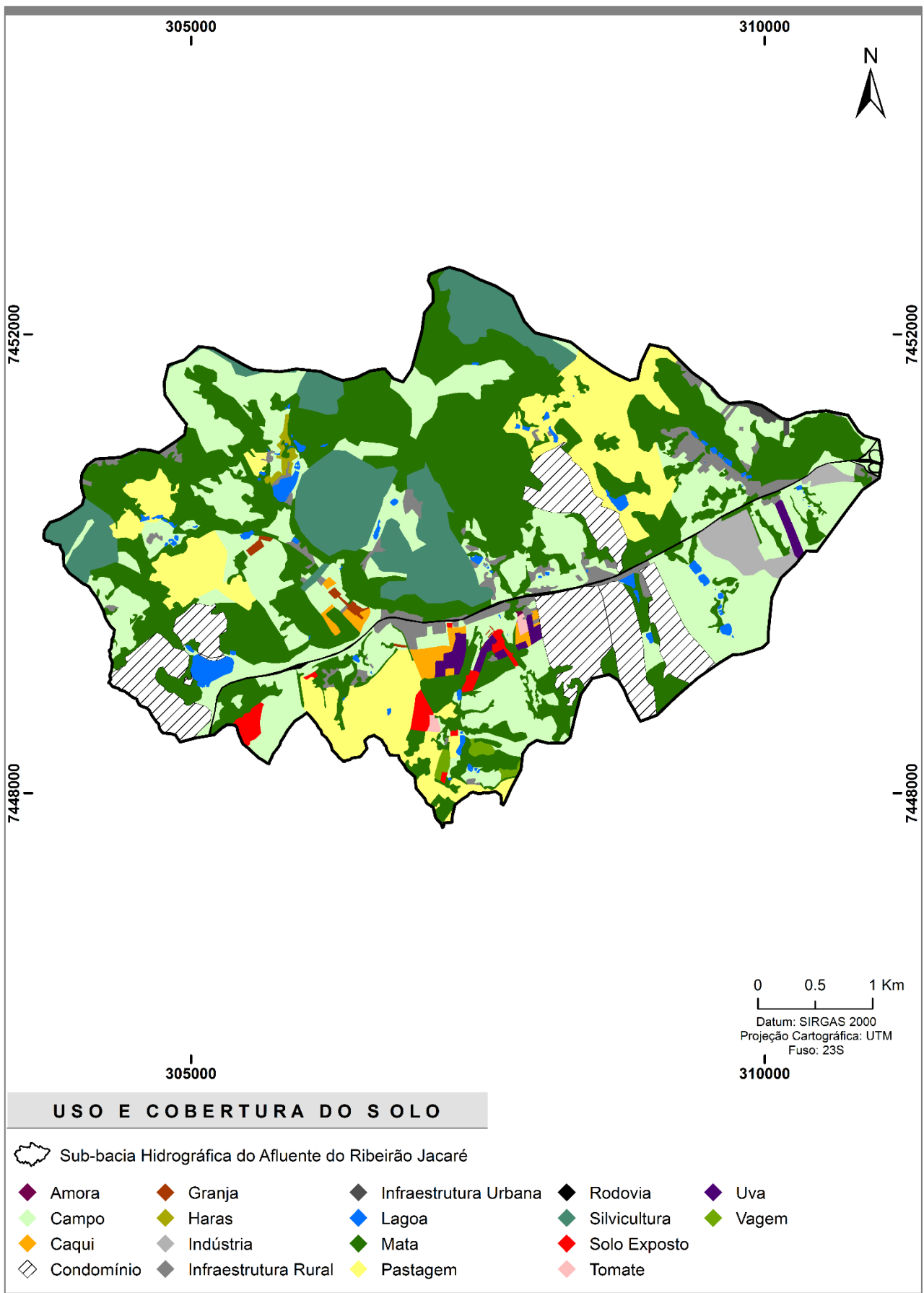
**Figura 56** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).



**Figura 57** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).

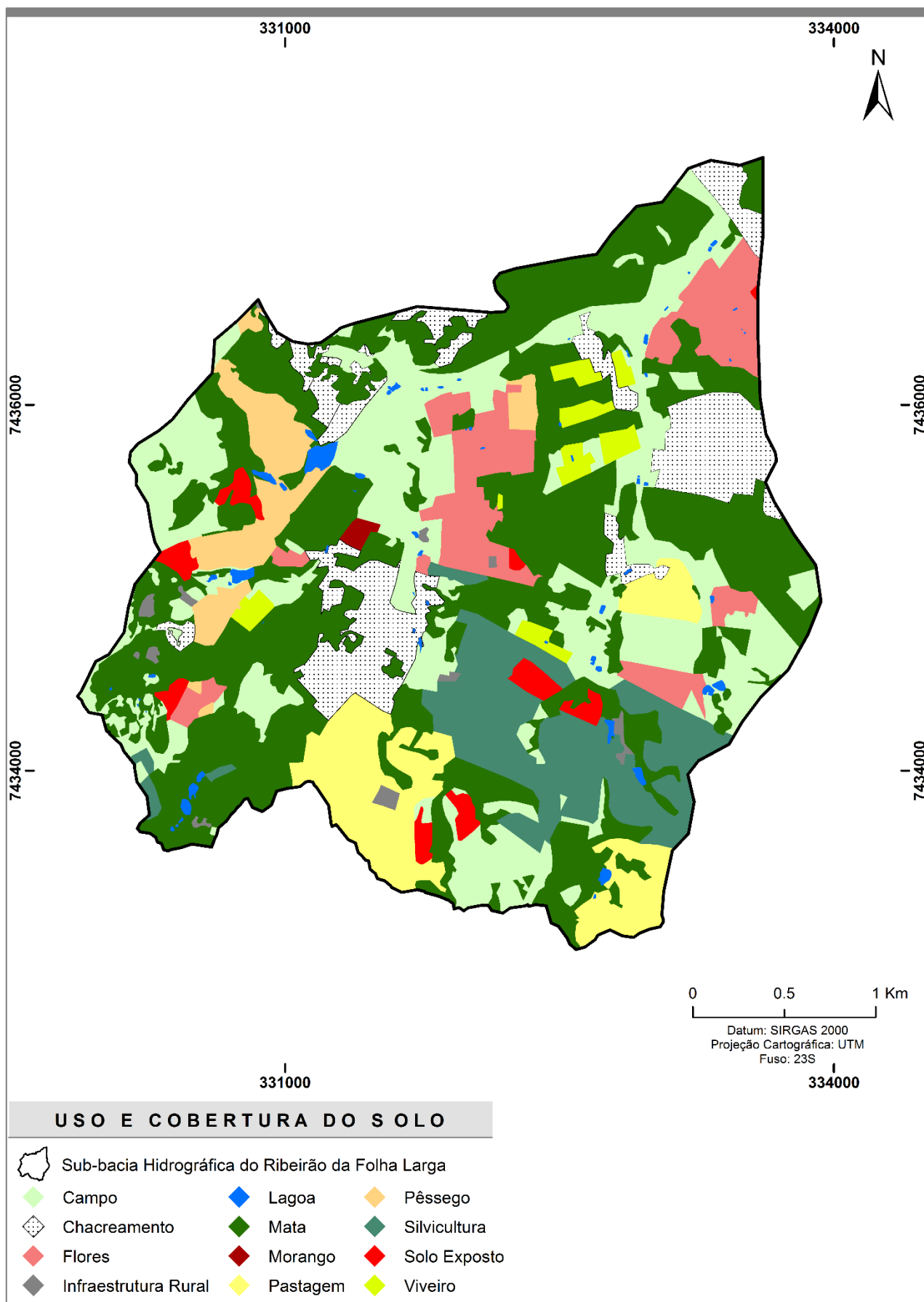


**Figura 58** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).

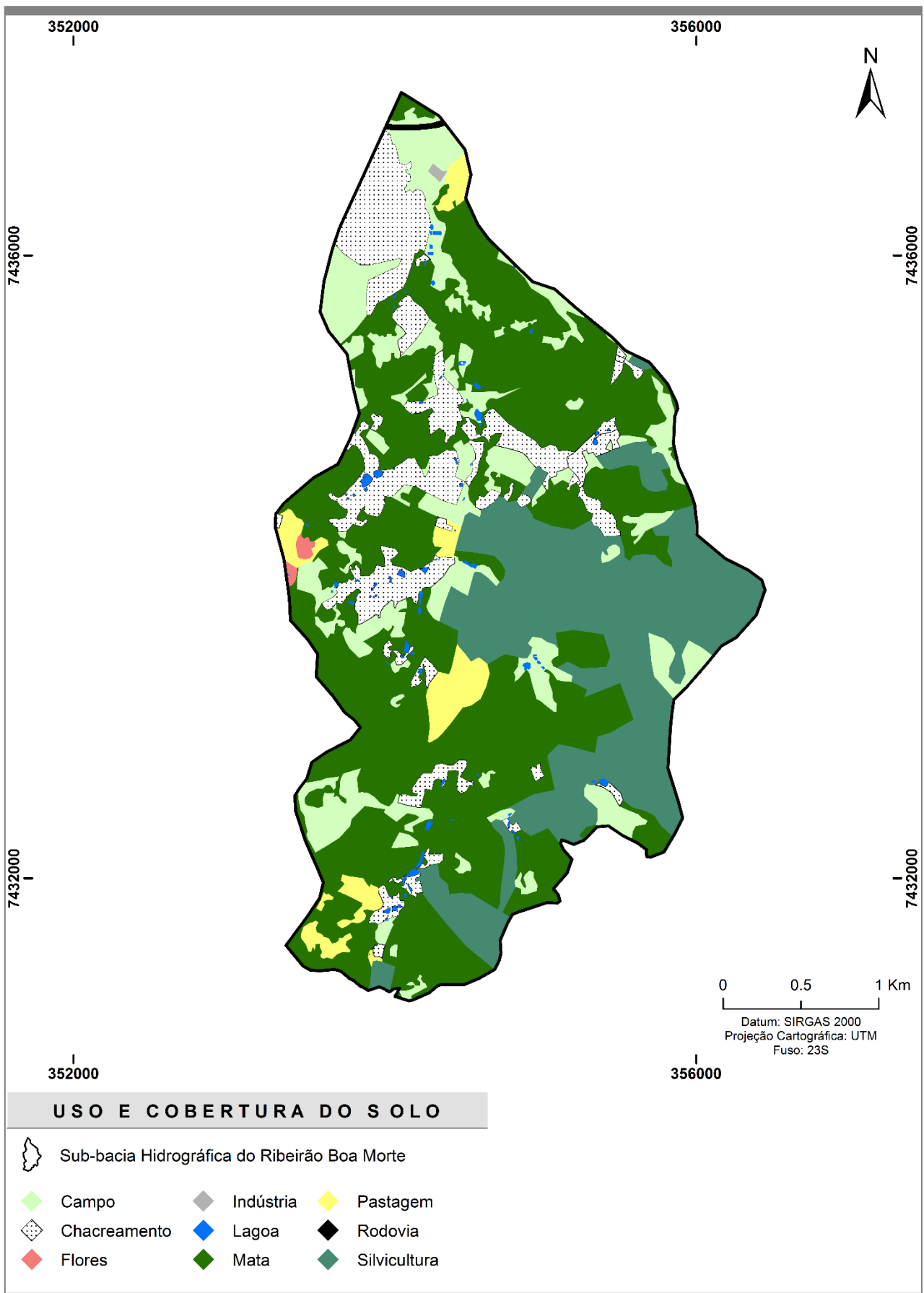


**Figura 59** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).





**Figura 60** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).



**Figura 61** - Mapa do uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte. Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).

### 6.2.1.1 Distribuição da necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ) para as culturas temporárias e permanentes nas sub-bacias hidrográficas

A Tabela 30 apresenta os valores absolutos da necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ) para os doze meses do ano, considerando as etapas de desenvolvimento das culturas temporárias. Estes dados foram obtidos por meio da plataforma digital "Coeficientes Técnicos para a Agricultura Irrigada", disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2019).

**Tabela 30** - Necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ) para os doze meses, considerando os estágios de desenvolvimento das culturas temporárias presentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. E - Estágios.

Necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{ha}^{-1}$ )																
Meses	SB(A) Cana-de-açúcar				SB(B) Cana-de-açúcar				SB(C) Cana-de-açúcar				SB(D) Cana-de-açúcar			
	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV
Jan	-	-	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	-
Feb	-	-	6,31	-	-	-	5,70	-	-	-	8,29	-	-	-	8,12	-
Mar	-	2,16	16,85	8,29	-	0,86	15,38	6,91	-	0,78	15,38	6,83	-	0,52	14,95	6,48
Abr	-	13,05	27,39	19,01	-	12,01	26,18	17,88	-	13,39	27,65	19,27	-	13,56	27,65	19,35
Mai	-	8,38	19,44	12,96	-	7,52	18,49	12,10	-	8,81	19,87	13,39	-	8,55	19,35	12,96
Jun	-	8,73	18,84	12,87	-	8,21	18,23	12,36	0,09	10,20	20,22	14,34	-	9,94	19,79	14,00
Jul	3,54	15,29	26,96	20,13	2,85	14,43	25,92	19,09	4,32	15,81	27,30	20,56	4,32	15,64	26,87	20,22
Ago	7,86	23,41	38,97	29,81	7,00	22,29	37,58	28,60	7,86	23,24	38,53	29,55	7,34	22,38	37,32	28,51
Set	2,76	20,48	37,84	27,65	1,99	19,35	36,46	26,44	3,11	20,74	38,10	27,91	2,68	19,87	36,89	26,96
Out	-	10,80	28,08	17,97	-	10,11	27,04	17,11	-	10,54	27,73	17,71	-	9,59	26,44	16,59
Nov	-	7,95	25,23	15,12	-	6,48	23,50	13,56	-	7,52	24,71	14,69	-	7,00	23,93	14,08
Dez	-	-	7,60	-	-	-	6,05	-	-	-	7,69	-	-	-	6,83	-
Meses	SB(E) Cana-de-açúcar				SB(B) Mandioca				SB(D) Mandioca				SB(D) Milho			
	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	2,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,10	-
Mar	-	-	7,00	-	-	-	6,57	-	-	-	6,39	-	-	-	12,18	-
Abr	-	4,58	17,45	9,94	-	5,79	18,06	8,90	-	7,52	19,79	10,63	-	10,45	25,06	11,32
Mai	-	5,62	15,90	9,85	-	2,76	12,27	5,18	-	3,89	13,31	6,22	-	6,13	17,37	6,83
Jun	-	1,64	10,63	5,36	-	3,89	12,53	6,05	-	5,79	14,34	7,86	-	7,78	18,06	8,38
Jul	-	6,57	16,76	10,80	-	9,50	19,44	12,01	1,04	10,89	20,65	13,31	1,47	13,13	24,88	13,82
Ago	-	10,89	24,02	16,33	2,51	15,81	29,03	19,09	3,02	16,07	29,12	19,35	3,54	19,18	34,65	20,04
Set	-	10,63	25,92	16,93	-	11,84	26,70	15,55	-	12,61	27,39	16,33	-	16,16	33,78	17,19
Out	-	1,90	17,28	8,29	-	2,33	16,93	6,05	-	2,07	16,59	5,79	-	5,88	23,24	6,83
Nov	-	-	14,86	5,79	-	-	13,31	2,33	-	-	14,00	3,11	-	3,20	20,74	4,23
Dez	-	-	2,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,89	-
Meses	SB(D) Soja				SB(F) Tomate				SB(F) Vagem							
	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV	E I	E II	E III	E IV				
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	2,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	9,16	-	-	-	-	2,94	-	-	-	-	-	-	3,46	-
Abr	-	10,28	21,69	11,84	-	7,26	15,12	10,11	-	4,67	15,55	3,97	-	-	-	-
Mai	-	6,13	14,86	7,26	0,09	6,31	12,44	8,55	-	4,23	12,79	3,63	-	-	-	-
Jun	-	7,69	15,64	8,73	-	3,46	8,90	5,44	-	1,73	9,24	1,21	-	-	-	-
Jul	3,63	12,87	22,03	14,08	2,33	8,47	14,60	10,71	-	6,48	14,95	5,88	-	-	-	-
Ago	6,48	18,66	30,76	20,22	6,05	14,08	22,03	17,02	0,35	11,49	22,46	10,71	-	-	-	-
Set	1,90	15,81	29,55	17,63	2,68	11,75	20,82	15,12	-	8,81	21,34	7,95	-	-	-	-
Out	-	5,79	19,35	7,69	-	3,11	12,18	6,39	-	0,09	12,79	-	-	-	-	-
Nov	-	3,28	16,93	5,10	-	0,35	9,68	3,80	-	-	10,28	-	-	-	-	-
Dez	-	-	1,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Águas (2019).

Os estágios II e III das culturas temporárias compreendem as fases fenológicas que necessitam de maior consumo de água na irrigação para o seu desenvolvimento. Enquanto que, o estágio I exige uma menor quantidade de água na irrigação quando o plantio da cultura acontece na estação chuvosa e a cultura é capaz de aproveitar a água precipitada, porém esta situação também é condicionada pelas características físicas de cada área, como o clima e as propriedades dos solos. O estágio final (IV) das culturas também no geral requer menos água, devido atingir a fase de desenvolvimento adequada para a realização da colheita (ANA, 2019).

A Figura 62 apresenta de forma geral o período dos estágios de desenvolvimento das culturas temporárias presentes nas sub-bacias hidrográficas em estudo, segundo os dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas e os dados do Boletim FAO 56. No entanto, esses períodos podem sofrer alteração em função da data de plantio da cultura adotada por cada produtor.

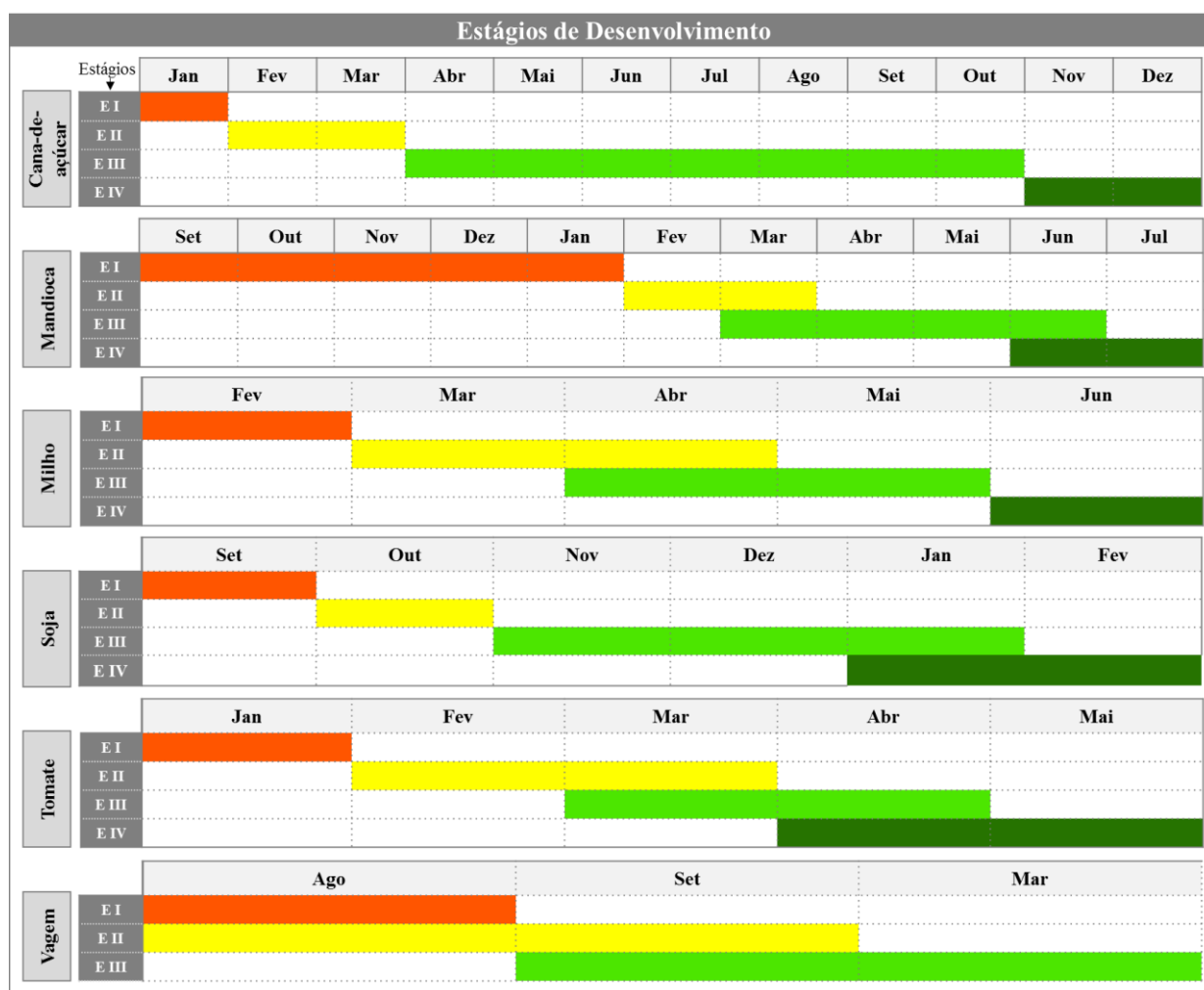
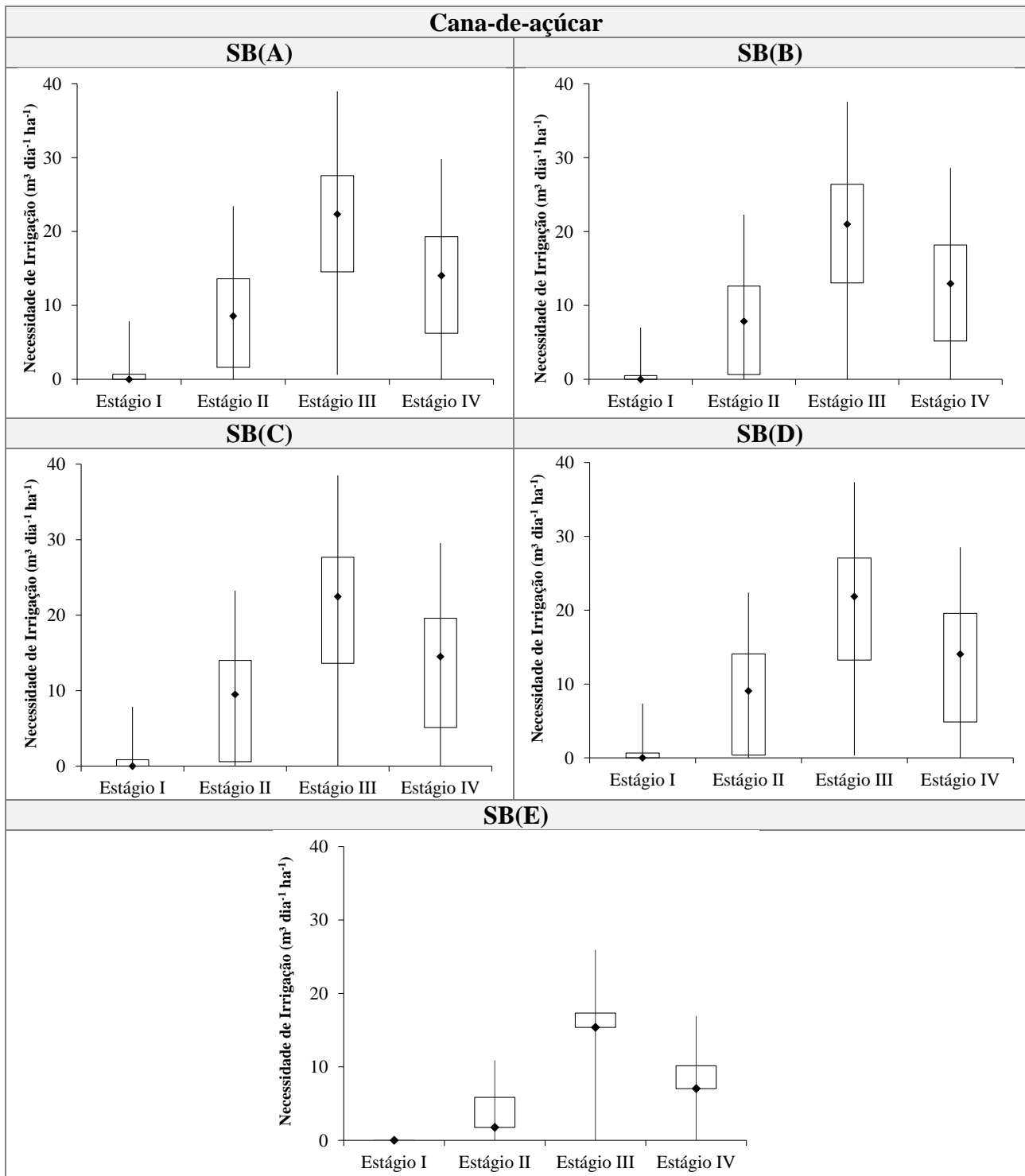


Figura 62 - Período dos estágios de desenvolvimento das culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

A Figura 63 apresenta a distribuição dos valores da necessidade de irrigação ( $m^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) da cana-de-açúcar, considerando todos os meses do ano. Com base nas simulações realizadas na

plataforma “Coeficientes Técnicos para Agricultura Irrigada”, considera-se potencialmente que a necessidade de irrigação para a cana-de-açúcar é compatível nos dois primeiros pares de sub-bacias hidrográficas, sendo que o estágio III se destaca dos demais no mês de agosto, não ultrapassando  $40 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Assim como outras culturas, a cana-de-açúcar apresenta comportamento distinto a um déficit hídrico no decorrer do seu ciclo de desenvolvimento (SANTOS et al., 2019).

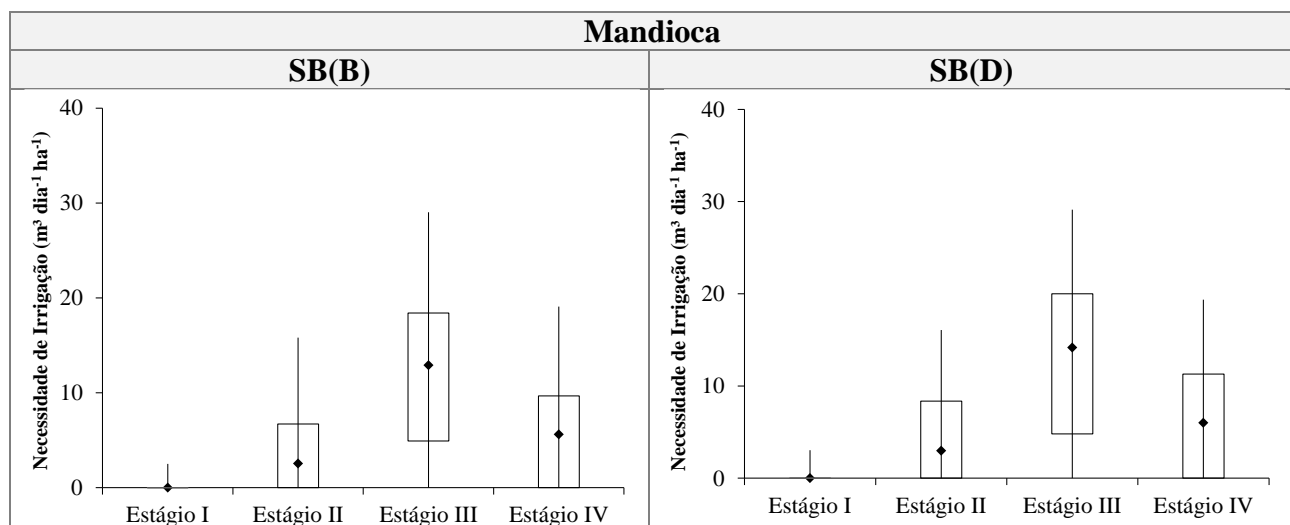


**Figura 63** - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para a cultura da cana-de-açúcar.

Dias e Sentelhas (2017) validaram e calibraram os modelos FAO-AZM, DSSAT/CANEGRO, e APSIM, e apresentaram os valores de irrigação da cana-de-açúcar para diferentes locais do Brasil, considerando várias cultivares plantadas ou germinadas em datas diferentes. Em alguns locais, a irrigação total modificou de 500 a 750 mm e foi utilizada apenas durante os períodos mais secos do ciclo da cultura. Em cidades do estado de São Paulo, estes valores variaram entre 500 e 600 mm. Para outros locais, foi aplicada a irrigação total, ou seja, adotada durante todos os ciclos da cultura, totalizando entre 1.070 e 2.000 mm.

O uso de água no cultivo da cana-de-açúcar pode alterar de 1.100 a 1.800 mm durante o ano, dependendo da região (com base em dados de lisímetro de vários locais do mundo). Com base em dados internacionais, as taxas máximas de utilização de água para a cultura variam entre 6 e 15 mm d<sup>-1</sup> (CARR e KNOX, 2011).

As Figuras 64 a 66 mostram respectivamente, a distribuição da necessidade de irrigação (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) da mandioca, do milho e da soja, do tomate e da vagem. Estes valores da necessidade de irrigação são correspondentes a todos os meses do ano.



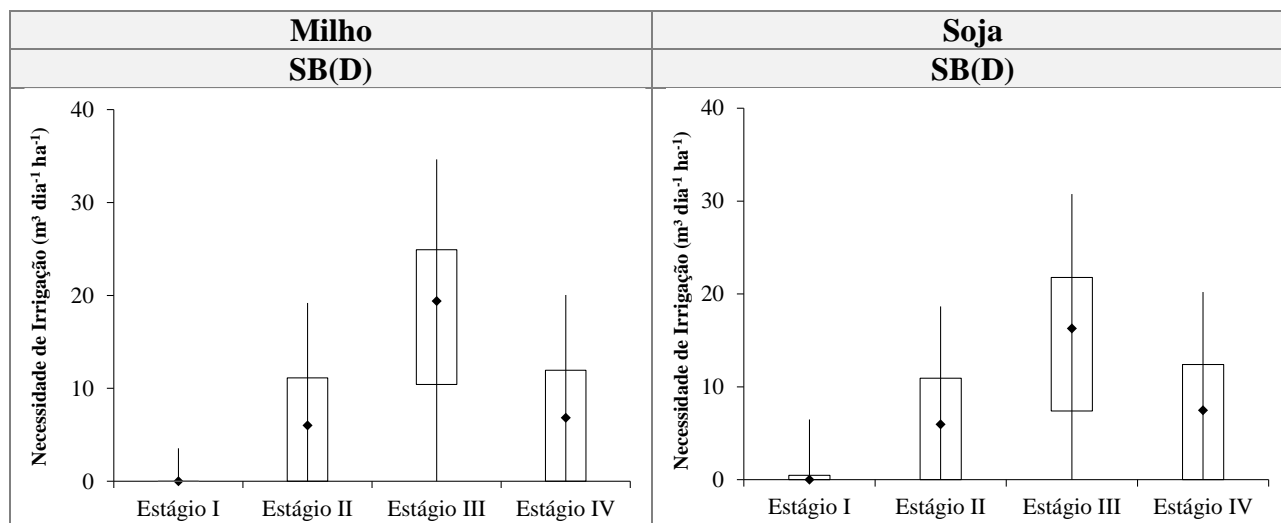
**Figura 64** - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) considerando todos os meses do ano, para a cultura da mandioca.

O potencial para a necessidade de irrigação da mandioca é semelhante na SB(B) e na SB(D), a necessidade máxima ocorre também no mês de agosto, representando respectivamente, 29 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e 29,1 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, observadas no estágio III. A necessidade de irrigação da mandioca pode variar de acordo com as características de cada região, por exemplo, em alguns lugares na China a necessidade de irrigação alterna entre 78 e 137 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (ZHANG et al., 2014). O modelo CROPWAT foi utilizado para estimar as necessidades de irrigação da mandioca em uma região da Índia, os autores também desenvolveram cenários da necessidade de irrigação da cultura associando dados climáticos

para os anos 2030, 2050 e 2070, os resultados mostraram que a necessidade bruta de irrigação mudou 40,8% considerando o presente ano até 2030, ou seja, a variação foi aproximadamente de 700 mm para 1.000 mm (PUSHPALATHA; GANGADHARAN, 2020).

Esta similaridade na necessidade de irrigação também aparece nas culturas de grãos (milho e soja), estas não atingem em cada estágio uma demanda de irrigação superior a  $35 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Sobenko et al. (2019) obtiveram a aplicação para irrigação do milho em uma área experimental localizada em município de Piracicaba (São Paulo) por meio da relação entre  $E_t$  e  $E_{T_0}$  (obtidas pelo método de Penman-Monteith) e concluíram que a  $E_t$  apresentou uma variação de 0,92 quando a  $E_{T_0}$  foi maior  $4 \text{ mm d}^{-1}$  e 1,64 quando a  $E_{T_0}$  era inferior a  $2 \text{ mm d}^{-1}$ .

Fancelli (2015) recomenda considerar  $4,5 \text{ mm d}^{-1}$  como o consumo médio de água independente do estágio fenológico da cultura do milho. Com relação ao cultivo da soja, a necessidade de irrigação no estado do Rio Grande do Sul, em solos com a capacidade de água disponível (CAD) de 70 mm, é de 121 a 200 mm (PILAU; BATTISTI; DALMAGO, 2020).

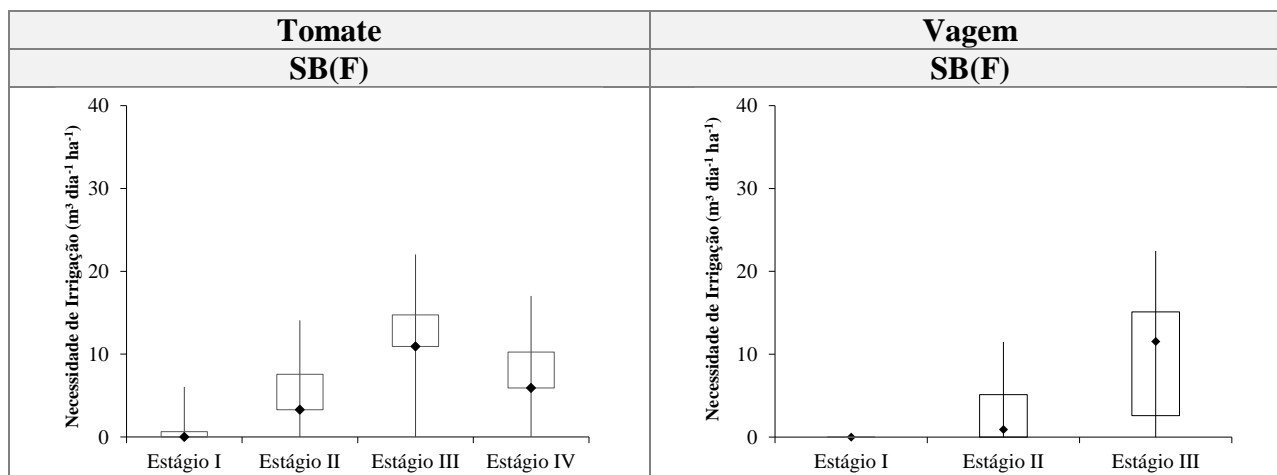


**Figura 65** - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para as culturas do milho e da soja.

A necessidade de irrigação dos quatro estágios do tomate e da vagem na SB(F) é maior nos meses de agosto e setembro, porém o estágio III se sobressai na quantidade de água demandada para as duas culturas, correspondendo  $22,03 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  para o tomate e  $21,34 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  para a vagem.

De acordo com Wu et al. (2021), o volume de água demandado pelo tomate alterna nos diferentes estágios de crescimento. Os autores desenvolveram três tratamentos na Província de Shaanxi (China), e observaram que a quantidade média de água consumida variou de 37,43-69,81 mm no estágio da plântula, 27,01-50,75 mm no estágio de floração e pega, 52,70-96,51 mm no estágio

de expansão do fruto, e 35,34-60,98 mm no estágio de colheita, considerando os três tratamentos realizados. Para Nangare et al. (2016), os estágios de crescimento da cultura não apresentam a mesma sensibilidade ao estresse hídrico, constataram que caso ocorra escassez de água, o estágio mais crítico é a floração acompanhada do desenvolvimento dos frutos. Como exemplo, na Tunísia o ciclo da cultura do tomate se enquadra de março a julho, o maior volume de água correspondeu a 32,1 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> no último mês (YAHYAOUÏ et al., 2017). Com relação a vagem, é difícil encontrar dados de experimentos realizados que estimaram a necessidade de irrigação da cultura.



**Figura 66** - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) considerando todos os meses do ano, para as culturas do tomate e da vagem.

A Tabela 31 apresenta a necessidade de irrigação (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) para os doze meses referente as culturas permanentes, os valores foram coletados também na plataforma "Coeficientes Técnicos para a Agricultura Irrigada" (ANA, 2019).

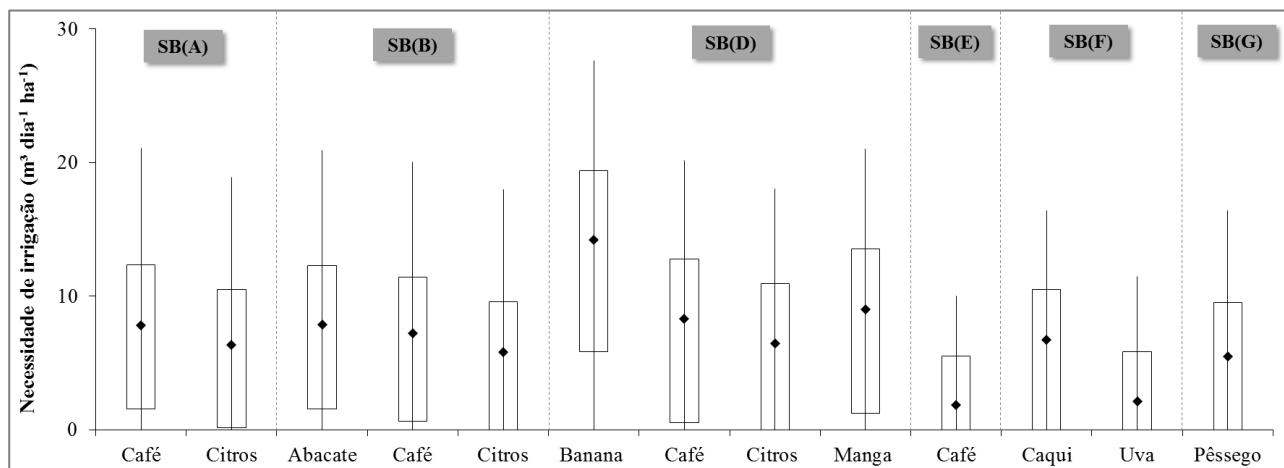
**Tabela 31** - Necessidade de irrigação (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Culturas	Sub-Bacias	Necessidade de irrigação (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Café	SB(A)	-	-	2,07	11,84	7,69	7,95	13,82	21,08	18,40	9,76	7,17	-
	SB(B)	-	-	0,86	10,89	6,91	7,52	12,96	20,04	17,45	9,07	5,88	-
	SB(D)	-	-	0,69	12,36	7,86	9,07	14,08	20,13	17,97	8,73	6,48	-
	SB(E)	-	-	-	4,49	5,27	1,73	6,13	10,02	9,85	1,99	-	-
Citros	SB(A)	-	-	0,17	9,94	6,13	6,57	12,18	18,92	16,07	7,52	4,92	-
	SB(B)	-	-	-	8,99	5,44	6,13	11,40	17,97	15,12	6,91	3,72	-
	SB(D)	-	-	-	10,37	6,31	7,69	12,53	18,06	15,64	6,57	4,23	-
Abacate	SB(B)	-	-	2,07	11,84	7,60	8,12	13,65	20,91	18,49	10,37	7,26	-
Banana	SB(D)	-	0,86	7,52	19,27	13,22	14,00	19,79	27,65	26,35	16,76	14,43	-
Manga	SB(D)	-	-	1,64	13,13	8,47	9,59	14,69	21,00	18,92	9,85	7,52	-
Caqui	SB(F)	-	-	-	10,45	8,73	5,88	10,54	16,42	15,03	7,60	5,36	-
Uva	SB(F)	-	-	-	5,53	4,84	2,51	6,83	11,49	9,33	1,73	-	-
Pêssego	SB(G)	-	-	-	9,42	6,83	5,62	9,85	16,42	12,27	5,36	3,46	-

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas (2020).



Considerando todos os meses do ano, constata-se que a necessidade de irrigação nas culturas permanentes da SB(A) é maior no mês de agosto com  $21,1 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  para a cultura de café, e  $18,9 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  para as lavouras de citros. A Figura 67 apresenta a distribuição dos valores da necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



**Figura 67** - Distribuição dos valores de necessidade de irrigação ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) considerando todos os meses do ano, para as culturas permanentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

A quantidade de água mínima demandada para as culturas de abacate e café na SB(B) ocorre no mês março, em que para o abacate a necessidade de irrigação não supera  $2,1 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , enquanto que, para o café não excede  $0,9 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . De acordo com Carr (2013), foram realizadas poucas tentativas de mensurar o uso real da água no abacate, porém, em regiões onde o verão é quente e seco, as taxas de pico de uso da água podem variar entre 3 e  $5 \text{ mm d}^{-1}$ . Segundo experimentos realizados em Israel, a demanda de água em abacates foi determinada pela absorção de água real medida em abacateiros cultivados. Os valores de irrigação variaram de acordo com os critérios definidos para os cinco tratamentos realizados no período de quatro anos (2014-2017). Considerando o período, a irrigação acumulada variou de 690 a 1.020 mm (SILBER et al., 2019).

Com relação ao café, em uma área experimental localizada no estado de Minas Gerais (Brasil), foram conduzidos experimentos ao longo de cinco anos para avaliar a influência de diferentes regimes de irrigação e densidades de plantio no crescimento e na produtividade do café. Os tratamentos seguiram quatro regimes de irrigação em cinco diferentes densidades de plantio. Com base nos experimentos, constataram que as necessidades de irrigação eram maiores quando a irrigação era conduzida pelo balanço hídrico climatológico, por ter um horário fixo com aplicações mais frequentes em relação aos demais regimes adotados. A irrigação média na área foi de 867,6 mm considerando 20.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (ASSIS et al., 2014).

Em um experimento realizado no Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Nordeste Paulista com a finalidade de avaliar o desenvolvimento biométrico e a produtividade do café, foi adotado um sistema de irrigação localizada (gotejamento superficial) que utilizou vazão de  $2,3 \text{ l h}^{-1}$ . O volume de água aplicado levou em consideração o intervalo de irrigação, a evapotranspiração de referência segundo o método de Penman-Monteith e a evapotranspiração estimada da cultura (SAKAI et al., 2015).

Com base nas condições climáticas e nos parâmetros técnicos das culturas, é possível verificar que o mês de agosto pode exigir maior consumo de água para manter as culturas de citros na ordem de  $18 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  na SB(B). A necessidade de água no decorrer do ano para os citros está associada com a região e a variação anual das condições climáticas. A baixa disponibilidade de água no solo e temperaturas inferiores a  $13 \text{ }^\circ\text{C}$  inibem o processo metabólico da cultura podendo suspender o seu desenvolvimento durante o período de inverno (SILVEIRA et al., 2020), no qual há maior necessidade de irrigação.

A medição da demanda de água de um pomar de frutas cítricas, bem como a comparação dos resultados das medições realizadas com diferentes métodos e sob várias condições, não é simples. Com base na pesquisa, uso potencial de água na laranja em regiões subtropicais varia de  $1,0 \text{ mm d}^{-1}$  (no outono) a  $3,0 \text{ mm d}^{-1}$  (verão, e pode chegar a  $3,3 \text{ mm d}^{-1}$ , que compreende  $80 \text{ l } \text{árvore}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) (CARR, 2012).

Para SB(D) a banana consiste na cultura que apresenta maior necessidade de irrigação, apresentando os maiores volumes nos meses de agosto e setembro, correspondendo respectivamente,  $27,7 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  e  $26,4 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Esta cultura necessita de alto volume de água, sendo a irrigação a prática suplementar adotada para aumentar a produção (PAWAR et al., 2017). Em períodos de estiagem longos, a evapotranspiração associada com a distribuição desigual de precipitações, compromete a umidade do solo, o que pode ocasionar o aumento do estresse hídrico da cultura de banana, sendo assim, a irrigação atua como medida fundamental que resguarda contra as alterações climáticas extremas (PANIGRAHI et al., 2021).

A necessidade de irrigação acumulada em 12 meses para as culturas de café e manga apresenta valores próximos, sendo  $97,4 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (café) e  $104,8 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (manga) na SB(D). Na Província de Hainan (China), foram realizados seis tratamentos da necessidade de irrigação com água em 30 mangueiras. Cada tratamento foi definido com um percentual de reposição da capacidade de umidade do campo, variando de 63% a 82%, com exceção do último tratamento, que não adotou irrigação e foi utilizado para controle. A necessidade de água de cada tratamento foi determinada para três

estágios de desenvolvimento da cultura, considerando todos os tratamentos a necessidade de água para o primeiro estágio variou de 0,33 a 1 mm<sup>3</sup> árvore<sup>-1</sup>, no segundo estágio a necessidade mudou entre 0,62 e 1,31 mm<sup>3</sup> árvore<sup>-1</sup> e no terceiro estágio caiu entre 0,13 e 0,62 mm<sup>3</sup> árvore<sup>-1</sup> (WEI et al., 2017).

Entre as culturas permanentes na SB (D), os citros apresentaram menor necessidade potencial de irrigação, onde novembro se refere à menor demanda de 4,2 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, enquanto agosto se destaca pela maior demanda, de 18,1 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. As lavouras de lichia e noz macadâmia na SB (D) não têm sistema de irrigação e as lavouras são mantidas nas condições ambientais da região. Assim, não foram considerados na análise do potencial de irrigação, nem na DHP<sub>a</sub>.

A SB(E) apresentou o cultivo de café e noz-macadâmia como culturas permanentes. Com relação ao café, não diferente das demais sub-bacias estudadas a maior necessidade de irrigação ocorre no mês de agosto compreendendo a 10,0 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Assim como na SB(D), a noz-macadâmia não é irrigada, desta forma também é cultivada considerando as condições edafoclimáticas.

As culturas permanentes na SB(F) são a amora, o caqui e a uva. A plataforma “Coeficientes Técnicos para Agricultura Irrigada” não apresenta a necessidade de irrigação para a amora, no entanto, para o caqui e a uva, a maior quantidade de água demandada corresponde respectivamente, a 16,4 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e 11,5 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. De acordo com experimentos realizados em Valência (Espanha), a irrigação média para a cultura do caqui no período de 2009 a 2011, foi de 411 mm em 45 dias na primavera e 420 mm em 37 dias no verão, considerando a média da ET<sub>0</sub> e da pluviosidade no período, correspondendo respectivamente, a 997 mm e 372 mm (BUESA et al., 2013).

Com relação à cultura da uva, a quantidade total de água (precipitação mais irrigação) considerando três tratamentos de irrigação realizados em Mazarra del Vallo (Itália) no período de 2004 a 2005, variou de 107,0 mm a 157,8 mm, (PISCIOTTA et al., 2018). O requerimento de água para a cultura da uva em Mendonza (Argentina) considerando a irrigação superficial alternou de 13,5 a 14,8 mm por 10 dias no estágio inicial, no estágio de desenvolvimento variou de 18,9 a 41,0 mm por 10 dias, no estágio médio o requerimento se enquadrou de 28,6 a 45,7 mm por 10 dias, e o estágio final apresentou alternância de 13,2 a 32,5 mm por 10 dias (CIVIT et al., 2018). No noroeste paulista, a necessidade hídrica diária varia de 15.000 a 20.000 l ha<sup>-1</sup> na primeira fase (depois da poda), de 20.000 a 30.000 l ha<sup>-1</sup> na segunda fase (estágio de florescimento) e de 25.000 a 35.000 l ha<sup>-1</sup> na terceira fase (estágio de frutificação) (CONCEIÇÃO, 2014).

A cultura permanente na SB(G) é representada pelo pêssego, a maior necessidade de irrigação ( $16,4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) acontece no mês de agosto, pois se enquadra em um dos meses do período seco do ano. Na Catalunha (Espanha) considerando uma produção média, o consumo de água para cada quilo de pêssego foi de 216,93 litros (VINYES et al., 2015). No sul da Itália, um dos experimentos realizados por Campi et al. (2020) apresentou o volume sazonal de irrigação compreendendo a 405 mm com base no regime de irrigação total, ou seja, assegurando a quantidade de água evapotranspirada pela cultura de pêssego.

### **6.2.1.2 DHP<sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas em estudo**

Neste tópico são apresentados os valores da DHP<sub>a</sub> nas sub-bacias hidrográficas estudadas, considerando as culturas temporárias e permanentes existentes.

#### **6.2.1.2.1 Culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas estudadas**

É preciso que se investigue os efeitos da espacialização das culturas e como elas exercem influência no padrão espacial da disponibilidade de água no solo (LONGCHAMPS et al., 2015; DE LARA; LONGCHAMPS; KHOSLA, 2019). Diante disto, o NDVI permitiu obter a distribuição das culturas temporárias existentes nos meses de maio a dezembro de 2019 e de janeiro a abril de 2020, por estágios de desenvolvimento (I a IV) nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

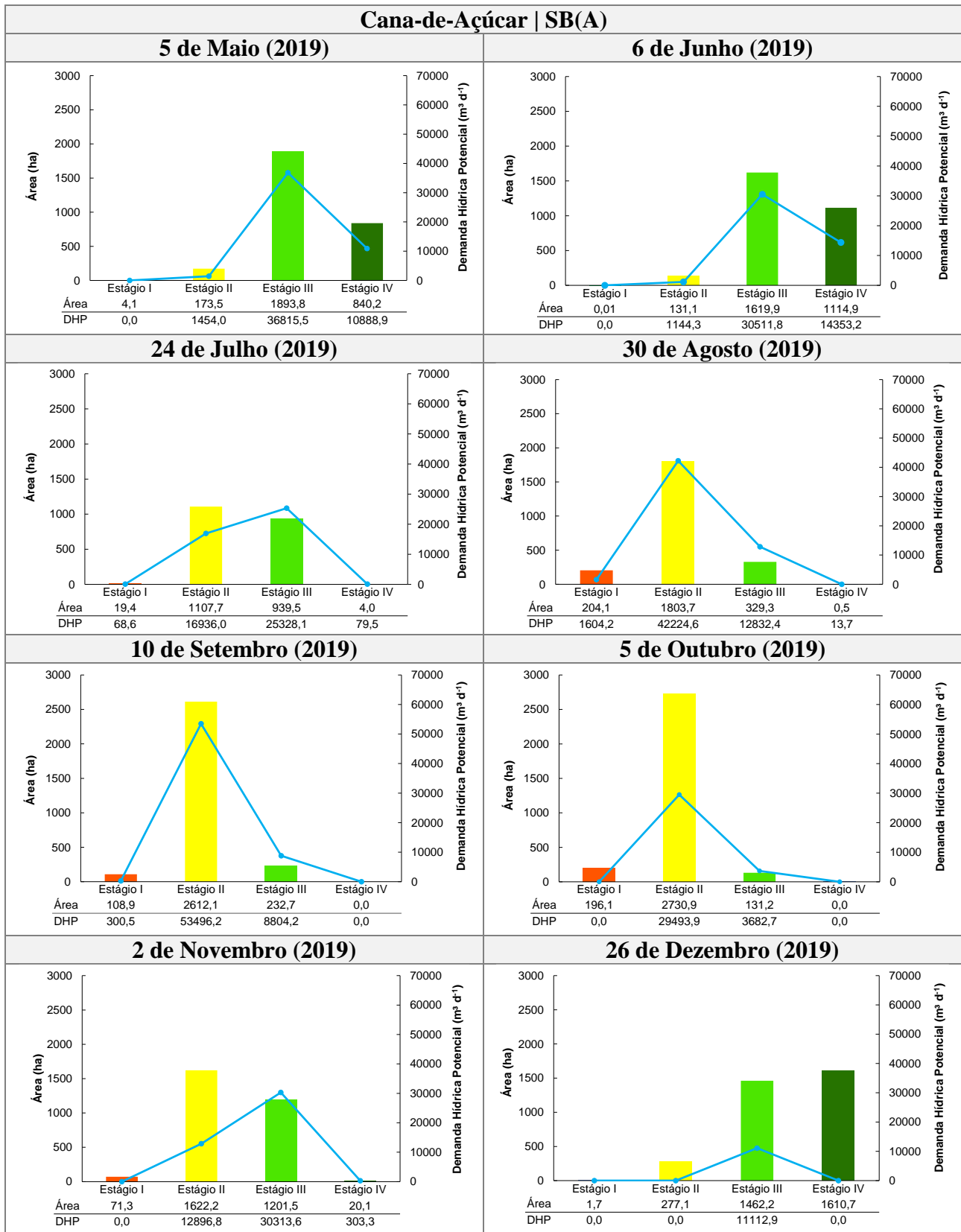
As Figuras 123 a 143 (Apêndice B) apresentam o NDVI nas áreas ocupadas por culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas em estudo, considerando o período de maio de 2019 a abril de 2020. Vale ressaltar que, as sub-bacias SB(G) e SB(H) apresentaram outras culturas temporárias diferente das listadas na plataforma Coeficientes Técnicos da Agricultura Irrigada, a demanda hídrica para essas culturas foi calculada de acordo com a descrição no item 5.2.3.1.2, não sendo necessário a elaboração do índice de vegetação.

A demanda hídrica potencial pode-se enquadrar como superior ou inferior em uma determinada região, não somente pelo estágio das culturas, mas também pela extensão territorial que cada estágio ocupa. Com relação a SB(A), o estágio III da cana-de-açúcar para o dia analisado no mês de abril apresentou a maior demanda hídrica potencial quando comparada com os demais estágios e os outros dias dos respectivos meses analisados, correspondendo na ordem de  $68.141,7 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para uma extensão um pouco inferior a 2.500 ha. A segunda maior demanda de água da cultura

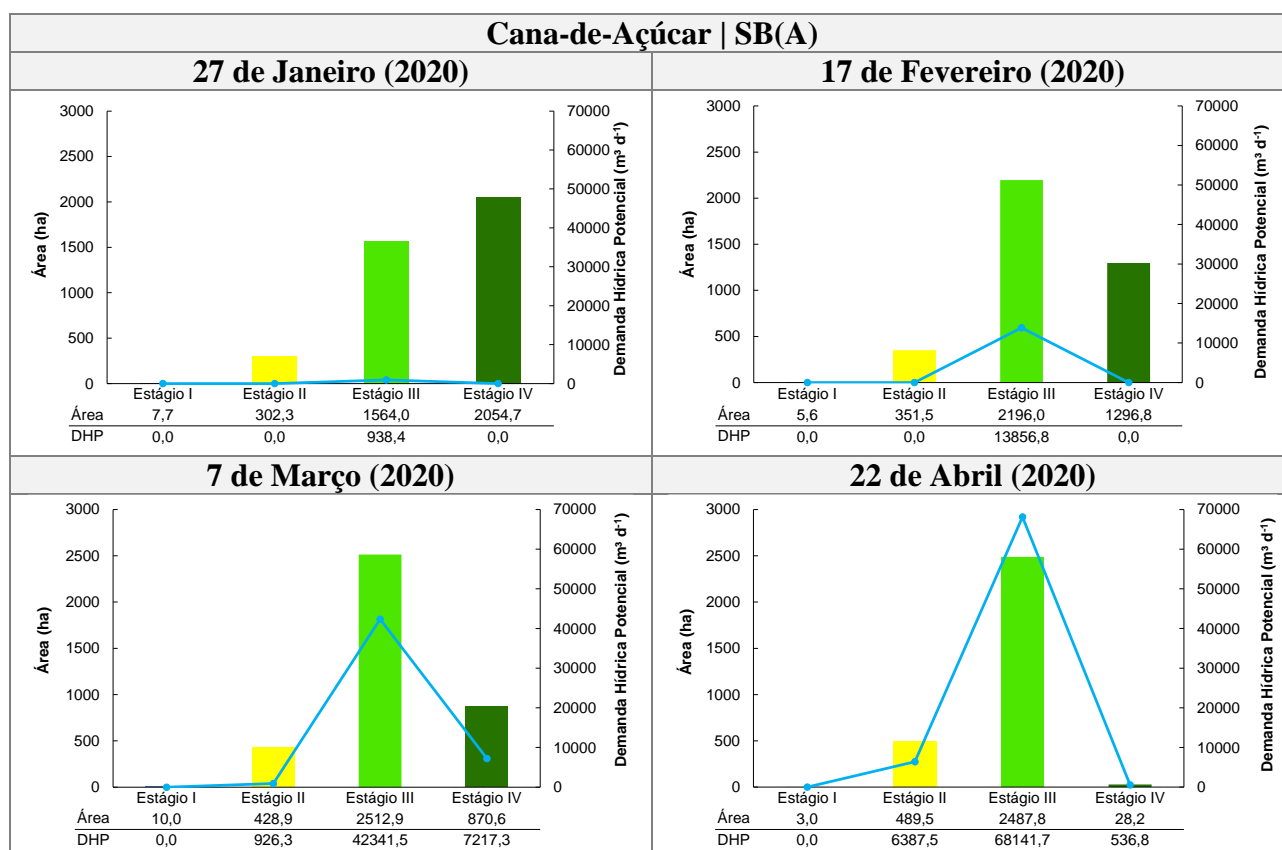
nessa sub-bacia hidrográfica ocorreu no dia 10 de setembro, com  $53.496,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para a irrigação de uma área de 2.612,1 ha de cana-de-açúcar no segundo estágio de desenvolvimento.

Vale ressaltar, que os meses de janeiro, dezembro e fevereiro respectivamente, apresentaram um potencial mais baixo de demanda hídrica nessa sub-bacia, isso é devido ao período chuvoso, o que conseqüentemente influencia em uma diminuição no uso da água para a irrigação da cultura, e também por ter apresentado áreas maiores no estágio final de desenvolvimento, próximo a época de colheita.

Um fator que contribuiu com os maiores valores da demanda hídrica potencial da SB(A) no período de estiagem, foi a maior extensão territorial dos estágios II e III da cultura de cana-de-açúcar, estes estágios se destacam quanto a quantidade de água demandada para o desenvolvimento da cultura. As Figuras 68 e 69 apresentam os valores da DHP da cana-de-açúcar, bem como as áreas da cultura por estágios de desenvolvimento na SB(A).



**Figura 68** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(A), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

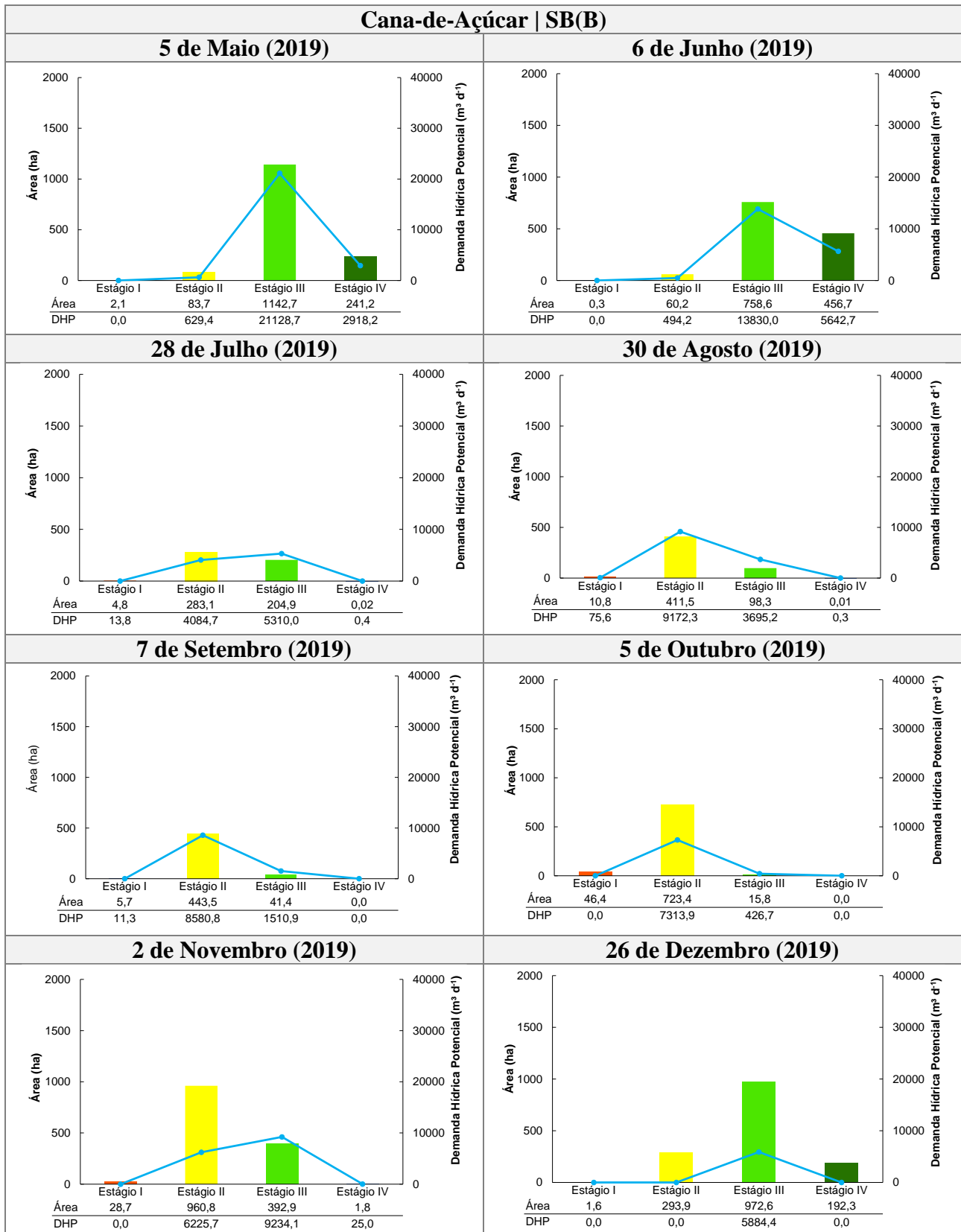


**Figura 69** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(A), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

A SB(B) apresentou duas culturas temporárias, sendo a cana-de-açúcar e a mandioca. Com relação a cana-de-açúcar, a maior quantidade de água demandada ocorreu nos dias analisados dos meses de maio/2019 e abril/2020, correspondendo respectivamente  $24.676,3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  e  $39.506,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , sendo que, nesses dois dias dos meses mencionados a demanda hídrica potencial foi maior para as áreas ocupadas pela cultura no estágio III de desenvolvimento. No entanto, verifica-se que na maioria dos dias do período analisado, o estágio III apresenta o maior potencial de irrigação na SB(B) considerando o cultivo da cana-de-açúcar. Ressalta-se que no mês de janeiro, de acordo com os dados da plataforma de Coeficientes Técnicos da Agricultura Irrigada e a posição geográfica da SB(B) não há necessidade de irrigação para o cultivo da cana-de-açúcar.

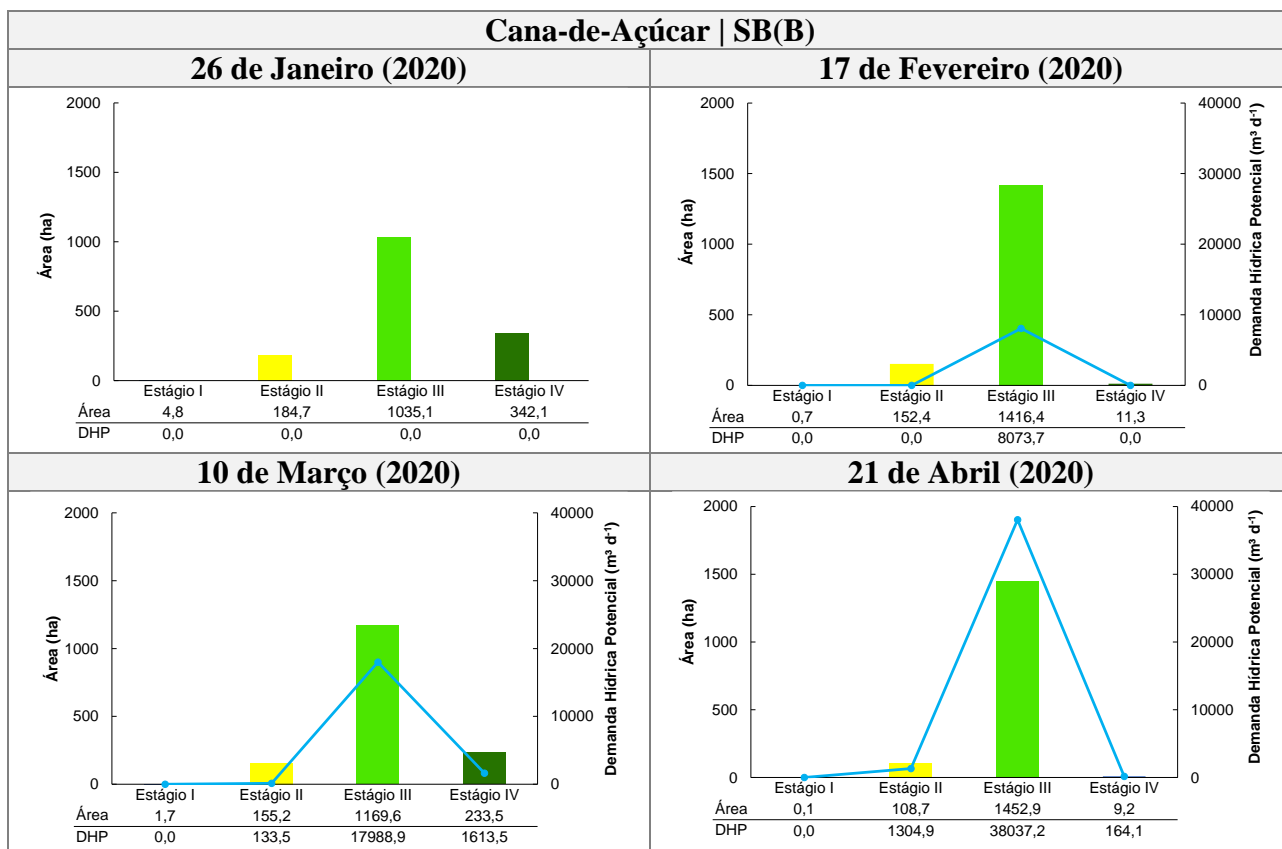
A demanda potencial de água no cultivo da cana-de-açúcar na SB(A) é muito superior quando comparada com a SB(B), considerando o período analisado a maior variação ocorreu no dia 10 do mês de setembro, em comparação, a menor variação ocorreu no dia 17 de fevereiro, o que também se enquadrou em um valor significativo. Esta situação é devido a SB(B) ter apresentado menores áreas ocupadas pela cultura.

As Figuras 70 e 71 apresentam a DHP e as extensões territoriais ocupadas por cana-de-açúcar considerando os estágios de desenvolvimento na SB(B).



**Figura 70** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

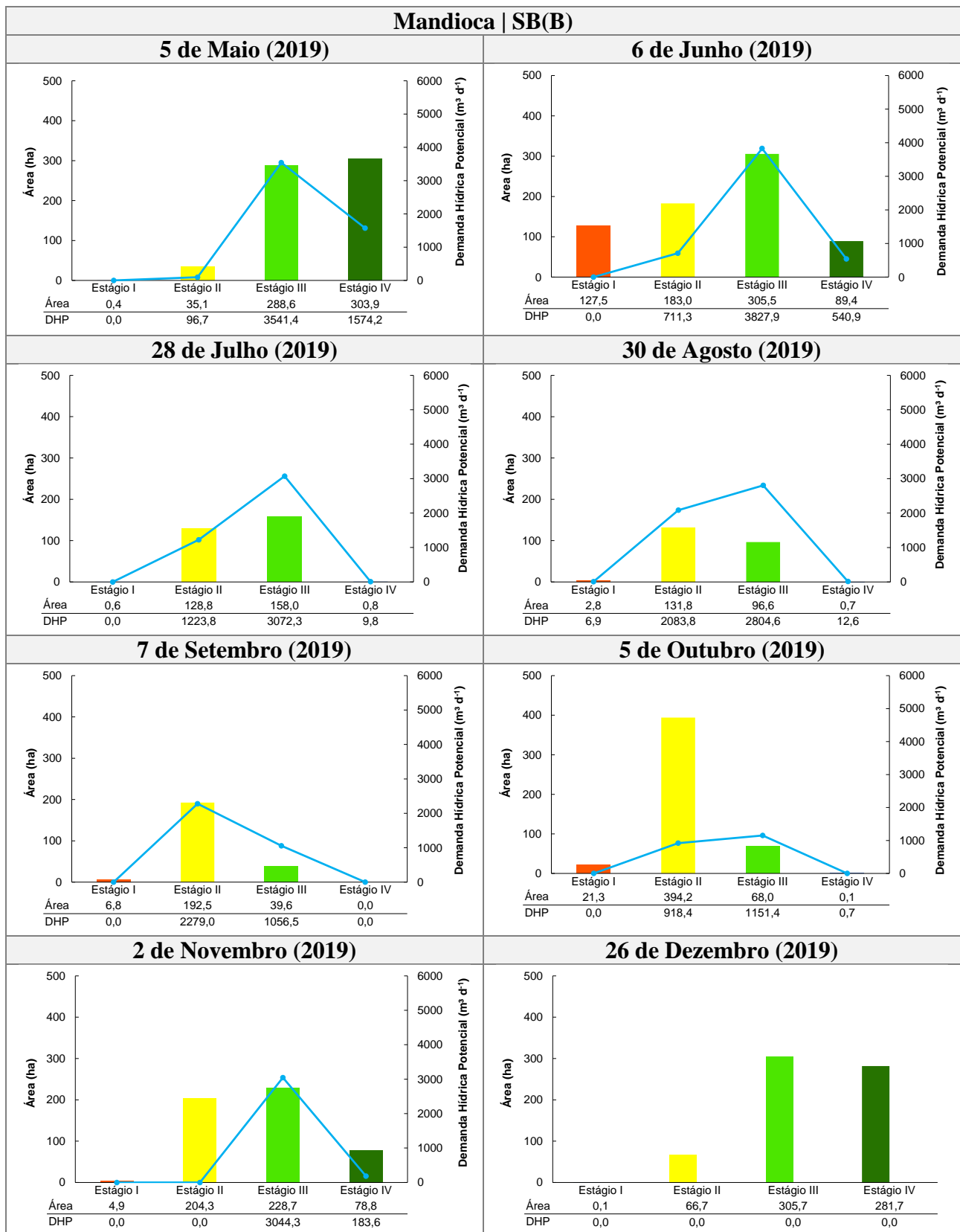




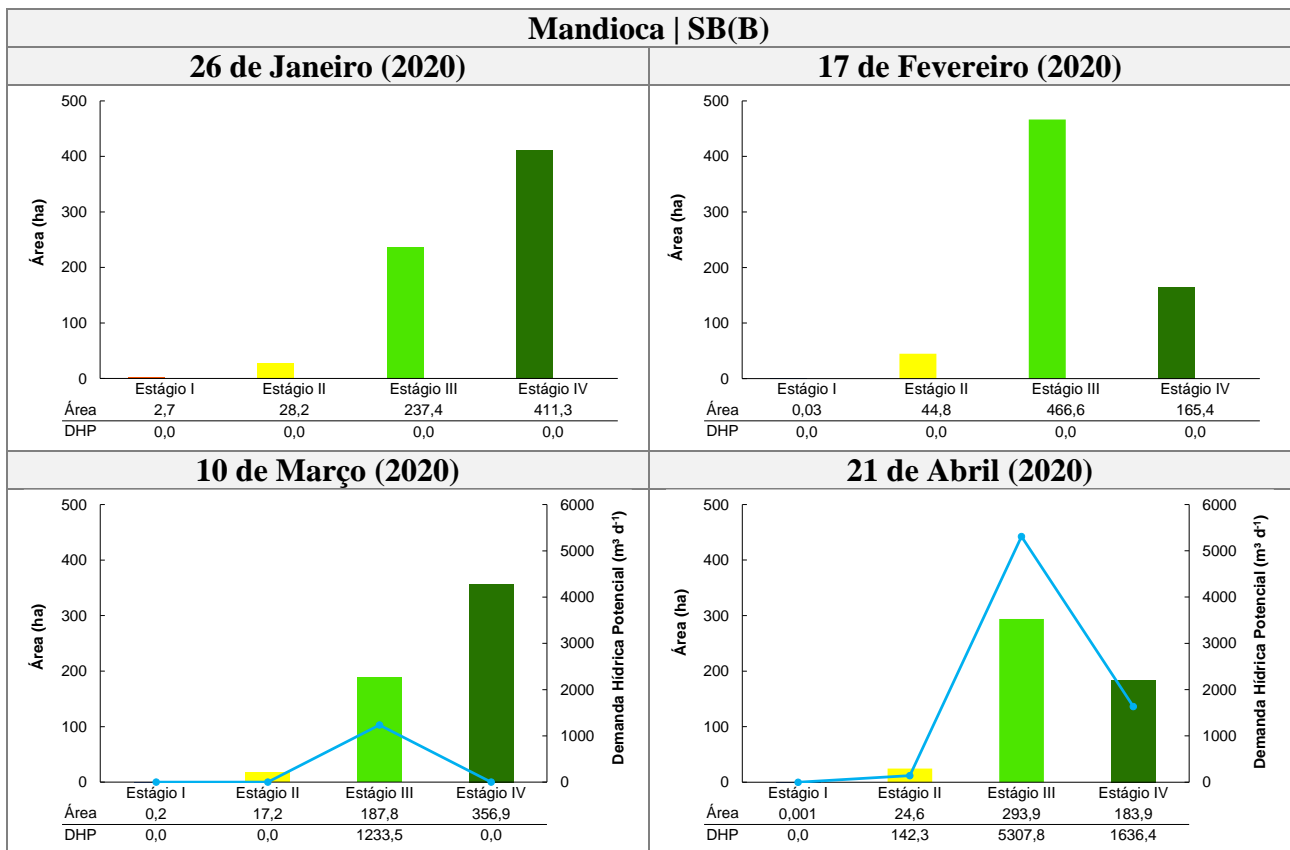
**Figura 71** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

Com relação ao cultivo da mandioca na SB(B), as áreas ocupadas pela cultura não ultrapassou 710 ha em nenhum dos dias em análise. Nota-se que a maior demanda por água ocorreu em 21 de abril de 2020 quando comparado com os demais dias analisados, correspondendo a 7.086,6 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, deste total, as maiores demandas compreendem respectivamente, 74,9% e 23,1% nos estágios III e IV. No entanto, a menor DHP ocorreu em 10 de março de 2020, apresentando um volume de 1.233,5 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> apenas para suprir a necessidade de irrigação do estágio III.

Vale ressaltar, assim como outras culturas temporárias a mandioca não necessita de irrigação entre os meses de dezembro a fevereiro, devido geralmente estes meses contemplar a estação chuvosa. As Figuras 72 e 73 mostram a DHP e as áreas da cultura da mandioca por estágios de desenvolvimento na SB(B).



**Figura 72** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

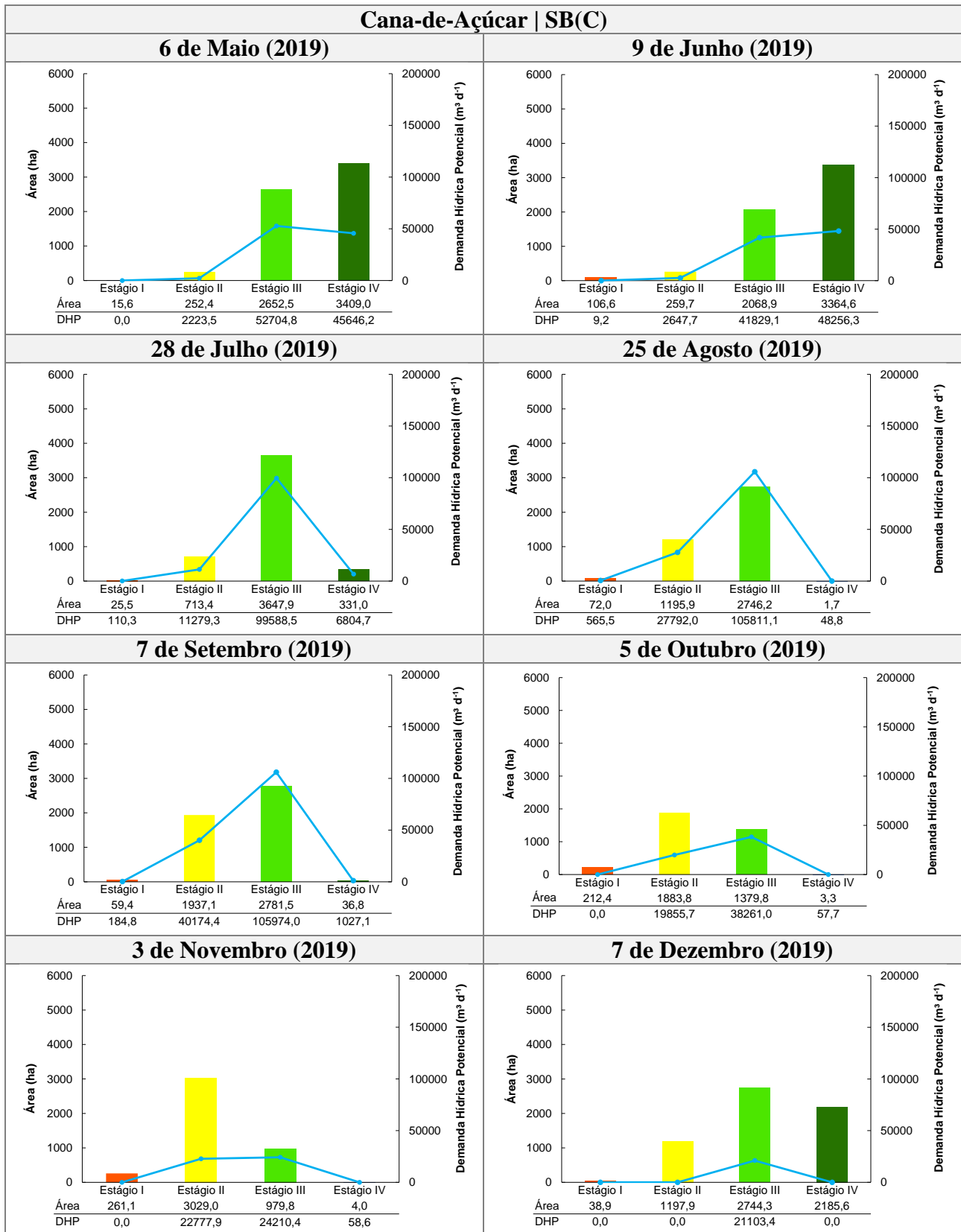


**Figura 73** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(B), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

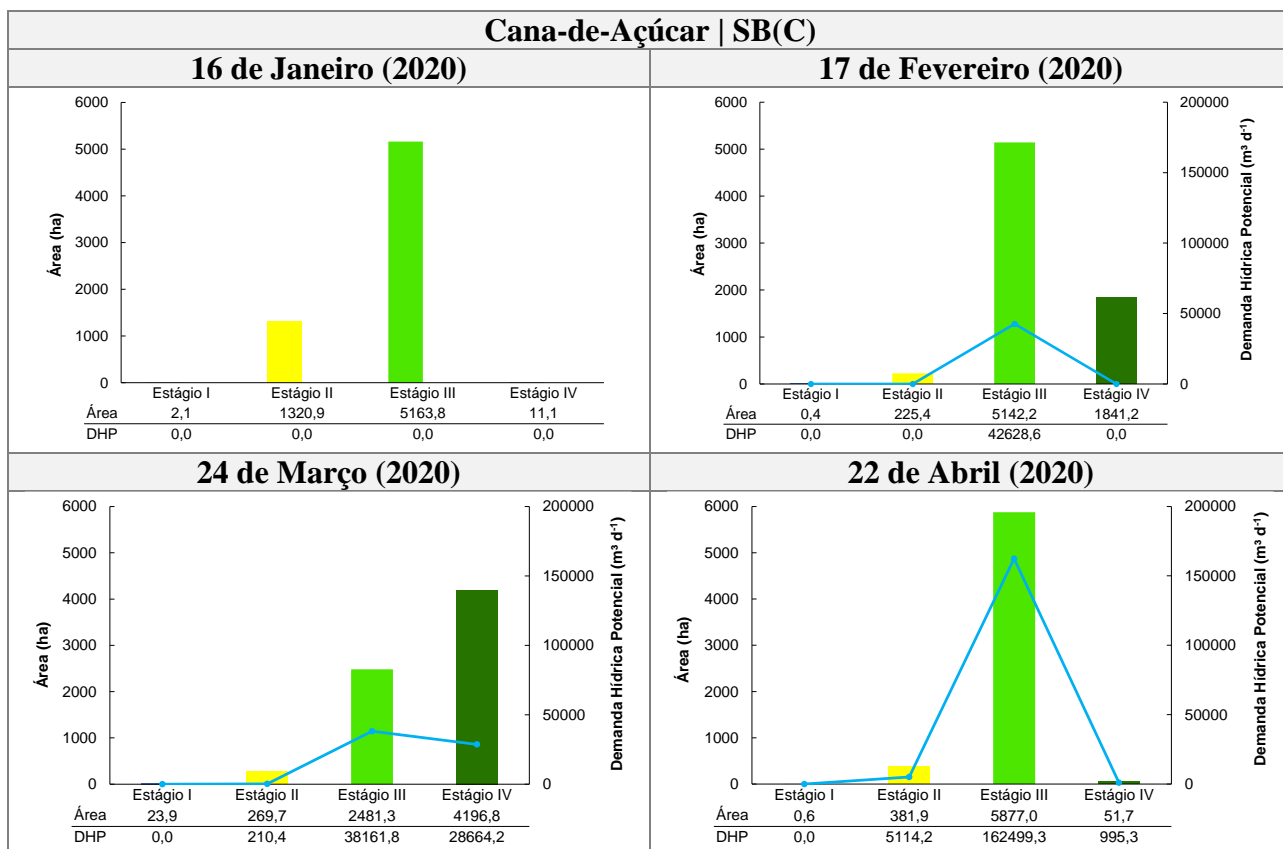
A SB(C) apresentou somente o cultivo da cana-de-açúcar (Figuras 75 e 76), os estágios III e IV se destacaram quanto a extensão ocupada, considerando os dias analisados. A DHP foi maior no dia 21 de abril de 2020, em que o estágio III da cultura apresentou a necessidade de irrigação acima de 160.000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, representando 96,4% do total necessário para a irrigação da cultura na sub-bacia no dia mencionado. Esta alta DHP está condicionada ao tamanho da área ocupada, bem como, a necessidade de irrigação referente ao estágio de desenvolvimento da cultura. Outro fator que condiciona a maior demanda de água é o sistema de irrigação por aspersão (Figura 74), que é menos eficiente no uso da água (XING et al., 2020).



**Figura 74** - Irrigação por aspersão no cultivo da cana-de-açúcar na SB(C).



**Figura 75** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(C), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

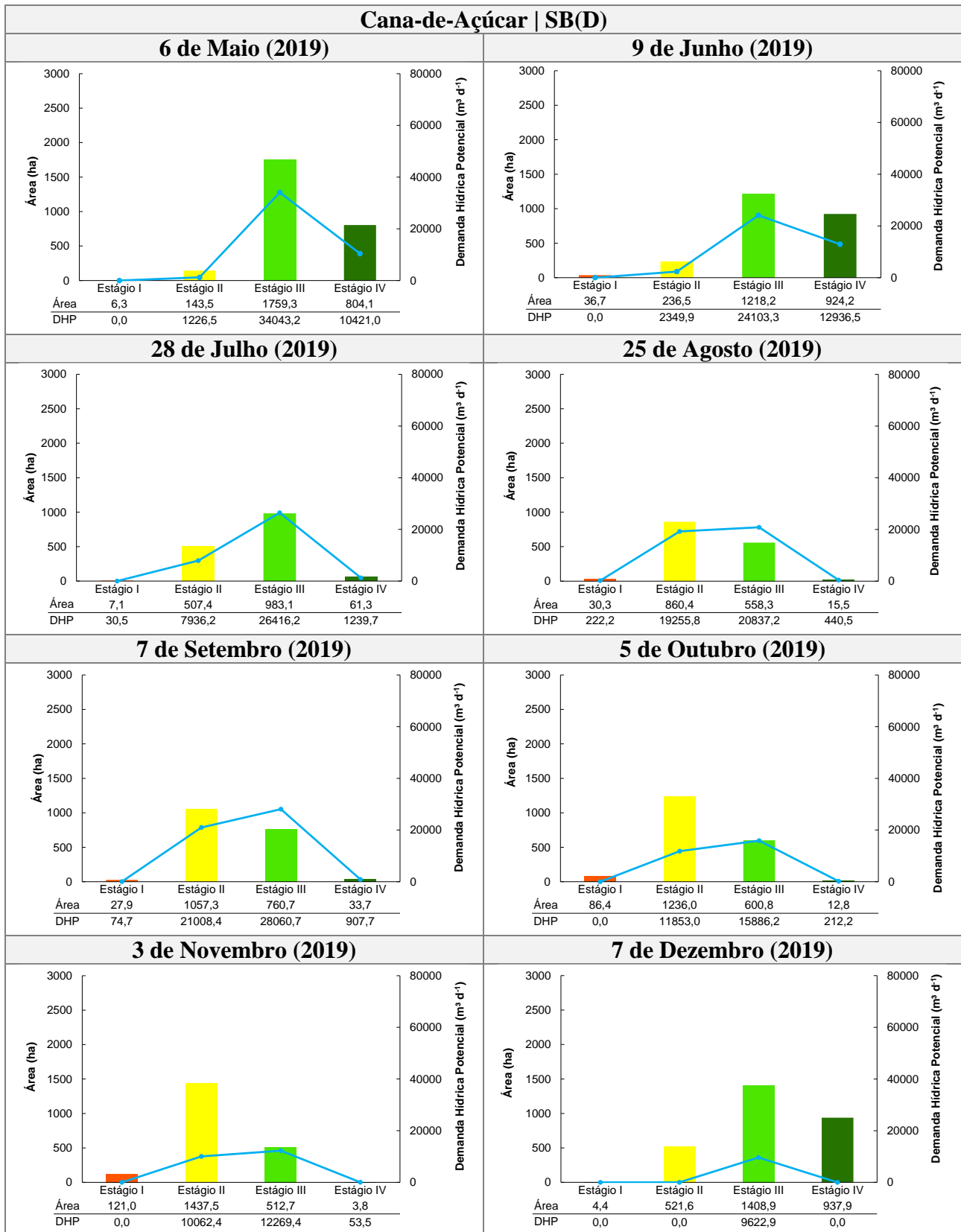


**Figura 76** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(C), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

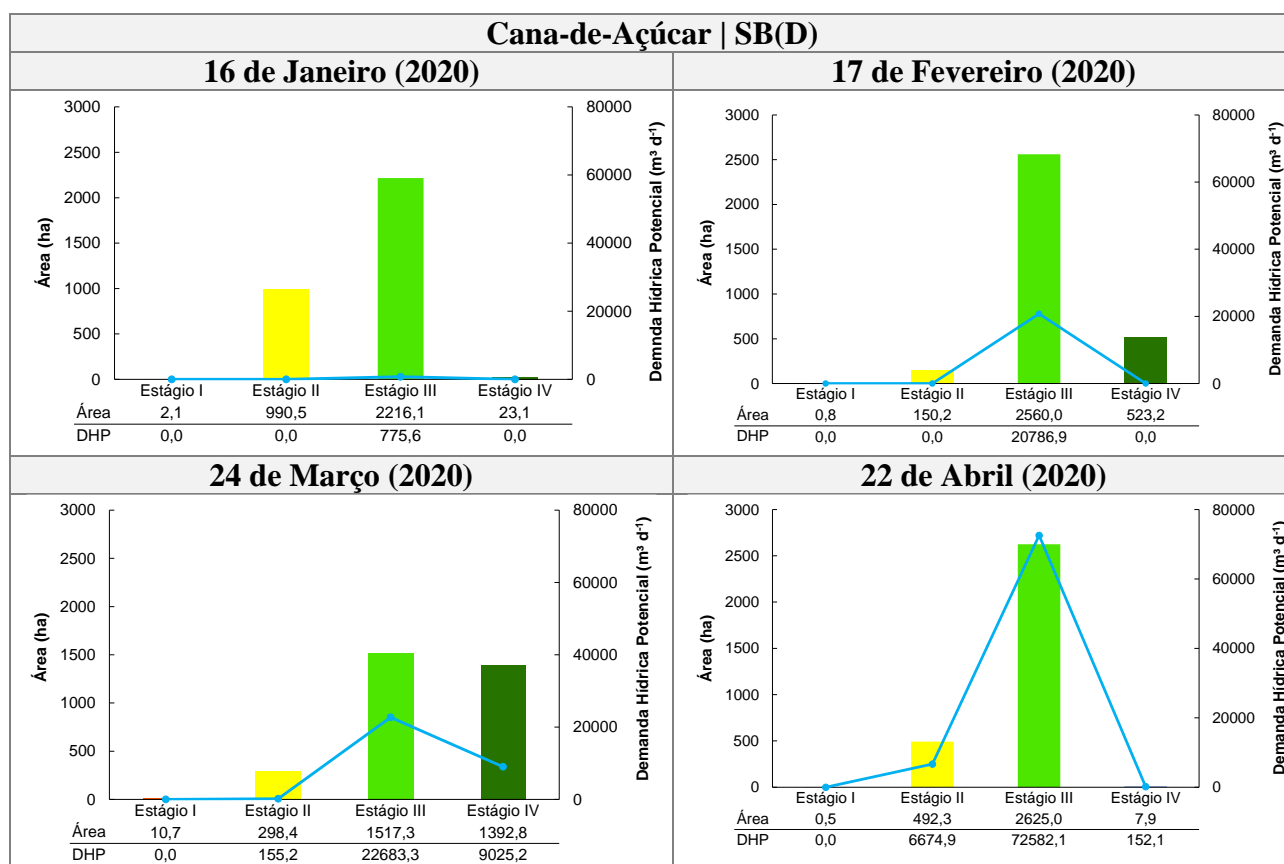
Com relação ao cultivo de cana-de-açúcar na SB(D), o dia que apresentou maior demanda hídrica foi no dia 22 de abril de 2020, assim como na SB(C), porém o volume demandado na SB(D) é aproximadamente duas vezes menor quando comparado com o volume demandado neste mesmo dia para a SB(C). Tal situação, ocorre em função da extensão ocupada pela cultura, visto que, a SB(C) apresenta 45% a mais de área plantada em estágio III de desenvolvimento.

A menor DHP no cultivo da cana-de-açúcar na SB(D) ocorreu no dia 16 de janeiro de 2020, correspondendo  $775,6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , enquanto que, a SB(C) não apresenta necessidade de irrigação para esse mesmo mês em nenhuma das fases fenológicas da cultura, devido as condições edafoclimáticas da região.

Os valores da DHP da cultura da cana-de-açúcar na SB(D) para os dias analisados são apresentados nas Figuras 77 e 78, considerando os estágios de desenvolvimento da cultura.



**Figura 77** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(D) referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

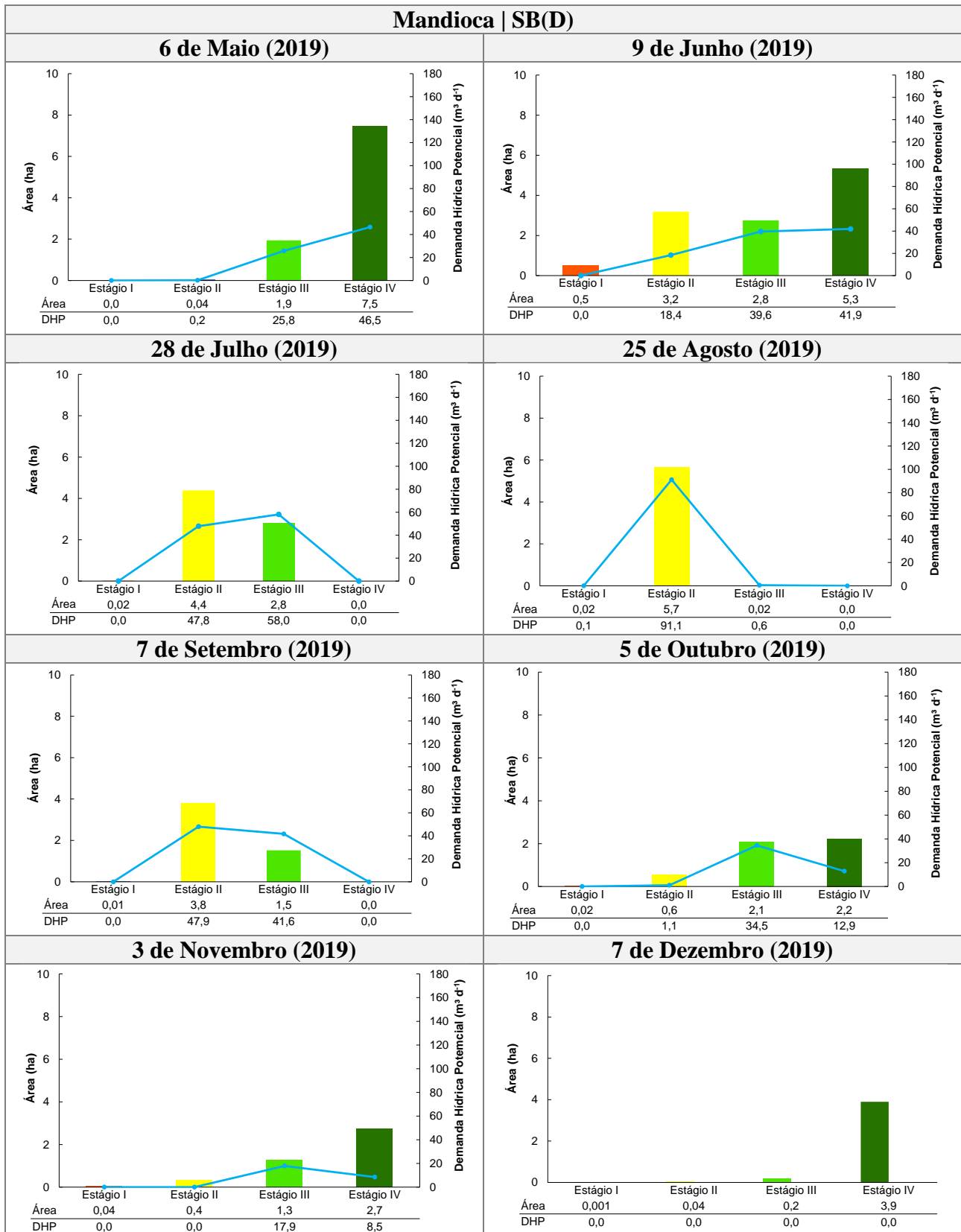


**Figura 78** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

A SB(D) também apresenta mais três culturas temporárias, sendo elas, mandioca, milho e soja. O cultivo de mandioca na sub-bacia hidrográfica não é expressivo em questão a extensão de áreas cultivadas. A maior DHP da cultura ocorreu também em 22 de abril de 2020, correspondendo  $168,8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , sendo que deste total  $163,1 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  referem-se à irrigação das áreas em estágio III de desenvolvimento. A segunda maior demanda da cultura ocorreu em 28 de julho de 2019, compreendendo  $105,9 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , apresentando também maior demanda hídrica para áreas em estágio III, mesmo estas não possuindo as maiores extensões.

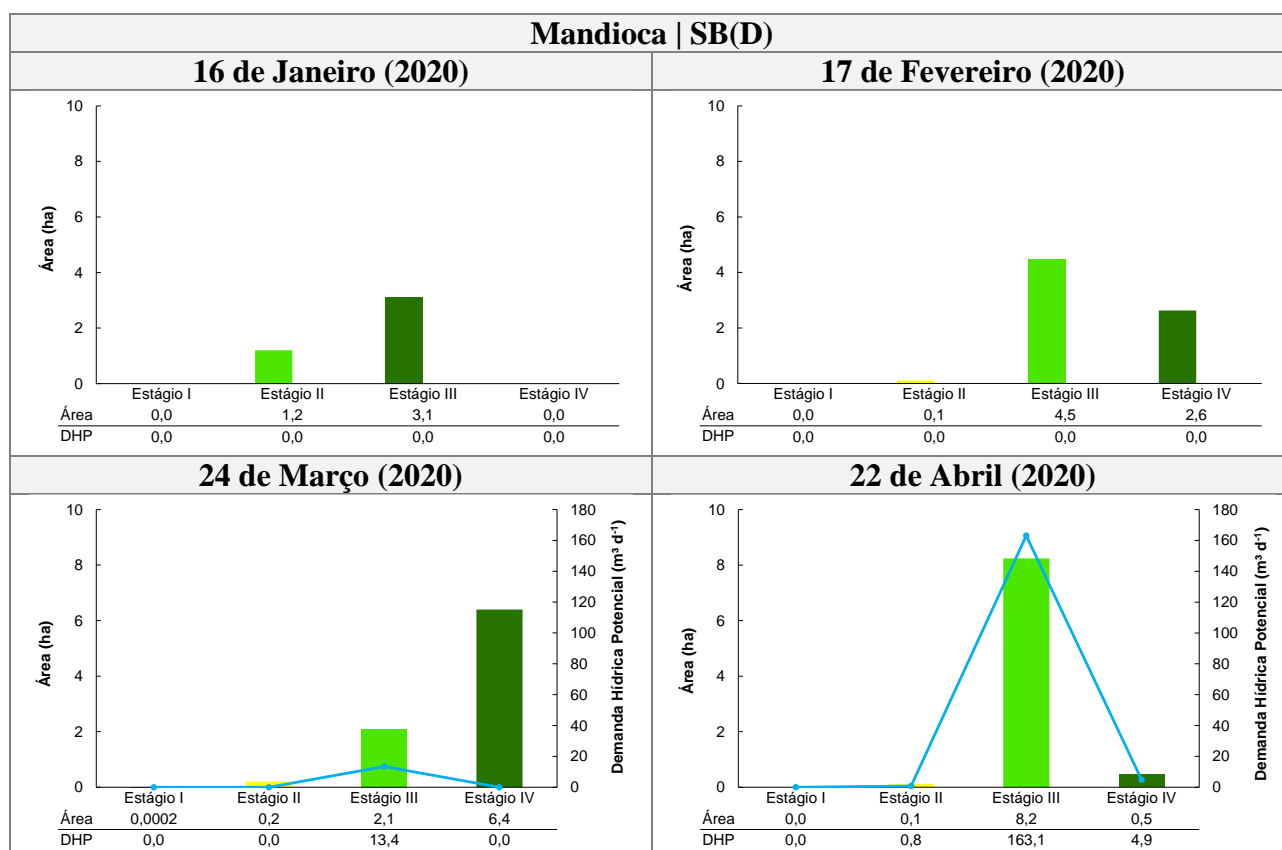
Vale ressaltar, que a cultura da mandioca nesta sub-bacia também não possui a necessidade de ser irrigada entre os meses de dezembro a fevereiro, assim como para a SB(B). No entanto, isto dependerá da época do plantio e das condições climáticas locais.

As Figuras 79 e 80 apresentam a DHP da cultura da mandioca na SB(D), bem como as áreas da cultura por estágios de desenvolvimento.



**Figura 79** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.





**Figura 80** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da mandioca na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

Nos dias analisados, as lavouras de milho e soja na SB(D) representaram pequenas áreas, influenciando discretamente na demanda hídrica potencial. Com relação ao cultivo do milho, a maior demanda ocorreu no dia 7 de setembro de 2019, correspondendo  $254,7 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , sendo que, 61,8% deste volume consistiu na demanda de água para a cultura no estágio III. O consumo de água no estágio III se destacou também na maioria dos dias analisados.

A menor demanda potencial para a cultura do milho ocorreu no dia 24 de março de 2020, compreendendo apenas  $0,6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , para uma área de 0,1 ha no estágio III de desenvolvimento. Vale ressaltar, que para o mês de janeiro a cultura do milho na região que se encontra a SB(D) não necessita da prática de irrigação.

Com relação a cultura da soja na SB(D), o dia 9 de junho de 2019 apresentou o maior volume de demanda potencial para cultura, correspondendo a  $50,4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , visto que deste total, 53,8% requer irrigação no estágio III e 41,7% no estágio II. Enquanto que, a menor demanda foi registrada em 7 de dezembro de 2019 consistindo apenas em  $0,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para uma plantação de 0,2 ha. As Figuras 81 a 84 apresentam a DHP do milho e da soja na SB(D) considerando os dias analisados, por estágios de desenvolvimento das culturas.

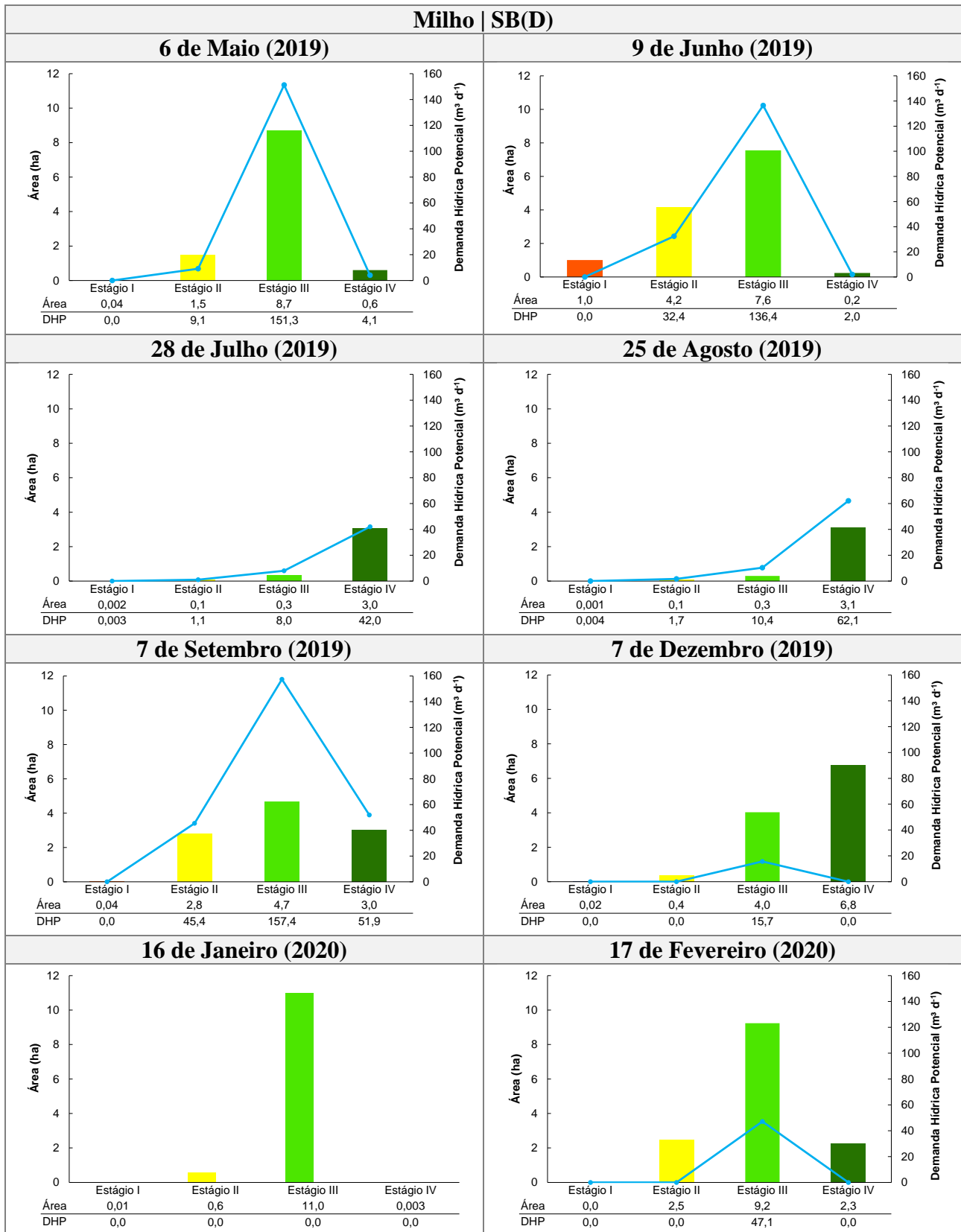


Figura 81 - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento do milho na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de maio a setembro e dezembro de 2019, e janeiro e fevereiro de 2020.

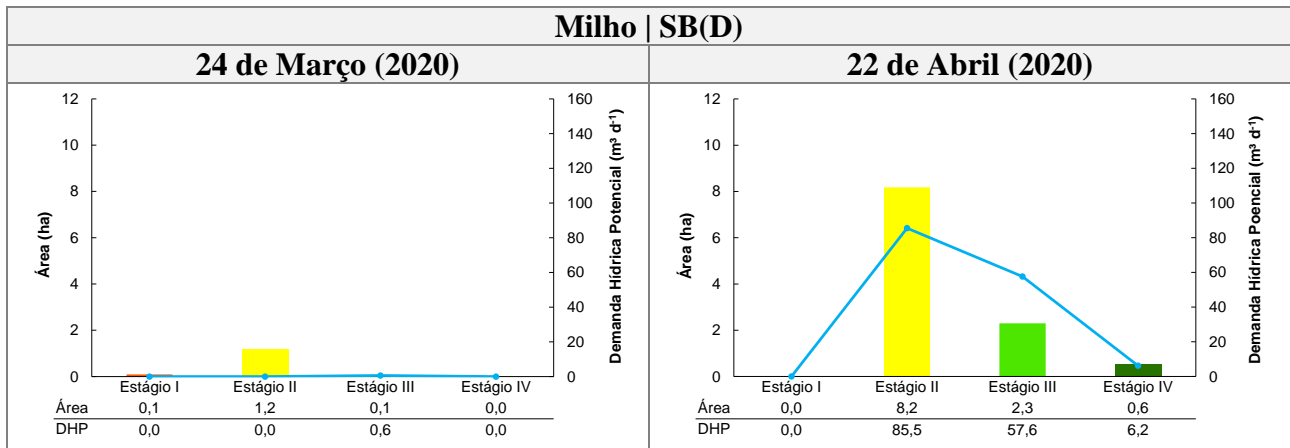


Figura 82 - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento do milho na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de março e abril de 2020.

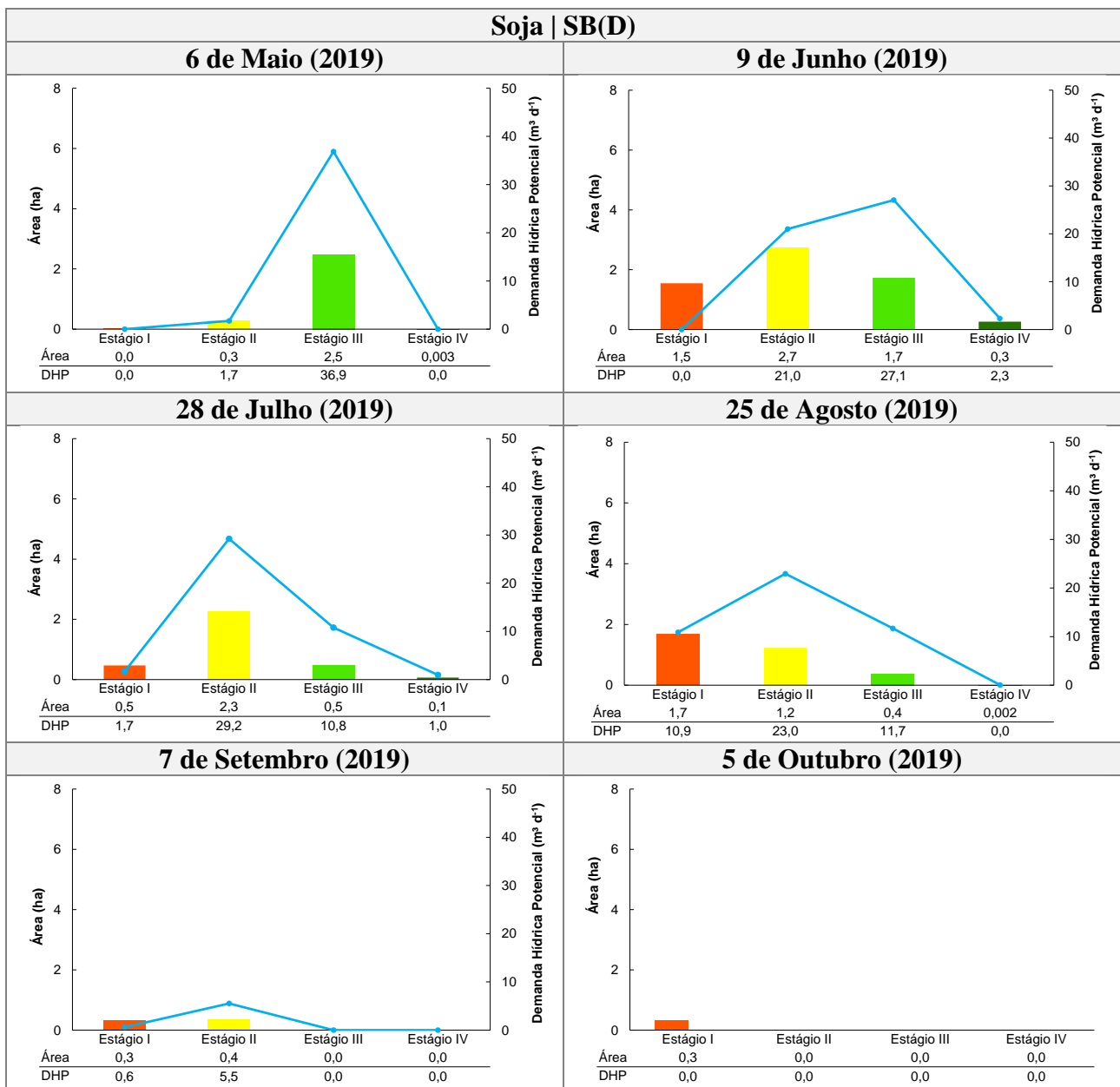
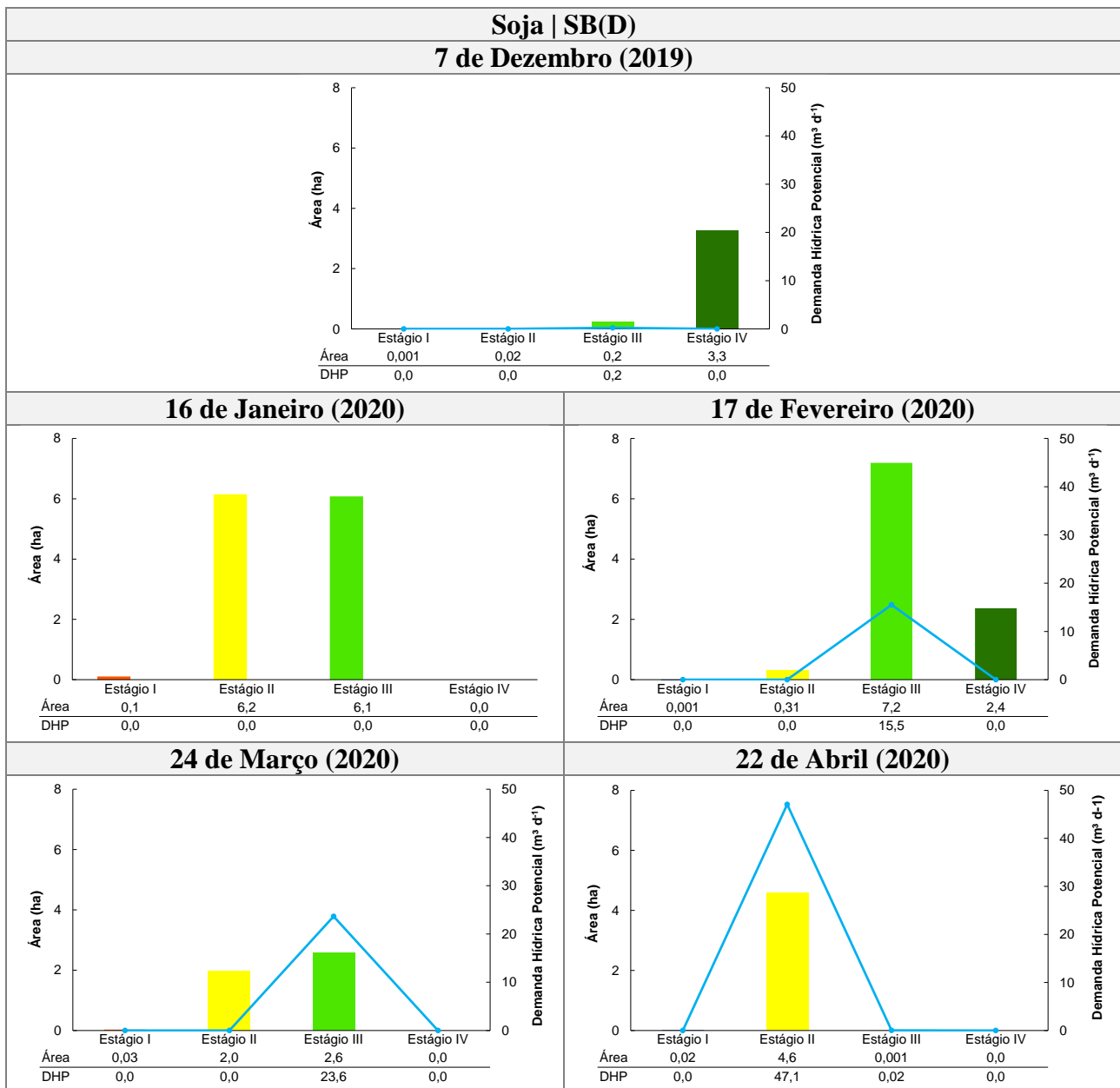


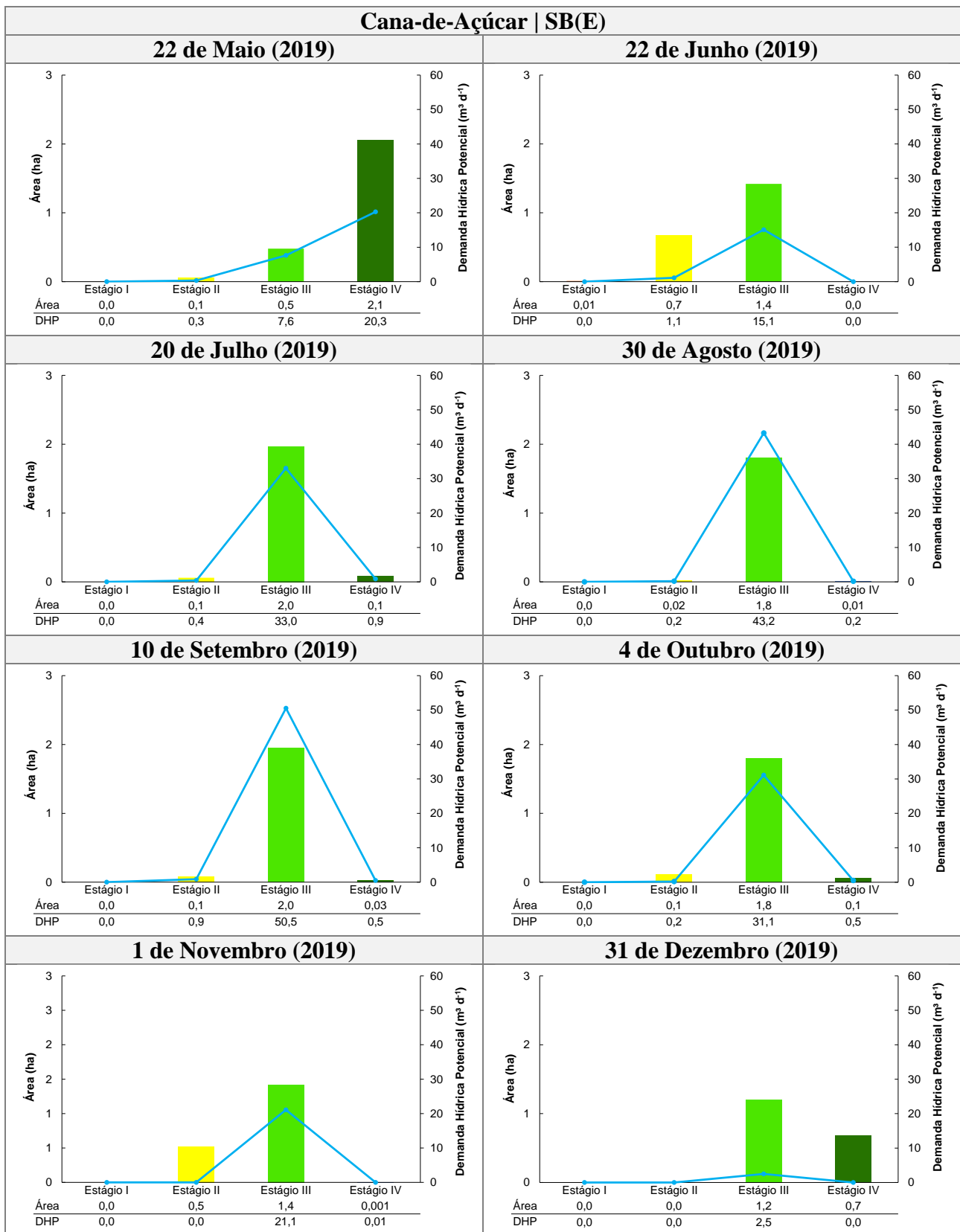
Figura 83 - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da soja na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de maio a outubro de 2019.



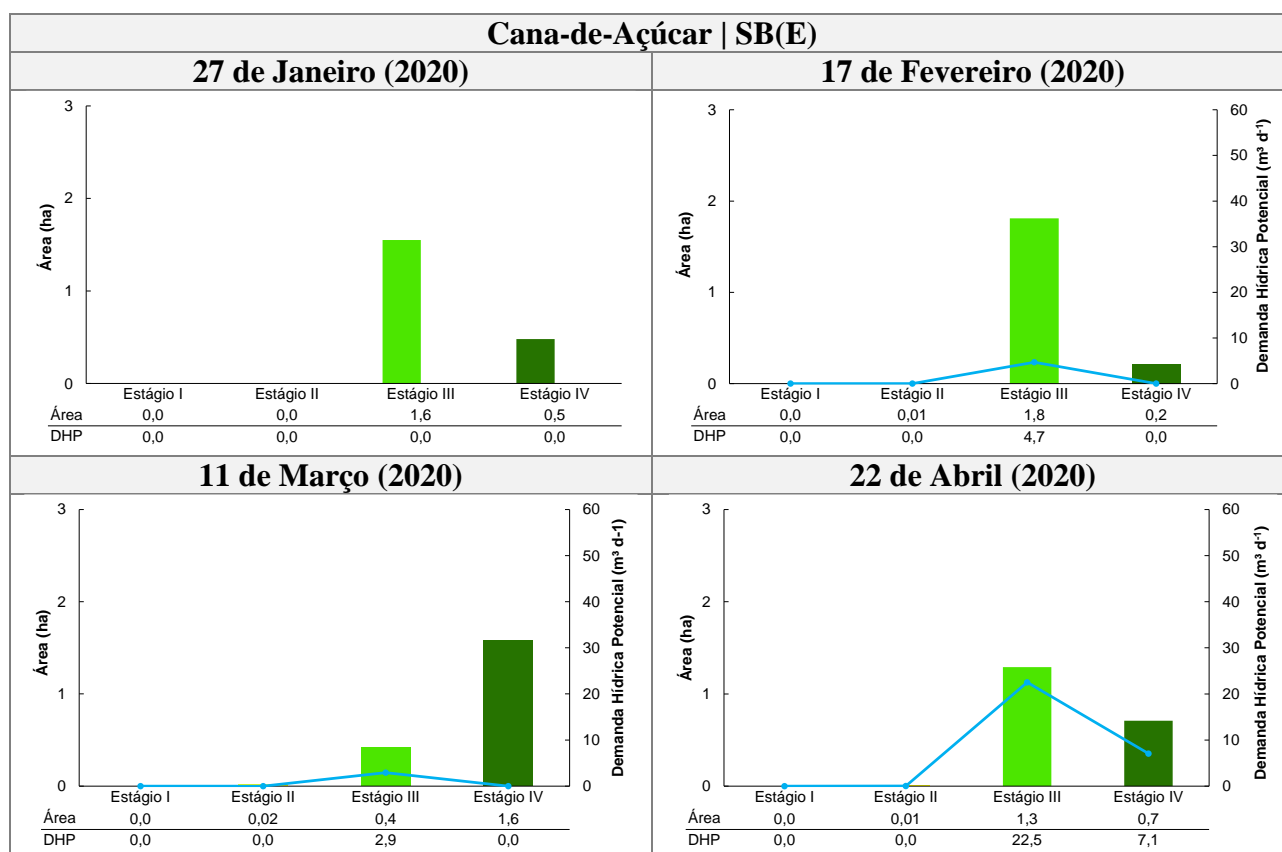
**Figura 84** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da soja na SB(D), referente aos dias analisados nos meses de dezembro de 2019 e janeiro a abril de 2020.

A cultura da cana-de-açúcar também foi encontrada na SB(E), porém não se destacou com relação a extensão ocupada, interferindo de forma discreta na DHP. As maiores demandas aconteceram nos dias 10 de setembro de 2019 e 30 de agosto de 2019, representando respectivamente,  $51,9 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  e  $43,6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ . No mês de janeiro de acordo com os dados da plataforma “ Coeficientes Técnicos da Agricultura Irrigada”, a região que se encontra a SB(E) não necessita de irrigação para suprir a necessidade hídrica da cultura.

A menor DHP ocorreu no dia 31 de dezembro de 2019, compreendendo um volume de  $2,5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para uma área de 1,2 ha. As Figuras 85 e 86 apresentam a DHP da cultura de cana-de-açúcar na SB(E), bem como a extensão territorial que a cultura ocupa por estágios de desenvolvimento.



**Figura 85** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(E), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

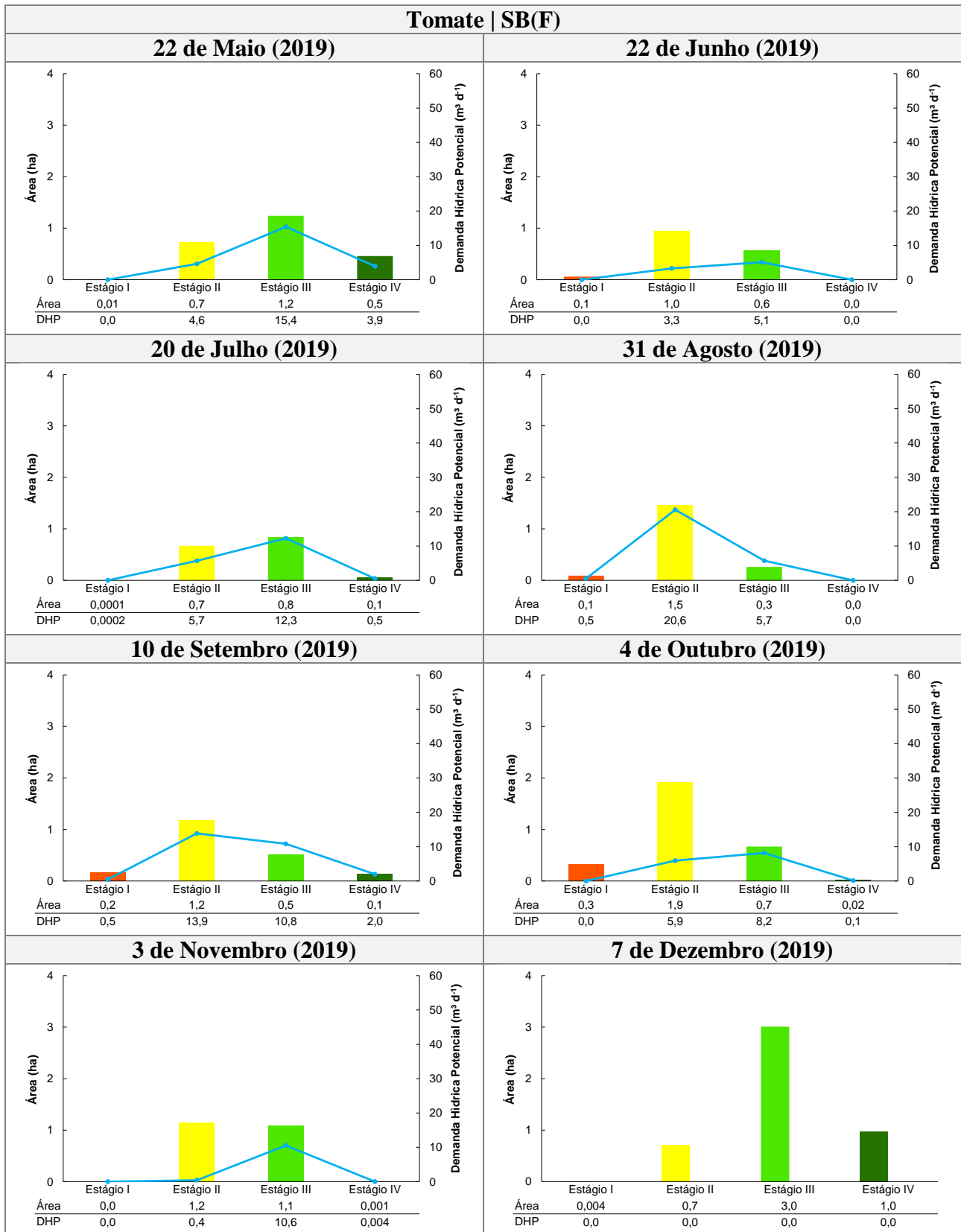


**Figura 86** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar na SB(E), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.

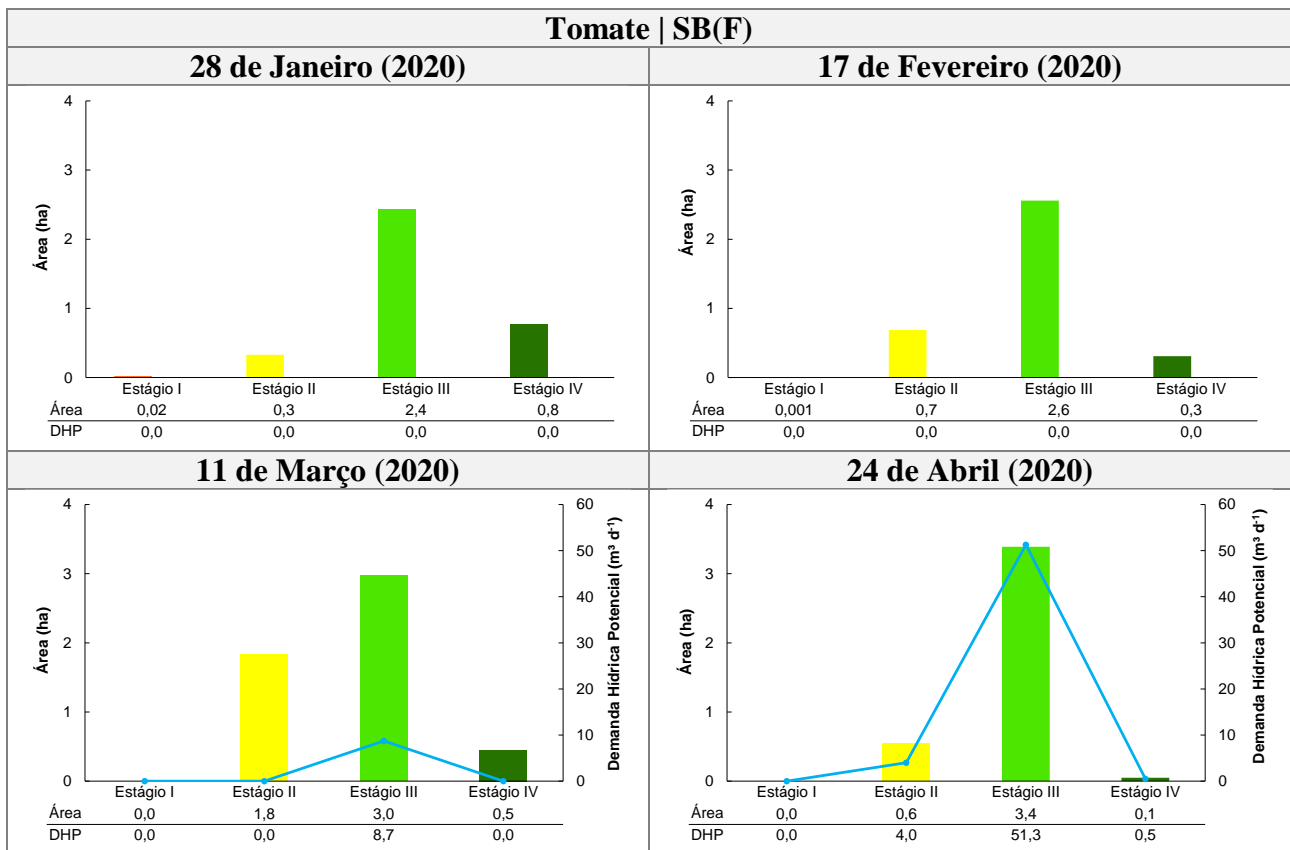
A SB(F) apresentaram duas culturas temporárias, sendo o tomate e a vagem, estas culturas não se destacaram em tamanho de áreas ocupadas. Com relação a cultura do tomate, o dia de maior consumo de água para irrigação registrado ocorreu em 24 de abril de 2020, correspondendo  $55,8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , enquanto que, a menor DHP foi verificada em 22 de junho de 2019, representando  $8,4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ . Nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, não há necessidade de irrigação, visto que, geralmente contemplam parte do período chuvoso, isso também é considerado para o cultivo de vagens.

A cultura da vagem contribuiu de forma discreta na DHP da SB(F), no entanto, a maior quantidade demandada de água foi no dia 22 de maio de 2019, compreendendo um volume de  $52,9 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , sendo que 94,1% correspondeu a irrigação de áreas no estágio III de desenvolvimento. Com relação a menor DHP, aconteceu em 3 de novembro de 2019 com apenas  $3,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para uma extensão de 0,3 ha. Vale ressaltar, que a DHP é maior ou menor em função da área ocupada pela cultura no seu estágio de desenvolvimento, e não somente pela necessidade de irrigação que a cultura depende para manter o seu desenvolvimento ativo.

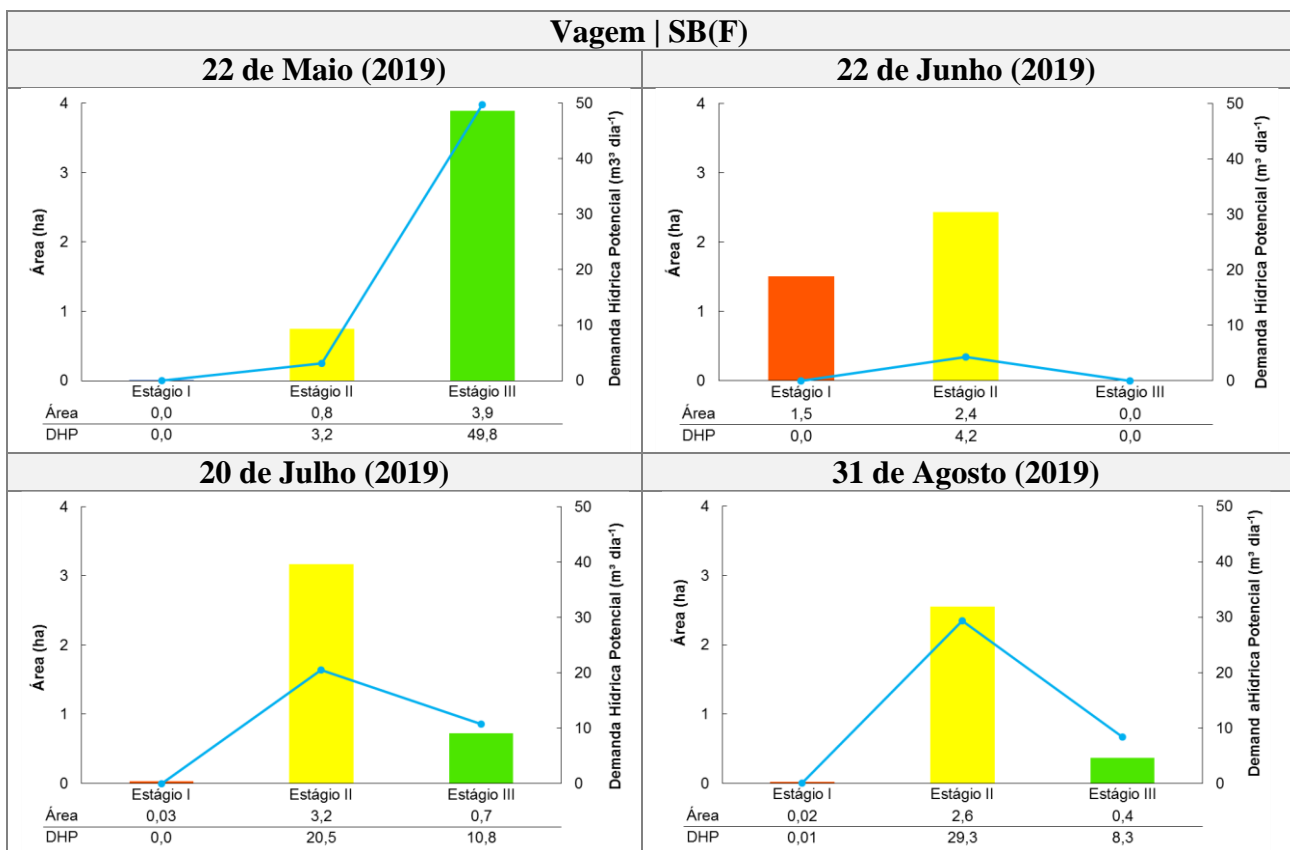
As Figuras 87 a 90 apresentam a DHP das culturas do tomate e da vagem na SB(F), bem como a área ocupada pelas culturas nos estágios de desenvolvimento de I a IV.



**Figura 87** -  $DHP_a$  por estágios de desenvolvimento do tomate na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de maio a dezembro de 2019.

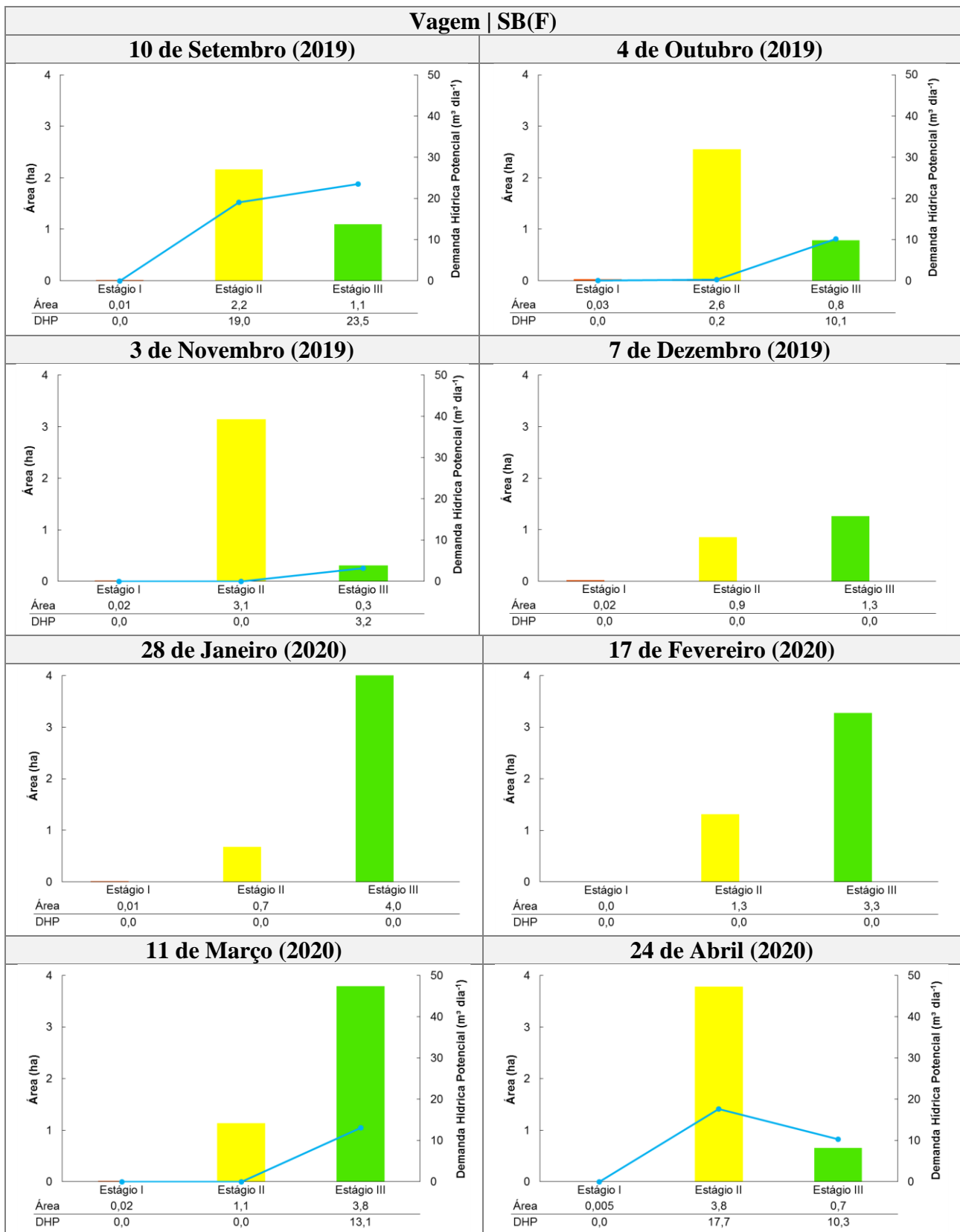


**Figura 88** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento do tomate na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de janeiro a abril de 2020.



**Figura 89** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da vagem na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de maio a agosto de 2019.





**Figura 90** - DHP<sub>a</sub> por estágios de desenvolvimento da vagem na SB(F), referente aos dias analisados nos meses de setembro a dezembro de 2019 e janeiro a abril de 2020.

### 6.2.1.2.2 Culturas permanentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas

Com relação as culturas permanentes existentes nas áreas estudadas, estas não necessitam de irrigação no primeiro e no último mês do ano, devido normalmente apresentarem maiores volumes de precipitação, por se enquadrarem no período chuvoso, assegurando o desenvolvimento da cultura. Em fevereiro, a demanda potencial de água foi exclusivamente para o cultivo da banana na SB(D), correspondendo respectivamente a  $10,9 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . No mês de março, a SB(B) se destacou na demanda potencial compreendendo  $307,7 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de água, para as culturas de café e abacate, sendo que o café necessitou quase 98% deste volume.

Com o início do período de estiagem, nota-se que o consumo potencial de água aumenta consideravelmente em todas as sub-bacias que apresentam culturas permanentes. No mês de abril, os maiores consumos de água aconteceram nas sub-bacias hidrográficas que compõem o Par 1. Dentre as sub-bacias estudadas, a SB(E) apresentou a menor demanda hídrica potencial nesse mesmo mês, sendo representado apenas por  $3,2 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  para a irrigação do café.

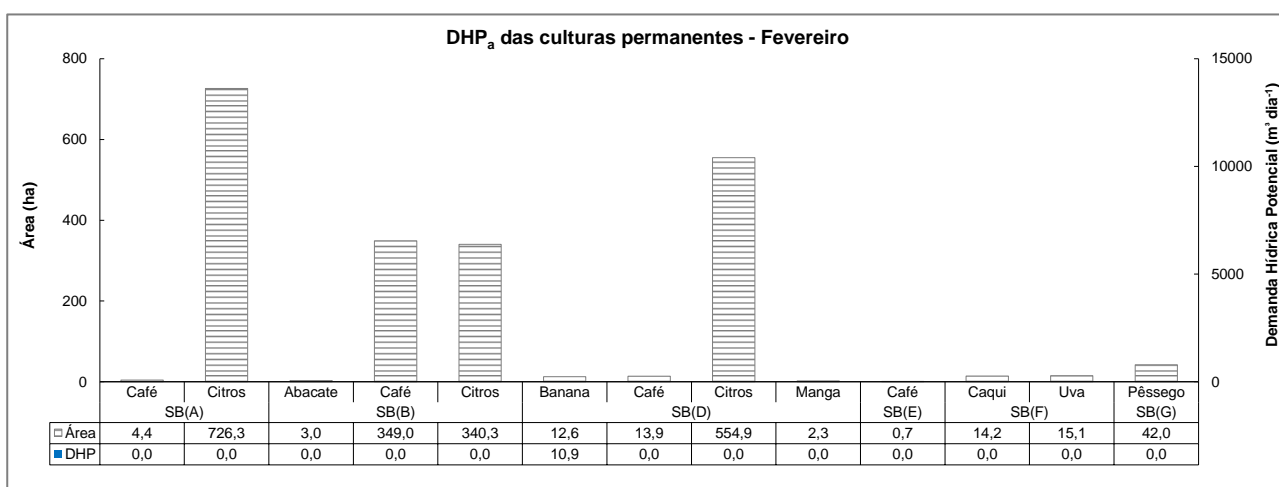
De abril para maio a demanda hídrica potencial das culturas permanentes diminuiu em todas as sub-bacias hidrográficas estudadas, exceto na SB(E) que apresentou um aumento no consumo de água na ordem de  $0,6 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  para a irrigação do café. No entanto, as sub-bacias que mais se destacaram quanto aos maiores valores demandados foram a SB(A), a SB(B) e a SB(D), com o cultivo de citros e café.

Entre maio a junho, todas as culturas permanentes presentes nas sub-bacias SB(A), SB(B) e SB(D) aumentaram de forma pouco expressiva a demanda hídrica potencial, enquanto que as sub-bacias situadas na porção oeste da BHRP, sendo a SB(E), SB(F) e SB(G), diminuíram a quantidade de água para a irrigação das culturas do café, caqui, uva e pêssigo. Observa-se que de junho para julho, ocorre o contrário, estas últimas sub-bacias hidrográficas aumentaram a demanda potencial de água das culturas permanentes, enquanto que as sub-bacias SB(A), SB(B) e SB(D) apresentaram uma redução abrupta do consumo de água para as suas culturas.

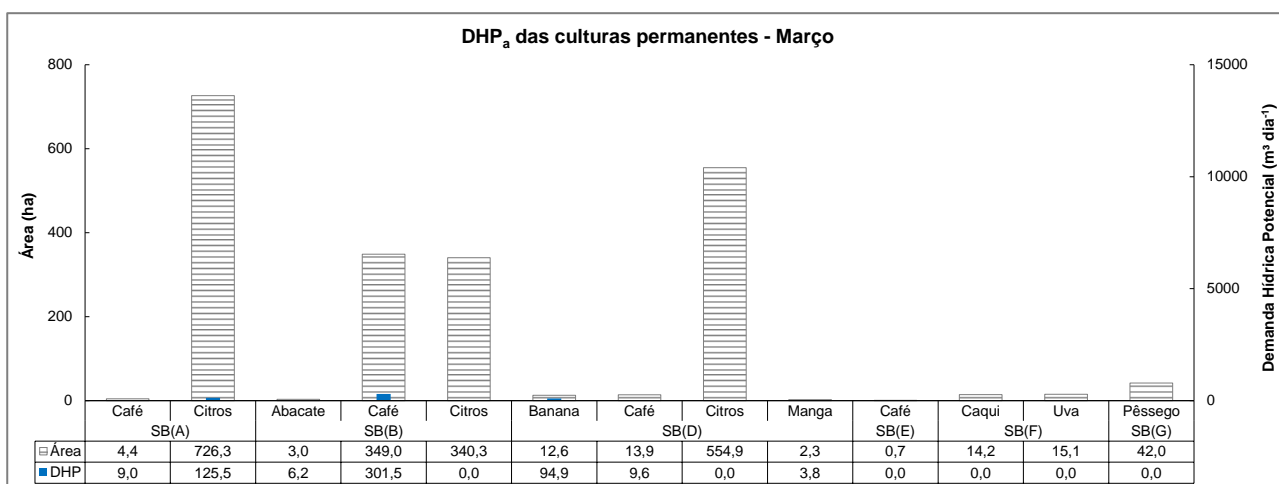
Os meses de agosto e setembro são considerados os mais críticos com relação a demanda potencial de água, considerando os dados da necessidade de irrigação das sub-bacias hidrográficas estudadas. Em outubro e novembro, a demanda potencial de água volta a diminuir nas sub-bacias hidrográficas estudadas, de modo geral, tal situação pode ser justificada pelo início do período de chuvas.

É importante evidenciar que as maiores demandas ocorrem nas sub-bacias hidrográficas SB(A), SB(B) e SB(D), que apresentam maiores extensões territoriais ocupadas por este tipo de cultura (permanente). O tamanho das lavouras permanentes nas demais sub-bacias hidrográficas é relativamente pequeno, além disso, as culturas existentes apresentam também uma necessidade menor de água, como exemplo, a uva, o caqui e o pêssego.

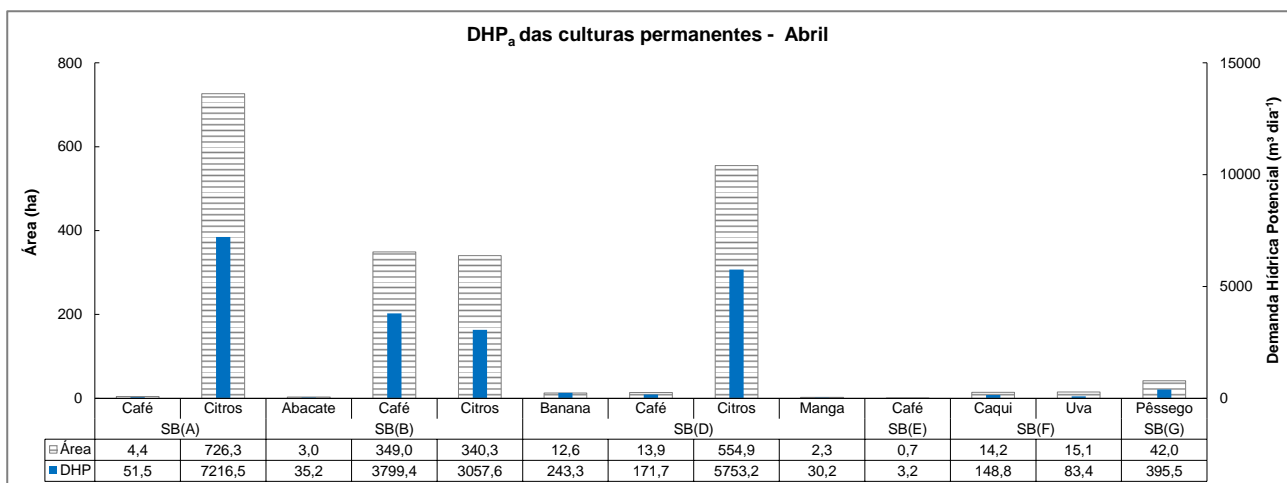
As Figuras 91 a 100 mostram a demanda potencial de água correspondente aos meses de fevereiro a novembro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas. Vale ressaltar que, de acordo com o mapeamento do uso e cobertura do solo, as sub-bacias SB(C) e SB(H) não apresentaram o cultivo de nenhuma lavoura permanente.



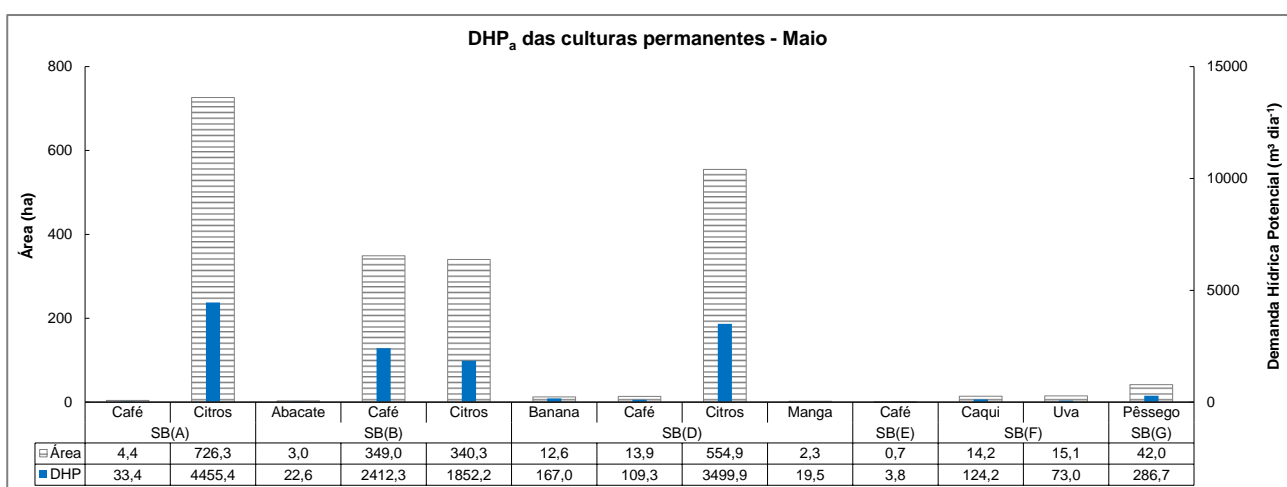
**Figura 91** - Demanda hídrica potencial ( $m^3 d^{-1}$ ) diária para o mês de fevereiro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



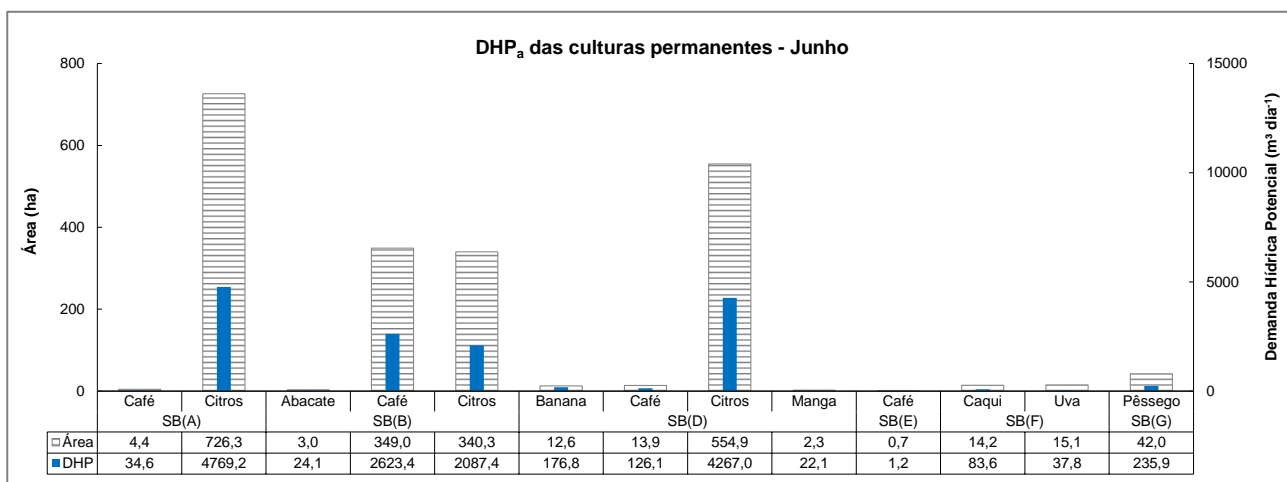
**Figura 92** - Demanda hídrica potencial ( $m^3 d^{-1}$ ) diária para o mês de março das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



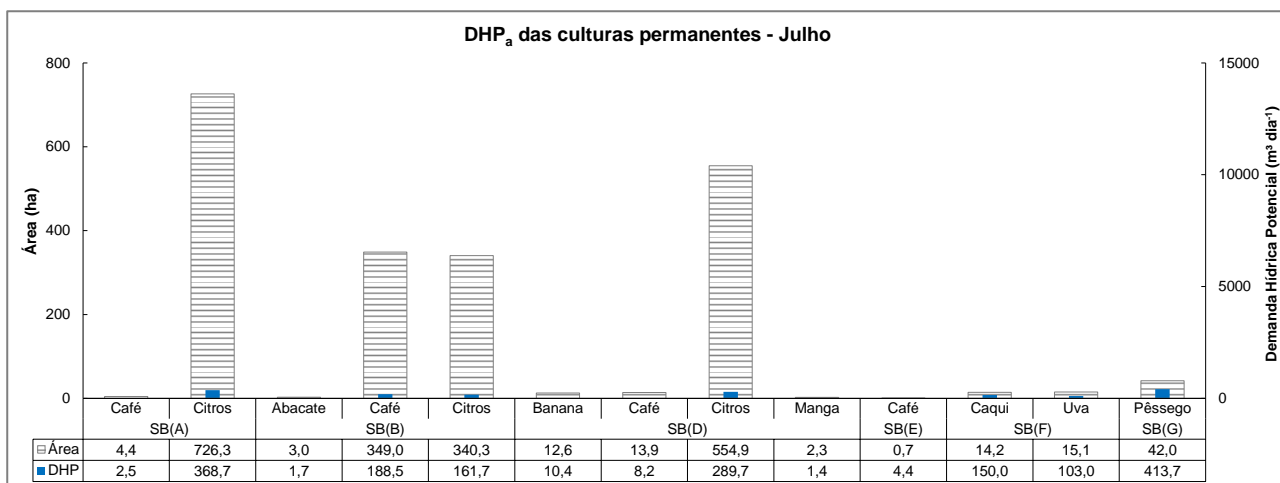
**Figura 93** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de abril das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



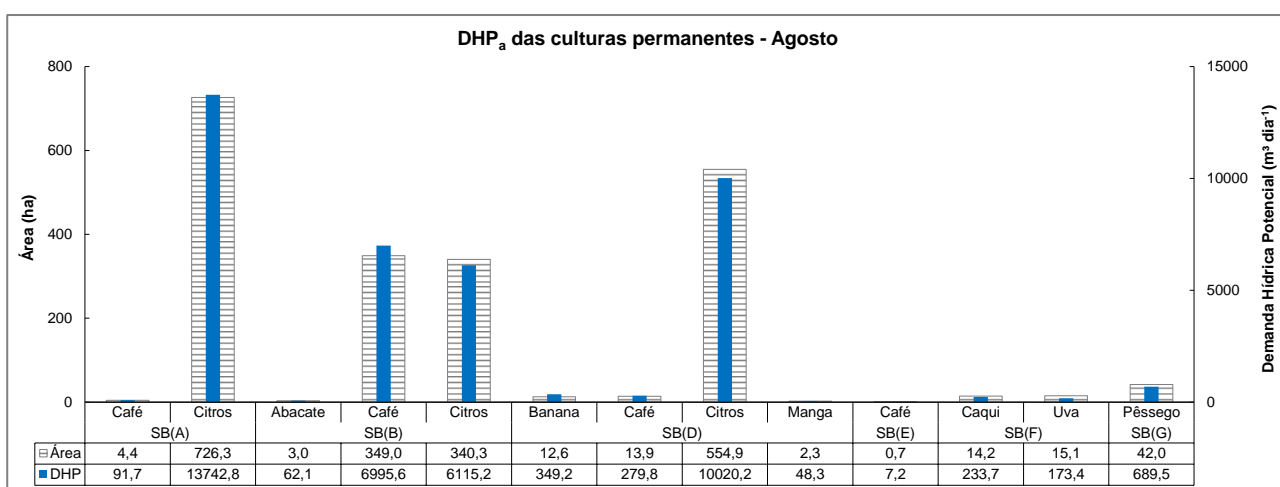
**Figura 94** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de maio das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



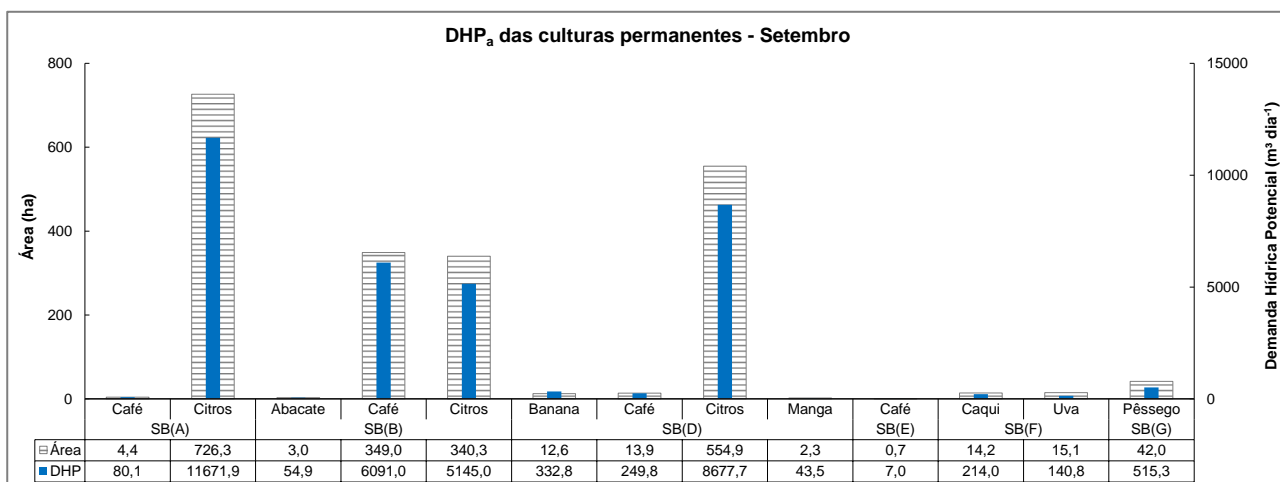
**Figura 95** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de junho das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



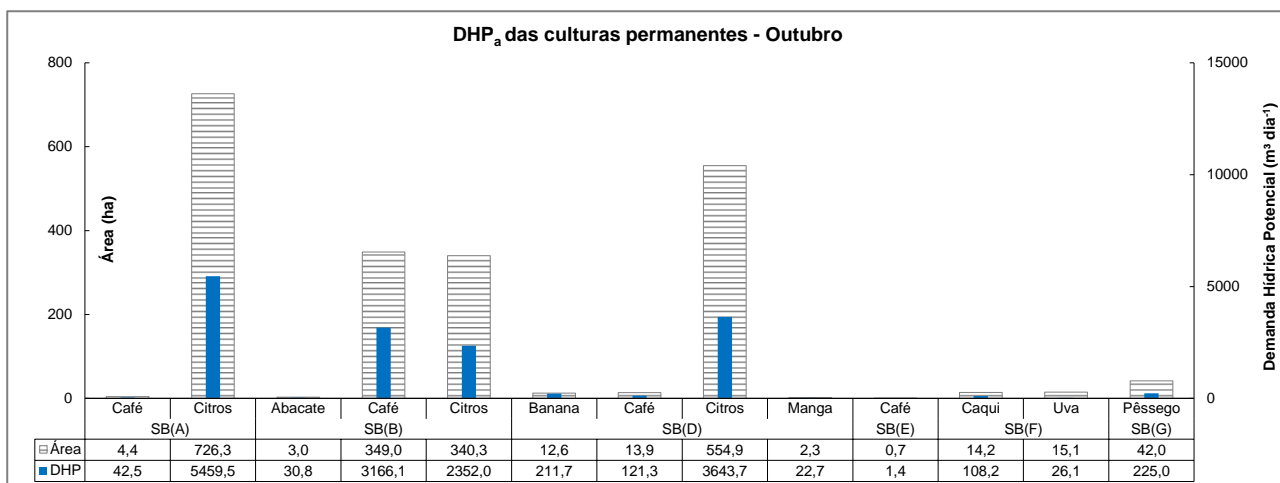
**Figura 96** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de julho das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



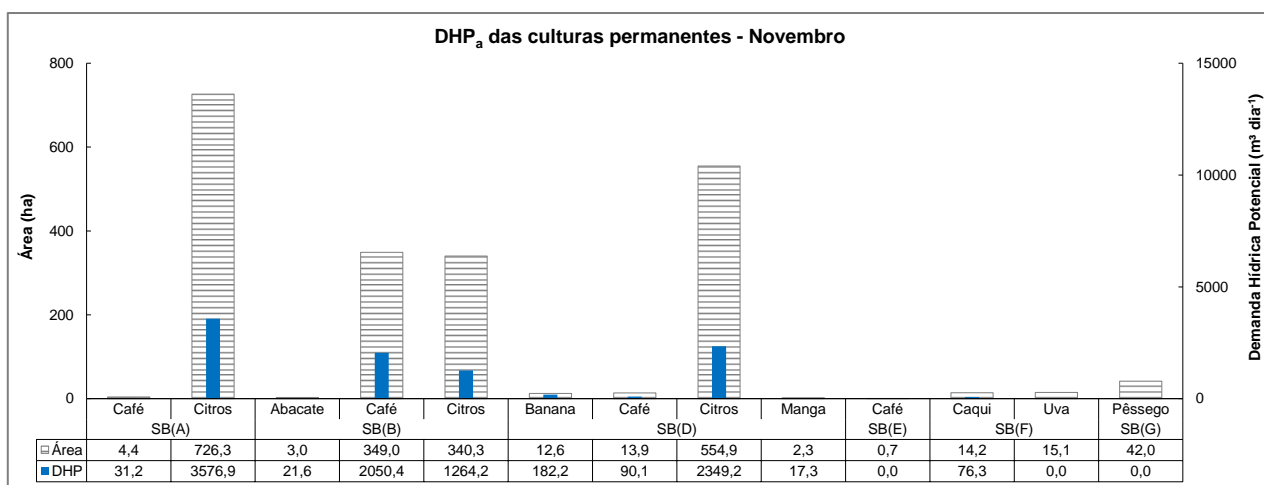
**Figura 97** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de agosto das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



**Figura 98** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de setembro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



**Figura 99** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de outubro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.



**Figura 100** - Demanda hídrica potencial ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) diária para o mês de novembro das culturas permanentes existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Com base na Equação 9, a Tabela 41 (Apêndice B) apresenta os valores da DHP<sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas estudadas, e a Figura 101 apresenta uma síntese destes valores para as sub-bacias hidrográficas estudadas.

A demanda potencial diária de água apresentou uma diferença significativa nos pares de sub-bacias hidrográficas, levando em consideração: os tipos de culturas (temporárias e permanentes), as fases de desenvolvimento das culturas temporárias, a área plantada, a necessidade de irrigação, bem como a existência de viveiros (conforme o delineamento desta classe no mapa de uso e cobertura do solo e no conhecimento técnico nos processos de outorga de direito de uso de água). O volume demandado de água nesta classe foi estabelecido com base no critério apresentado no item 5.2.3.1.2.



**Figura 101 - DHP<sub>a</sub> diária das culturas temporárias e permanentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.**

Com relação ao Par 1, o volume potencial de água para irrigação das culturas temporárias na SB(A) superou de forma significativa quando comparado com a quantidade de água necessária para a irrigação desse mesmo tipo de cultura na SB(B), em todo o período analisado. No entanto, a DHP

das culturas permanentes nestas sub-bacias hidrográficas apresentou maior proximidade no consumo de água para irrigação.

No Par 2 embora a SB(D) apresente maior heterogeneidade de platanções em suas áreas agricultáveis, a DHP é menor quando comparada com a SB(C) que se destaca no cultivo de cana-de-açúcar, a qual não apresentou uma demanda maior devido a existência de áreas de solo exposto, podendo ser provenientes de períodos de entressafras e/ou pousios. No país, geralmente o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar se enquadra em seis anos, o que possibilita cinco cortes e uma fase de pousio (CLAROS GARCIA e VON SPERLING, 2017). Com relação as culturas permanentes, a DHP na SB(D) é consideravelmente superior em comparação com o potencial consumo de água na SB(C).

A DHP das culturas temporárias existentes na SB(E) nos dias analisados, sobressaiu de forma significativa quando comparada com a demanda potencial da SB(F). O contrário aconteceu com a DHP das culturas permanentes, em que a SB(F) se destaca apresentando maior volume potencial de água em todos os dias analisados.

No Par 4, a DHP das culturas temporárias foram expressamente superiores na SB(G), a demanda potencial deste tipo de cultura foi maior 413,3% considerando os dias analisados, nas sub-bacias hidrográficas que compõem esse par. A DHP das culturas permanentes também foi maior na SB(G), no entanto, alguns dos dias analisados não apresentaram necessidade de irrigação para a cultura existente (pêssego).

### **6.2.2 Demanda hídrica diária do setor pecuário (DH<sub>p</sub>)**

Após o levantamento do número de animais em campo por tipo de rebanho, foi realizado o estudo bibliográfico para identificar a quantidade de água necessária em diversas regiões para os tipos de rebanhos existentes nas sub-bacias hidrográficas em estudo (Tabela 32).



**Tabela 32** - Consumo de água para os tipos de rebanhos existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Rebanhos	Consumo de Água	Região/País	Autores (Ano)
Aves	0,27 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	ANA (2017)
	0,19 a 0,27 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	Palhares (2013)
	Valor médio de 0,23 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Argentina	Bavera (2011)
	Aproximadamente em 0,18 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Lahore/Paquistão	Mushtaq et al. (2014)
	Aproximadamente em 0,19 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Geel/Bélgica	Souza da Silva et al. (2021)
	A ingestão de água média compreende a 0,28 Kg animal <sup>-1</sup> em frangos de corte sob tratamento com melatonina	Norte da Nigéria	Sinkalu et al. (2020)
	Aproximadamente em 0,28 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-	Riek et al., (2021)
Bovinos	127,50 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> para bovinos de leite e 50 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> para outros bovinos	Brasil	ANA (2017)
	22 a 78 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> para bovinos de corte e 12 a 64 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> para bovinos de leite, com intervalos de temperatura variando de 21°C a 32°C.	Brasil	Palhares (2013)
	0,6 a 55,6 Kg dia <sup>-1</sup> para bovinos Nelore	Sudeste do Brasil	Zanetti (2019)
	50 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> para bovinos de corte 50 a 150 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> para bovinos de leite	Argentina	Bavera (2011)
	Aproximadamente 33 a 44 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Canadá	Machado Filho (2004)
	Médias observadas de 98 Kg dia <sup>-1</sup> para vacas em lactação e 61.3 Kg dia <sup>-1</sup> para vacas secas	Fazenda experimental de Méjussaume/França	Khelil-Arfa et al. (2012)
	Valor médio de 83,6 L dia <sup>-1</sup>	França	Cardot et al. (2008)
	Valores médios de ingestão diária de água entre 28,23 a 49,46 Kg para bovinos de corte	Oklahoma/Estados Unidos da América	Ahlberg et al. (2018)
	Valores médios de ingestão diária de água entre 28,83 a 50,31 Kg dia <sup>-1</sup>	Oklahoma/Estados Unidos da América	Ahlberg et al. (2019)
Caprinos	10 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	ANA (2017)
	1,48 a 1,57 L dia <sup>-1</sup>	Brasil	Barreto et al. (2011)
	Valor médio de 8,0 L dia <sup>-1</sup>	Argentina	Bavera (2011)
	170,6 ± 19,5 g por kg de massa corporal <sup>0,75</sup> dia <sup>-1</sup>	Alemanha	Al-Ramamneh et al. (2012)
	1,99 a 3,20 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> (dieta de baixa em energia) 1,11 a 2,21 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> (dieta rica em energia)	África do Sul	Ferreira et al. (2002)
Equinos	40 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	ANA (2017)
	50 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Argentina	Bavera (2011)
	63,4 mL kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> quando alimentados	Flórida/Estados Unidos da América	Freeman et al. (2021)
	Volume médio de 2,4 ± 1,8 L 100 kg de peso corporal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> em condições de pastagem Volume médio de 6,4 ± 0,6 L 100 kg de peso corporal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> em estábulos.	Leicestershire/Inglaterra	Williams et al. (2015)
	Ingestão média entre 32 a 50 mL kg de peso corporal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Uppsala/Suécia	Nyman et al. (2002)
	Aproximadamente de 23 Kg dia <sup>-1</sup>	Michigan/Estados Unidos da América	Robison et al. (2017)
	Valores médios da ingestão de água entre 30,66 ± 0,90 L dia <sup>-1</sup> a 38,59 ± 2,16 L dia <sup>-1</sup>	-	Gordon e Jerina (2013)
	Valores médios da ingestão de água entre 21,5 ± 1,70 L dia <sup>-1</sup> a 37,3 ± 2,27 L dia <sup>-1</sup>	-	Sneddon e Colyn (1991)

**Tabela 32** - Consumo de água para os tipos de rebanhos existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).

Rebanhos	Consumo de Água	Região/País	Autores (Ano)
Ovinos	10 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	ANA (2017)
	Valor médio 8 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Argentina	Bavera (2011)
	Ingestão máxima de 4,9 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Noruega	Bøe et al. (2012)
	164,6 ± 34,5 g por kg de massa corporal <sup>0,75</sup> dia <sup>-1</sup>	Alemanha	Al-Ramamneh et al. (2012)
	4,40 a 5,44 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> (dieta de baixa em energia) 3,69 e 5,48 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> (dieta rica em energia)	África do Sul	Ferreira et al. (2002)
Suínos	18,7 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	ANA (2017)
	Valores médios de consumo de água de 6,86 ± 1,28 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Cruzeiro do Sul/Brasil	Guerini Filho et al. (2015)
	2,5 a 30 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Brasil	Palhares (2013)
	Valor médio de 20 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Argentina	Bavera (2011)
	Volume médio de água ingerida por porcos com peso de 20,5 ± 1,7 kg entre 4,77 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> a 5,21 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Dinamarca	Andersen et al. (2014)
	Volume médio de água ingerida de 17,9 Kg dia <sup>-1</sup>	Dinamarca	Jensen et al. (2016)
	Volume médio de água ingerida entre 8,80 a 10,40 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Canadá	Conte et al. (2021)
	9,7 L animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Bologna/Itália	Nannoni et al. (2013)

As Figuras 102 a 109 apresentam a espacialização dos rebanhos, bem como as áreas de pastagem para os rebanhos de bovinos nas sub-bacias hidrográficas estudadas. Vale ressaltar que este tipo de rebanho se caracteriza como extensivo, uma vez que o gado de confinamento (pecuária intensiva) se encontra pontualmente na SB(A). Os pontos enumerados nos mapas (Figuras 102 a 109) correspondem os pontos visitados em campo, as suas coordenadas com as respectivas quantidades de animais por sub-bacia hidrográfica estão apresentadas nas Tabelas 42 a 49 (Apêndice C).

Para a compreensão de como as áreas estudadas se enquadram com relação a pecuária frente as outras escalas espaciais, foram coletados dados do número de animais por tipo de rebanhos existentes (Aves; Bovinos; Caprinos e Ovinos; Equinos; e Suínos) em nível global, nacional, estadual e na BHRP, bem como, nas sub-bacias hidrográficas estudadas (Figura 110). Os dados da quantidade de animais por rebanho dos anos 2017 e 2019 na esfera global foram obtidos na plataforma da FAOSTAT (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA/visualize>), como também o número de animais por rebanho no Brasil no ano de 2019. Com relação aos dados na escala federal, estadual e nos municípios que compõem integral e/ou parcialmente a BHRP foram coletados do último censo agropecuário realizado no ano de 2017, disponível na plataforma do IBGE.

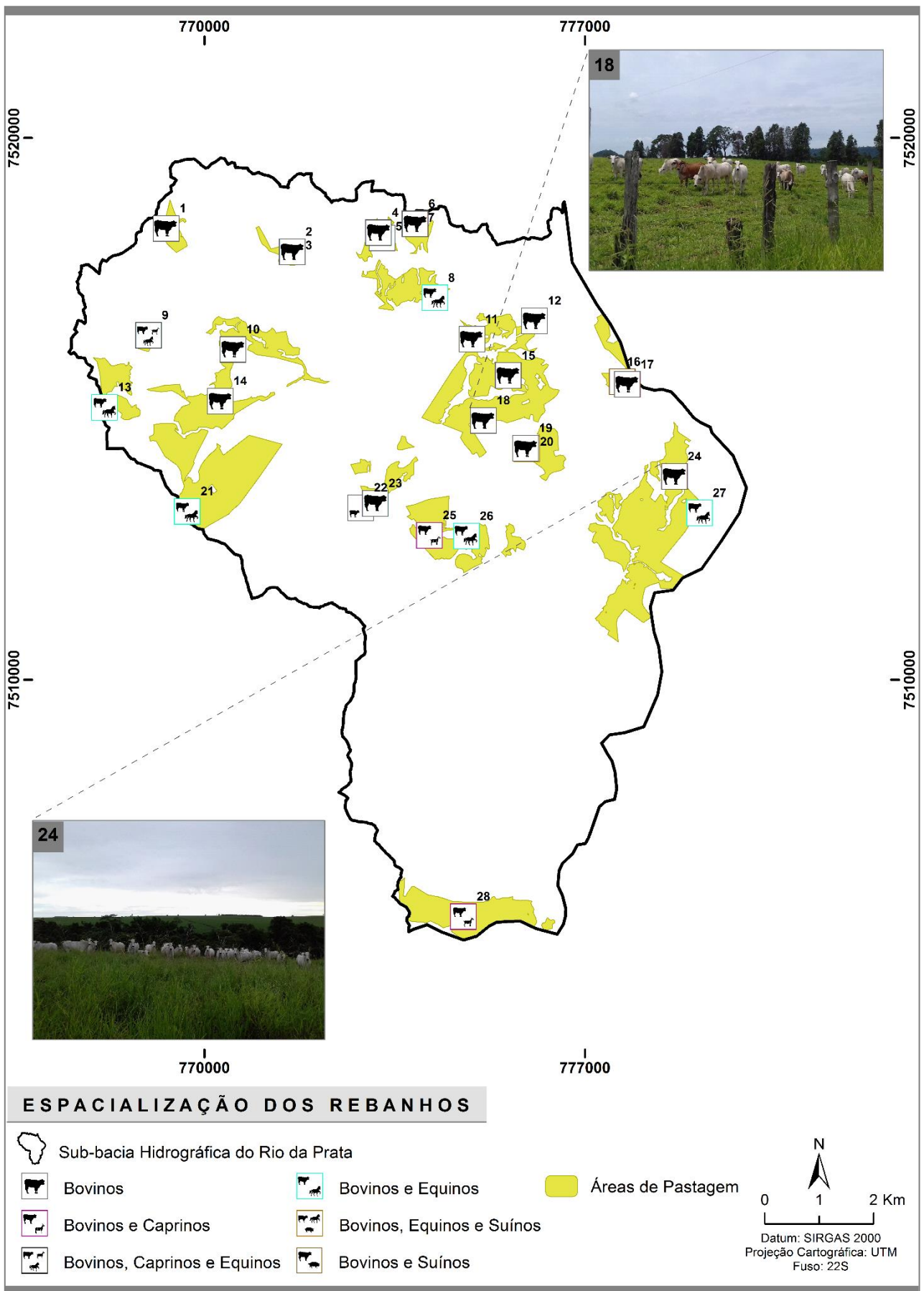


Figura 102 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata - SB(A).

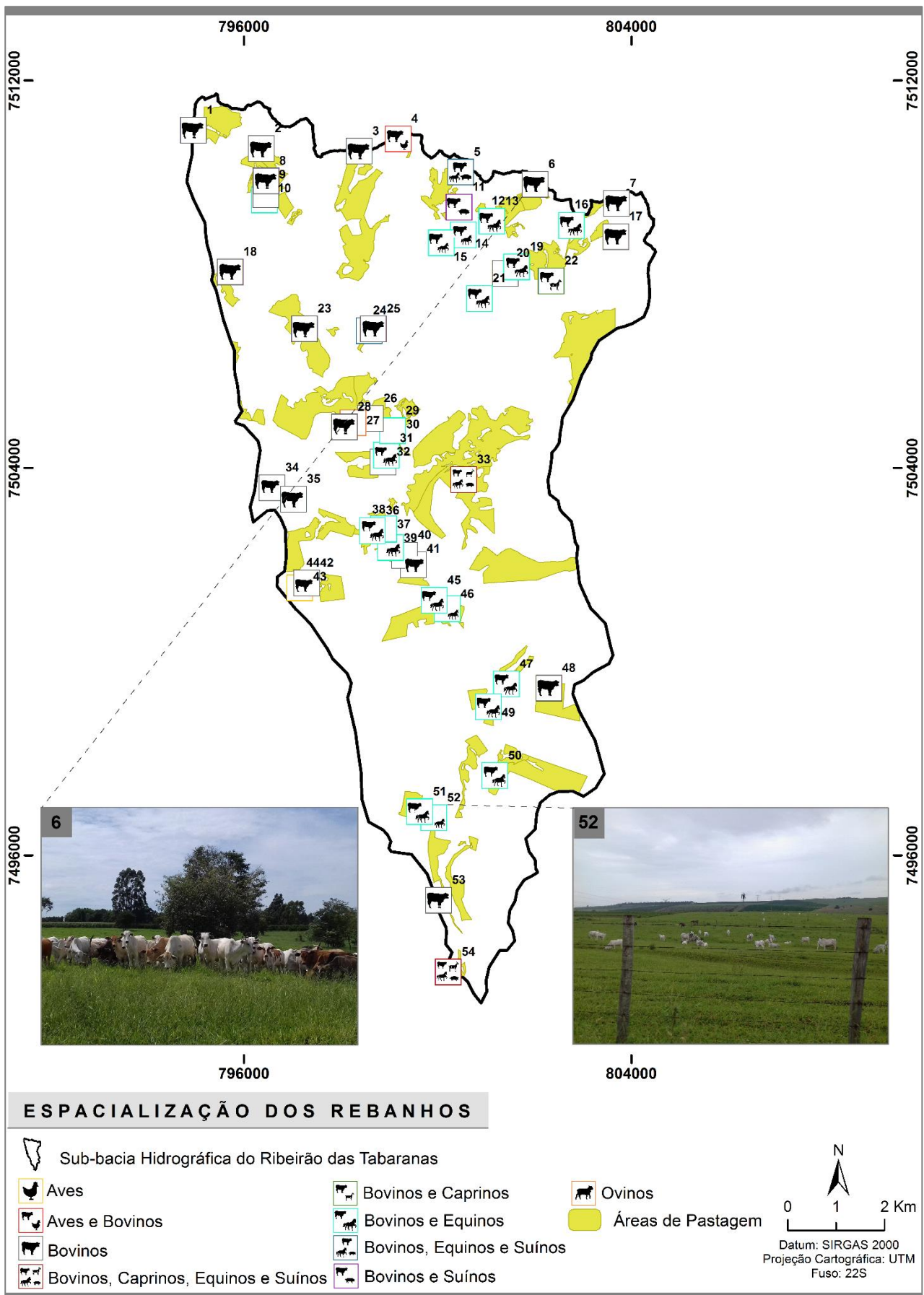
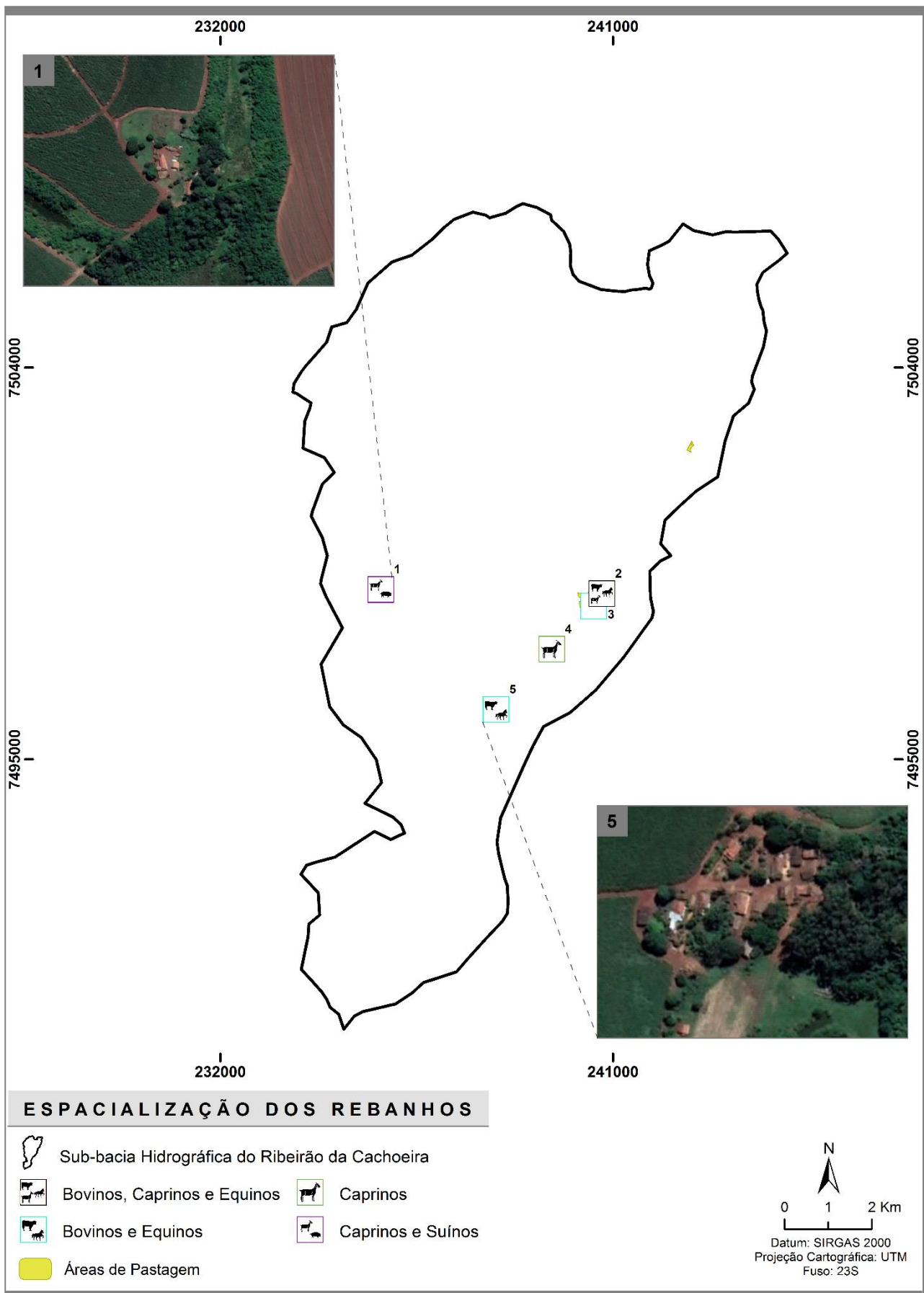


Figura 103 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B).



**Figura 104** - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C).

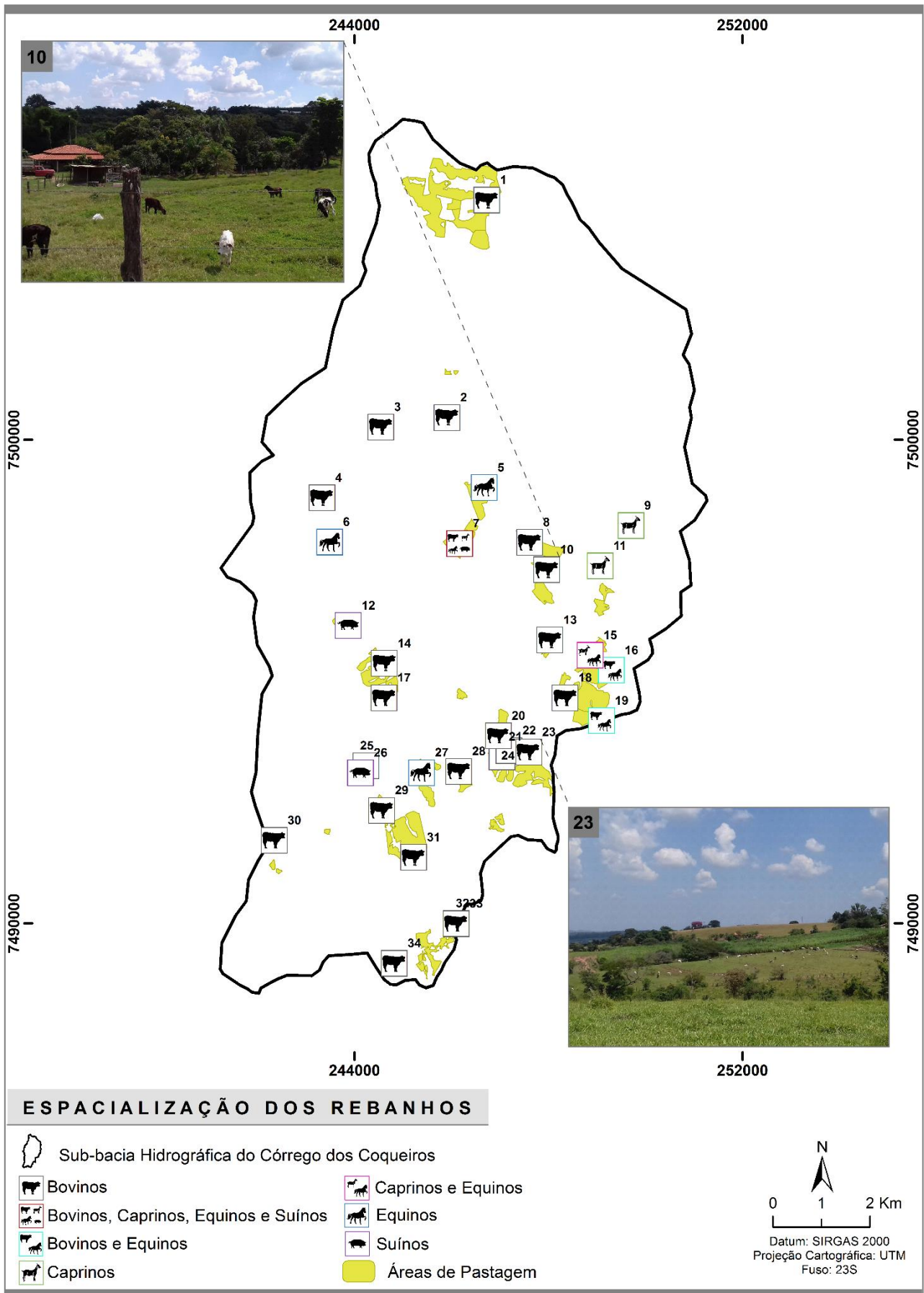
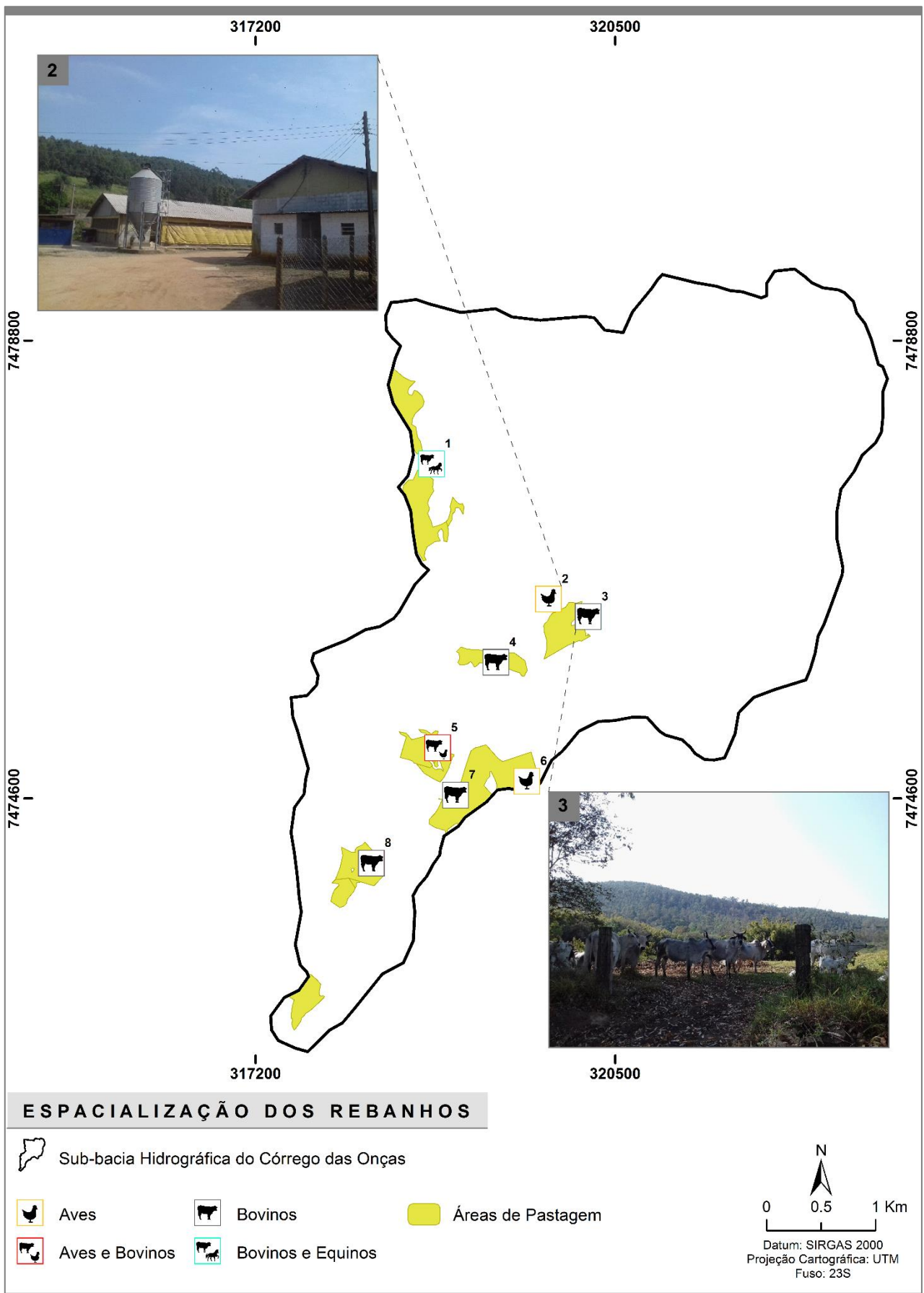


Figura 105 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D).



**Figura 106** - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E).

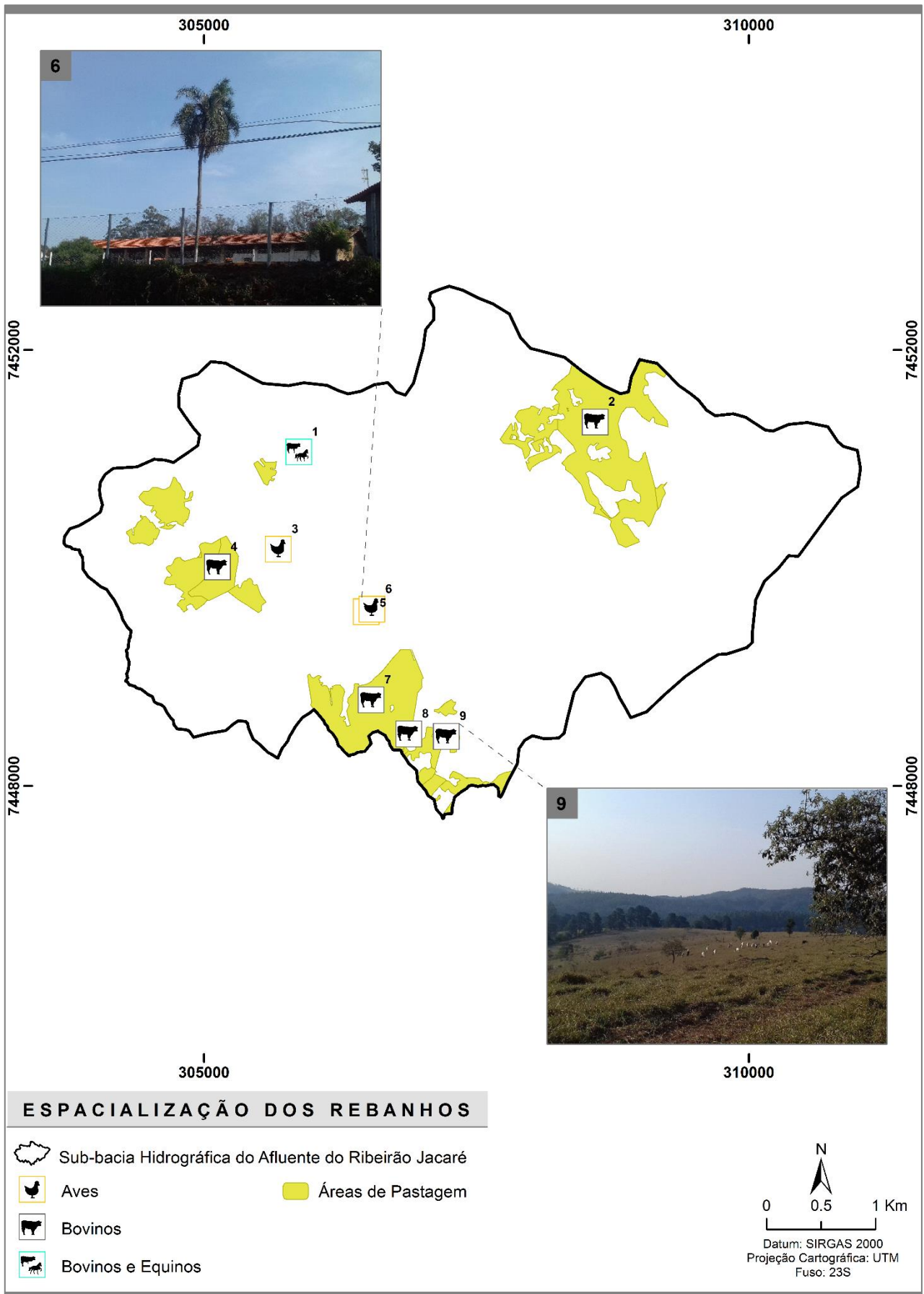
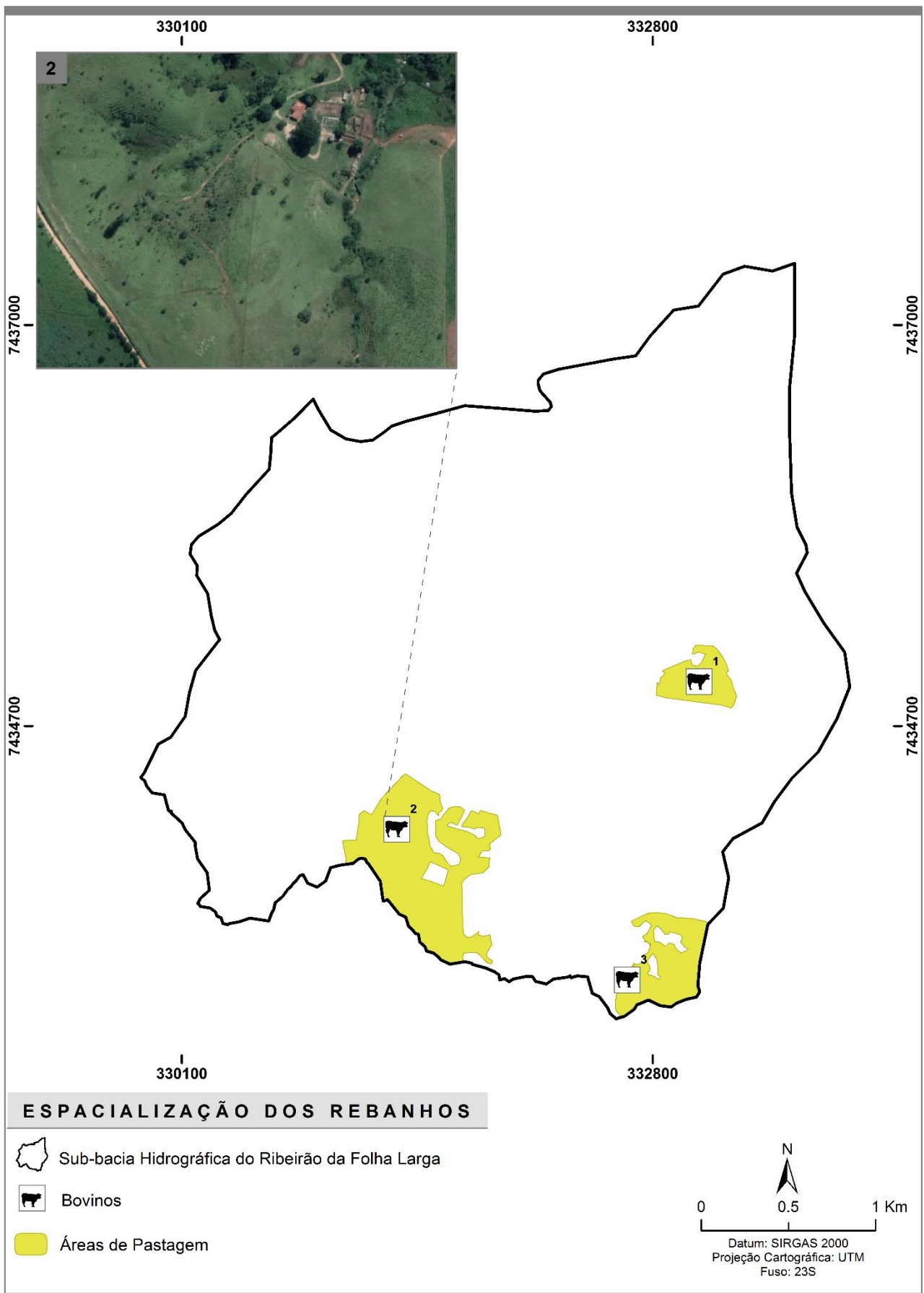
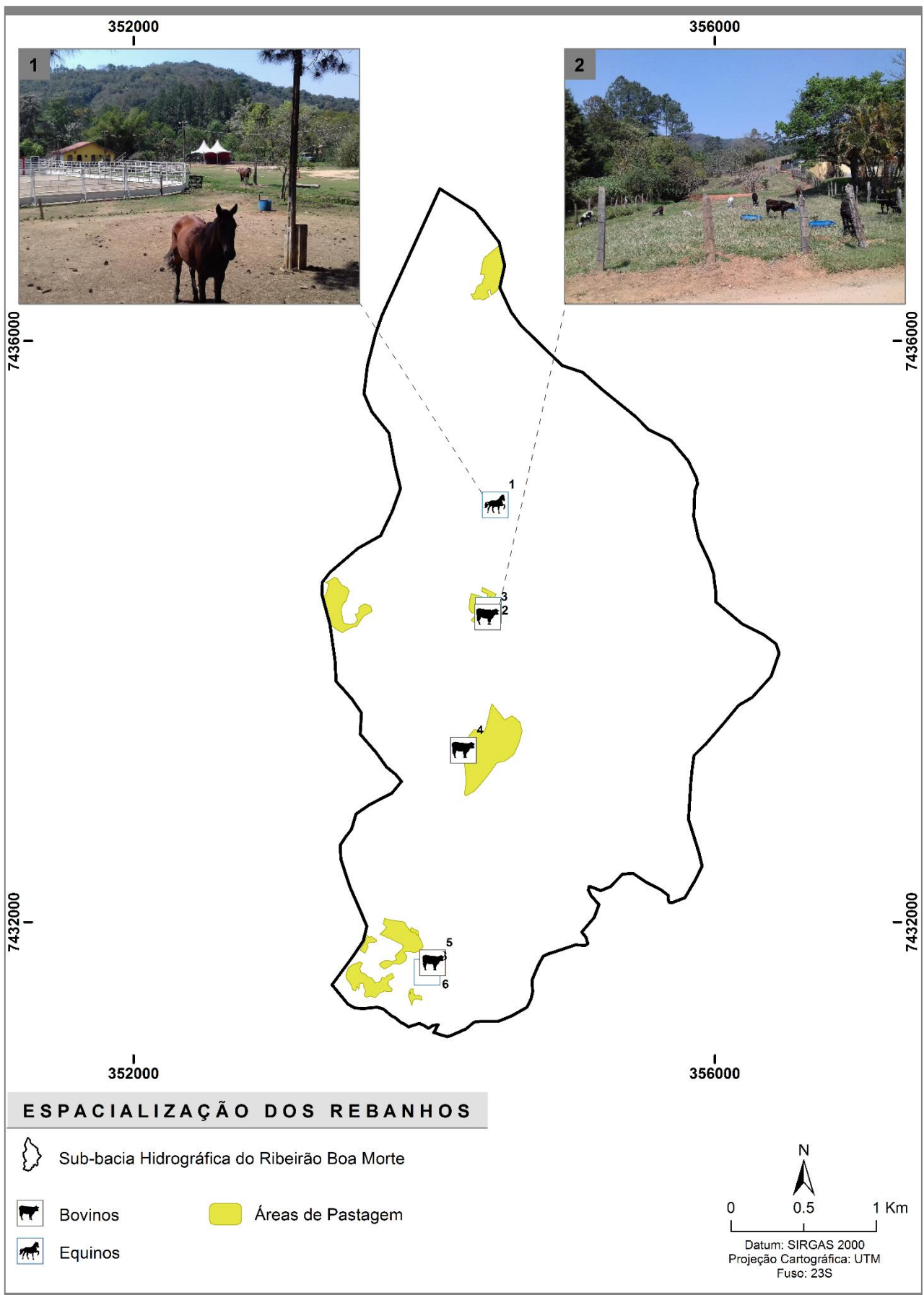


Figura 107 - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F).





**Figura 108** - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G).



**Figura 109** - Espacialização dos rebanhos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H).

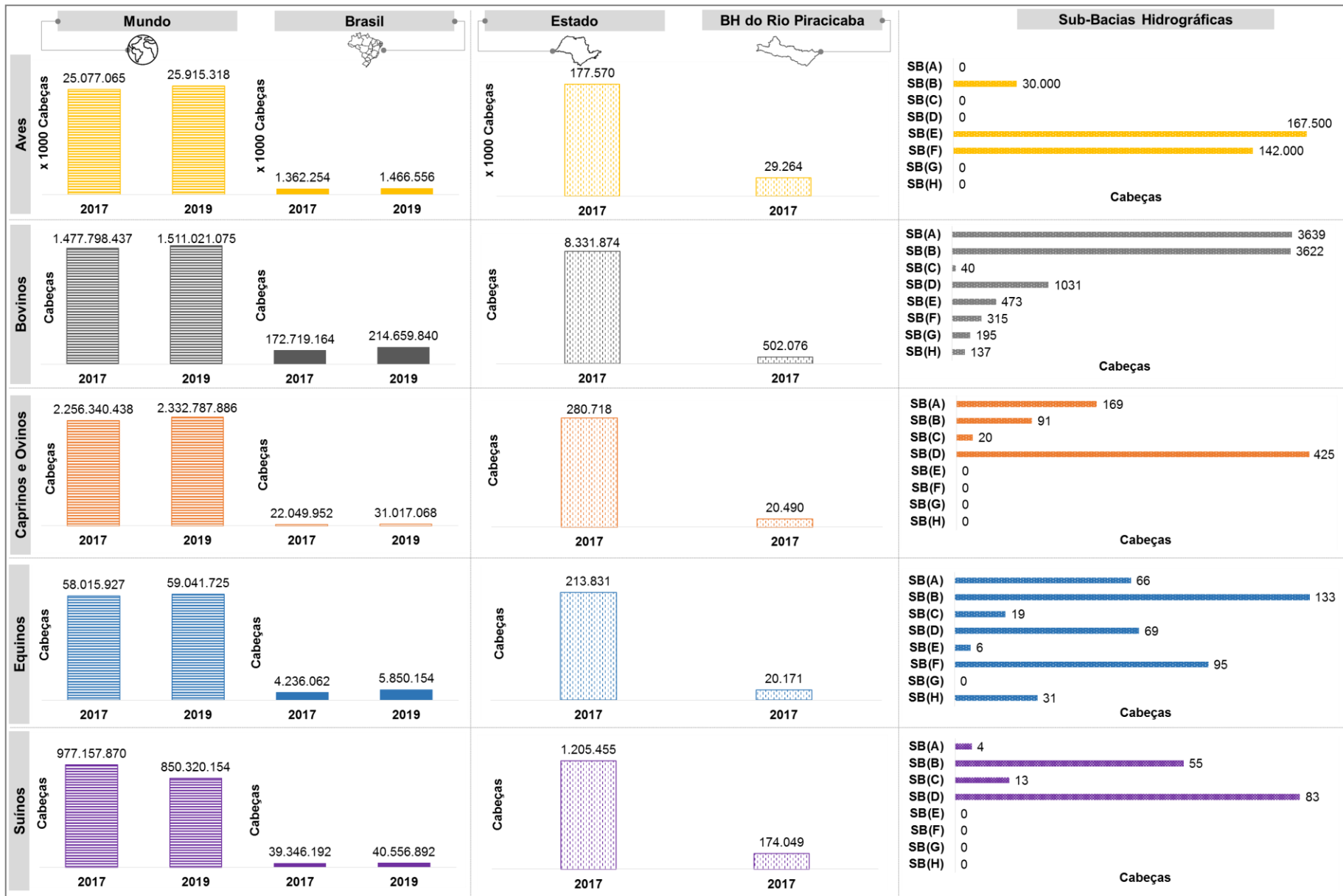


Figura 110 - Quantidade de animais por tipos de rebanhos em diferentes escalas.

As dietas globais estão se adaptando para o consumo de alimentos de origem animal, ricos em proteínas e micronutrientes para o combate da desnutrição (LIU; CAI; YUAN, 2021). O aumento do consumo de carne nos países em desenvolvimento tem relação com o processo de globalização e desenvolvimento da economia, mas também é um hábito voltado para padrões culturais que tem efeitos importantes para a saúde humana e o meio ambiente (FILIPPINI; SRINIVASAN, 2019). De acordo com Revell (2015), o crescimento da economia e da população levará a um aumento de 21% no consumo de carne por pessoa até o ano de 2050 em escala global, e um aumento nas emissões de gases de efeito estufa referentes a pecuária em 63%, quando comparado com os níveis de 2010, ocorrendo principalmente nos países como China e Brasil.

Com relação ao rebanho de aves, em nível global o continente asiático recebeu maior destaque considerando valores médios entre os anos de 1994 a 2019, correspondendo 54,4% da produção. As Américas se enquadraram em segunda posição com 26,2% na produção de galináceos. A produção da carne de frango vem crescendo a um ritmo muito acelerado quando comparado com a de suínos ou bovinos em nível mundial (DAGHIR et al., 2021).

Dentre os maiores produtores do mundo, o Brasil lista-se em quarto lugar, tendo em sua frente respectivamente, a China, os Estados Unidos da América e a Indonésia (FAO, 2019). Com base no último censo agropecuário do Brasil, o estado de São Paulo consiste no segundo estado que apresenta maior rebanho de galináceos, correspondendo, 13,04%, atrás do estado do Paraná que se destaca com 24,47% do rebanho nacional. Do total do estado, a BHRP apresenta 16,48% de cabeças, sendo um número considerável para esta região.

Este tipo de rebanho é encontrado em três sub-bacias hidrográficas estudadas em quantidades notáveis, devido apresentar a existência de estabelecimentos agropecuários (granjas), mais precisamente nas sub-bacias SB(B), SB(E) e SB(F), contemplando respectivamente, 30.000, 167.500, e 142.000 cabeças com base nos dados levantados no ano de 2020. Para o levantamento do rebanho de aves, não foi considerado a quantidade de animais para uso doméstico, devido à dificuldade de contagem e de informações precisas sobre o número de animais.

Com relação a quantidade de rebanhos bovinos, as Américas se destacaram correspondendo 35,6% da produção mundial (FAO, 2019), sendo que a América do Sul exerce um papel de grande importância nos mercados globais quanto aos produtos pecuários, além de atender à necessidade interna (WAROUX et al., 2019). No mundo, entre os anos de 1994 a 2019 a produção de bovinos cresceu 14,38%, dentre os dez maiores produtores, o Brasil se enquadra em primeiro lugar seguido da Índia e dos Estados Unidos da América (FAO, 2019), e também, se classifica como o maior

exportador global de carne bovina desde os anos 2000 (SCHIERHORN et al., 2016), sendo uma das atividades responsáveis pelo aumento do Produto Interno Bruto. Porém, as produções de gado em países tropicais demandam quantidades expressivas de água para resfriamento e instalações de lavagem, a liberação de grandes volumes de águas residuais para o meio ambiente, originando escassez de água e poluição (HUONG et al., 2020), além do volume de água demandado para a dessedentação dos animais.

Até a década de 90, a maior parte da produção de gado se situava na região Sul (Waroux et al., 2019), porém conforme valores do último censo agropecuário a região Centro-Oeste se classifica com o maior rebanho bovino do país, enquanto que, a região Sudeste do Brasil é classificada com o segundo maior rebanho (SILVA et al., 2016). Em 2017, o estado de São Paulo se enquadrou em nona posição no território nacional, representando 4,82% do rebanho de bovinos, por sua vez, a BHRP compreendeu 502.076 cabeças (6,03% de cabeças existentes no estado) (IBGE, 2017).

Quanto as sub-bacias hidrográficas estudadas, as áreas que apresentaram maior número de bovinos foram as sub-bacias SB(A) e SB(B), consistindo respectivamente a 3.639 e 3.622 cabeças com base nos dados levantados no ano de 2020. Vale ressaltar, que estas sub-bacias hidrográficas não apresentam laticínios, desse modo, os rebanhos de bovinos são destinados para corte, neste caso, pode ocorrer alternância significativa da quantidade de animais em um determinado período, em função do preço do produto nos mercados nacional e internacional.

No mundo, o rebanho de caprinos é encontrado em maior predominância nas regiões da África e da Ásia, totalizando 93,3% da produção destes animais. Os três maiores produtores do mundo são China, Índia e Paquistão. Já o rebanho de ovinos também é comumente encontrado nas regiões da Ásia e África, correspondendo a 67,7% do total de cabeças em escala global, no entanto, os países que se destacam com a produção destes animais são China, Austrália e Índia (FAO, 2019).

O Brasil não se destaca em rebanhos de caprinos e de ovinos, os maiores rebanhos de caprinos estão situados nos estados da Bahia, Piauí e Pernambuco, representando respectivamente, 28,93%, 22,37% e 17,14%, enquanto que os rebanhos de ovinos são encontrados em maior quantidade na Bahia (20,79%) e Rio Grande do Sul (19,20%). O estado de São Paulo se enquadra respectivamente, em décimo terceiro e décimo lugar no número de cabeças de caprinos e ovinos, totalizando juntos 280.718 cabeças (1,27% de animais destes tipos de rebanhos no território brasileiro). A BHRP apresenta 7,30% desta quantidade de caprinos e ovinos do estado de São Paulo, sendo que os municípios que se destacam em números de caprinos são respectivamente, Mogi Mirim e Socorro, enquanto que os ovinos, os municípios que sobressaem são Amparo e Socorro (IBGE, 2017).

As sub-bacias hidrográficas que apresentam estes tipos de rebanhos são as que compõem os Pares 1 e 2, sendo que, a sub-bacia SB(D) apresenta a maior quantidade de cabeças, compreendendo o total de 425 animais, seguida da sub-bacia SB(A) com 169 animais.

Em escala mundial, o rebanho de equinos é maior nas Américas (54%), seguido pela Ásia (24,9%), Europa (11,1%), África (9,4%) e Oceania (0,7%). Entre os anos de 1994 a 2019, os Estados Unidos da América são os que apresentaram maior número de equinos, tendo como países subsequentes no ranking, a China, o México, o Brasil e a Argentina (FAO, 2019).

No território brasileiro o rebanho de equinos é maior na região Sudeste com representatividade de 25,03%, sendo o estado de São Paulo classificado como o segundo da região, contabilizando 213.831 cabeças (representando 5,05% do número de equinos no país), sendo que deste contingente 9,43% se encontra na BHRP (IBGE, 2017). O rebanho de equinos nas sub-bacias hidrográficas estudadas não é expressivo com relação a quantidade de animais, no entanto, a SB(B) se destaca com 133 animais, seguida da SB(F) com 95 cabeças.

Com relação a produção de carne suína, esta deve crescer 11 Mt até o ano 2028, sendo que o crescimento amplamente situado na China, será responsável por 42% do crescimento global (OECD-FAO, 2019). Os rebanhos de suínos apresentam em maior ocorrência na Ásia (58,4%), Europa (21%) e nas Américas (17,1%). No entanto, com base em valores médios entre o período de 1994 a 2019, o Brasil se classifica como o terceiro país quanto a produção de suínos, tendo como antecessores a China e os Estados Unidos da América (FAO, 2019).

Em esfera nacional, a suinocultura é predominante nos estados de Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. Conforme os dados do último censo agropecuário, o estado de São Paulo ocupa a oitava posição, correspondendo a 3,06% deste tipo de rebanho, sendo que, 14,44% deste total se encontram na BHRP, tendo maior número de cabeças os municípios de Mogi Mirim e Bragança Paulista (IBGE, 2017).

Das oito sub-bacias hidrográficas estudadas, apenas quatro destas apresentaram suínos, dentre estas as sub-bacias SB(D) e SB(B) apresentam o maior número desses animais, correspondendo respectivamente, 83 e 55 cabeças. Vale evidenciar, que nenhuma das sub-bacias hidrográficas apresentam granjas de porcos ativas, considerando as datas dos levantamentos de dados em campo.

Após a pesquisa bibliográfica realizada para identificar a necessidade de água por animal considerando os tipos de rebanhos existentes nas sub-bacias hidrográficas, o cálculo da  $DH_p$  foi embasado nos valores de referência estabelecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017),

devido a agência considerar amplamente as características do território nacional quanto a quantidade de água necessária para a dessedentação dos animais.

A Tabela 33 apresenta a  $DH_p$  nas oito sub-bacias hidrográficas estudadas. Vale ressaltar que, a demanda hídrica do rebanho de bovinos nas sub-bacias hidrográficas, não considerou animais de ordenha, uma vez que, as áreas estudadas não possuem laticínios.

**Tabela 33** - Demanda hídrica diária do setor pecuário nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Rebanhos	Consumo de Água ( $m^3$ animal <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )*	$DH_p$ nas sub-bacias hidrográficas ( $m^3$ dia <sup>-1</sup> )							
		SB(A)	SB(B)	SB(C)	SB(D)	SB(E)	SB(F)	SB(G)	SB(H)
<b>Aves</b>	0,00027	-	8,10	-	-	45,23	38,34	-	-
<b>Bovinos</b>	0,05	181,95	181,10	2,00	51,55	23,65	15,75	9,75	6,85
<b>Caprinos e Ovinos</b>	0,01	1,69	0,91	0,20	4,25	-	-	-	-
<b>Equinos</b>	0,04	2,64	5,32	0,76	2,76	0,24	3,80	-	1,24
<b>Suínos</b>	0,0187	0,07	1,03	0,24	1,55	-	-	-	-
<b>Total</b>		186,35	196,46	3,20	60,11	69,12	57,89	9,75	8,09

\* Valores utilizados como referência para o cálculo  $DH_p$ , apresentados na Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil referente ao ano de 2017 (ANA, 2017).

A partir da comparação da  $DH_p$  da SB(A) com a SB(B), observa-se que as demandas por água neste setor foram próximas, sendo que, a SB(A) não apresenta um rebanho consolidado de aves como na SB(B), bem como a sua quantidade de equinos que se enquadra quase a metade do rebanho existente na SB(B). Com relação ao rebanho de bovinos, estas duas sub-bacias apresentaram a maior semelhança na quantidade de cabeças em suas áreas, porém a SB(A) apresenta 0,47%, ou seja, 17 cabeças a mais que a SB(B), além disso, o rebanho de caprinos e ovinos também se destaca em relação a SB(B), demandando a mais 0,78  $m^3$  dia<sup>-1</sup>.

As  $DH_p$  das sub-bacias hidrográficas que compõem o Par 2, apresentaram uma variação significativa, isto é devido as próprias características das áreas, visto que, a SB(C) apresenta um caráter agrícola estável por apresentar extensa área ocupada com o monocultivo de cana-de açúcar, não apresentando potencial para a pecuária. Por outro lado, a SB(D) apresenta maior números de animais considerando todos os tipos de rebanhos existentes, esta sub-bacia apresenta diversidade quanto ao uso dos recursos hídricos, diferente da SB(C), fator este que permite maiores áreas de pastagem e maior produção dos rebanhos.

As sub-bacias hidrográficas SB(E) e SB(F), apresentam o maior número de galináceos quando comparados com a SB(B), visto que, as demais sub-bacias hidrográficas não apresentam este tipo de

rebanho. O volume de água demandado pelas aves supera em 52,3% e 41,1% o consumo de água para o rebanho de bovinos, respectivamente para a SB(E) e a SB(F). Estas sub-bacias hidrográficas não possuem rebanhos de caprinos e ovinos, bem como o rebanho de suínos.

A  $DH_p$  referente as sub-bacias hidrográficas pertencentes ao Par 4, apresentam os menores consumos de água quando comparadas com os outros pares das sub-bacias hidrográficas. Os tipos de rebanhos existentes são bovinos e equinos, as duas áreas não apresentam aptidão para o setor pecuário, devido a SB(G) apresentar atividades voltadas para a produção de flores e frutos e a SB(H) não apresentar áreas destinadas a pastagem para a criação de gados. A SB(G) possui apenas o rebanho de bovinos, mesmo assim, apresenta um consumo de  $1,66 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  superior a SB(H) que apresenta rebanhos de bovinos e de equinos.

De acordo com o cálculo da  $DH_p$ , a necessidade de água pelo rebanho de bovinos foi determinante para as variações hídricas nos pares de sub-bacias hidrográficas estudadas.

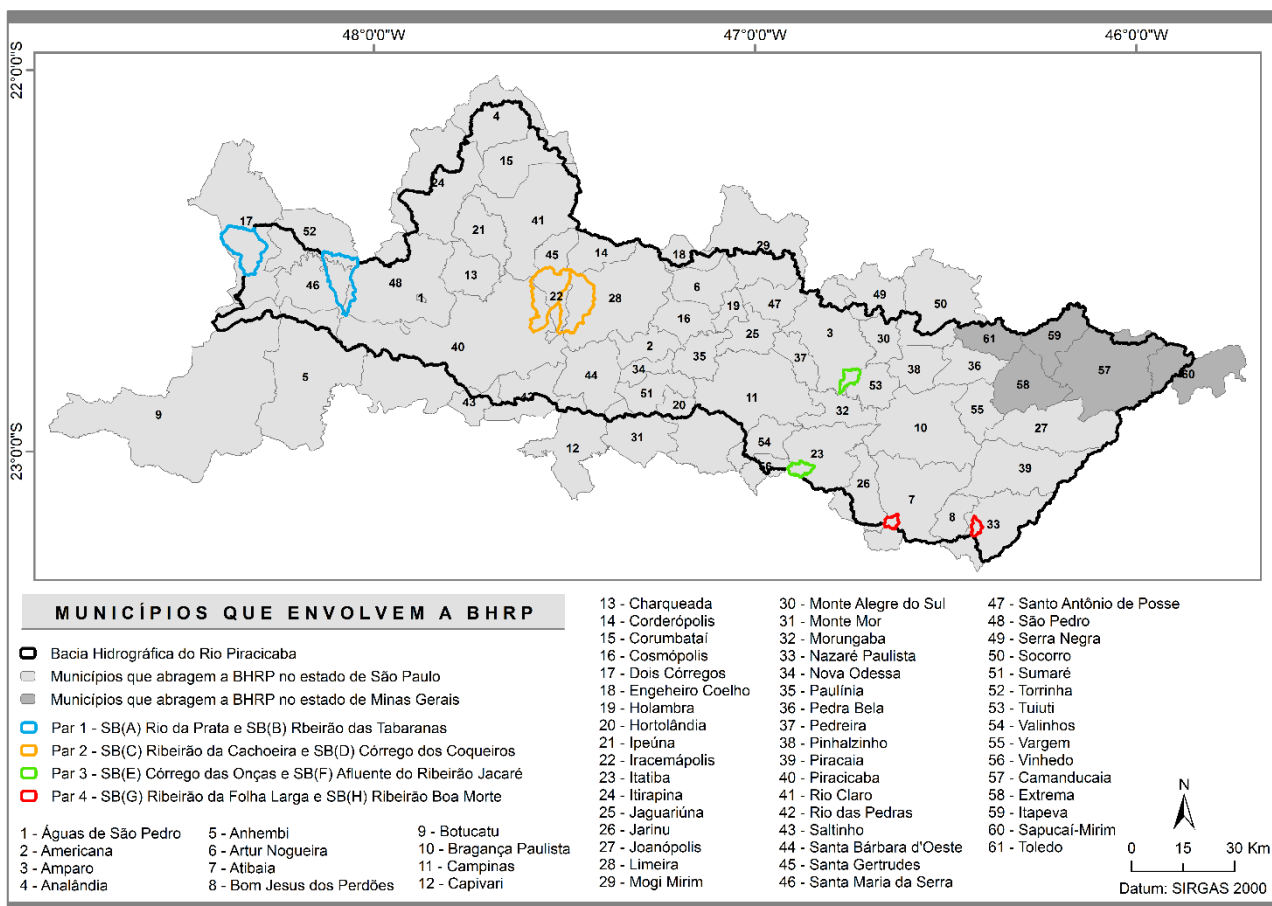
### **6.2.3 Demanda hídrica diária do setor populacional ( $DH_{pop}$ )**

#### **6.2.3.1 Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (RG) das populações nas sub-bacias hidrográficas estudadas**

O serviço de abastecimento de água é fundamental para garantir a sobrevivência e o desenvolvimento da sociedade (LI et al., 2021), porém os crescentes desafios relacionados ao abastecimento ameaçam milhões de pessoas sobre a segurança de água potável (AHMADI et al., 2020). Para especialistas, um ponto que pode prejudicar o abastecimento de água é o aumento da demanda hídrica nos próximos anos e as alterações no clima (MILLER et al., 2021), além disso, o crescimento urbano também contribui diretamente com tal situação, que por sua vez dificulta as medidas de planejamento para adaptar as fontes de água escassas (SANCHEZ et al., 2020).

Diante disso, este tópico abordou a  $DH_{pop}$  das sub-bacias hidrográficas estudadas. A BHRP abrange 61 municípios, sendo que destes, 56 se situam no estado de São Paulo e o restante no sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 111).





**Figura 111** - Localização dos municípios que envolvem a BHRP.

A Tabela 34 apresenta as extensões territoriais (km<sup>2</sup> e %) dos municípios nas áreas estudadas. Das oito sub-bacias hidrográficas, somente a SB(H) abrange apenas um município, sendo Nazaré Paulista.

Comparando a extensão territorial dos limites administrativos e fisiográficos, observa-se que a área dos municípios sobressai significativamente em relação as áreas das sub-bacias hidrográficas de 4<sup>a</sup> ordem de ramificação, mostrando-se assim que as sub-bacias são unidades mais adequadas para determinar com maior detalhe a demanda hídrica.

**Tabela 34** - Extensões (km<sup>2</sup> e %) dos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas.

Sub-bacias Hidrográficas	Municípios	Área dos Municípios (km <sup>2</sup> )	Área dos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas	
			km <sup>2</sup>	%
SB(A)	Dois Córregos	632,97	98,45	15,55
	Mineiros do Tietê	213,24	0,26	0,12
SB(B)	Brotas	1.101,37	0,10	0,01
	Santa Maria da Serra	252,62	58,12	23,01
	São Pedro	611,28	15,94	2,61
	Torrinha	315,27	24,26	7,70
SB(C)	Cordeirópolis	137,58	0,06	0,05
	Iracemópolis	115,12	69,31	60,21
	Limeira	580,71	0,09	0,01
	Piracicaba	1.378,07	46,05	3,34
	Rio Claro	498,42	0,20	0,04
	Santa Gertrudes	98,29	0,56	0,57
SB(D)	Cordeirópolis	137,58	0,03	0,02
	Iracemópolis	115,12	23,30	20,24
	Limeira	580,71	92,23	15,88
SB(E)	Amparo	445,32	20,24	4,55
	Tuiuti	126,73	0,12	0,10
SB(F)	Itatiba	322,28	19,75	6,13
	Louveira	55,13	0,01	0,02
	Vinhedo	81,60	0,06	0,08
SB(G)	Atibaia	478,52	10,93	2,28
	Jarinu	207,55	0,03	0,01
SB(H)	Nazaré Paulista	326,25	10,53	3,23

A Tabela 35 apresenta o número de habitantes referente aos anos 2000, 2010 e 2019, bem como a RG dos períodos 2000 a 2010 e de 2010 a 2019, calculada de acordo com a Equação 11 apresentada no item 5.2.3.3. Conforme os dados do último censo demográfico, a RG da população no país compreende a 1,17%, enquanto que, a região Sudeste do Brasil apresenta uma taxa de 1,05%, sendo que, o estado de São Paulo se classifica na segunda maior taxa desta região correspondendo a 1,09%, atrás do estado do Espírito Santo com 1,27% (SIDRA, 2021).

Com relação a taxa de crescimento obtida por razão geométrica dos municípios que englobam as sub-bacias hidrográficas estudadas, os municípios que se destacaram em números quanto ao crescimento da população, considerando o período de 2000 a 2010 foram respectivamente, Louveira, Jarinu, Santa Gertrudes, Vinhedo, Iracemópolis e Itatiba. Considerando o período de 2010 a 2019, a maior taxa de crescimento foi observada nos mesmos municípios do período anterior. Os municípios Mineiros do Tietê e Torrinha apresentaram a menor taxa de crescimento entre os períodos analisados, sendo inferiores a 0,80% de crescimento, porém, foram os municípios que apresentaram a maior

variação da taxa, correspondendo a um crescimento de 44%, quanto aos períodos em análise (2000 a 2010 e 2010 a 2019).

**Tabela 35** - População e taxa média geométrica de crescimento anual dos municípios que compõem as sub-bacias hidrográficas estudadas.

Municípios	População (Habitantes)			Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%)	
	2000	2010	2019	2000-2010	2010-2019
Amparo	60.404	65.829	72.195	0,86	1,03
Atibaia	111.300	126.603	142.761	1,30	1,34
Brotas	18.886	21.580	24.403	1,34	1,38
Cordeirópolis	17.591	21.080	24.528	1,83	1,70
Dois Córregos	22.522	24.761	27.315	0,95	1,10
Iracemópolis	15.555	20.029	24.235	2,56	2,14
Itatiba	81.197	101.471	120.858	2,25	2,12
Jarinu	17.041	23.847	30.044	3,42	2,60
Limeira	249.046	276.022	306.114	1,03	1,16
Louveira	23.903	37.125	48.885	4,50	3,10
Mineiros do Tietê	11.410	12.038	12.908	0,54	0,78
Nazaré Paulista	14.410	16.414	18.524	1,31	1,35
Piracicaba	329.158	364.571	404.142	1,03	1,15
Rio Claro	168.218	186.253	206.424	1,02	1,15
Santa Gertrudes	15.906	21.634	26.898	3,12	2,45
Santa Maria da Serra	4.673	5.413	6.173	1,48	1,47
São Pedro	27.897	31.662	35.653	1,27	1,33
Torrinha	8.837	9.330	10.010	0,54	0,78
Tuiuti	4.956	5.930	6.894	1,81	1,69
Vinhedo	47.215	63.611	78.728	3,03	2,40

### 6.2.3.2 Setores censitários nas sub-bacias hidrográficas estudadas

Assim como nesta pesquisa, os setores censitários são utilizados como unidades para análise de diferentes temáticas ambientais que envolvem a população, como no trabalho Sanchez et al. (2020) que desagregaram os registros de uso da água em nível de distritos para nível de setor censitário por meio de um método de ponderação da população, a fim de apontar a densidade populacional. As estimativas do uso da água por setor censitário foram utilizadas para a elaboração do modelo de demanda de água na Carolina do Norte e na Carolina do Sul (Estados Unidos da América). O consumo doméstico de água foi avaliado município de Sevilha (Espanha) em microescala utilizando também o setor censitário como unidade geográfica (VILLARÍN, 2019).

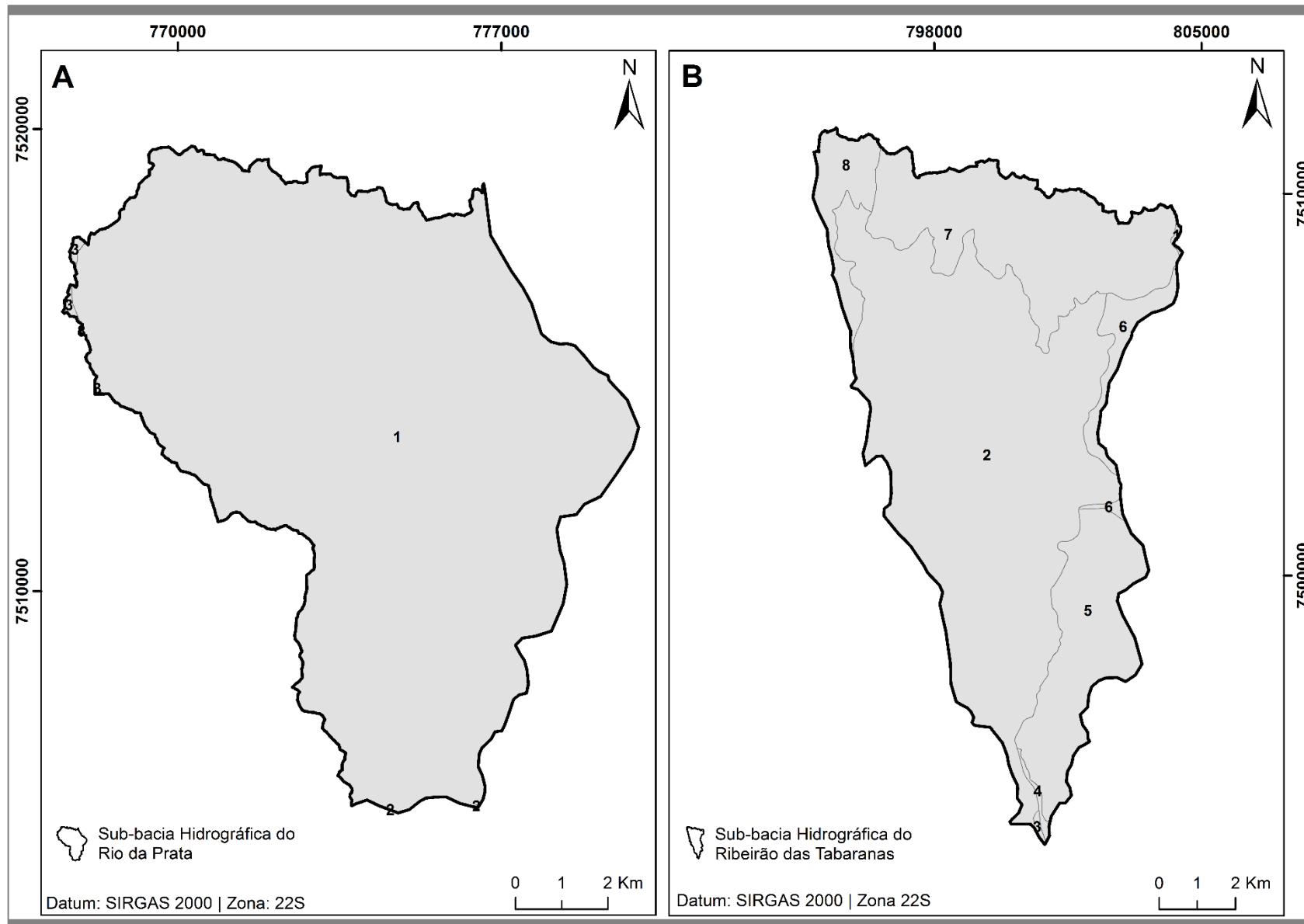
Pierri Daunt et al. (2021) utilizaram dados por setor censitário dos censos realizados em 1991, 2000 e 2010, em conjunto com dados socioeconômicos e do meio físico, com a finalidade de mensurar os subsídios de diversos tipos de forças motrizes para os processos de mudança fundiária no litoral

norte do estado de São Paulo. As informações censitárias também foram utilizadas por Mendonca e Silva (2020) e o método empregado pelos autores envolveu a integração espacial entre setores de risco e feições censitárias para contribuir com a gestão de risco de escorregamentos, tendo como área de estudo a região central do município de Angra dos Reis.

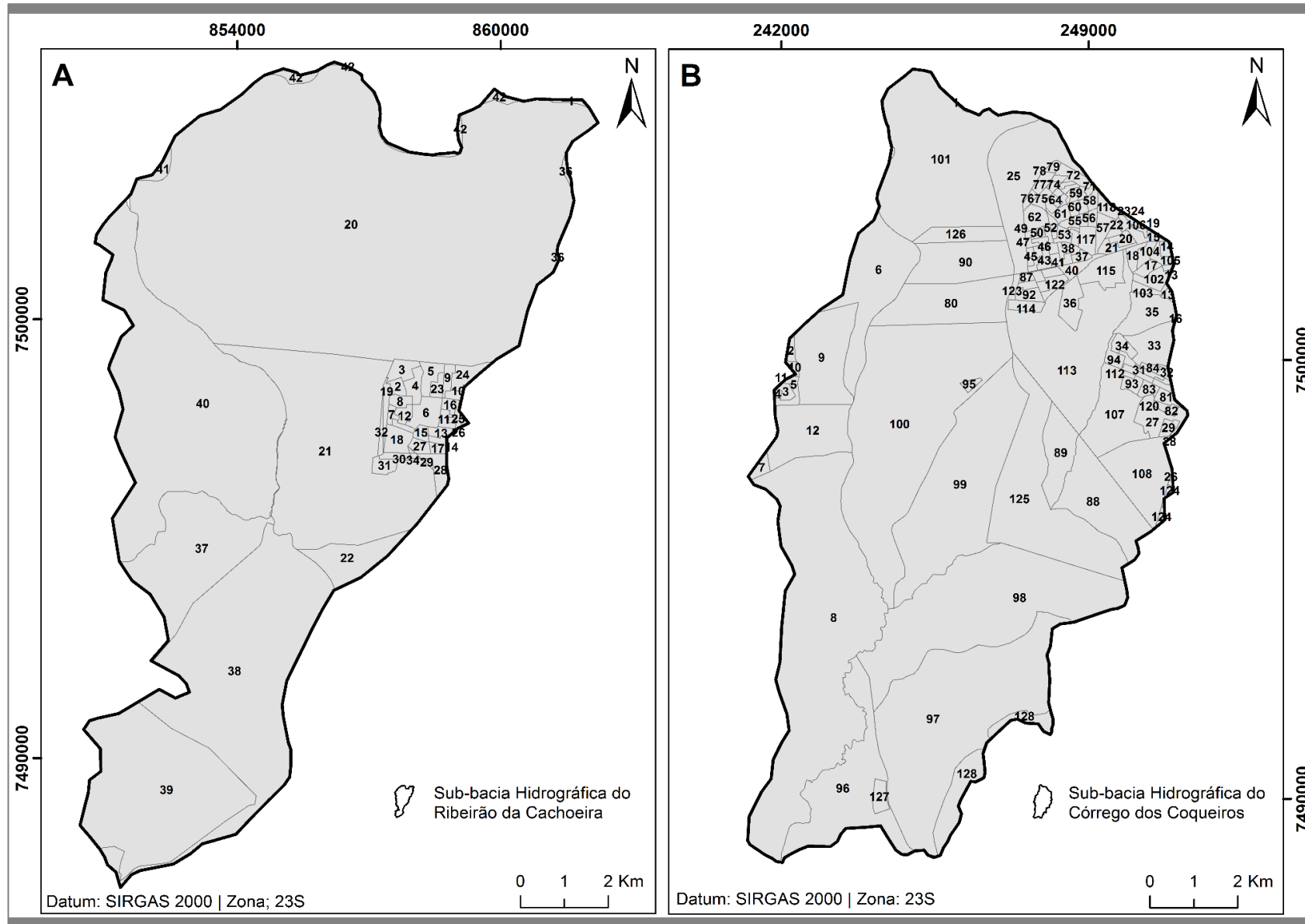
Neste trabalho, os setores censitários também foram fundamentais no cálculo da  $DH_{pop}$ , pois a partir da sua área e da sua densidade demográfica, com a aplicação da RG, foi possível obter a população de 2019 por setor. As Figuras 112 a 115 apresentam a espacialização dos setores censitários dos tipos rural e urbano nas oito sub-bacias hidrográficas. As informações de cada setor são apresentadas na Tabela 50, do Apêndice D.

Vale lembrar que foi realizado o recorte do plano de informação dos setores censitários do ano de 2010 para os limites de cada uma das sub-bacias hidrográficas, no entanto, como as delimitações dos setores não coincidem com os limites fisiográficos das sub-bacias, e sim com os limites municipais, é notável observar que algumas das sub-bacias hidrográficas estudadas possuem setores com áreas poucos expressivas, principalmente nas regiões da divisão topográfica de cada sub-bacia. Desta forma, para garantir integralmente as áreas das sub-bacias hidrográficas, verificou-se a importância de não desprezar estas partes no cálculo da  $DH_{pop}$ .

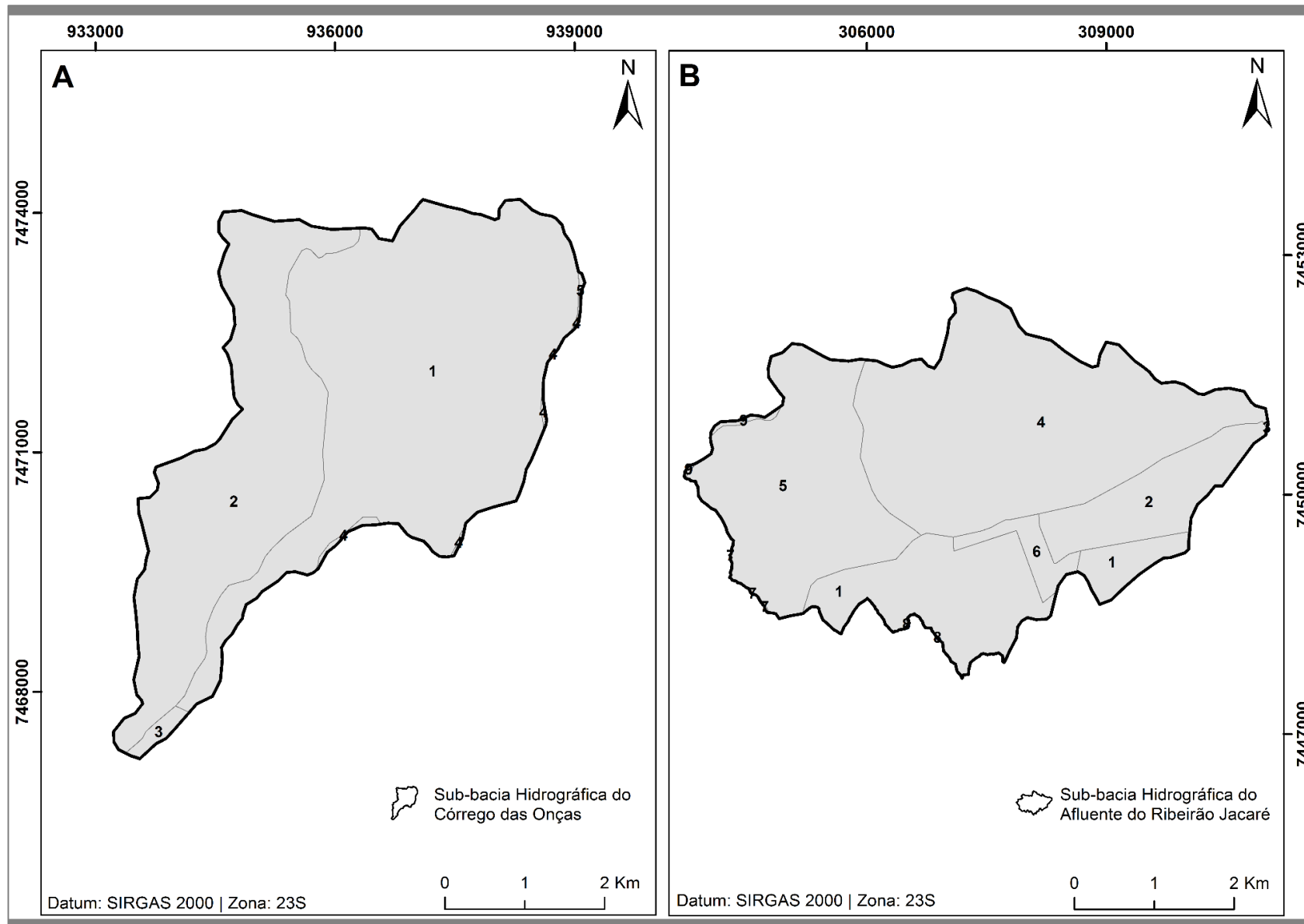
As áreas das sub-bacias hidrográficas SB(C) e SB(D) apresentaram uma quantidade maior de setores censitários, correspondendo em 42 setores na SB(C) e 128 setores na SB(D), devido nestas sub-bacias hidrográficas situarem parcialmente áreas urbanas consolidadas do município de Iracemápolis na SB(C) e do município de Limeira na SB(D). Com a finalidade de caracterizar melhor as áreas do contingente urbano, estas são divididas em mais setores, considerando as características locais, o que consequentemente proporcionou um número maior de setores nessas sub-bacias quando comparadas com as outras áreas de estudo. As demais sub-bacias hidrográficas não ultrapassaram 11 setores censitários, estas áreas apresentam um número menor de habitantes, tendo em vista maior porção rural.



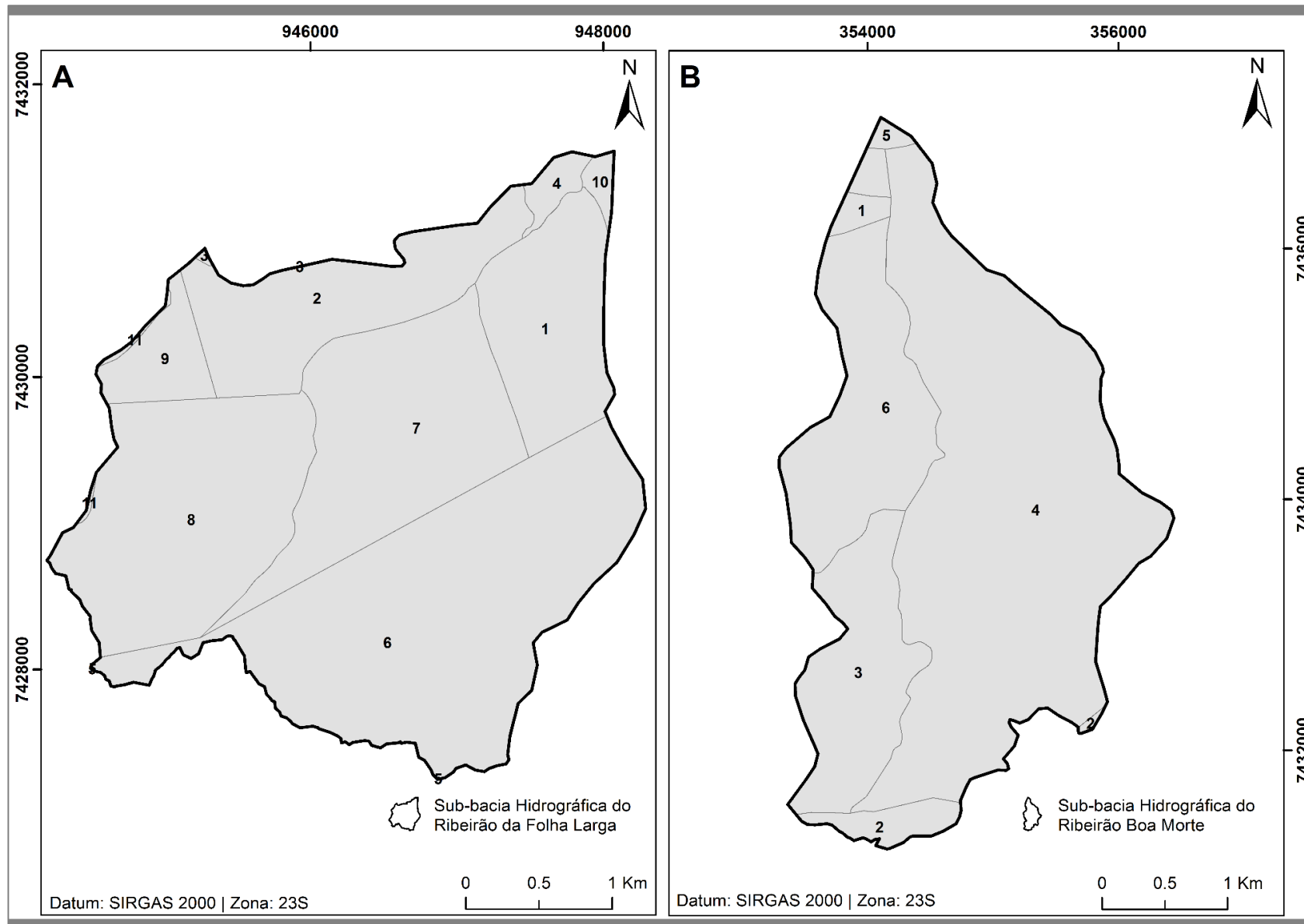
**Figura 112** - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata (A) e da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas (B).



**Figura 113** - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira (A) e da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros (B).



**Figura 114** - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças (A) e da sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré (B).



**Figura 115** - Setores censitários da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga (A) e da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte (B).



### **6.2.3.3 Consumo médio de água per capita das populações nos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas**

Considerando os dados por municípios disponibilizados no SNIS, pode-se constatar que a maioria dos anos do período analisado (2006 a 2019) superaram o volume mínimo de água para suprir a maioria das necessidades humanas, que se enquadra entre 50 a 100 l hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> conforme estipulado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO, 2011). O volume médio de água consumido por habitante foi inferior ao valor estipulado pela OMS apenas no município de Torrinha no ano de 2013.

Dentre o período analisado os cinco municípios que se destacaram com os maiores consumos médios de água por pessoa são respectivamente, Vinhedo, Piracicaba, Brotas, Rio Claro e Limeira. Em comparação os cinco municípios que apresentam os menores volumes de água consumidos são respectivamente, Tuiuti, Iracemápolis, Torrinha, Louveira e Mineiros do Tietê. Porém, vale ressaltar que, em Mineiros do Tietê aconteceu uma anomalia em 2016, o volume consumido por habitante no município atingiu 448,6 l hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, este valor consistiu no maior consumo médio registrado entre o período analisado (2006 a 2019) considerando os vinte municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas. Porém, este valor pode ser proveniente de alguma inconsistência e/ou falha no preenchimento de dados.

Outra observação a ser tratada é a redução no consumo médio de água do ano de 2014 para 2015 pela maior parte dos municípios, o que pode ter sido reflexo da crise hídrica ocorrida em 2014 enfrentada pelo estado de São Paulo (MILLINGTON, 2018). Os reservatórios de água potável do estado de São Paulo tiveram uma redução de 5% de sua capacidade, entre os anos de 2013 a 2015. Dessa forma, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) que representa o órgão responsável pelo abastecimento de água no estado, devido a situação enfrentada implementou medidas com a finalidade de reduzir o consumo doméstico de água (EMPINOTTI et al., 2019).

A Figura 116 apresenta o consumo médio de água per capita referente aos anos de 2006 a 2019, estes dados em formato numérico estão apresentados na Tabela 51 do Apêndice D.

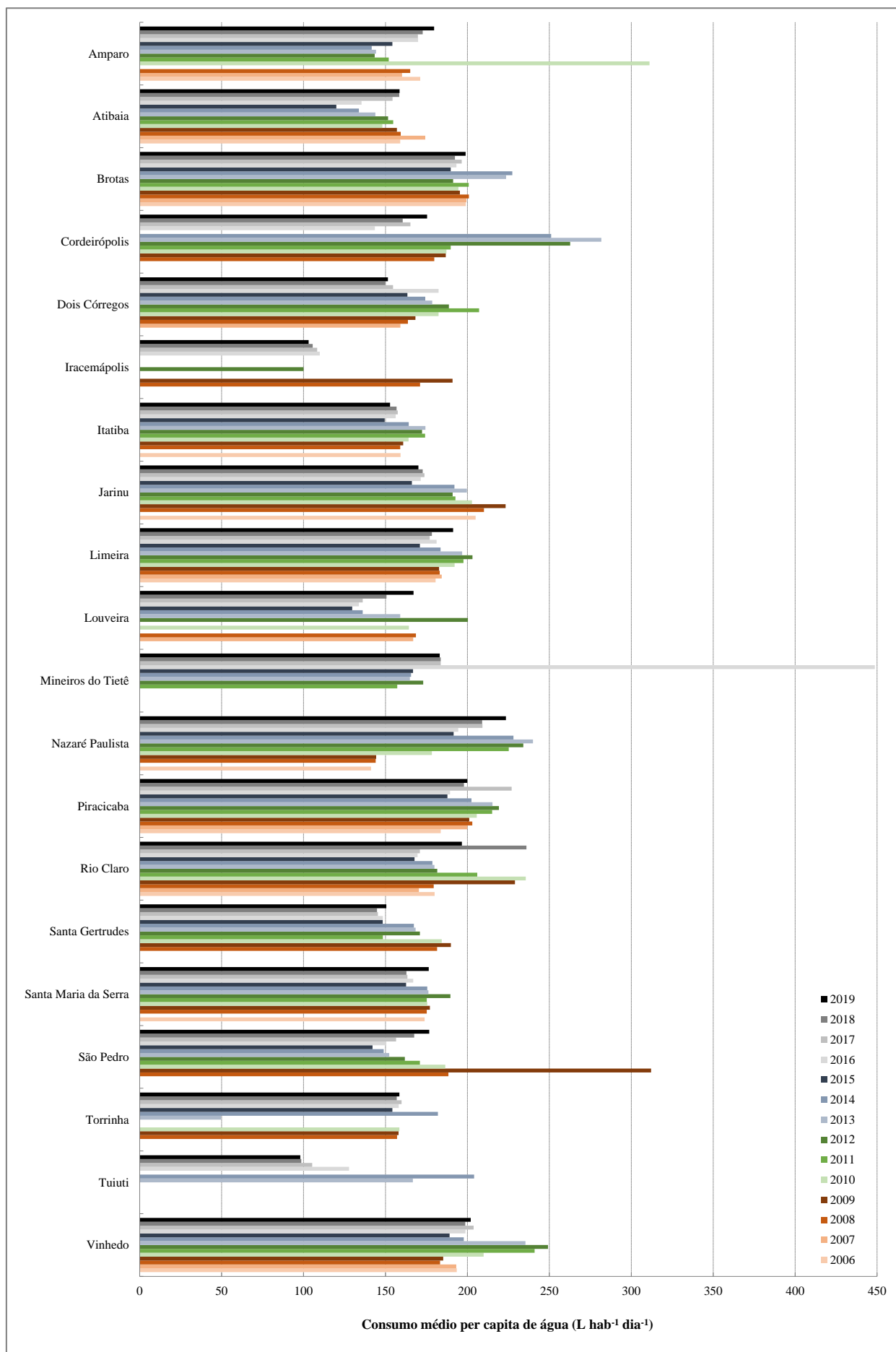


Figura 116 - Consumo médio per capita de água nos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas estudadas.

#### 6.2.3.4 $DH_{pop}$ das sub-bacias hidrográficas em estudo

Segundo o Relatório de Situação das Bacias PCJ referente ao ano base 2019, constata-se que o abastecimento público exibiu um aumento considerável, alterando de  $57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no ano de 2018 para  $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no ano seguinte (COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI e JUNDIAÍ, 2021).

Conforme o cálculo da  $DH_{pop}$  nas sub-bacias hidrográficas estudadas, referente ao ano de 2019, pode-se observar que o Par 2 que constitui a SB(C) e a SB(D), se destacou em quantidade de água consumida pela população (Figura 117), porém, mesmo se sobressaindo, as duas sub-bacias hidrográficas apresentaram uma grande variação nos volumes de água consumidos quando comparadas. O consumo médio per capita predominante nos setores censitários da SB(C) é próximo do volume médio consumido pela população espanhola de  $118 \text{ l hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (SUÁREZ-VARELA, 2020).

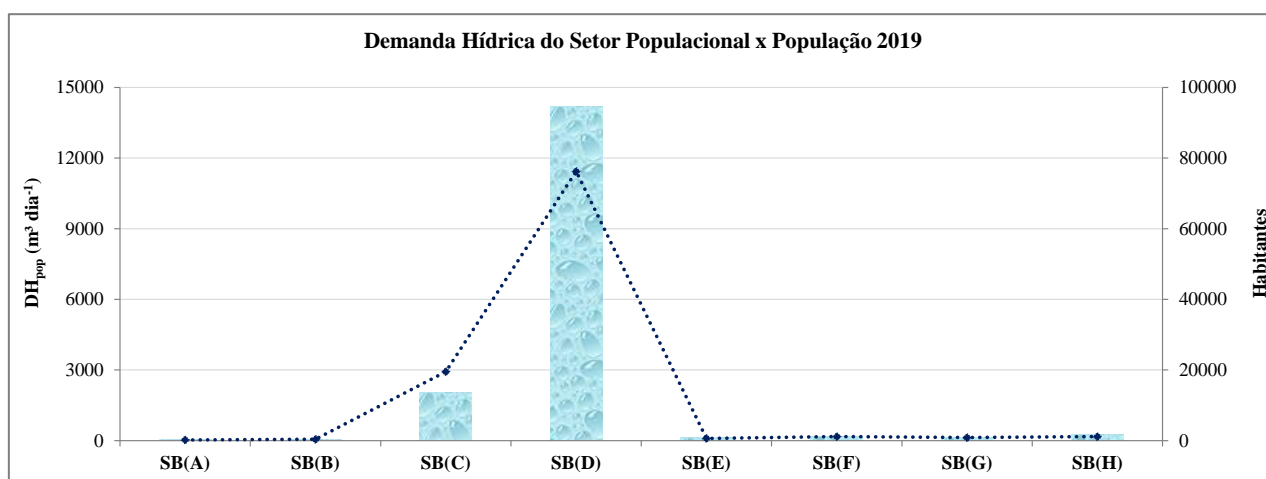


Figura 117 - Demanda hídrica do setor populacional e a população referente ao ano de 2019.

Estas duas áreas se caracterizam como as mais populosas, totalizando em 95.760 habitantes, no ano de 2019. Deste total, a SB(C) apresentou menor população, o que consequentemente registrou menor demanda, atingindo  $2.032,14 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , enquanto que, a SB(D) apresentou  $14.173,35 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de água consumidos por 76.235 habitantes, concentrados principalmente no município de Limeira. Este maior volume na SB(D) também é oriundo da quantidade média de água consumida por habitante, visto que, Limeira foi o sexto município que apresentou maior consumo médio de água em 2019, correspondendo  $191,30 \text{ l hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , atrás de Nazaré Paulista, Vinhedo, Piracicaba, Brotas e Rio Claro, que tiveram respectivamente, um consumo médio de 223,5, 202,0, 199,9, 198,9 e  $196,6 \text{ l hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

Dentre os pares de sub-bacias hidrográficas, o Par 1 apresentou menor número de habitantes, com um total de 573 pessoas, vale ressaltar que, as sub-bacias que o compõem não apresentam setores urbanos. Dentre as sub-bacias hidrográficas estudadas, a SB(A) foi a área que apresentou o menor contingente populacional, sendo representada por 189 habitantes, possuindo uma demanda hídrica quase 56% menor, quando comparada com a SB(B) que se enquadra com a maior  $DH_{pop}$ . Para Bain et al. (2014), as distinções no acesso à água potável das áreas rurais e urbanas são notáveis, mas tem aumentado com maior rapidez o uso de melhorias no meio rural, variando de 62% no ano de 1990 para 81% em 2011.

Mesmo a SB(A) não apresentando um número significativo de habitantes na porção rural é importante destacar que dentre os recursos naturais, a água apresenta maior demanda nas áreas rurais dos países subdesenvolvidos, portanto, a sua gestão deve envolver diferentes áreas do conhecimento e interações com vários níveis administrativos (DELGADO et al., 2021), por abranger não somente consumo de água pela população, mas também, por ser indispensável na produção de alimentos.

O Par 3 apresentou também um volume pouco expressivo quanto a  $DH_{pop}$ , este par se classificou em segundo menor volume de água demandado pela população, representando um total para as duas sub-bacias que o compõe de  $290,68 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . Este valor foi próximo do consumido pela SB(H), situada no município de Nazaré Paulista, próximo da região metropolitana do estado de São Paulo, com uma distância de 65,8km da capital do estado pelas vias de acesso SP-036 e BR-116.

A região metropolitana do estado de São Paulo é intensamente industrializada e constitui o centro econômico de grande importância da América Latina, o crescimento da urbanização e o desenvolvimento da economia nesta área favoreceram o aumento da demanda por água (KELMAN, 2015). Desta forma, os municípios mais próximos desta região acabam participando destes acontecimentos, como o aumento do contingente populacional, bem como o desenvolvimento econômico, o que ocasiona maior consumo de água pela população, além de outros setores.

A SB(G) mesmo se situando próxima da região metropolitana da cidade de São Paulo, não apresenta um contingente populacional expressivo, pois se enquadra como área de perfil agrícola, com a produção de flores e frutos. A SB(G) representa uma das sub-bacias que compõe o Par 4, está situada quase que totalmente no município de Atibaia, apresentando uma  $DH_{pop}$  de  $136,72 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  para uma população de 862 habitantes, diante disto, é caracterizada como a quarta sub-bacia hidrográfica dentre as estudadas, que apresenta a menor  $DH_{pop}$ .

O método empregado para o cálculo da  $DH_{pop}$ , poderá ser aplicado em qualquer local do território nacional, bem como em qualquer região que dispõe de dados demográficos por setores

censitários. Vale ressaltar que, devido as limitações de dados recentes, optou-se por procedimentos que envolveram estimativas da população para cada setor. No entanto, o cálculo pode ser adaptado quando disponibilizada a malha setorial e seus respectivos dados demográficos atuais para o ano que se deseja calcular a demanda hídrica, porém, é importante salientar que no Brasil assim como em outros países, os dados demográficos não são coletados e atualizados anualmente, fazendo necessário adotar métodos estatísticos para obtê-los.

O número de cada polígono que representa os setores censitários nas sub-bacias hidrográficas estudadas, bem como o código dos setores, a área, a população, a densidade demográfica e a demanda hídrica da população é apresentada em detalhes na Tabela 50, no Apêndice D.

#### **6.2.4 Demanda hídrica diária do setor industrial (DH<sub>i</sub>)**

A DH<sub>i</sub> foi calculada com base nas vazões devidamente regularizadas das captações de águas superficiais e subterrâneas existentes nas sub-bacias estudadas, tendo como tipo de usuário o industrial, de acordo com o item 5.2.3.4 deste trabalho.

Após a análise e a espacialização dos pontos de captações de água (superficial e subterrânea) foram identificadas que quatro sub-bacias dentre as estudadas apresentam atividades industriais em suas áreas, sendo elas: SB(A); SB(C); SB(D); e SB(F). Desta forma, apenas o Par 4, composto pelas sub-bacias SB(G) e SB(H) não apresenta demanda de água para tal fim, estas áreas não possuem características para práticas industriais.

A SB(A) apresenta apenas dois pontos de captação de água subterrânea, o primeiro localizado no extremo norte da sub-bacia, sendo isento de cobrança por apresentar um consumo na ordem de 5 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, e o outro ponto situado na porção oeste da área, com 192,5 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de volume consumido. A área de abrangência desta sub-bacia apresenta características que permitem se destacar na atividade agrícola, a qual é bastante consolidada na região. Além disso, se configura em uma região que deve ser protegida por ser área de recarga do aquífero Guarani, com isto o setor industrial não é expressivo.

Na SB(C) estão espacializados seis pontos de captação de água, deste total, apenas um ponto se refere a captação subterrânea. Esta sub-bacia se destacou em quantidade de água demandada pelo setor industrial, atingindo até 17.314,94 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, porém é uma área que não apresenta diversidade no ramo de atividade industrial, a maior demanda de água é utilizada nos processos da produção de açúcar e etanol. Os pontos de captação de água estão concentrados na porção central da sub-bacia,

porém, existe apenas um ponto de captação próximo a sua cabeceira, onde o volume consumido compreende a  $30 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , representando o Ponto 1 (Figura 119).

A  $DH_i$  na sub-bacia SB(D) consiste no segundo maior volume utilizado no setor industrial quando comparados os valores demandados nas demais sub-bacias, correspondendo até  $831,94 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ . De acordo com os valores da  $DH_i$ , pode-se observar que as sub-bacias que compõem o Par 2, apresentam uma dissimilaridade muito evidente no consumo de água pelo setor industrial. Mesmo a SB(D) apresentando um número maior de pontos de captação de água e um complexo industrial mais diversificado, estes não sobressaem quanto ao volume consumido para os seus diversos processos industriais, como exemplo, a fabricação de veículos automotores, a fabricação de cerâmicas, a fabricação de eletrodomésticos, reciclagem de materiais, entre outros.

A SB(F) apresenta  $61,5 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de água consumidos pelo setor industrial, os seus pontos de captação estão distribuídos da porção central seguindo o sentido do seu exutório. As principais atividades industriais desenvolvidas nesta área compreendem a fabricação de mantas asfálticas, artigos para piscicultura e de produtos para uso médico-hospitalar.

É notável perceber que a maioria das captações de água para o uso industrial nas sub-bacias são subterrâneas, tal situação pode ser entendida pela baixa oferta de água superficial para suprir as necessidades presentes nestas áreas, devendo desta forma fazer uso da água dos aquíferos. Em muitas regiões do mundo isto também vem acontecendo, para assegurar o aumento da demanda de água, uma alternativa é aumentar a extração de água subterrânea (WILLET et al., 2019).



No estado de São Paulo, 36% dos poços de água são para os seguintes usos: Industrial/Sanitário e Industrial/Processos. Sendo que, para estes dois tipos de uso a vazão em  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ , compreende respectivamente, 115.443 e 27.074 (SÃO PAULO, 2013). Ao relacionar estes dados de escala estadual com a escala de sub-bacias, nota-se que as áreas de estudo representam pouca influência na água subterrânea quanto ao uso no setor industrial. Considerando a vazão total de água subterrânea para o uso industrial no estado de São Paulo em 2013, as áreas estudadas representam atualmente apenas: 0,03% na SB(A); 0,01% na SB(C); 0,47% na SB(D); e 0,05% na SB(F) do total desta vazão.

De acordo com os dados dos pontos de captações de água subterrânea, as sub-bacias hidrográficas SB(A), SB(C), SB(D) estão localizadas no domínio sedimentar, compreendendo principalmente a unidade aquífera Tubarão na SB(C) e na SB(D). O afloramento desta unidade acontece em uma faixa estreita desde o nordeste até o sul do estado de São Paulo. Na sua parte aflorante o aquífero atinge até 800 metros de espessura, a sua exploração é predominante nesta

porção. De acordo com as suas propriedades, apresenta uma baixa produtividade, os valores recomendados de vazões sustentáveis são inferiores a  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  para cada poço (IRITANI e EZAKI, 2012). Algumas captações de água na SB(D) também são originárias do aquífero Itararé, sendo este pertencente ao sistema aquífero Tubarão (FERREIRA et al., 2005).

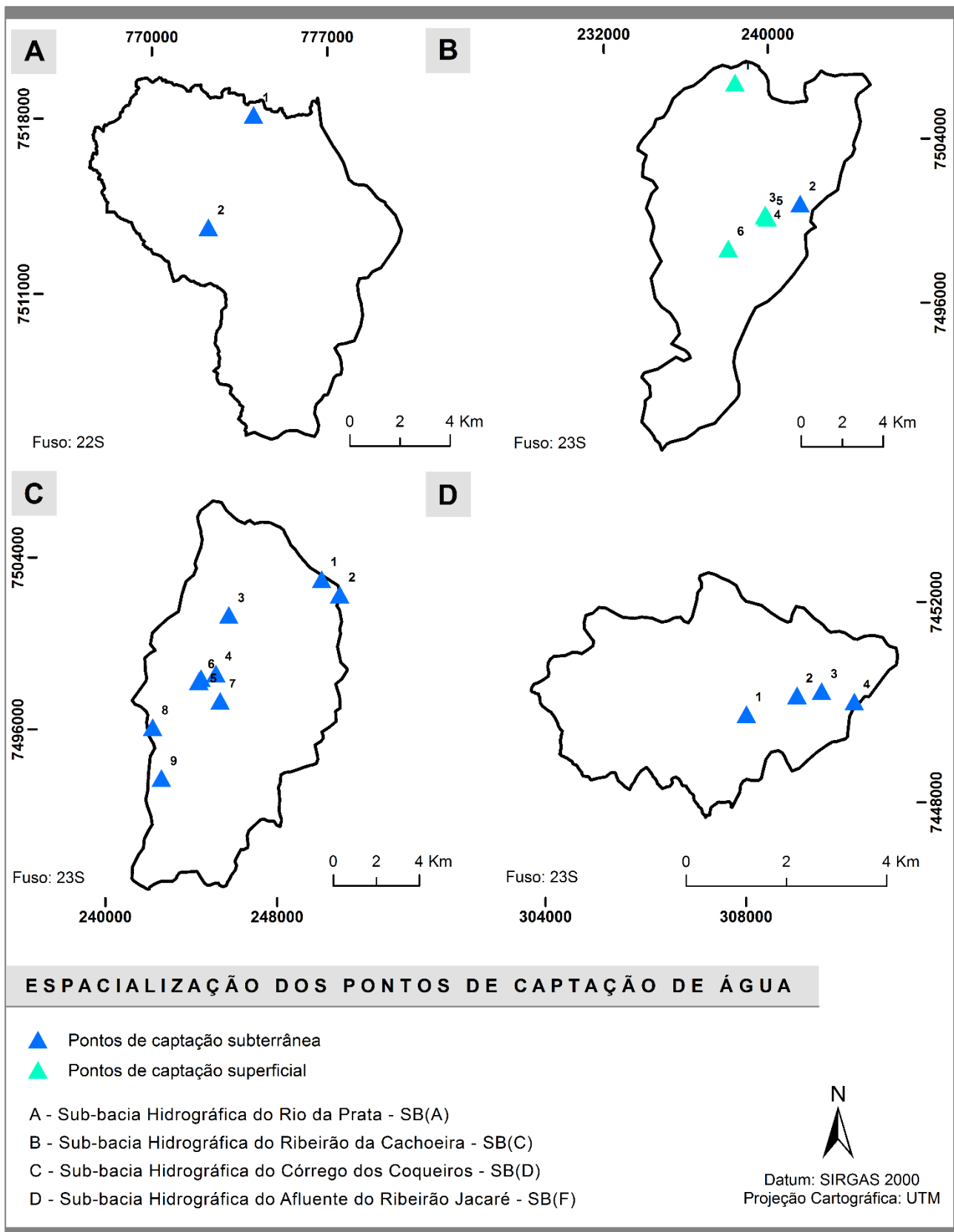
Na SB(F) o volume de água captado é referente ao aquífero Cristalino, sendo este fraturado e apresentando extensão regional. De forma geral, os poços atingem de 100 a 150 metros de profundidade, na região leste do estado de São Paulo a sua produtividade é baixa e possui muita variação, em função da presença de fraturas abertas. A vazão média dos poços se enquadra próxima a  $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , no entanto, pode-se encontrar poços próximos com vazões muito diferentes devido as propriedades físicas deste aquífero (IRITANI e EZAKI, 2012).

A Tabela 52 (Apêndice E) apresenta a geolocalização dos pontos de captação de água, bem como os valores da  $DH_i$  nas sub-bacias hidrográficas. A Figura 118 mostra uma síntese dos valores das vazões referentes as captações superficiais e subterrâneas nas sub-bacias que apresentam atividades industriais. Vale ressaltar, que para a análise da escassez hídrica nas sub-bacias estudadas foram consideradas somente as captações superficiais, sendo que na análise foram adotadas também as ofertas hídricas superficiais (como descritas no item 5.2.4).

	<b>SUPERFICIAIS</b> 	<b>SUBTERRÂNEAS</b> 
<b>SB(A)</b>	Não possui	$197,50 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$
<b>SB(C)</b>	$16.767,06 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (2019) $17.302,40 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (2020)	$12,54 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$
<b>SB(D)</b>	Não possui	$831,94 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (2019) $632,49 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (2020)
<b>SB(F)</b>	Não possui	$61,50 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$

**Figura 118** - Vazões das captações superficiais e subterrâneas para o uso industrial nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

A Figura 119 apresenta a espacialização dos pontos de captação de água para o uso industrial nas sub-bacias hidrográficas SB(A), SB(C), SB(D) e SB(F).



**Figura 119** - Espacialização dos pontos de captação de água nas sub-bacias hidrográficas SB(A), SB(C), SB(D) e SB(F).



### 6.3 Balanço hídrico quantitativo das sub-bacias hidrográficas estudadas

O BHQ é determinado pela razão entre a demanda e a oferta hídrica, consiste em um instrumento útil para a gestão dos recursos hídricos nas sub-bacias hidrográficas. Neste trabalho foram realizados dois BHQs que abordaram os recursos hídricos provindos de fontes superficiais, conforme especificado pelo item 5.2.4.

As demandas hídricas efetivas nos pares das sub-bacias estudadas se diferenciaram significativamente, a Figura 120 apresenta o percentual de uso da água pelos setores analisados (agrícola, pecuário, populacional e industrial) no primeiro BHQ, considerando o dia de maior consumo.

Nota-se que o setor pecuário se destacou no consumo de água nas sub-bacias que compõem o Par 1, representando acima de 70% do uso do recurso. No Par 2, a demanda hídrica efetiva nas sub-bacias são bastante diferentes, na SB(C) o maior volume da água é utilizado no setor industrial, enquanto, na SB(D) o maior uso é no setor agrícola correspondendo mais de 47%. A demanda hídrica da SB(E) é totalmente designada para a pecuária, em comparação a SB(F) apresenta um pouco mais da metade do uso da água para esse mesmo setor. Dentre os pares, o Par 4 apresentou o primeiro maior percentual da demanda hídrica efetiva para o consumo humano compreendendo a 96,9% na SB(H), e o maior percentual de uso da água para irrigação na SB(G).

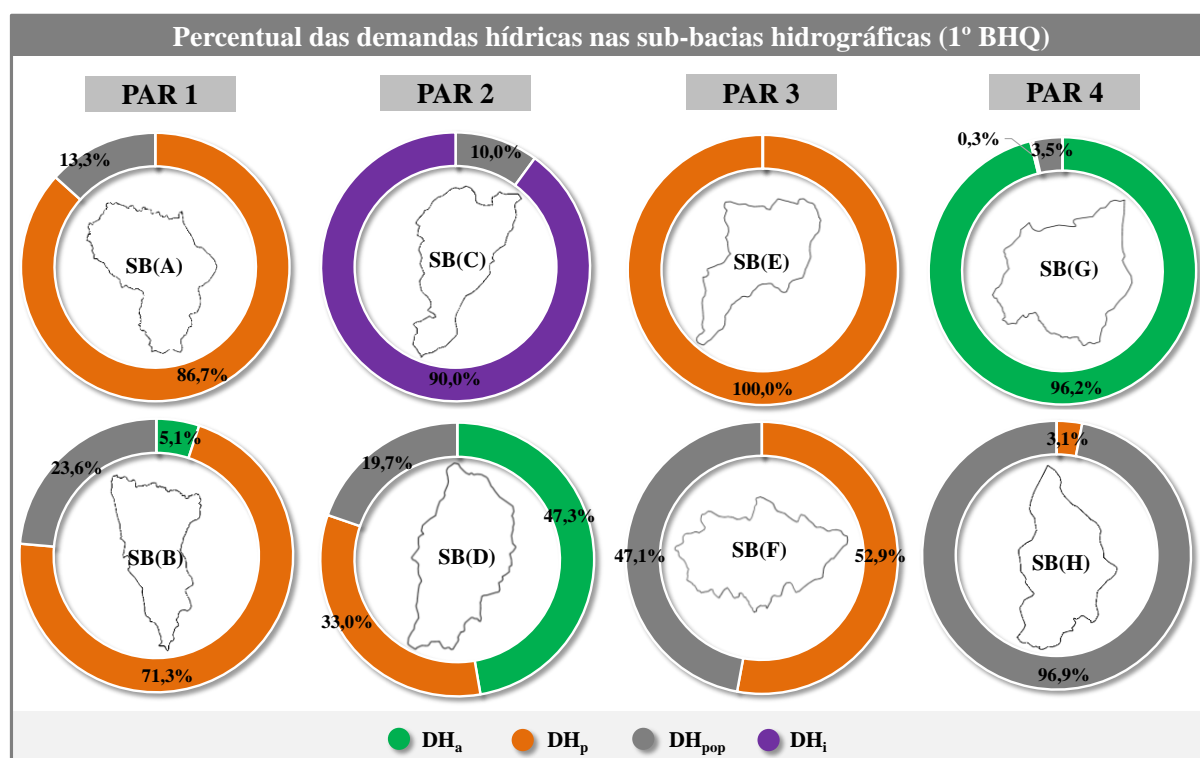


Figura 120 - Percentual das demandas hídricas nas sub-bacias hidrográficas estudadas para o 1º BHQ.

No primeiro BHQ, a partir da relação entre a OHS e a demanda hídrica efetiva constatou-se que o Par 1 não apresentou em nenhum dos dias analisados escassez hídrica nas sub-bacias, compreendendo um Baixo nível de comprometimento hídrico, ou seja, as duas sub-bacias que o compõem não demandaram mais de 5% da OHS nos dias analisados (Tabela 36). Com relação ao Par 2, a SB(C) apresentou Médio nível de comprometimento hídrico na maioria dos dias do período analisado, no entanto, em apenas dois dias a sub-bacia apresentou Alto nível de comprometimento hídrico, sendo superior a 30%. Considerando os dias analisados, a SB(D) apresentou Baixo nível de comprometimento dos seus recursos hídricos, embora a sub-bacia apresenta alta  $DH_{pop}$  devido abranger grande contingente populacional da cidade de Limeira, esta demanda foi desconsiderada nos dois BHQs, pois o volume de água consumido pela população provém principalmente do Rio Jaguari e do Ribeirão Pinhal, estes se encontram fora do limite da sub-bacia, dessa forma, considerou-se nos BHQs desta sub-bacia apenas duas captações superficiais cujo volume total é de  $24 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ .

Nesse sentido, faz-se necessário estudos mais específicos que retratem a potencialidade do crescimento urbano dentro dos limites da sub-bacia, indicando qual é o vetor de crescimento adequado para expansão. Além disso, outra ação importante é o monitoramento com equipamento de varredura para averiguar possíveis perdas de água nas redes de abastecimento da cidade, que deve ser executado prontamente para evitar o desperdício de água potável no sistema, garantindo a segurança hídrica.

O Par 3 também apresentou Baixo nível de comprometimento hídrico, porém apenas em um dia se enquadrou-se em nível Médio, mais especificamente na SB(E) compreendendo a 7,4%. Com relação ao Par 4, em contradição com as demais sub-bacias, a SB(G) apresentou a situação que merece maior atenção, por ter mostrado Alto nível de comprometimento hídrico na maioria dos dias analisados, além disso, foi a única sub-bacia que se enquadrou com escassez hídrica em dois dias do período de análise. Isso pode ser a influência do período de estiagem, no qual geralmente a OHS diminui. Por sua vez, a SB(H) apresentou valores bem abaixo quanto ao percentual da demanda de água provinda da OHS, quando comparada com a SB(G).

Com relação ao segundo BHQ, este foi elaborado para entender a situação dos recursos hídricos caso haja a necessidade de irrigação simultânea das áreas agricultáveis nas sub-bacias hidrográficas estudadas. De acordo com o segundo BHQ, a demanda hídrica potencial nas sub-bacias que compõem o Par 1 apresenta acima de 99% do uso da água no setor agrícola. No Par 2, além de ter apresentado demanda hídrica acima de 89% para a agricultura, a SB(C) também foi a única das áreas estudadas que apresentou demanda de água superficial para o setor industrial, o qual representou 9,2% do volume total demandado na sub-bacia, considerando o dia de maior consumo.

No segundo BHQ, o maior percentual de demanda de água para o setor pecuário quando comparado com os demais percentuais das outras demandas hídricas foi registrado no Par 3, em que a SB(E) e a SB(F) apresentaram respectivamente, 15,0% e 7,3% da água demandada pelo par. Além disso, é importante evidenciar que assim como os Pares 1 e 2, a demanda de água no setor agrícola se sobressai em valores superiores a 80%.

O Par 4 foi o que apresentou maior variação quanto a demanda de água na agricultura, visto que a SB(G) apresenta uma demanda maior devido a execução de atividades consolidadas nesse setor, sendo que a sub-bacia engloba uma parcela do município de Atibaia, conhecido pela produção de flores e frutos. A SB(H) mesmo não se igualando na quantidade de água utilizada para a irrigação, ainda assim apresentou neste setor maior relevância quanto ao volume demandado, em relação aos setores pecuário e populacional. A Figura 121 apresenta o percentual das demandas hídricas nas sub-bacias estudadas para o segundo BHQ, nos dias de maior consumo.

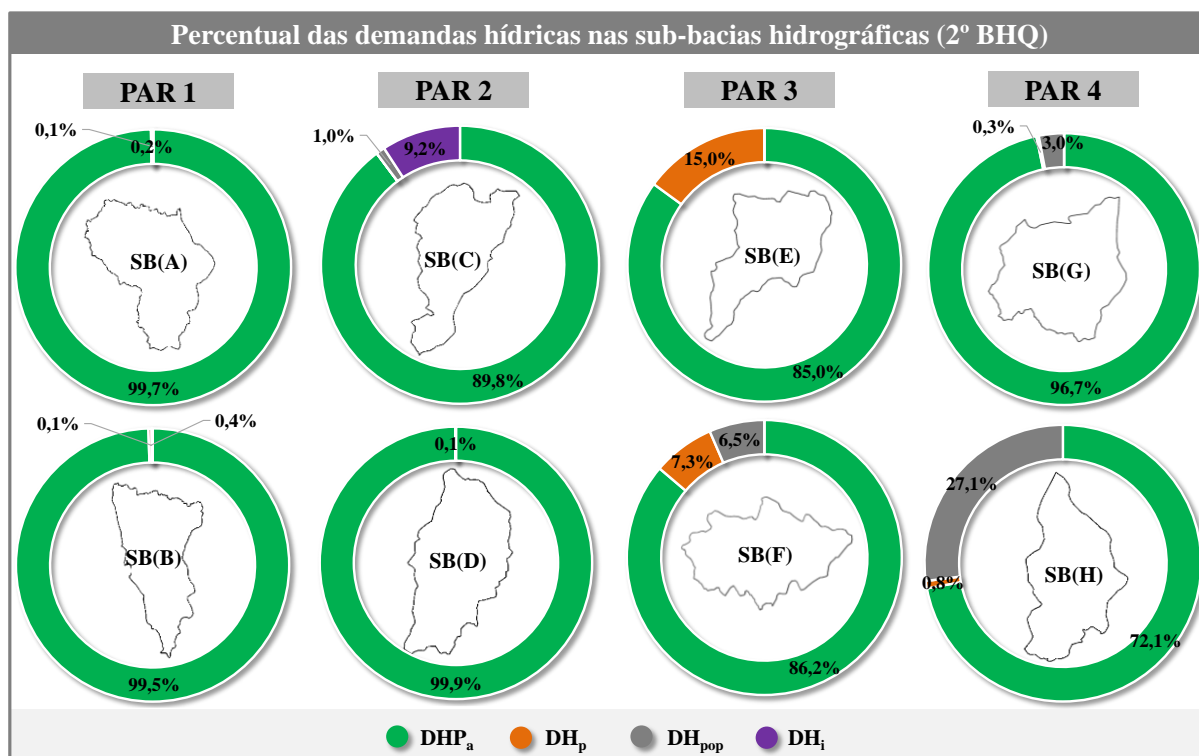


Figura 121 - Percentual das demandas hídricas nas sub-bacias hidrográficas estudadas para o 2º BHQ.

Considerando o segundo BHQ (Tabela 37), as sub-bacias que compõem o Par 1 se encontram em uma situação bem restrita quanto ao comportamento hídrico. A SB(A) caso tivesse implementado a prática da irrigação em todas as áreas agrícolas teria enfrentado escassez hídrica, em quase todos os dias analisados. Se a SB(B) tivesse também adotado a técnica de irrigação, o nível de comprometimento dos recursos hídricos teria sido menor no período em análise, isso se deve pelo tipo e estágios de desenvolvimento das culturas existentes e a extensão territorial que ocupam.

No segundo BHQ, o Par 2 apresentou uma situação mais delicada sobre os recursos hídricos quando comparado com o Par 1, a SB(D) apresentou nível crítico quanto ao comprometimento hídrico na maioria dos dias em análise, devido a área apresentar menor OHS associada a exploração dos recursos hídricos, principalmente se ocorrer manejo de irrigação.

As sub-bacias que compõem o Par 3, apresentaram nível moderado de comprometimento hídrico na maioria dos dias analisados não atingindo o limite de 75%, o qual é adotado para enquadrar a área com ocorrência de escassez hídrica. No Par 4, a escassez hídrica ocorreu em três dias da análise, mais especificamente na SB(G) no período de estiagem, o que normalmente consiste em volumes mais baixos de precipitação, influenciando de modo geral a OHS. Na SB(H) o nível de comprometimento foi alto em alguns dias, porém, não se enquadrou em escassez hídrica devido ter apresentado menor demanda de água para a irrigação, visto que, a área não apresenta aptidão para o uso agrícola.

De acordo com os critérios estabelecidos para o segundo BHQ, as áreas podem sofrer maior pressão nos seus recursos hídricos, devido à alta demanda hídrica potencial para o setor agrícola. Esse fato poderá ocorrer se aderirem a prática de irrigação de forma emergencial, para melhorar a produção agrícola ou suprir as necessidades das culturas de forma a garantir o seu desenvolvimento em período de secas mais severas. Sugere-se para os usuários dos recursos hídricos destas sub-bacias hidrográficas investir em sistemas de irrigação que apresentem maior eficiência no uso da água; além de um monitoramento efetivo com periodicidade adequada para o conhecimento do índice de aridez nas áreas com plantações; a implementação de açudes (também conhecidos como “barraginhas”) tendo como finalidade o armazenamento da água da chuva, configurando-se em outra fonte suplementar para auxiliar na necessidade das culturas existentes; adotar a rotação de culturas temporárias, tendo em vista a redução do volume consumido para irrigação, possibilitando uma produção agrícola sustentável.

Com base nas análises realizadas neste trabalho, é necessário fortificar e implementar as ações que vem sendo abordadas para a melhoria da gestão dos recursos hídricos nas áreas estudadas. Com relação a  $DH_p$  consideradas nos dois BHQs, cabe-se aos órgãos gestores a elaboração de uma plataforma georreferenciada eficiente e atualizada da quantidade de cabeças de gado que existem dentro dos limites das propriedades rurais, uma vez que, o número de animais pode alternar de forma rápida em função do comércio no mercado interno e das exportações, o que conseqüentemente afetará de maneira direta na demanda hídrica do setor pecuário de uma determinada região. Além disso, cabe-se a implementação de um programa de medição e uso racional da água nas propriedades rurais, envolvendo a instalação de hidrômetros para o conhecimento do consumo hídrico real do setor, sendo

uma das etapas elencadas por Costa et al. (2021). Tais sugestões se enquadram para todas as sub-bacias hidrográficas estudadas.

Com relação ao Par 2, a SB(C) por apresentar um valor significativo referente a demanda hídrica industrial, necessita de estudos de monitoramento fluviométrico e de qualidade da água para verificar a viabilidade de novas instalações industriais. Devido aos acontecimentos no cenário atual provindos das mudanças climáticas, estimular a adoção de práticas sustentáveis nos processos produtivos das indústrias também é indispensável para assegurar o uso racional da água.

Importante enfatizar também a reutilização da água da chuva para as diferentes atividades em áreas residenciais, comerciais e industriais (como a rega de jardim, lavagem de quintal e pátios, entre outras) por meio da implementação de um sistema simples de coleta e armazenamento para posterior aproveitamento. Além disso, para a conscientização da sociedade as abordagens sobre reuso e uso racional da água podem ser expostas e trabalhadas por meio da educação ambiental que compreende em um instrumento de extrema importância na gestão ambiental de uma determinada área.

**Tabela 36 - Primeiro balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas.**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica efetiva desconsiderando as captações subterrâneas				Demanda hídrica efetiva (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica efetiva utilizada da OHS
			Captações de águas superficiais para a irrigação (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )			
SB(A)	mai/19	69.984,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	70.199,0	0,3
	jun/19	55.296,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	55.511,0	0,4
	jul/19	57.888,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	58.103,0	0,4
	ago/19	54.432,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	54.647,0	0,4
	set/19	36.288,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	36.503,0	0,6
	out/19	55.296,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	55.511,0	0,4
	nov/19	57.024,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	57.239,0	0,4
	dez/19	57.888,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	58.103,0	0,4
	jan/20	42.336,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	42.551,0	0,5
	fev/20	266.976,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	267.191,0	0,1
	mar/20	89.856,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	90.071,0	0,2
	abr/20	58.752,0	0,0	186,4	28,7	0,0	215,0	58.967,0	0,4
SB(B)	mai/19	62.208,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	62.483,6	0,4
	jun/19	46.656,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	46.931,6	0,6
	jul/19	45.792,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	46.067,6	0,6
	ago/19	38.016,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	38.291,6	0,7
	set/19	44.928,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	45.203,6	0,6
	out/19	52.704,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	52.979,6	0,5
	nov/19	65.664,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	65.939,6	0,4
	dez/19	51.840,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	52.115,6	0,5
	jan/20	53.568,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	53.843,6	0,5
	fev/20	150.336,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	150.611,6	0,2
	mar/20	133.920,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	134.195,6	0,2
	abr/20	65.664,0	14,0	196,5	65,1	0,0	275,6	65.939,6	0,4

**Tabela 36 - Primeiro balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica efetiva desconsiderando as captações subterrâneas			Demanda hídrica efetiva (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica efetiva utilizada da OHS	
			Captações de águas superficiais para a irrigação (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )				DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )
SB(C)	mai/19	168.480,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	187.175,9	10,0
	jun/19	98.496,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	117.191,9	16,0
	jul/19	60.480,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	79.175,9	23,6
	ago/19	46.656,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	65.351,9	28,6
	set/19	46.656,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	65.351,9	28,6
	out/19	26.784,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	45.479,9	41,1
	nov/19	53.568,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	72.263,9	25,9
	dez/19	35.424,0	0,0	3,2	1.925,6	16.767,1	18.695,9	54.119,9	34,5
	jan/20	65.664,0	0,0	3,2	1.925,6	17.302,4	19.231,2	84.895,2	22,7
	fev/20	265.248,0	0,0	3,2	1.925,6	17.302,4	19.231,2	284.479,2	6,8
	mar/20	210.816,0	0,0	3,2	1.925,6	17.302,4	19.231,2	230.047,2	8,4
abr/20	124.416,0	0,0	3,2	1.925,6	17.302,4	19.231,2	143.647,2	13,4	
SB(D)	mai/19	73.440,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	73.561,6	0,2
	jun/19	39.744,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	39.865,6	0,3
	jul/19	38.016,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	38.137,6	0,3
	ago/19	27.648,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	27.769,6	0,4
	set/19	24.192,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	24.313,6	0,5
	out/19	21.600,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	21.721,6	0,6
	nov/19	26.784,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	26.905,6	0,5
	dez/19	45.792,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	45.913,6	0,3
	jan/20	80.352,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	80.473,6	0,2
	fev/20	246.240,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	246.361,6	0,0
	mar/20	106.272,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	106.393,6	0,1
abr/20	44.064,0	57,5	40,1	24,0	0,0	121,6	44.185,6	0,3	

**Tabela 36 - Primeiro balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica efetiva desconsiderando as captações subterrâneas			Demanda hídrica efetiva (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica efetiva utilizada da OHS	
			Captações de águas superficiais para a irrigação (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )				DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )
SB(E)	mai/19	11.232,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	11.301,1	0,6
	jun/19	1.728,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	1.797,1	3,8
	jul/19	2.592,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	2.661,1	2,6
	ago/19	864,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	933,1	7,4
	set/19	1.728,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	1.797,1	3,8
	out/19	3.456,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	3.525,1	2,0
	nov/19	19.008,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	19.077,1	0,4
	dez/19	6.048,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	6.117,1	1,1
	jan/20	4.320,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	4.389,1	1,6
	fev/20	49.248,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	49.317,1	0,1
	mar/20	6.912,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	6.981,1	1,0
abr/20	2.592,0	0,0	69,1	0,0	0,0	69,1	2.661,1	2,6	
SB(F)	mai/19	5.184,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	5.261,1	1,5
	jun/19	14.688,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	14.765,1	0,5
	jul/19	19.872,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	19.949,1	0,4
	ago/19	6.912,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	6.989,1	1,1
	set/19	6.912,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	6.989,1	1,1
	out/19	4.320,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	4.397,1	1,8
	nov/19	30.240,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	30.317,1	0,3
	dez/19	10.368,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	10.445,1	0,7
	jan/20	7.776,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	7.853,1	1,0
	fev/20	57.024,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	57.101,1	0,1
	mar/20	17.280,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	17.357,1	0,4
abr/20	6.912,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	6.989,1	1,1	



**Tabela 36 - Primeiro balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica efetiva desconsiderando as captações subterrâneas				Demanda hídrica efetiva (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica efetiva utilizada da OHS
			Captações de águas superficiais para a irrigação (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )			
SB(G)	mai/19	5.184,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	8.112,1	36,1
	jun/19	4.320,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	7.248,1	40,4
	jul/19	6.048,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	8.976,1	32,6
	ago/19	1.728,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	4.656,1	62,9
	set/19	864,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	3.792,1	77,2
	out/19	259,2	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	3.187,3	91,9
	nov/19	26.784,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	29.712,1	9,9
	dez/19	6.912,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	9.840,1	29,8
	jan/20	3.456,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	6.384,1	45,9
	fev/20	36.288,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	39.216,1	7,5
	mar/20	6.048,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	8.976,1	32,6
abr/20	3.456,0	2.814,6	9,8	103,7	0,0	2.928,1	6.384,1	45,9	
SB(H)	mai/19	3.456,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	3.719,8	7,1
	jun/19	5.184,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	5.447,8	4,8
	jul/19	5.184,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	5.447,8	4,8
	ago/19	2.592,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	2.855,8	9,2
	set/19	1.728,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	1.991,8	13,2
	out/19	2.592,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	2.855,8	9,2
	nov/19	9.504,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	9.767,8	2,7
	dez/19	4.320,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	4.583,8	5,8
	jan/20	2.592,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	2.855,8	9,2
	fev/20	33.696,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	33.959,8	0,8
	mar/20	7.776,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	8.039,8	3,3
abr/20	2.592,0	0,0	8,1	255,7	0,0	263,8	2.855,8	9,2	

**Tabela 37 - Segundo balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas.**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica potencial desconsiderando as captações subterrâneas				Demanda hídrica potencial (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica potencial utilizada da OHS
			DHP Agrícola (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )			
SB(A)	mai/19	69.984,0	53.647,1	186,4	28,7	0,0	53.862,1	70.199,0	76,7
	jun/19	55.296,0	50.813,1	186,4	28,7	0,0	51.028,1	55.511,0	91,9
	jul/19	57.888,0	42.783,4	186,4	28,7	0,0	42.998,4	58.103,0	74,0
	ago/19	54.432,0	70.509,5	186,4	28,7	0,0	70.724,5	54.647,0	129,4
	set/19	36.288,0	74.353,0	186,4	28,7	0,0	74.568,0	36.503,0	204,3
	out/19	55.296,0	38.678,6	186,4	28,7	0,0	38.893,6	55.511,0	70,1
	nov/19	57.024,0	47.121,8	186,4	28,7	0,0	47.336,8	57.239,0	82,7
	dez/19	57.888,0	11.112,9	186,4	28,7	0,0	11.327,9	58.103,0	19,5
	jan/20	42.336,0	938,4	186,4	28,7	0,0	1.153,4	42.551,0	2,7
	fev/20	266.976,0	13.856,8	186,4	28,7	0,0	14.071,8	267.191,0	5,3
	mar/20	89.856,0	50.619,6	186,4	28,7	0,0	50.834,6	90.071,0	56,4
abr/20	58.752,0	82.334,0	186,4	28,7	0,0	82.549,0	58.967,0	140,0	
SB(B)	mai/19	62.208,0	34.175,7	196,5	65,1	0,0	34.437,3	62.483,6	55,1
	jun/19	46.656,0	29.782,0	196,5	65,1	0,0	30.043,6	46.931,6	64,0
	jul/19	45.792,0	14.066,6	196,5	65,1	0,0	14.328,2	46.067,6	31,1
	ago/19	38.016,0	31.024,3	196,5	65,1	0,0	31.285,9	38.291,6	81,7
	set/19	44.928,0	24.729,4	196,5	65,1	0,0	24.991,0	45.203,6	55,3
	out/19	52.704,0	15.359,9	196,5	65,1	0,0	15.621,5	52.979,6	29,5
	nov/19	65.664,0	22.048,7	196,5	65,1	0,0	22.310,3	65.939,6	33,8
	dez/19	51.840,0	5.884,4	196,5	65,1	0,0	6.146,0	52.115,6	11,8
	jan/20	53.568,0	0,0	196,5	65,1	0,0	261,6	53.843,6	0,5
	fev/20	150.336,0	8.073,7	196,5	65,1	0,0	8.335,3	150.611,6	5,5
	mar/20	133.920,0	21.277,1	196,5	65,1	0,0	21.538,7	134.195,6	16,1
abr/20	65.664,0	53.485,0	196,5	65,1	0,0	53.746,6	65.939,6	81,5	

**Tabela 37 - Segundo balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica potencial desconsiderando as captações subterrâneas				Demanda hídrica potencial (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica potencial utilizada da OHS
			DHP Agrícola (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )			
SB(C)	mai/19	168.480,0	100.953,2	3,2	1.925,6	16.767,1	119.649,1	187.175,9	63,9
	jun/19	98.496,0	93.121,1	3,2	1.925,6	16.767,1	111.817,0	117.191,9	95,4
	jul/19	60.480,0	118.161,6	3,2	1.925,6	16.767,1	136.857,5	79.175,9	172,9
	ago/19	46.656,0	134.596,1	3,2	1.925,6	16.767,1	153.292,0	65.351,9	234,6
	set/19	46.656,0	147.739,0	3,2	1.925,6	16.767,1	166.434,9	65.351,9	254,7
	out/19	26.784,0	58.553,1	3,2	1.925,6	16.767,1	77.249,0	45.479,9	169,9
	nov/19	53.568,0	47.425,5	3,2	1.925,6	16.767,1	66.121,4	72.263,9	91,5
	dez/19	35.424,0	21.482,1	3,2	1.925,6	16.767,1	40.178,0	54.119,9	74,2
	jan/20	65.664,0	378,7	3,2	1.925,6	17.302,4	19.609,9	84.895,2	23,1
	fev/20	265.248,0	43.007,3	3,2	1.925,6	17.302,4	62.238,5	284.479,2	21,9
	mar/20	210.816,0	67.415,1	3,2	1.925,6	17.302,4	86.646,3	230.047,2	37,7
abr/20	124.416,0	168.987,5	3,2	1.925,6	17.302,4	188.218,7	143.647,2	131,0	
SB(D)	mai/19	73.440,0	78.582,6	40,1	24,0	0,0	78.646,7	73.561,6	106,9
	jun/19	39.744,0	73.098,7	40,1	24,0	0,0	73.162,8	39.865,6	183,5
	jul/19	38.016,0	64.927,5	40,1	24,0	0,0	64.991,6	38.137,6	170,4
	ago/19	27.648,0	80.388,5	40,1	24,0	0,0	80.452,6	27.769,6	289,7
	set/19	24.192,0	88.429,4	40,1	24,0	0,0	88.493,5	24.313,6	364,0
	out/19	21.600,0	60.723,0	40,1	24,0	0,0	60.787,1	21.721,6	279,8
	nov/19	26.784,0	53.774,2	40,1	24,0	0,0	53.838,3	26.905,6	200,1
	dez/19	45.792,0	38.362,5	40,1	24,0	0,0	38.426,6	45.913,6	83,7
	jan/20	80.352,0	29.499,3	40,1	24,0	0,0	29.563,4	80.473,6	36,7
	fev/20	246.240,0	49.584,1	40,1	24,0	0,0	49.648,2	246.361,6	20,2
	mar/20	106.272,0	60.721,3	40,1	24,0	0,0	60.785,4	106.393,6	57,1
abr/20	44.064,0	114.684,4	40,1	24,0	0,0	114.748,5	44.185,6	259,7	

**Tabela 37 - Segundo balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica potencial desconsiderando as captações subterrâneas				Demanda hídrica potencial (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica potencial utilizada da OHS
			DHP Agrícola (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )			
SB(E)	mai/19	11.232,0	366,2	69,1	0,0	0,0	435,3	11.301,1	3,9
	jun/19	1.728,0	351,5	69,1	0,0	0,0	420,6	1.797,1	23,4
	jul/19	2.592,0	372,8	69,1	0,0	0,0	441,9	2.661,1	16,6
	ago/19	864,0	384,9	69,1	0,0	0,0	454,0	933,1	48,7
	set/19	1.728,0	393,0	69,1	0,0	0,0	462,1	1.797,1	25,7
	out/19	3.456,0	367,3	69,1	0,0	0,0	436,4	3.525,1	12,4
	nov/19	19.008,0	355,2	69,1	0,0	0,0	424,3	19.077,1	2,2
	dez/19	6.048,0	336,6	69,1	0,0	0,0	405,7	6.117,1	6,6
	jan/20	4.320,0	334,1	69,1	0,0	0,0	403,2	4.389,1	9,2
	fev/20	49.248,0	338,8	69,1	0,0	0,0	407,9	49.317,1	0,8
	mar/20	6.912,0	337,0	69,1	0,0	0,0	406,1	6.981,1	5,8
abr/20	2.592,0	366,9	69,1	0,0	0,0	436,0	2.661,1	16,4	
SB(F)	mai/19	5.184,0	252,1	40,8	36,3	0,0	329,2	5.261,1	6,3
	jun/19	14.688,0	140,2	40,8	36,3	0,0	217,3	14.765,1	1,5
	jul/19	19.872,0	318,8	40,8	36,3	0,0	395,9	19.949,1	2,0
	ago/19	6.912,0	481,9	40,8	36,3	0,0	559,0	6.989,1	8,0
	set/19	6.912,0	430,9	40,8	36,3	0,0	508,0	6.989,1	7,3
	out/19	4.320,0	169,6	40,8	36,3	0,0	246,7	4.397,1	5,6
	nov/19	30.240,0	102,8	40,8	36,3	0,0	179,9	30.317,1	0,6
	dez/19	10.368,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	10.445,1	0,7
	jan/20	7.776,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	7.853,1	1,0
	fev/20	57.024,0	0,0	40,8	36,3	0,0	77,1	57.101,1	0,1
	mar/20	17.280,0	14,5	40,8	36,3	0,0	91,6	17.357,1	0,5
abr/20	6.912,0	339,1	40,8	36,3	0,0	416,2	6.989,1	6,0	

**Tabela 37 - Segundo balanço hídrico quantitativo elaborado para as sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

Sub-bacias	Período	Disponibilidade hídrica (m³ dia <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica potencial desconsiderando as captações subterrâneas				Demanda hídrica potencial (irrigação, pecuária, populacional e industrial) (m³ dia <sup>-1</sup> )	Oferta Hídrica Superficial (OHS) (m³ dia <sup>-1</sup> )	% de Demanda hídrica potencial utilizada da OHS
			DHP Agrícola (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Pecuário (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Populacional (m³ dia <sup>-1</sup> )	DH Industrial (m³ dia <sup>-1</sup> )			
SB(G)	mai/19	5.184,0	2.949,1	9,8	103,7	0,0	3.062,6	8.112,1	37,8
	jun/19	4.320,0	2.898,3	9,8	103,7	0,0	3.011,8	7.248,1	41,6
	jul/19	6.048,0	3.076,1	9,8	103,7	0,0	3.189,6	8.976,1	35,5
	ago/19	1.728,0	3.351,9	9,8	103,7	0,0	3.465,4	4.656,1	74,4
	set/19	864,0	3.177,7	9,8	103,7	0,0	3.291,2	3.792,1	86,8
	out/19	259,2	2.887,4	9,8	103,7	0,0	3.000,9	3.187,3	94,2
	nov/19	26.784,0	2.662,4	9,8	103,7	0,0	2.775,9	29.712,1	9,3
	dez/19	6.912,0	2.662,4	9,8	103,7	0,0	2.775,9	9.840,1	28,2
	jan/20	3.456,0	2.662,4	9,8	103,7	0,0	2.775,9	6.384,1	43,5
	fev/20	36.288,0	2.662,4	9,8	103,7	0,0	2.775,9	39.216,1	7,1
	mar/20	6.048,0	2.662,4	9,8	103,7	0,0	2.775,9	8.976,1	30,9
abr/20	3.456,0	3.057,9	9,8	103,7	0,0	3.171,4	6.384,1	49,7	
SB(H)	mai/19	3.456,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	3.719,8	25,4
	jun/19	5.184,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	5.447,8	17,3
	jul/19	5.184,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	5.447,8	17,3
	ago/19	2.592,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	2.855,8	33,1
	set/19	1.728,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	1.991,8	47,4
	out/19	2.592,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	2.855,8	33,1
	nov/19	9.504,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	9.767,8	9,7
	dez/19	4.320,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	4.583,8	20,6
	jan/20	2.592,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	2.855,8	33,1
	fev/20	33.696,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	33.959,8	2,8
	mar/20	7.776,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	8.039,8	11,8
abr/20	2.592,0	681,0	8,1	255,7	0,0	944,8	2.855,8	33,1	

- **Considerações quanto aos métodos utilizados**

A análise estatística hierárquica realizada neste trabalho permitiu a escolha dos Pares de sub-bacias hidrográficas morfometricamente similares a partir dos valores da área e de três índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação situadas na BHRP. A quantidade de índices morfométricos adotados na análise foi suficiente para caracterizar sem subjetividade os Pares de sub-bacias que apresentam características similares. No entanto, devido as sub-bacias hidrográficas estudadas estarem situadas nas extremidades e na porção central da BHRP, pode-se notar algumas diferenças entre elas, quanto as suas características dos meios físico e antrópico, pois essas regiões apresentam especificidades bastante diversificadas.

As demandas hídricas foram computadas neste trabalho com periodicidade diária, de forma a evidenciar a necessidade de estudos que analisem os efeitos das ações no ambiente em curto prazo de tempo, com a intenção de um melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Esse estudo não inviabiliza o monitoramento de dados em outros períodos, mas exprime a idéia de que quanto menor for a escala temporal mais rápida será a compreensão e a elaboração de medidas corretivas quanto ao uso dos recursos hídricos.

A determinação da  $DHP_a$  mostrou-se eficiente, uma vez que, foi calculada considerando dados específicos das regiões em que as sub-bacias estudadas estão inseridas, servindo como uma variável importante para um dos BHQs calculados. A  $DHP_a$  considerou a necessidade de irrigação por tipos de culturas (temporária e permanente) e o estágio que se encontraram as lavouras temporárias, por meio da aplicação do NDVI classificado em quatro níveis, possibilitando a identificação das fases do ciclo de cada cultura. A necessidade de irrigação da cultura, adquirida por meio da plataforma “Coeficientes Técnicos para Agricultura Irrigada” associada ao geoprocessamento de imagens de sensores orbitais, possibilitou determinar a demanda potencial de água por dia em escala de sub-bacias, representando um produto que pode auxiliar na avaliação da região hidrográfica em relação à deficiência de recursos hídricos em um determinado período.

O levantamento *in situ* para determinar a  $DH_p$  em cada sub-bacia foi fundamental na identificação da quantidade de animais existentes por tipo de rebanhos. Optou-se pelo levantamento de campo com a intenção de utilizar dados atuais na determinação, além do motivo dos dados pecuários (como exemplo, o número de cabeças) ser apresentados nas plataformas nacionais de

pesquisa por municípios e não por limites fisiográficos, sendo esta a unidade considerada neste estudo.

O método adotado para o cômputo da  $DH_{pop}$  também foi pertinente, pois a adoção dos setores censitários permitiu identificar com maior detalhe o número de habitantes em menores extensões territoriais dentro dos limites das sub-bacias, permitindo a determinação da demanda hídrica de forma mais realista do setor. O indicador demográfico utilizado mostrou-se capaz na estimativa da população em cada setor censitário para o ano de 2019.

Por falta de dados relacionados ao consumo de água nos processos produtivos das indústrias de diversos ramos de atividade no país, foram considerados os volumes consumidos das captações superficiais e subterrâneas referente ao uso industrial, disponibilizados pela Agência das Bacias PCJ. Importante destacar, a utilidade do monitoramento da quantidade de água utilizada por cada usuário do setor, a qual é considerada no processo de cobrança do uso. A partir desse monitoramento conhece o volume real utilizado por cada tipo de indústria, assegurando maior confiabilidade no cálculo da  $DH_i$ . Uma limitação deste método refere-se ao monitoramento por parte dos usuários, visto que, se não ocorrer a medição do volume consumido anual, o usuário efetuará o pagamento mediante ao volume outorgado, podendo superar significativamente a quantidade real de água utilizada dentro da indústria, em consequência, a demanda do setor será superestimada. Porém, devido à ausência de dados do uso de água nas indústrias, o método empregado se mostrou plausível para a determinação da  $DH_i$  nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Além da determinação das demandas hídricas nas sub-bacias hidrográficas foram elaborados dois BHQs, estes foram fundamentais na compreensão das áreas estudadas quanto à ocorrência de escassez hídrica. O primeiro BHQ abordou valores das demandas hídricas efetivas (dos setores pecuário, populacional e industrial), bem como, as captações superficiais utilizadas para fins de irrigação. O segundo BHQ compreendeu na relação entre a  $DHP_a$  com as demandas hídricas dos outros setores e a OHS, tendo como finalidade compreender a situação dos recursos hídricos nas sub-bacias estudadas caso ocorra a necessidade emergencial de utilizar a prática de irrigação.

- **Considerações quanto as demandas hídricas calculadas**

Por meio do cálculo da  $DHP_a$ , constatou-se que o Par 1 apresentou variação significativa da demanda hídrica potencial, devido ao fato da SB(A) se destacar em maiores áreas de cultivo quando comparada com a SB(B), embora esta apresente maior diversidade de culturas. No Par 2 ocorreu a mesma situação entre as sub-bacias, vale ressaltar que estas duas áreas apresentaram maior criticidade

quanto ao uso dos recursos hídricos, com isso se faz necessário implementar medidas de proteção e conservação. O Par 3 apresentou a menor  $DHP_a$  considerando os dias analisados, sendo que, a SB(F) dentre as áreas estudadas consistiu no menor potencial de consumo de água destinado a irrigação. Por sua vez, a SB(G) sendo uma das sub-bacias que compõem o Par 4, apresentou maior  $DHP_a$  para as culturas temporárias quando comparada com a SB(H), por ser uma região com atividade consolidada na produção de flores e frutos.

Com relação a  $DH_p$ , o Par 1 representou o maior consumo de água demandado para a dessedentação dos animais, e as duas sub-bacias que o compõem apresentaram valores próximos da  $DH_p$ , o que também ocorreu no Par 3, sendo o segundo par com o maior consumo de água para essa finalidade. O Par 2 apresentou significativa variância nos volumes de água consumido pelos animais, tal situação é explicada pela aptidão agrícola da SB(C) no cultivo de monocultura, o que dificulta a destinação de áreas para a pastagem. As sub-bacias que formam o Par 4 apresentaram a menor  $DH_p$ , não atingindo  $10 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  cada uma.

A  $DH_{pop}$  foi maior no Par 2, com destaque para a SB(D), por se situar no extremo oeste da área urbana de Limeira. Contudo, esta demanda foi desconsiderada nos dois BHQs realizados neste trabalho, pelo motivo da população ser abastecida principalmente pelo Rio Jaguari e pelo Ribeirão Pinhal, sendo localizados externamente a área de abrangência da SB(D). A menor demanda hídrica referente ao abastecimento populacional ocorreu no Par 1, por serem áreas com predomínio de população residente em áreas rurais, enquanto, os Pares 3 e 4 apresentaram valores intermediários de demanda hídrica para este setor.

Com base nos dados analisados, quatro das sub-bacias hidrográficas estudadas apresentaram pontos de captações de águas (superficiais e subterrâneas) para o uso industrial, sendo elas: SB(A); SB(C); SB(D); e SB(F). A  $DH_i$  calculada para estas áreas, mostra-se que a SB(C) apresentou significativamente a maior demanda por água, enquanto a SB(F) apresentou o menor volume de água utilizado para o setor, não atingindo  $70 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ .

- **Considerações quanto aos balanços hídricos quantitativos**

Quanto ao primeiro BHQ, as sub-bacias hidrográficas que apresentaram maiores pressões quanto a utilização dos recursos hídricos foram a SB(C), a SB(G) e a SB(H). Com base no segundo BHQ, devido considerar a  $DHP_a$ , os Pares 1 e 2 se enquadraram para a ocorrência de escassez hídrica, em níveis variando de alto a crítico com relação ao comprometimento hídrico, no período analisado. As sub-bacias que compõem o Par 3 apresentaram níveis mais favoráveis com relação aos demais



pares. No Par 4, a SB(G) se enquadrou em níveis que merecem mais atenção quanto a utilização dos recursos hídricos, quando comparada com a SB(H), que apresenta diferença significativa na DHP<sub>a</sub>.

Dessa forma, considerando a importância da irrigação para produção agrícola e o desenvolvimento das lavouras, se faz necessário a adoção de medidas que minimizem a quantidade de água, por meio de sistemas e medidas mais eficientes que evitem o desperdício. Caso contrário, torna-se evidente que essa prática interfere consideravelmente na situação hidrológica de uma sub-bacia podendo levá-la a criticidade quanto a sua disponibilidade hídrica, ainda mais quando há existência de outros tipos de usos, provocando conflitos pelas partes interessadas.

Este trabalho apresentou métodos que podem ser facilmente adaptados para a determinação da demanda hídrica em diferentes regiões hidrográficas do país, visto que, a maior parte das bases de dados utilizadas consideram a área de abrangência nacional. Os resultados oriundos poderão auxiliar os gestores e tomadores de decisão para a elaboração de políticas públicas com vista ao planejamento e o gerenciamento adequado dos recursos hídricos.

- **Recomendações para estudos futuros**

Para estudos futuros sobre a demanda hídrica em escala de sub-bacias hidrográficas sugere-se:

- Aplicar outros índices de vegetação que classifiquem o estágio de desenvolvimento das culturas temporárias e comparar com o NDVI, a fim de verificar qual índice apresenta maior potencial para discriminar as fases fenológicas das culturas existentes;

- Analisar a possibilidade de integrar junto a plataforma do Cadastro Ambiental Rural (CAR) a quantidade de cabeças por rebanho, de forma a facilitar o recenseamento no setor pecuário;

- Integrar dados das plataformas MapBiomas<sup>®</sup> e “Coeficientes Técnicos para a Agricultura Irrigada” de forma a facilitar a determinação da demanda hídrica;

- Disseminar os métodos adotados nas sub-bacias hidrográficas estudadas para outras regiões da BHRP, para compreender de forma pormenorizada quais são as áreas que demandam maiores cuidados com relação aos recursos hídricos.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABDETA, G. C. et al. Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds and management planning and practices in Gidabo Basin, Southern Rift Valley of Ethiopia. **Applied Water Science**, v. 10, n. 7, p. 1–15, 2020.

AFKHAMI, M.; ZAHRAIE, B.; GHORBANI, M. Quantitative and qualitative analysis of the dimensions of farmers' adaptive capacity in the face of water scarcity. **Journal of Arid Environments**, v. 199, n. December 2021, p. 104715, 2022.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Meu Mapa**. 2018. Disponível em: < <https://mapas.agenciapcj.org.br/portal/home/webmap/viewer.html?useExisting=1>>. Acesso em: 14 de agosto de 2018.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2021 (Ano Base 2020): UGRHI 05 - Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Piracicaba: Agência das Bacias PCJ, 2021. 135 p.

AHLBERG, C. M. et al. Environmental effects on water intake and water intake prediction in growing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 10, p. 4368–4384, 2018.

AHLBERG, C. M. et al. Characterization of water intake and water efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 12, p. 4770–4782, 2019.

AHMADI, M. S. et al. Towards a global day zero? Assessment of current and future water supply and demand in 12 rapidly developing megacities. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, n. May, 2020.

ALDAYA, M. M. et al. An academic analysis with recommendations for water management and planning at the basin scale: A review of water planning in the Segura River Basin. **Science of the Total Environment**, v. 662, p. 755–768, 2019.

ALLAN, G. J. et al. Scotland's industrial water use: Understanding recent changes and examining the future. **Environmental Science and Policy**, v. 106, n. November 2019, p. 48–57, 2020.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements: FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 1998.

ALLEGRETTI, G.; ANTONIO, M.; TALAMINI, E. Science of the Total Environment Assessing sectoral water stress states from the demand-side perspective through water footprint dimensions decomposition. **Science of the Total Environment**, v. 809, p. 152216, 2022.

AL-RAMAMNEH, D.; RIEK, A.; GERKEN, M. Effect of water restriction on drinking behaviour and water intake in German black-head mutton sheep and Boer goats. **Animal**, v. 6, n. 1, p. 173–178, 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMARASINGHE, U. A.; SMAKHTIN, V. **Global water demand projections: past, present and future**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 32p, 2014.

AMBIKA, A. K.; WARDLOW, B.; MISHRA, V. Remotely sensed high resolution irrigated area mapping in India for 2000 to 2015. **Scientific Data**, v. 3, p. 1–14, 2016.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Catálogo de Metadados da ANA**: base hidrográfica ottocodificada das bacias. Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias. 2013. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/9a761447-7aa2-470e-a5f0-9ad63468fa3c>>. Acesso em: 09 de janeiro de 2019.

\_\_\_\_\_. **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. 37p.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**. Agência Nacional de Águas, p. 169, 2017.

\_\_\_\_\_. **Coeficientes Técnicos para Agricultura Irrigada**. 2019a. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYWw0NDMzNmYtNTYxZC00ZThjLWJlYjYjctM2NlMDVjZTQxOWI3IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>>. Acesso em: 17 junho de 2020.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019: informe anual**. 2019b. Agência Nacional de Águas, Brasília.

\_\_\_\_\_. **Coeficientes Técnicos de Uso da Água para a Agricultura Irrigada**. 2019c. Brasília.

\_\_\_\_\_. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019. 94p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. 2019d. Agência Nacional de Águas.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2021. 332p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Irrigação. Uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2.ed. Brasília: ANA, 2021. 130p.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - 2021**: Relatório Pleno. 2021. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ANDERSEN, H. M. L.; DYBKJÆR, L.; HERSKIN, M. S. Growing pigs' drinking behaviour: Number of visits, duration, water intake and diurnal variation. **Animal**, v. 8, n. 11, p. 1881–1888, 2014.

ANDERSON, M. C. et al. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 50-65, 2012.

AQUASTAT. Mapa (pdf) - Water withdrawal per inhabitant (m<sup>3</sup>/year). 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/maps>. Acesso em: 24 jan. 2022.

ARFANUZZAMAN, M.; ATIQ RAHMAN, A. Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and ground water depletion for social–ecological resilience building. **Global Ecology and Conservation**, v. 10, p. 9–22, 2017.

ASFAW, D.; WORKINEH, G. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 2, p. 150–157, 2019.

ASSIS, G. A. de. et al. Drip irrigation in coffee crop under different planting densities: Growth and yield in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1116–1123, 2014.

BAIN, R. E. S. et al. Science of the Total Environment Rural: urban inequalities in post 2015 targets and indicators for drinking-water. **Science of the Total Environment**, v. 490, n. 2014, p. 509–513, 2014.

BARBIERI, P. et al. Opinion paper: Livestock is at the heart of interacting levers to reduce feed-food competition in agroecological food systems. **Animal**, v. 16, n. 2, p. 100436, 2022.

BARBOSA, J. G.; GROSSI, J. A. S.; PIVETTA, K. F. L.; FINGER, F. L.; SANTOS, J. M. dos. Cultivo de Rosas. Floricultura. **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 227, p. 20-29, 2005.

BARRETO, L. M. G. et al. Comportamento ingestivo de caprinos das raças Moxotó e Canindé em confinamento recebendo dois níveis de energia na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 834–842, 2011.

BATISTA, J. J.; SIMÕES, L. S. A.; OLIVEIRA, M. A. F. de; SOUZA FILHO, E. E. de. Carta Geológica do Estado de São Paulo (1:50.000): Folha Jundiaí. Rio Claro: UNESP; Pró-Minério, 1986. v.1, 115p. (Relatório Final).

BAVERA, G. A. Consumo de Água. In: BAVERA, Guillermo Alejandro. **Aguas Y Aguadas para el Ganado**. Río Cuarto: Imberti-Bavera, 2011. p. 23-41.

BHARATH, A. et al. Drainage morphometry based sub-watershed prioritization of Kalinadi basin using geospatial technology. **Environmental Challenges**, v. 5, n. August, p. 100277, 2021.

BØE, K. E.; JØRGENSEN, G. H. M.; ANDERSEN, I. L. Effect of increasing the number of pregnant ewes per nipple drinker on water intake, feed intake and drinking behaviour. Some preliminary results. **Small Ruminant Research**, v. 108, n. 1–3, p. 28–31, 2012.

BORTOLETTO JÚNIOR, M. J.; MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Erosão Química na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, p. 99–111, 2002.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Poder Executivo. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 05 de janeiro de 2022.

BRASIL. Lei n. 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial - Executivo, São Paulo, SP, 31 dez. 1991. Disponível em:

<<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Alimentos regionais brasileiros**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2015. 484 p.

BRITO, L. T. de L.; CAVALCANTI, N. de B. **Produção de frutas e hortaliças com o uso de água de chuva armazenada em cisterna**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

BUESA, I. et al. Regulated deficit irrigation in persimmon trees (*Diospyros kaki*) cv. “Rojo Brillante”. **Scientia Horticulturae**, v. 159, p. 134–142, 2013.

BUREK, P. et al. Water Futures and Solution. Fast Track Initiative – Final Report ADA Project Number 2725-00/2014. **Water Futures and Solution**, n. May, p. 1–113, 2016.

CA (COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WATER MANAGEMENT IN AGRICULTURE). **Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture**. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute. 2007.

CAMPI, P. et al. Innovative Soil Management and Micro-Climature Modulation for Saving Water in Peach Orchards. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. July, p. 1–13, 2020.

CAMPOS NETO, M. da C., et al. 1983. Geologia das Folhas de Piracaba e Igaratá. In: 1ª Jornada sobre a Carta Geológica do Estado de São Paulo em 1:50.000. Atas... São Paulo: IPT/Pró-Minério.

CAMPOS NETO, M. da C.; BASEI, M. A. S.; ALVES, F. R.; FIGUEIREDO, M. C. H. **Geologia da folha de Bragança Paulista 1:50.000**. São Paulo. Secretaria de Indústria Comércio Ciências e Tecnologia - Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais. 1984.

CARAM, R. de O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba**. 2010. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

CARDOSO, A. B. F. **Mapeamento Geotécnico do município de Limeira - SP**. 1993. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, v.1, 92p. 1993.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241–248, 2006.

CARDOT, V.; LE ROUX, Y.; JURJANZ, S. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 6, p. 2257–2264, 2008.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of citrus (*Citrus* spp.): A review. **Experimental Agriculture**, v. 48, n. 3, p. 347–377, 2012.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.): A REVIEW. **Experimental Agriculture**, v. 49, n. 2, p. 256–278, 2013.

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): A Review. **Experimental Agriculture**, v. 47, n. 1, p. 1–25, 2011.

CARVALHO, A. C. P. et al. Proposta de método para a escolha de áreas de drenagem amostrais e suas relações com variáveis hidrológicas na região sudeste do Estado de São Paulo - Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, n. 1, p. 10–10, 2020.

CARVALHO, A. C. P. et al. Hydrological response of hydrographic sub-basins in the Piracicaba River Basin - Southeast Region of Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, p. 1–17, 2022.

CARVALHO, A. C. P. **Proposição de uma sistemática para avaliação qualitativa da oferta hídrica superficial aplicada em sub-bacias hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - Região Sudeste do Estado de São Paulo**. 2022. 312 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

CAUBERGHE, V.; VAZQUEZ-CASAUBON, E.; SOMPEL, D. VAN DE. Perceptions of water as commodity or uniqueness? The role of water value, scarcity concern and moral obligation on conservation behavior. **Journal of Environmental Management**, v. 292, n. April, p. 112677, 2021.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CIVIT, B. et al. The water consumed in the production of grapes for vinification (*Vitis vinifera*). Mapping the blue and green water footprint. **Ecological Indicators**, v. 85, n. September 2017, p. 236–243, 2018.

CLAROS GARCIA, J. C.; VON SPERLING, E. Greenhouse gas emissions from sugar cane ethanol: Estimate considering current different production scenarios in Minas Gerais, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. December 2015, p. 1033–1049, 2017.

COBRAPE. Relatório Final: Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020, com Propostas de Atualização do Enquadramento para Efetivação dos Corpos d'Água até o Ano de 20135. v. 1, 2010.

COBRAPE - Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo**. DAEE, 2013. 213 p.

COLLARES, E. G. Mapeamento geotécnico da quadrícula de Bragança Paulista - SP: ênfase nos materiais inconsolidados. Dissertação de Mestrado. São Carlos, EESC/USP, 125p. 1994.

COLLARES, E. G.; RODRIGUES, J. E. Levantamento geológico-geotécnico preliminar da quadrícula de Valinhos - SP. In: congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica, XI., 1998, Brasília. Anais. São Paulo: ABMS, 1998. p. 529-535.

COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. Relatório de situação dos recursos hídricos 2020: ano base 2019; versão simplificada. Piracicaba: Agência das Bacias PCJ, 2021.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Necessidade de Água da Cultura da Videira no Noroeste Paulista**. 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140117/1/necessidade-de-agua-da-cultura-da-videira.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

CONTE, S. et al. The effects of feeding finishing pigs of two genders with a high fiber and high fat diet on muscle glycolytic potential at slaughter and meat quality. **Meat Science**, v. 177, n. January, p. 108484, 2021.

- CONSÓRCIO PROFILL-RHAMA. Relatório Final - Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2020-2035. p. 758, 2020.
- COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management: Current and future challenges and research directions. **Water Resources Research**, v. 51, n. 6, p. 4823-4839, 2015.
- COSTA, D. J. L. et al. Medição do consumo de água em propriedades rurais: desafios e alternativas tecnológicas. In: PALHARES, J. C. P. **Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo**. Brasília: Embrapa, 2021. 323p.
- CUTTS, B. B. et al. Is a clean river fun for all? Recognizing social vulnerability in watershed planning. **PLoS ONE**, v. 13, n. 5, p. 1–21, 2018.
- DAGHIR, N.; DIAB-EL-HARAKE, M.; KHARROUBI, S. Poultry production and its effects on food security in the Middle Eastern and North African region. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 30, n. 1, p. 100110, 2021.
- DANTAS-FERREIRA, M. **Proposta de índice de processos erosivos acelerados a partir de levantamento e diagnóstico Geológico-Geotécnico de áreas degradadas**. 447p. Tese de Doutorado. São Carlos, EESC/USP - 2008.
- DE FRAITURE, C.; WICHELNS, D. Satisfying future water demands for agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 502–511, 2010.
- DE LARA, A.; LONGCHAMPS, L.; KHOSLA, R. Soil water content and high-resolution imagery for precision irrigation: Maize yield. **Agronomy**, v. 9, n. 4, p. 1–12, 2019.
- DELGADO, L. E. et al. Water governance in rural communities of Chiloé Island, southern Chile: A multi-level analysis. **Journal of Rural Studies**, v. 83, n. October 2020, p. 236–245, 2021.
- DENG, C. et al. Precipitation and urban expansion caused jointly the spatiotemporal dislocation between supply and demand of water provision service. **Journal of Environmental Management**, v. 299, n. June, p. 113660, 2021.
- DIAS, H. B.; SENTELHAS, P. C. Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. **Field Crops Research**, v. 213, n. July, p. 174–185, 2017.
- DISTEFANO, T.; KELLY, S. Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. **Ecological Economics**, v. 142, p. 130-147, 2017.
- DRASTIG, K. et al. Irrigation water demand of selected agricultural crops in Germany between 1902 and 2010. **Science of the Total Environment**, v. 569–570, p. 1299–1314, 2016.
- DURÁN-SÁNCHEZ, A.; ÁLVAREZ-GARCÍA, J.; DEL RÍO-RAMA, M. DE LA C. Sustainable water resources management: A bibliometric overview. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 9, p. 1–19, 2018.
- EASWER, V. et al. Vulnerability mapping of the Paravanar sub-basin aquifer (Tamil Nadu, India) in SINTACS model for efficient land use planning. **Environmental Research**, v. 204, n. September 2021, 2022.

EMPINOTTI, V. L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. **Geoforum**, v. 98, n. December 2017, p. 46–54, 2019.

FANCELLI, A. L. Cultivo racional e sustentável requer maior conhecimento sobre planta do milho. **Visão Agrícola**, v. jul-dez, n. 13, p. 20–23, 2015.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). Water withdrawal by sector, around 2010. **Aquastat**, n. November, p. 2–3, 2016. Disponível em: <[http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf)>.

\_\_\_\_\_. **Water for Sustainable Food and Agriculture, a report produced for the G20 Presidency of Germany**. Roma, 2017.

\_\_\_\_\_. **World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals**. Rome. 222 p. 2018.

\_\_\_\_\_. **Live Animals (1994-2019)**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA/visualize>>. Acesso em: 24 maio de 2021.

\_\_\_\_\_. **Water use in livestock production systems and supply chains – Guidelines for assessment (Version 1)**. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome. 2019.

\_\_\_\_\_. **ETc - Coeficiente de cultura única (Kc)**. Disponível em: <[http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e0b.htm#chapter%206%20%20etc%20%20single%20crop%20coefficient%20\(kc\)](http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e0b.htm#chapter%206%20%20etc%20%20single%20crop%20coefficient%20(kc))>. Acesso em: 29 setembro de 2021.

FANG, G.; CHEN, Y.; LI, Z. Variation in agricultural water demand and its attributions in the arid Tarim River Basin. **Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 3, p. 301–311, 2018.

FATHIZAD, H.; TAZEH, M.; KALANTARI, S.; SHOJAEI, S. The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. **J. Afr. Earth Sci.** 134, 249–256. 2017.

FERREIRA, A. V. et al. Water intake of Boer goats and Mutton merinos receiving either a low or high energy feedlot diet. **Small Ruminant Research**, v. 43, n. 3, p. 245–248, 2002.

FERREIRA, L. M. R.; IRITANI, M. A.; ODA, G. H. Proteção de Aquífero no Município de Tietê, SP. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2005. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23217>. Acesso em: 6 setembro de 2021.

FREEMAN, D. E. et al. Effect of feed deprivation on daily water consumption in healthy horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 53, n. 1, p. 117–124, 2021.

FILIPPINI, M.; SRINIVASAN, S. Impact of religious participation, social interactions and globalization on meat consumption: Evidence from India. **Energy Economics**, v. 84, p. 104550, 2019.

FLÖRKE, M. et al. Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: A global simulation study. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 1, p. 144–156, 2013.



- FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; MCDONALD, R. I. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 51-58, 2018.
- GAMA JÚNIOR, E.; BANDEIRA JÚNIOR, A. N.; FRANÇA, A. B. Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v.12, n. 4, p. 578–589, 1982.
- GARRIDO-RUBIO, J. et al. Remote sensing–based soil water balance for irrigation water accounting at plot and water user association management scale. **Agricultural Water Management**, v. 238, n. April, p. 106236, 2020.
- GARRONE, P.; GRILLI, L.; MARZANO, R. Price elasticity of water demand considering scarcity and attitudes. **Utilities Policy**, v. 59, n. October 2018, p.100927, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100927>>.
- GODBER, O. F.; WALL, R. Livestock and food security: Vulnerability to population growth and climate change. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p. 3092–3102, 2014.
- GOLFAM, P.; ASHOFTEH, P. S.; LOÁICIGA, H. A. Modeling adaptation policies to increase the synergies of the water-climate-agriculture nexus under climate change. **Environmental Development**, v. 37, n. May 2020, 2021.
- GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. DE. Análise da Multidimensionalidade dos Conceitos de Bacia Hidrográfica. **GEOgraphia**, v. 23, n. 51, p. 1–17, 2021.
- GORDON, M. E.; JERINA, M. L. Water intake in horses fed supplemental salt compared to free-choice access to salt blocks. **Journal of Equine Veterinary Science**, v.33, n.5, p. 348–349, 2013.
- GRACIA-DE-RENTERÍA, P.; BARBERÁN, R.; MUR, J. Urban water demand for industrial uses in Spain. **Urban Water Journal**, v. 16, n. 2, p. 114–124, 2019.
- GRACIA-DE-RENTERÍA, P.; BARBERÁN, R.; MUR, J. Urban water demand for manufacturing, construction and service industries: A microdata analysis. **Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society**, v. 70, n. 3, p. 274–288, 2021.
- GUERINI FILHO, M. et al. Análise do consumo de água e do volume de dejetos na criação de suínos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 64–69, 2015.
- GUO, Y.; SHEN, Y. Agricultural water supply/demand changes under projected future climate change in the arid region of northwestern China. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 257–273, 2016.
- HAMDAN, A.; KHOZYEM, H. Morphometric, statistical, and hazard analyses using ASTER data and GIS technique of WADI El-Mathula watershed, Qena, Egypt. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 22, 2018.
- HAN, J. C.; HUANG, Y.; ZHANG, H.; et al. Characterization of elevation and land cover dependent trends of NDVI variations in the Hexi region, northwest China. **Journal of Environmental Management**, v. 232, n. November 2018, p. 1037–1048, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.069>>.
- HEJAZI, M. et al. Scenarios of global municipal water-use demand projections over the 21st century. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 3, p. 519–538, 2013.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**, 56(3), 1945, p. 275-370.

HOUDRET, A.; DOMBROWSKY, I.; HORLEMANN, L. The institutionalization of River Basin Management as politics of scale - Insights from Mongolia. **Journal of Hydrology**, v. 519, n. PC, p. 2392–2404, 2014.

HUANG, S.; ZHENG, X.; MA, L.; et al. Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. **Journal of Hydrology**, v. 584, n. January, p. 124687, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124687>>.

HUANG, Z. et al. Global assessment of future sectoral water scarcity under adaptive inner-basin water allocation measures. **Science of the Total Environment**, v. 783, p. 146973, 2021.

HUANG, Z.; YUAN, X.; LIU, X. The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. **Journal of Hydrology**, v. 601, n. January, p. 126658, 2021.

HUONG, L. T. T. et al. Water-use efficiency of alternative pig farming systems in Vietnam. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 161, n. May, p. 104926, 2020.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **IBGE Cidades - População e IDHM**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 31 de outubro de 2021.

\_\_\_\_\_. **Censo Agropecuário de 2017**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pesquisa/24/76693>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

\_\_\_\_\_. 2018. Contas econômicas ambientais da água: Brasil: 2013 - 2015 (Notas técnicas N°. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, ISBN 9788524044526. Contas Econômicas e Ambientais da Água.

\_\_\_\_\_. **Curvas de Nível e Pontos Cotados**. 2019. Disponível em: <<https://loja.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

\_\_\_\_\_. 2021. Produção Agrícola - Lavoura Permanente - Ano 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863>>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

\_\_\_\_\_. 2021. **Guia do Censo: Operação Censitária**. 2021. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). Water Energy Nexus- Excerpt from the World Energy Outlook 2016. **Iea**, p. 60, 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExcerptWaterEnergyNexus.pdf>>.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS). Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT. 1981.

IRRIGART - Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá: situação dos recursos hídricos 2004/2006**. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ-PCJ, 2007.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. As águas subterrâneas no Estado de São Paulo. 3ª ed. São Paulo: SMA/IG, 2012.

JAIN, A. O. et al. Determination of sensitivity of drainage morphometry towards hydrological response interactions for various datasets. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 2, p. 1799–1822, 2021.

JAYARATHNA, Lasinidu; RAJAPAKSA, Darshana; MANAGI, Shunsuke; *et al.* A GIS based spatial decision support system for analysing residential water demand: A case study in Australia. **Sustainable Cities and Society**, v. 32, p. 67–77, 2017.

JENSEN, M. B. et al. The effect of varying duration of water restriction on drinking behaviour, welfare and production of lactating sows. **Animal**, v. 10, n. 6, p. 961–969, 2016.

JIA, X. et al. Regional Water Resources Assessment using Water Scarcity Pinch Analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 157, n. September 2019, 2020.

JOSEPH, N. et al. Estimation of industrial water demand in India using census-based statistical data. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, n. May, p. 31–44, 2019.

KAEWMAI, R. et al. Improving regional water scarcity footprint characterization factors of an available water remaining (AWARE) method. **Science of the Total Environment**, v.681, p. 444–455, 2019, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.013>>.

KAHIL, T. et al. ScienceDirect A nexus modeling framework for assessing water scarcity solutions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 40, p. 72–80, 2019.

KELMAN, J. Water Supply to the Two Largest Brazilian Metropolitan Regions. **Aquatic Procedia**, v. 5, n. September 2014, p. 13–21, 2015.

KHELIL-ARFA, H. et al. Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. **Animal**, v. 6, n. 10, p. 1662–1676, 2012.

KÖGLER, F.; SÖFFKER, D. Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. **Ecological Modelling**, v. 361, p. 135-156, 2017.

KORALAY, N.; KARA, Ö. Effects of morphometric characteristics on flood in Degirmendere sub-watersheds, Northeastern Turkey. **International Journal of River Basin Management**, v. 0, n. 0, p. 1–11, 2021.

KUMAR, P. et al. Integrated water resources management for an inland river basin in China. **Watershed Ecology and the Environment**, v. 1, p. 33–38, 2019.

KUSHWAHA, A. P. et al. Multimodel assessment of water budget in Indian sub-continental river basins. **Journal of Hydrology**, v. 603, n. PB, p. 126977, 2021.

- LAMCHIN, M. et al. Long-term trend and correlation between vegetation greenness and climate variables in Asia based on satellite data. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1089–1095, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.145>>.
- LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 208 p.
- LI, C. et al. Determinants of agricultural water demand in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, 2021.
- LI, C. et al. Using NDVI percentiles to monitor real-time crop growth. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, n. April, p. 357–363, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.026>>.
- LI, J. et al. Development of “water-suitable” agriculture based on a statistical analysis of factors affecting irrigation water demand. **Science of the Total Environment**, v. 744, p. 140986, 2020.
- LI, K. et al. Urban industrial water supply and demand: System dynamic model and simulation based on Cobb-Douglas function. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 21, 2019.
- LI, X. et al. Novel hybrid coupling of ecohydrology and socioeconomy at river basin scale: A watershed system model for the Heihe River basin. **Environmental Modelling & Software**, v. 141, n. April, p. 105058, 2021.
- LI, X. et al. Evaluating water provision service at the sub-watershed scale by combining supply, demand, and spatial flow. **Ecological Indicators**, v. 127, p. 107745, 2021.
- LIN, L. et al. Integrating landscape planning and stream quality management in mountainous watersheds: A targeted ecological planning approach for the characteristic landscapes. **Ecological Indicators**, v. 117, n. 2, p. 106557, 2020.
- LIPPONEN, A. Towards greater comparability of data and information on water resources across borders in pan-Europe: regional assessments and basin level exchanges as tools. **Environmental Science and Policy**, v. 109, n. June 2018, p. 45–53, 2020.
- LIU, J.; LIU, Q.; YANG, H. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 434–441, 2016.
- LIU, J. et al. A comprehensive analysis of blue water scarcity from the production, consumption, and water transfer perspectives. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 870–880, 2017.
- LIU, X.; CAI, Z.; YUAN, Z. Environmental burdens of small-scale intensive pig production in China. **Science of the Total Environment**, v. 770, p. 144720, 2021.
- LOLLO, J. A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico: Sistematização e aplicação para a quadricula de Campinas (SP). 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- LONGCHAMPS, L. et al. Spatial and Temporal Variability of Soil Water Content in Leveled Fields. **Soil Science Society of America Journal**, v. 79, n. 5, p. 1446–1454, 2015.
- LOPES, M. F. C. Condições de ocorrência de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari. 1994. 82 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, São Paulo.

LOPES, M. S., TERCINI, J. R. B., SANTI, A. D., PEDROZO, D. B., BONNECARRÈRE, J. I. G., GONZALEZ, V. A. R., & LÉO, E. C. (2021). Decision support system applied to water resources management: PCJ Basins case study. **Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS.**, 10(1), 1-27, e19876. <https://doi.org/10.5585/geas.v10i1.19876>.

LORANDI, R.; DI LOLLO J. A.; MOSCHINI, L. E.; COLLARES, E. G.; CARVALHO, A. C. P.; CARVALHO, A. P. P. 2019. Análise espacial da disponibilidade hídrica nas Sub-bacias Hidrográficas do Rio Piracicaba (SP) para a proposição de instrumento de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Relatório Parcial de Pesquisa. UFSCar/FAPESP - Processo: 2018/14145-4.

MACHADO, F. B.; NARDY, A. J. R.; DE MELO, R. P.; *et al.* As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na Porção leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo: Aspectos petrográficos e geoquímicos - Resultados preliminares. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 5–17, 2005.

MACHADO FILHO, L. C. *et al.* Designing better water troughs: Dairy cows prefer and drink more from larger troughs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 89, n. 3–4, p. 185–193, 2004.

MAHDY, F. EL. Importance of Fresh Water for Livestock. v. 4, p. 29–34, 2020.

MALDONADO-DEVIS, M.; ALMENAR-LLONGO, V. Heterogeneity in Domestic Water Demand: An Application of Multilevel Analysis to the City of Valencia (Spain). **Water**, v. 13, n. 23, p. 3400, 2021.

MANGAN, P.; HAQ, M. A.; BARAL, P. Morphometric analysis of watershed using remote sensing and GIS—a case study of Nanganji River Basin in Tamil Nadu, India. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 12, n. 6, 2019.

MARTINS, J. A. *et al.* Escoamento Superficial. In: PINTO, Nelson Luiz de Sousa. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976. p. 1-285.

MCDONALD, R. I. *et al.* Urban growth, climate change, and freshwater availability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 15, p. 6312–6317, 2011.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, p. 1-6, 2016.

MESHARAM, S. G. *et al.* Application of SAW and TOPSIS in Prioritizing Watersheds. **Water Resources Management**, v. 34, n. 2, p. 715–732, 2020.

MENDONÇA, M. B. DE; SILVA, D. R. DA. Integration of census data based vulnerability in landslide risk mapping - The case of Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 50, n. April, p. 101884, 2020.

MENGISTU, F.; ASSEFA, E. Towards sustaining watershed management practices in Ethiopia: A synthesis of local perception, community participation, adoption and livelihoods. **Environmental Science and Policy**, v. 112, n. February, p. 414–430, 2020.

MILLER, O. L. *et al.* Changing climate drives future streamflow declines and challenges in meeting water demand across the southwestern United States. **Journal of Hydrology X**, v. 11, n. January, p. 100074, 2021.

MILLER, V.C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area**. New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, p. 30, 1953.

- MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: The 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, v. 65, n. May, p. 26–34, 2018.
- MOLLE, F. River-basin planning and management: The social life of a concept. **Geoforum**, v. 40, n. 3, p. 484–494, 2009.
- MOORE, S. Toward effective river basin management (RBM): The politics of cooperation, sustainability, and collaboration in the Delaware River basin. **Journal of Environmental Management**, v. 298, n. January, p. 113421, 2021.
- MORTATTI, J.; BERNARDES, M. C.; PROBST, J. L.; LELEYTER-REINERT, L. Composição química dos sedimentos fluviais em suspensão na Bacia do Rio Piracicaba: extração seletiva de elementos traço. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.16, n.2, p.123-141, 2002.
- MOURA, C.A. de. Avaliação de Tendência a Enchentes das Bacias Hidrográficas do Município de Caraguatatuba (SP). **Revista de Geografia**, Recife, v. 30, n. 2, p.123-138, 2013.
- MOURATIADOU, I. et al. The impact of climate change mitigation on water demand for energy and food: An integrated analysis based on the Shared Socioeconomic Pathways. **Environmental Science e Policy**, v. 64, p. 48-58, 2016.
- MSIGWA, A. et al. Comparison of blue and green water fluxes for different land use classes in a semi-arid cultivated catchment using remote sensing. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 36, p. 100860, 2021.
- MUSHTAQ, M. M. H. et al. Growth, water intake, litter moisture, carcass and physiological traits of broiler chickens fed varying levels and sources of potassium under phase feeding system. **Livestock Science**, v. 159, n. 1, p. 61–66, 2014.
- MULTSCH, S. et al. Assessment of potential implications of agricultural irrigation policy on surface water scarcity in Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 1, p. 307–324, 2020.
- NADERI, M. M. et al. System dynamics simulation of regional water supply and demand using a food-energy-water nexus approach: Application to Qazvin Plain, Iran. **Journal of Environmental Management**, v. 280, n. June 2020, p. 111843, 2021.
- NANGARE, D. D. et al. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. **Agricultural Water Management**, v. 171, p. 73–79, 2016.
- NANNONI, E. et al. Water requirements of liquid-fed heavy pigs: Effect of water restriction on growth traits, animal welfare and meat and ham quality. **Livestock Science**, v. 151, n. 1, p. 21–28, 2013.
- NANZAD, L. et al. NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016. **Journal of Arid Environments**, v. 164, n. January, p. 69–77, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.01.019>>.
- NEILSEN, D. et al. Landscape based agricultural water demand modeling-A tool for water management decision making in British Columbia, Canada. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. AUG, p. 1–18, 2018.

NILOOFAR, P. et al. Data-driven decision support in livestock farming for improved animal health, welfare and greenhouse gas emissions: Overview and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 190, n. September, p. 106406, 2021.

NILSALAB, P.; GHEEWALA, S. H.; SILALERTRUKSA, T. Methodology development for including environmental water requirement in the water stress index considering the case of Thailand. **Journal of Cleaner Production**, p. 1002-1008, 2017.

NIYAZI, B. et al. Variability of the geomorphometric characteristics of Makkah Al-Mukaramah basins in Saudi Arabia and the impact on the hydrologic response. **Journal of African Earth Sciences**, v. 168, n. May, p. 103842, 2020.

NYMAN, S. et al. Water intake and fluid shifts in horses: Effects of hydration status during two exercise tests. **Equine Veterinary Journal**, v. 34, n. 2, p. 133–142, 2002.

ODA, Geraldo Hideo; IRITANI, Mara Akie; FERREIRA, Luciana Martin Rodrigues; SILVA, Alexandre Henrique da; ROCHA, Gerônimo Albuquerque. Proposta Metodológica para Exploração Racional do Sistema Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo. In: ABAS, XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, Ribeirão Preto, Anais, 13 p. 2005.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD Environmental outlook to 2050: the consequences of inaction. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 13, n. 3, 2012.

OECD-FAO - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agricultural Outlook 2019-2028. Special Focus: Latin America**. OECD Publishing, Rome, Italy, 2019.

OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas/Rio de Janeiro: Instituto Agrônomo/Embrapa Solos, 1999. 64 p.

OLIVEIRA, M. A. F.; MORALES, N.; FÚLFARO, V. J.; CAMPOS, E. G. Projeto Atibaia - Geologia da Quadrícula de Atibaia 1:50.000. Rel.Final. Pro-Minério-SICCT, Rio Claro, p. 117, 1985.

OMER, A. et al. Water scarcity in the Yellow River Basin under future climate change and human activities. **Science of the Total Environment**, v. 749, p. 141446, 2020.

ONU - Organização das Nações Unidas. **UN 75 - I grandi temi:Una demografia che cambia**. 2020. Disponível em: <https://unric.org/it/un-75-i-grandi-temi-una-demografia-che-cambia/>. Acesso em: 19 jan. 2022.

OYEBODE, O. et al. Water demand modelling using evolutionary computation techniques: integrating water equity and justice for realization of the sustainable development goals. **Heliyon**, v. 5, n. 11, p. e02796, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02796>>.

PAKHTIGIAN, E. L. et al. Balancing intersectoral demands in basin-scale planning: The case of Nepal's western river basins. **Water Resources and Economics**, v. 30, n. October 2019, p. 100152, 2020.

PALHARES, J. C. P. Consumo de água na produção animal. **Comunicado Técnico 102 - Consumo de água na produção animal**, p. 1–6, 2013.

- PANIGRAHI, N. et al. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. **Scientia Horticulturae**, v. 276, n. April 2020, p. 109735, 2021.
- PAWAR, D. D.; DINGRE, S. K.; BHOI, P. G. Productivity and Economics of Drip-Irrigated Banana (*Musa Spp.*) under Different Planting and Fertigation Techniques in Subtropical India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 4, p. 449–458, 2017.
- PEJON, O. J. Mapeamento Geotécnico de Piracicaba. 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos de Caracterização e de Apresentação dos Atributos. Tese de Doutorado. São Carlos, EESC/USP - 1992.
- PENG, W.; KUANG, T.; TAO, S. Quantifying influences of natural factors on vegetation NDVI changes based on geographical detector in Sichuan, western China. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 353–367, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.355>>.
- PIERRI DAUNT, A. B. et al. Urban expansion and forest reserves: Drivers of change and persistence on the coast of São Paulo State (Brazil). **Land Use Policy**, v. 101, n. November 2020, p. 105189, 2021.
- PILAU, F. G.; BATTISTI, R.; DALMAGO, G. A. Requerimento de irrigação suplementar e eficiência climática para a cultura da soja no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 26, n. 2, p. 317–325, 2020.
- PISCIOTTA, A. et al. Response of grapevine (Cabernet Sauvignon cv) to above ground and subsurface drip irrigation under arid conditions. **Agricultural Water Management**, v. 197, p. 122–131, 2018.
- PLANET TEAM. Planet Surface Reflectance Product v2. Planet Labs, Inc. [https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet\\_Surface\\_Reflectance\\_Technical\\_White\\_Paper.pdf](https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf). p. 1–18, 2020.
- PROFILL-RHAMA. **Primeira Revisão do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020**: Tomo I - Diagnóstico. Piracicaba, 2018. 439 p. Disponível em: <[https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=846:primeira-revisao-pb-relatorios-finais&catid=122&Itemid=345](https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=846:primeira-revisao-pb-relatorios-finais&catid=122&Itemid=345)>. Acesso em: 31 de outubro de 2021.
- PROJETO MAPBIOMAS - Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 19 de outubro de 2021 através do link: <https://mapbiomas.org/download>.
- PUSHPALATHA, R.; GANGADHARAN, B. Assessing the influence of climate model biases in predicting yield and irrigation requirement of cassava. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, n. 1, p. 307–315, 2020.
- RAHMATI, O. et al. SWPT: An automated GIS-based tool for prioritization of sub-watersheds based on morphometric and topo-hydrological factors. **Geoscience Frontiers**, v. 10, n. 6, p. 2167–2175, 2019.
- RAJASEKHAR, M.; RAJU, G. S.; RAJU, R. S. Morphometric analysis of the Jilledubanderu River Basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India, using geospatial technologies. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 11, n. May, p. 100434, 2020.
- RAN, Y. et al. Assessing water resource use in livestock production: A review of methods. **Livestock Science**, v. 187, p. 68–79, 2016.



- REICHERT, J. M. et al. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, p. 282–295, 2017.
- REIS, V. et al. Conservation planning for river-wetland mosaics: A flexible spatial approach to integrate floodplain and upstream catchment connectivity. **Biological Conservation**, v. 236, n. February, p. 356–365, 2019.
- REISSER JÚNIOR, C.; ANTUNES, L. E. C. Irrigação e Cultivo Protegido. In: ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; RASEIRA, Maria do Carmo Bassols. **Cultivo de amoreira-preta (Rubus spp.)**. Embrapa, 2013. 116p.
- REVELL, B. J. One Man's Meat. 2050? Ruminations on Future Meat Demand in the Context of Global Warming. **Journal of Agricultural Economics**, v. 66, n. 3, p. 573–614, 2015.
- RIBEIRO, W. R. et al. Water demand of central pivot-irrigated areas in Bahia, Brazil: management of water resources applied to sustainable production. **Environment, Development and Sustainability**, 2021.
- RIEK, A. et al. Animal The international journal of animal biosciences Daily energy expenditure and water turnover in two breeds of laying hens kept in floor housing. **Animal**, v. 15, n. 1, p. 100047, 2021.
- RISING, J. et al. The importance of infrastructure and national demand to represent constraints on water supply in the United States. **Global Environmental Change**, v. 73, p. 102468, 2022.
- ROBISON, C. I. et al. Chopping Hay Before Feeding Does Not Influence Fecal Particle Size, Blood Variables, or Water Intake in 3-Year-Old Arabians. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 54, p. 118–122, 2017.
- ROSSATO, L., 2001. Estimativa da Capacidade de Armazenamento de Água no Solo do Brasil (Dissertação). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- ROSSATO, L., ALVALA, R.C.S., TOMASELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Rev. Bras. Meteorol.** 19, 113–122. 2004.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration, 1973. 371p. MD.; NASA/GSFC Type III, Final Report. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>. Acesso em: 23 abril de 2020.
- SABZI, H. Z. et al. Comparison of projected water availability and demand reveals future hotspots of water stress in the Red River basin, USA. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 26, n. November, p. 100638, 2019.
- SADEGHI, S. H. et al. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. **Agricultural Water Management**, v. 233, n. February, 2020.
- SAHOO, R.; JAIN, V. Sensitivity of drainage morphometry based hydrological response (GIUH) of a river basin to the spatial resolution of DEM data. **Computers and Geosciences**, v. 111, n. January 2016, p. 78–86, 2018.

- SAIDAN, M. N. Estimation of industrial water demand and reclamation in Jordan: A cross-sectional analysis. **Water Resources and Industry**, v. 23, p. 100129, 2020.
- SAKAI, E. et al. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 16–23, 2015.
- SALLOOM, T. et al. Proportional integral derivative booster for neural networks-based time-series prediction: Case of water demand prediction. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 108, n. November 2021, p. 104570, 2022.
- SALMORAL, G. et al. Reconciling irrigation demands for agricultural expansion with environmental sustainability - A preliminary assessment for the Ica Valley, Peru. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, 2020.
- SANCHEZ, G. M. et al. Forecasting water demand across a rapidly urbanizing region. **The Science of the total environment**, v. 730, p. 139050, 2020.
- SANTOS, L. C. et al. Influence of deficit irrigation on accumulation and partitioning of sugarcane biomass under drip irrigation in commercial varieties. **Agricultural Water Management**, v. 221, n. May, p. 322–333, 2019.
- SÃO PAULO - Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Universidade Estadual Paulista. Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção/Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. São Paulo: DAEE/LEBAC, 2013.
- SCHIAVON, A. R. B. **Índice de sustentabilidade dos recursos hídricos por meio do pensamento sistêmico no município de Promissão, SP**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.
- SCHIERHORN, F. et al. The dynamics of beef trade between Brazil and Russia and their environmental implications. **Global Food Security**, v. 11, p. 84–92, 2016.
- SCHMITZ, A. P.; BITTENCOURT, M. V. L. Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 47, n. 2, p. 329-363, 2017.
- SCHWALLER, C. et al. Estimating the agricultural irrigation demand for planning of non-potable water reuse projects. **Agricultural Water Management**, v. 244, n. September 2020, 2021.
- SERUR, A. B. Modeling blue and green water resources availability at the basin and sub-basin level under changing climate in the Weyb River basin in Ethiopia. **Scientific African**, v. 7, p. e00299, 2020.
- SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. **População residente e Taxa média geométrica de crescimento anual da população residente**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1162>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- SILBER, A. et al. Irrigation of ‘Hass’ avocado: effects of constant vs. temporary water stress. **Irrigation Science**, v. 37, n. 4, p. 451–460, 2019.
- SILVA, C. L. da. et al. Technologies for rational water use in Brazilian agriculture. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 239-249, 2016.

- SILVEIRA, L. K. et al. Deficit irrigation effect on fruit yield, quality and water use efficiency: A long-term study on Pêra-IAC sweet orange. **Agricultural Water Management**, v. 231, n. January, 2020.
- SINHA, J.; JHA, S.; GOYAL, M. K. Influences of watershed characteristics on long-term annual and intra-annual water balances over India. **Journal of Hydrology**, v. 577, n. February, p. 123970, 2019.
- SINKALU, V. O. et al. Changes in feed consumption and water intake among broiler chickens subjected to melatonin treatment during the hot-dry season. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 2, p. 717–723, 2020.
- SHRIVATRA, J. R.; MANJARE, B. S.; PAUNIKAR, S. K. A GIS-based assessment in drainage morphometry of WRJ-1 watershed in hard rock terrain of Narkhed Taluka, Maharashtra, Central India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 22, n. July 2020, p. 100467, 2021.
- SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO). **Informações e indicadores municipais consolidados**. 2019. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 24 junho de 2021.
- SNEDDON, J. C.; COLYN, P. A practical system for measuring water intake in stabled horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v.11, n.2, p. 141, 1991.
- SOBENKO, L. R. et al. Irrigation requirements are lower than those usually prescribed for a maize crop in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 55, n. 4, p. 662–671, 2019.
- SOLIHU, H.; BILEWU, S. O. Availability, coverage, and access to the potable water supply in Oyo State Nigeria. **Environmental Challenges**, v. 5, n. October, p. 100335, 2021.
- SOUZA DA SILVA, C. et al. Day-old chicken quality and performance of broiler chickens from 3 different hatching systems. **Poultry Science**, v. 100, n. 3, p. 100953, 2021.
- SREELEKSHMI, J.; THOMAS, R. Development of a Distributed Water Stress Model for Karuvannur River Basin. **Procedia Technology**, v. 24, p. 317-324, 2016.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: Transacion. **American Geophysical Union**, 1957. v38. p. 913-920.
- SUÁREZ-VARELA, M. Modeling residential water demand: An approach based on household demand systems. **Journal of Environmental Management**, v. 261, n. March, 2020.
- SUN, S. et al. Unraveling the effect of inter-basin water transfer on reducing water scarcity and its inequality in China. **Water Research**, v. 194, p. 116931, 2021.
- SUN, S. K. et al. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. **Ecological Indicators**, v. 84, n. June 2017, p. 811–819, 2018.
- SWAGATIKA, S. et al. Water scarcity-risk assessment in data-scarce river basins under decadal climate change using a hydrological modelling approach. **Journal of Hydrology**, v. 590, n. July, p. 125260, 2020.

- TASSEW, B. G.; BELETE, M. A.; MIEGEL, K. Assessment and analysis of morphometric characteristics of Lake Tana sub-basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **International Journal of River Basin Management**, v. 0, n. 0, p. 1–15, 2021.
- TAYE, M. T. et al. Effect of irrigation water withdrawal on the hydrology of the Lake Tana sub-basin. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 38, n. August, p. 100961, 2021.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64, 327–338. 2000.
- TZANAKAKIS, V. A.; PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A. N. Water supply and water scarcity. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 9, p. 1–16, 2020.
- UNIYAL, B.; DIETRICH, J. Simulation of Irrigation Demand and Control in Catchments – A Review of Methods and Case Studies. **Water Resources Research**, v. 57, n. 7, p. 1–21, 2021.
- USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE). **Irrigation water requirements**. Tech. Rel. n. 21, 1970.
- VALADARES, A. P. **Mapeamento pedológico digital por mineração de dados: bases de treinamento para o nível de reconhecimento**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2017.
- VAN VLIET, M. T. H. et al. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 2, 2021.
- VEETIL, A. V.; MISHRA, A. K. Potential influence of climate and anthropogenic variables on water security using blue and green water scarcity, Falkenmark index, and freshwater provision indicator. **Journal of Environmental Management**, v. 228, n. May, p. 346–362, 2018.
- VEETIL, A. V.; MISHRA, A. K.; GREEN, T. R. Explaining Water Security Indicators using Hydrologic and Agricultural Systems Models. **Journal of Hydrology**, p. 127463, 2022.
- VELDKAMP, T. I. E. et al. Towards a global water scarcity risk assessment framework: incorporation of probability distributions and hydro-climatic variability. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2016.
- VILLARÍN, M. C. Methodology based on fine spatial scale and preliminary clustering to improve multivariate linear regression analysis of domestic water consumption. **Applied Geography**, v. 103, n. March 2018, p. 22–39, 2019.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, SP: McGraw-Hill. 245 p. 1975.
- VINYES, E. et al. Life Cycle Assessment of multiyear peach production. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 68–79, 2015.
- WANG, H. et al. A new dynamic firefly algorithm for demand estimation of water resources. **Information Sciences**, v. 438, p. 95–106, 2018.

- WANG, X. JUN et al. Adaptation to climate change impacts on water demand. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 21, n. 1, p. 81–99, 2016.
- WANG, X. JUN et al. Forecasting industrial water demand in Huaihe River Basin due to environmental changes. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 23, n. 4, p. 469–483, 2018.
- WAROUX, Y. L. P. de et al. The Restructuring of South American Soy and Beef Production and Trade Under Changing Environmental Regulations. **World Development**, v. 121, p. 188–202, 2019.
- WEI, J. et al. Influence of irrigation during the growth stage on yield and quality in mango (*Mangifera indica* L). **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, p. 1–15, 2017.
- WELDE, K. Identification and prioritization of subwatersheds for land and water management in Tekeze dam watershed, Northern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 1, p. 30–38, 2016.
- WILLET, J. et al. Review of methods to assess sustainability of industrial water use. **Water Resources and Industry**, v. 21, n. April, p. 100110, 2019.
- WILLIAMS, S. et al. Water intake, faecal output and intestinal motility in horses moved from pasture to a stabled management regime with controlled exercise. **Equine Veterinary Journal**, v. 47, n. 1, p. 96–100, 2015.
- WILSON, R. T. Perceptions, practices, principles and policies in provision of livestock water in Africa. **Agricultural Water Management**, v. 90, n. 1–2, p. 1–12, 2007.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. The Human Right to Water and Sanitation Media brief. **UN-Water Decade Programme on Advocacy and Communication and Water Supply and Sanitation Collaborative Council**, n. April 2011, p. 1–8, 2011.
- WU, Y. et al. Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 275, n. July 2020, p. 109710, 2021.
- WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO. 2015.
- WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME/UN-WATER). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO. 2018.
- XINCHUN, C. et al. Assessing water scarcity in agricultural production system based on the generalized water resources and water footprint framework. **Science of the Total Environment**, v. 609, p. 587-597, 2017.
- XING, Z. et al. A new agricultural drought index considering the irrigation water demand and water supply availability. **Natural Hazards**, v. 104, n. 3, p. 2409–2429, 2020.
- XU, H. J.; WANG, X. P.; YANG, T. B. Trend shifts in satellite-derived vegetation growth in Central Eurasia, 1982–2013. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1658–1674, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.182>>.

- YADAV, S. K. et al. Prioritisation of sub-watersheds based on earth observation data of agricultural dominated northern river basin of India. **Geocarto International**, v. 33, n. 4, p. 339–356, 2018.
- YAHYAOU, I.; TADEO, F.; SEGATTO, M. V. Energy and water management for drip-irrigation of tomatoes in a semi- arid district. **Agricultural Water Management**, v. 183, p. 4–15, 2017.
- YANG, B.; ZHENG, W.; KE, X. Forecasting of industrial water demand using case-based reasoning—A case study in Zhangye City, China. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 8, 2017.
- YANG, H.; SHI, C. Basin form characteristics, causes and implications of the ten kongduis in the upper reaches of the Yellow River. **Quaternary International**, v. 453, p. 15–23, 2017.
- YUAN, M. H.; LO, S. L. Developing indicators for the monitoring of the sustainability of food, energy, and water. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 119, n. October 2018, p. 109565, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109565>>.
- ZANETTI, D. et al. Prediction of water intake to Bos indicus beef cattle raised under tropical conditions. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 3, p. 1364–1374, 2019.
- ZENG, Z.; LIU, J.; SAVENIJE, H. H. G. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 441–449, 2013.
- ZHANG, T.; XIE, X.; HUANG, Z. Life cycle water footprints of nonfood biomass fuels in China. **Environmental Science and Technology**, v. 48, n. 7, p. 4137–4144, 2014.
- ZUBAIDI, S. L. et al. A novel methodology to predict monthly municipal water demand based on weather variables scenario. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, 2020.

## **APÊNDICES**

## **APÊNDICE A**

**A1 - Valores dos índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem da BHRP.**

**A2 - Dendrograma elaborado após a análise de agrupamentos das 180 sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem da BHRP.**



## Apêndice A1

**Tabela 38** - Valores dos índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação.

Sub-bacias	Área	Dd	Dh	Ic	Sub-bacias	Área	Dd	Dh	Ic
SBH_01	98,71	1,60	1,34	0,46	SBH_047	15,87	2,24	2,33	0,32
SBH_02	28,60	1,62	1,47	0,54	SBH_048	12,43	2,12	1,85	0,49
SBH_03	14,19	1,64	1,34	0,62	SBH_049	20,37	2,35	2,21	0,45
SBH_04	11,59	1,77	1,12	0,52	SBH_050	29,78	2,49	2,28	0,39
SBH_05	25,26	1,70	1,19	0,61	SBH_051	23,92	2,45	2,26	0,39
SBH_06	46,55	1,34	1,10	0,56	SBH_052	28,18	2,00	1,92	0,52
SBH_07	93,84	1,38	0,98	0,47	SBH_053	12,65	2,16	2,53	0,66
SBH_08	98,42	1,38	1,06	0,39	SBH_054	18,95	2,12	1,85	0,62
SBH_09	57,87	1,26	0,88	0,42	SBH_055	11,83	2,24	2,37	0,42
SBH_010	77,59	1,09	0,50	0,38	SBH_056	26,23	2,47	2,33	0,40
SBH_011	32,14	1,05	0,65	0,44	SBH_057	10,69	3,86	5,61	0,59
SBH_012	278,56	0,98	0,33	0,43	SBH_058	43,24	1,87	1,55	0,45
SBH_013	37,55	1,33	0,67	0,43	SBH_059	7,01	2,40	2,14	0,51
SBH_014	281,48	0,84	0,26	0,28	SBH_060	10,87	2,46	2,58	0,53
SBH_015	47,68	0,85	0,31	0,49	SBH_061	12,38	2,63	2,66	0,37
SBH_016	39,94	1,03	0,28	0,47	SBH_062	19,83	2,42	2,37	0,47
SBH_017	116,27	0,79	0,22	0,43	SBH_063	33,48	2,54	2,42	0,43
SBH_018	115,56	0,91	0,44	0,55	SBH_064	16,83	2,56	2,73	0,47
SBH_019	142,91	1,40	1,09	0,37	SBH_065	6,75	3,23	4,30	0,59
SBH_020	37,71	1,27	0,82	0,60	SBH_066	10,09	2,69	2,97	0,39
SBH_021	211,43	0,82	0,34	0,32	SBH_067	23,05	2,83	3,25	0,39
SBH_022	33,41	2,26	2,19	0,44	SBH_068	16,02	3,40	4,49	0,39
SBH_023	10,76	2,36	2,23	0,69	SBH_069	32,42	3,25	4,07	0,54
SBH_024	54,75	0,91	0,31	0,60	SBH_070	6,23	2,59	2,41	0,42
SBH_025	23,37	1,24	0,64	0,64	SBH_071	7,05	2,93	2,55	0,46
SBH_026	282,03	0,94	0,48	0,33	SBH_072	10,96	2,86	3,29	0,57
SBH_027	48,55	0,92	0,33	0,42	SBH_073	13,37	2,70	2,69	0,40
SBH_028	201,08	0,94	0,36	0,32	SBH_074	25,65	2,57	2,49	0,52
SBH_029	82,91	1,04	0,35	0,47	SBH_075	15,72	2,98	3,24	0,42
SBH_030	90,36	1,01	0,43	0,48	SBH_076	26,61	2,20	1,80	0,46
SBH_031	274,28	0,88	0,38	0,42	SBH_077	9,29	2,66	2,80	0,46
SBH_032	304,07	0,89	0,38	0,41	SBH_078	54,35	2,44	2,21	0,37
SBH_033	8,53	1,46	1,29	0,73	SBH_079	6,93	3,02	3,75	0,56
SBH_034	85,64	1,06	0,57	0,49	SBH_080	232,70	1,15	0,67	0,39
SBH_035	143,48	0,87	0,40	0,36	SBH_081	57,30	1,00	0,54	0,51
SBH_036	152,88	1,09	0,64	0,38	SBH_082	32,29	1,51	1,30	0,49
SBH_037	18,98	2,17	2,16	0,52	SBH_083	42,02	1,11	0,88	0,40
SBH_038	6,39	2,33	2,50	0,66	SBH_084	18,31	3,85	5,57	0,37
SBH_039	3,19	4,37	7,21	0,77	SBH_085	12,19	3,07	3,94	0,34
SBH_040	5,24	3,79	4,96	0,54	SBH_086	5,35	3,11	3,93	0,47
SBH_041	22,42	2,34	2,36	0,42	SBH_087	41,96	2,62	2,72	0,39
SBH_042	15,16	2,01	1,71	0,44	SBH_088	15,31	2,80	3,27	0,42
SBH_043	5,62	3,13	3,56	0,55	SBH_089	14,12	2,29	1,91	0,56
SBH_044	8,02	3,67	4,74	0,38	SBH_090	50,22	2,50	2,83	0,40
SBH_045	8,41	2,15	2,02	0,56	SBH_091	21,09	2,44	2,09	0,49
SBH_046	41,60	2,93	3,17	0,32	SBH_092	22,88	2,44	2,32	0,27

Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).

**Tabela 38** - Valores dos índices morfométricos calculados para as sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação (Continuação).

Sub-bacias	Área	Dd	Dh	Ic	Sub-bacias	Área	Dd	Dh	Ic
SBH_093	25,47	2,52	2,32	0,40	SBH_138	13,18	2,88	3,11	0,49
SBH_094	28,25	2,22	1,70	0,49	SBH_139	90,65	2,62	2,32	0,34
SBH_095	13,61	2,00	1,62	0,56	SBH_140	36,37	1,74	1,24	0,46
SBH_096	12,08	3,06	3,39	0,38	SBH_141	55,00	1,79	1,20	0,29
SBH_097	5,25	2,72	3,05	0,58	SBH_142	6,53	3,44	4,13	0,51
SBH_098	2,89	3,39	3,80	0,51	SBH_143	70,90	2,88	2,93	0,32
SBH_099	15,62	3,07	3,26	0,48	SBH_144	12,18	2,99	3,37	0,43
SBH_100	19,25	3,35	3,27	0,43	SBH_145	8,91	2,14	1,68	0,51
SBH_101	28,43	2,87	2,67	0,47	SBH_146	27,40	1,53	1,17	0,38
SBH_102	4,88	2,67	2,87	0,63	SBH_147	9,59	1,93	1,67	0,53
SBH_103	32,54	2,89	3,29	0,38	SBH_148	35,37	1,77	1,61	0,36
SBH_104	17,70	2,86	2,77	0,47	SBH_149	41,69	1,82	1,42	0,59
SBH_105	21,98	2,66	2,46	0,43	SBH_150	45,26	2,38	2,14	0,41
SBH_106	32,94	1,97	1,61	0,51	SBH_151	156,13	2,19	1,93	0,29
SBH_107	6,24	3,17	4,01	0,74	SBH_152	5,18	3,40	5,79	0,46
SBH_108	9,40	2,75	3,40	0,48	SBH_153	16,46	2,91	2,49	0,62
SBH_109	15,33	3,79	4,63	0,53	SBH_154	48,31	2,13	1,93	0,50
SBH_110	6,21	3,23	3,38	0,71	SBH_155	18,48	2,15	1,89	0,42
SBH_111	13,93	3,05	3,37	0,54	SBH_156	81,73	1,94	1,63	0,36
SBH_112	12,03	2,37	2,08	0,35	SBH_157	45,16	1,75	1,37	0,38
SBH_113	8,98	2,30	2,34	0,61	SBH_158	13,83	2,05	1,74	0,61
SBH_114	11,75	2,66	2,72	0,64	SBH_159	28,98	1,85	1,38	0,46
SBH_115	17,38	2,54	2,53	0,47	SBH_160	17,58	1,96	1,48	0,47
SBH_116	9,69	3,42	4,44	0,43	SBH_161	15,06	2,32	2,12	0,43
SBH_117	27,47	2,39	2,37	0,35	SBH_162	20,09	2,71	2,74	0,36
SBH_118	6,97	3,35	4,16	0,57	SBH_163	17,77	1,87	1,13	0,58
SBH_119	17,59	2,44	2,33	0,59	SBH_164	21,48	1,97	1,68	0,36
SBH_120	4,57	2,56	2,84	0,71	SBH_165	16,89	2,17	1,78	0,41
SBH_121	11,95	2,46	2,01	0,49	SBH_166	48,96	1,66	1,14	0,45
SBH_122	25,21	2,35	1,86	0,43	SBH_167	17,86	1,91	1,57	0,27
SBH_123	35,57	2,07	1,57	0,46	SBH_168	26,27	2,00	1,68	0,38
SBH_124	55,68	2,08	1,58	0,59	SBH_169	63,29	1,84	1,07	0,51
SBH_125	11,58	1,77	1,21	0,48	SBH_170	14,57	2,30	2,20	0,55
SBH_126	14,91	1,74	1,34	0,53	SBH_171	21,68	1,65	1,06	0,53
SBH_127	16,39	2,03	1,83	0,62	SBH_172	9,68	3,41	4,86	0,64
SBH_128	19,66	2,86	2,90	0,42	SBH_173	11,86	3,41	4,64	0,30
SBH_129	14,51	2,63	2,34	0,49	SBH_174	40,10	2,54	2,64	0,33
SBH_130	14,56	3,29	3,98	0,48	SBH_175	29,98	2,30	2,17	0,35
SBH_131	26,06	3,07	3,34	0,45	SBH_176	4,08	2,98	3,43	0,53
SBH_132	10,53	3,08	3,33	0,51	SBH_177	7,67	2,47	2,48	0,56
SBH_133	19,78	2,88	2,98	0,44	SBH_178	25,51	1,57	1,29	0,53
SBH_134	34,61	2,71	2,17	0,42	SBH_179	17,52	2,59	2,34	0,45
SBH_135	22,62	2,76	2,56	0,50	SBH_180	88,38	1,30	0,64	0,38
SBH_136	38,39	2,69	2,60	0,41					
SBH_137	7,12	2,70	2,53	0,49					

Fonte: Adaptado de Lorandi et al. (2019).

Apêndice A2 - Dendrograma após a análise de agrupamentos das 180 sub-bacias hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.

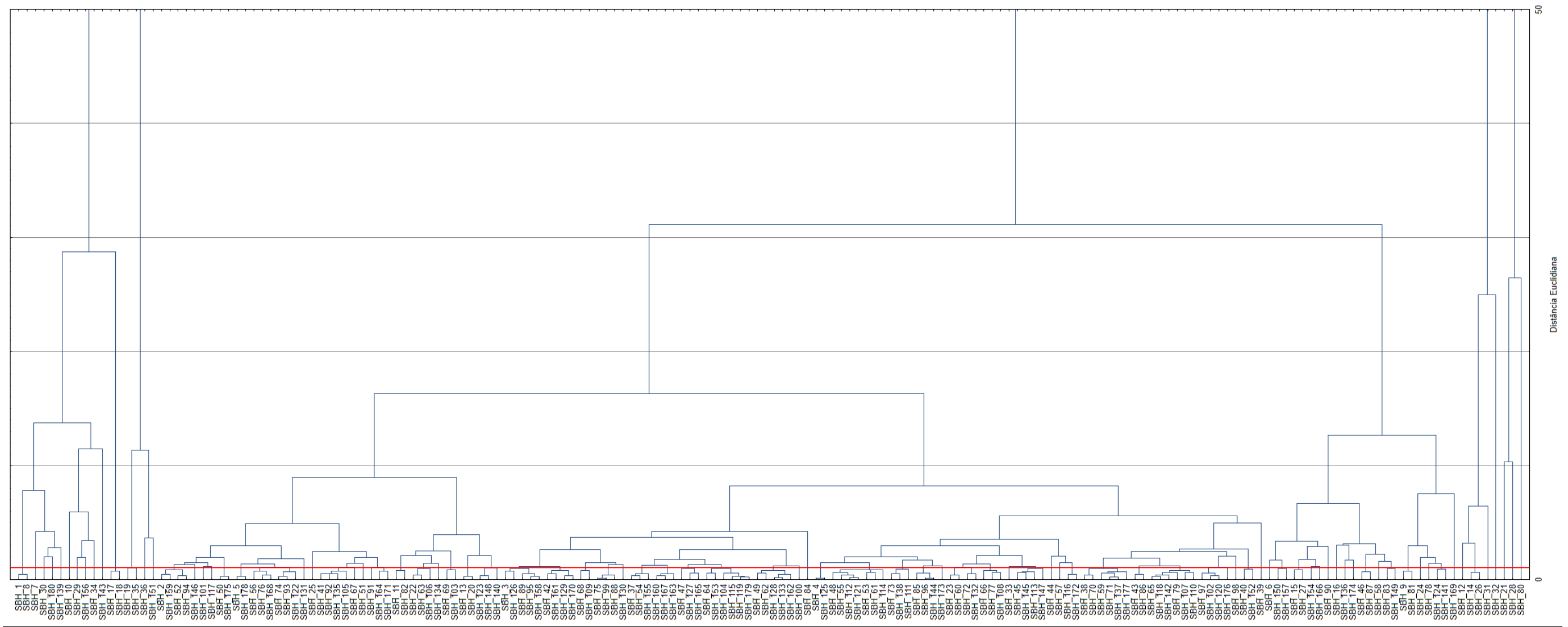


Figura 122 - Dendrograma representando os grupos das sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação da BHRP. Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2020).

## **APÊNDICE B**

**B1 - Limites do NDVI referente as culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.**

**B2 - Quantificação das classes dos mapas de uso e cobertura do solo.**

**B3 - DHP<sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas estudadas.**

**B4 - NDVIs nas áreas ocupadas por culturas temporárias nas sub-bacias hidrográficas estudadas.**

### Apêndice B1

**Tabela 39** - Limites (máximo e mínimo) do NDVI referente as culturas temporárias existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Mês/Ano	Limites do NDVI	Cana-de-Açúcar					Mandioca		Milho	Soja	Tomate	Vagem
		SB(A)	SB(B)	SB(C)	SB(D)	SB(E)	SB(B)	SB(D)	SB(D)	SB(D)	SB(F)	SB(F)
Mai/19	Máximo	0,94	0,96	1,00	1,00	0,99	0,94	0,89	0,87	0,75	0,92	0,95
	Mínimo	0,10	-0,26	-0,08	-0,13	0,34	0,16	0,34	0,18	0,29	0,21	0,29
Jun/19	Máximo	0,81	0,78	0,77	0,78	0,71	0,82	0,76	0,71	0,59	0,63	0,65
	Mínimo	-0,45	-0,33	-0,26	-0,26	0,10	-0,13	-0,07	-0,23	-0,04	0,09	0,09
Jul/19	Máximo	0,99	0,80	0,86	0,85	0,83	0,82	0,68	0,87	0,79	0,75	0,82
	Mínimo	-0,39	-0,03	-0,18	-0,01	0,31	0,13	0,22	0,22	0,24	0,28	0,25
Ago/19	Máximo	0,99	0,80	0,86	0,81	0,79	0,86	0,58	0,85	0,75	0,62	0,77
	Mínimo	-0,55	0,12	-0,19	-0,005	0,34	-0,14	0,18	0,18	0,20	0,19	0,31
Set/19	Máximo	0,75	0,69	1,00	0,87	0,82	0,72	0,64	0,86	0,50	0,84	0,90
	Mínimo	0,04	0,12	-0,45	0,06	0,24	0,15	0,19	0,14	0,25	0,17	0,31
Out/19	Máximo	0,75	0,73	0,90	0,87	0,84	0,75	0,80	-	0,36	0,78	0,84
	Mínimo	0,04	-0,02	-0,01	-0,58	0,24	0,03	0,18	-	0,22	0,15	0,24
Nov/19	Máximo	0,90	0,84	0,87	0,86	0,79	0,89	0,83	-	-	0,73	0,73
	Mínimo	0,07	0,05	-0,40	0,03	0,27	0,09	0,16	-	-	0,28	0,29
Dez/19	Máximo	1,00	0,89	0,96	0,94	0,84	0,92	0,91	0,87	0,91	0,88	0,87
	Mínimo	0,07	-0,02	-0,15	-0,08	0,48	0,08	0,25	0,10	0,28	0,23	0,32
Jan/20	Máximo	1,00	0,95	0,85	0,82	0,83	0,92	0,58	0,72	0,64	0,87	0,91
	Mínimo	-0,25	0,01	0,12	-0,03	0,50	0,11	0,28	0,24	0,27	0,16	0,20
Fev/20	Máximo	0,97	0,84	0,90	0,90	0,80	0,83	0,81	0,80	0,81	0,80	0,84
	Mínimo	0,10	0,13	0,10	-0,01	0,39	0,07	0,34	0,30	0,31	0,24	0,33
Mar/20	Máximo	0,92	0,90	0,95	0,93	0,90	0,90	0,91	0,56	0,70	0,86	0,90
	Mínimo	0,09	0,01	-0,40	-0,11	0,25	0,18	0,24	0,17	0,24	0,29	0,20
Abr/20	Máximo	0,83	0,85	0,82	0,79	0,87	0,87	0,75	0,72	0,56	0,74	0,79
	Mínimo	0,04	0,14	0,07	0,09	0,36	0,25	0,31	0,28	0,33	0,30	0,27

## Apêndice B2

**Tabela 40** - Quantificação (ha) das classes dos mapas de uso e cobertura do solo das sub-bacias hidrográficas estudadas (Junho/2019).

Classes	SB(A)	SB(B)	SB(C)	SB(D)	SB(E)	SB(F)	SB(G)	SB(H)
Abacate	-	3,0	-	-	-	-	-	-
Amora	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Aterro Sanitário	-	1,9 (desativado)	-	-	-	-	-	-
Área Urbana	-	-	347,9	1.618,2	-	-	-	-
Banana	-	-	-	12,6	-	-	-	-
Café	4,4	349,0	-	13,9	0,7	-	-	-
Campo	231,3	1.160,7	634,1	1.811,1	335,4	476,5	235,3	151,9
Cana-de-Açúcar	2.866,0	1.275,9	5.799,8	2.415,7	2,1	-	-	-
Capim para ração	-	-	-	-	0,5	-	-	-
Caqui	-	-	-	-	-	14,2	-	-
Chacreamento	-	-	4,0	179,9	16,4	-	104,1	125,6
Cítricos	726,3	340,3	-	554,9	-	-	-	-
Condomínio	-	-	-	52,9	-	191,0	-	-
Faixa de Servidão	-	-	70,6	32,8	-	-	-	-
Flores	-	-	-	-	-	-	76,6	2,3
Haras	-	-	-	-	-	4,4	-	-
Hortaliças	-	-	-	-	1,5	-	-	-
Indústria	-	-	-	200,6	-	29,0	-	0,7
Infraestrutura Rural	12,9	41,2	105,1	67,2	16,8	66,1	5,8	-
Infraestrutura Urbana	-	-	-	2,7	-	4,3	-	-
Lagoa	3,6	12,3	10,5	29,5	18,4	27,4	8,7	5,6
Lichia	-	-	-	55,6	-	-	-	-
Mandioca	-	705,4	-	11,8	-	-	-	-
Manga	-	-	-	2,3	-	-	-	-
Mata	2.974,0	2.547,1	1.690,6	1.795,5	713,1	694,1	411,3	494,7
Milho	-	-	-	13,0	-	-	-	-
Mineração	-	-	4,9	23,0	-	-	-	-
Morango	-	-	-	-	-	-	2,1	-
Noz Macadâmia	-	-	-	82,8	35,5	-	-	-
Pastagem	1.472,2	1.727,9	19,8	596,6	115,0	224,1	75,9	34,6
Pêssego	-	-	-	-	-	-	42,0	-
Represa	3,5	17,9	238,9	5,9	-	-	-	-
Rio	-	65,1	-	-	-	-	-	-
Rodovia	-	12,0	78,3	212,2	18,5	12,5	-	1,4
Silvicultura	277,6	1.218,2	-	143,2	762,1	200,3	95,9	235,7
Soja	-	-	-	6,3	-	-	-	-
Solo Exposto	1.299,4	364,3	2.618,6	1.300,4	0,7	15,3	19,2	-
Tomate	-	-	-	-	-	2,4	-	-
Uva	-	-	-	-	-	15,1	-	-
Vagem	-	-	-	-	-	6,0	-	-
Viveiro	-	-	3,9	315,6	-	-	18,7	-

## Apêndice B3

**Tabela 41 - DHP<sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas estudadas.**

Culturas	SB(A)											
	05/05/2019	06/06/2019	24/07/2019	30/08/2019	10/09/2019	05/10/2019	02/11/2019	26/12/2019	27/01/2020	17/02/2020	07/03/2020	22/04/2020
Cana-de-Açúcar	49.158,3	46.009,3	42.412,2	56.675,0	62.601,0	33.176,6	43.513,7	11.112,9	938,4	13.856,8	50.485,1	75.066,0
Café	33,4	34,6	2,5	91,7	80,1	42,5	31,2	0,0	0,0	0,0	9,0	51,5
Citros	4.455,4	4.769,2	368,7	13.742,8	11.671,9	5.459,5	3.576,9	0,0	0,0	0,0	125,5	7.216,5
<b>Total</b>	53.647,1	50.813,1	42.783,4	70.509,5	74.353,0	38.678,6	47.121,8	11.112,9	938,4	13.856,8	50.619,6	82.334,0
Cultura	SB(B)											
	05/05/2019	06/06/2019	28/07/2019	30/08/2019	07/09/2019	05/10/2019	02/11/2019	26/12/2019	26/01/2020	17/02/2020	10/03/2020	21/04/2020
Cana-de-Açúcar	24.676,3	19.966,9	9.408,8	12.943,5	10.103,0	7.740,6	15.484,7	5.884,4	0,0	8.073,7	19.735,9	39.506,2
Mandioca	5.212,3	5.080,2	4.305,9	4.907,9	3.335,5	2.070,4	3.227,8	0,0	0,0	0,0	1.233,5	7.086,6
Abacate	22,6	24,1	1,7	62,1	54,9	30,8	21,6	0,0	0,0	0,0	6,2	35,2
Café	2.412,3	2.623,4	188,5	6.995,6	6.091,0	3.166,1	2.050,4	0,0	0,0	0,0	301,5	3.799,4
Citros	1.852,2	2.087,4	161,7	6.115,2	5.145,0	2.352,0	1.264,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3.057,6
<b>Total</b>	34.175,7	29.782,0	14.066,6	31.024,3	24.729,4	15.359,9	22.048,7	5.884,4	0,0	8.073,7	21.277,1	53.485,0
Culturas	SB(C)											
	06/05/2019	09/06/2019	28/07/2019	25/08/2019	07/09/2019	05/10/2019	03/11/2019	07/12/2019	16/01/2020	17/02/2020	24/03/2020	22/04/2020
Cana-de-Açúcar	100.574,5	92.742,4	117.782,9	134.217,4	147.360,3	58.174,4	47.046,8	21.103,4	0,0	42.628,6	67.036,4	168.608,8
Viveiro de plantas*	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7	378,7
<b>Total</b>	100.953,2	93.121,1	118.161,6	134.596,1	147.739,0	58.553,1	47.425,5	21.482,1	378,7	43.007,3	67.415,1	168.987,5
Culturas	SB(D)											
	06/05/2019	09/06/2019	28/07/2019	25/08/2019	07/09/2019	05/10/2019	03/11/2019	07/12/2019	16/01/2020	17/02/2020	24/03/2020	22/04/2020
Cana-de-Açúcar	45.690,7	39.389,8	35.622,5	40.755,7	50.051,5	27.951,3	22.385,3	9.622,9	775,6	20.786,9	31.863,7	79.409,1
Mandioca	72,4	99,9	105,9	91,8	89,6	48,6	26,4	0,0	0,0	0,0	13,4	168,8
Milho	164,5	170,9	51,0	74,2	254,7	0,0	0,0	15,7	0,0	47,1	0,6	149,3
Soja	38,6	50,4	42,7	45,6	6,1	0,0	0,0	0,2	0,0	15,5	23,6	47,1
Banana	167,0	176,8	10,4	349,2	332,8	211,7	182,2	0,0	0,0	10,9	94,9	243,3
Café	109,3	126,1	8,2	279,8	249,8	121,3	90,1	0,0	0,0	0,0	9,6	171,7
Citros	3.499,9	4.267,0	289,7	10.020,2	8.677,7	3.643,7	2.349,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5.753,2
Manga	19,5	22,1	1,4	48,3	43,5	22,7	17,3	0,0	0,0	0,0	3,8	30,2
Viveiro de plantas*	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6	30.297,6
<b>Total</b>	80.059,5	74.600,6	66.429,4	81.962,4	90.003,3	62.296,9	55.348,1	39.936,4	31.073,2	51.158,0	62.307,2	116.270,3
Culturas	SB(E)											
	22/05/2019	22/06/2019	20/07/2019	30/08/2019	10/09/2019	04/10/2019	01/11/2019	31/12/2019	27/01/2020	17/02/2020	11/03/2020	27/04/2020
Cana-de-Açúcar	28,3	16,2	34,3	43,6	51,9	31,8	21,1	2,5	0,0	4,7	2,9	29,6
Hortaliças	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2	355,2
Café	3,8	1,2	4,4	7,2	7,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
<b>Total</b>	387,3	372,6	393,9	406,0	414,1	388,4	376,3	357,7	355,2	359,9	358,1	388,0

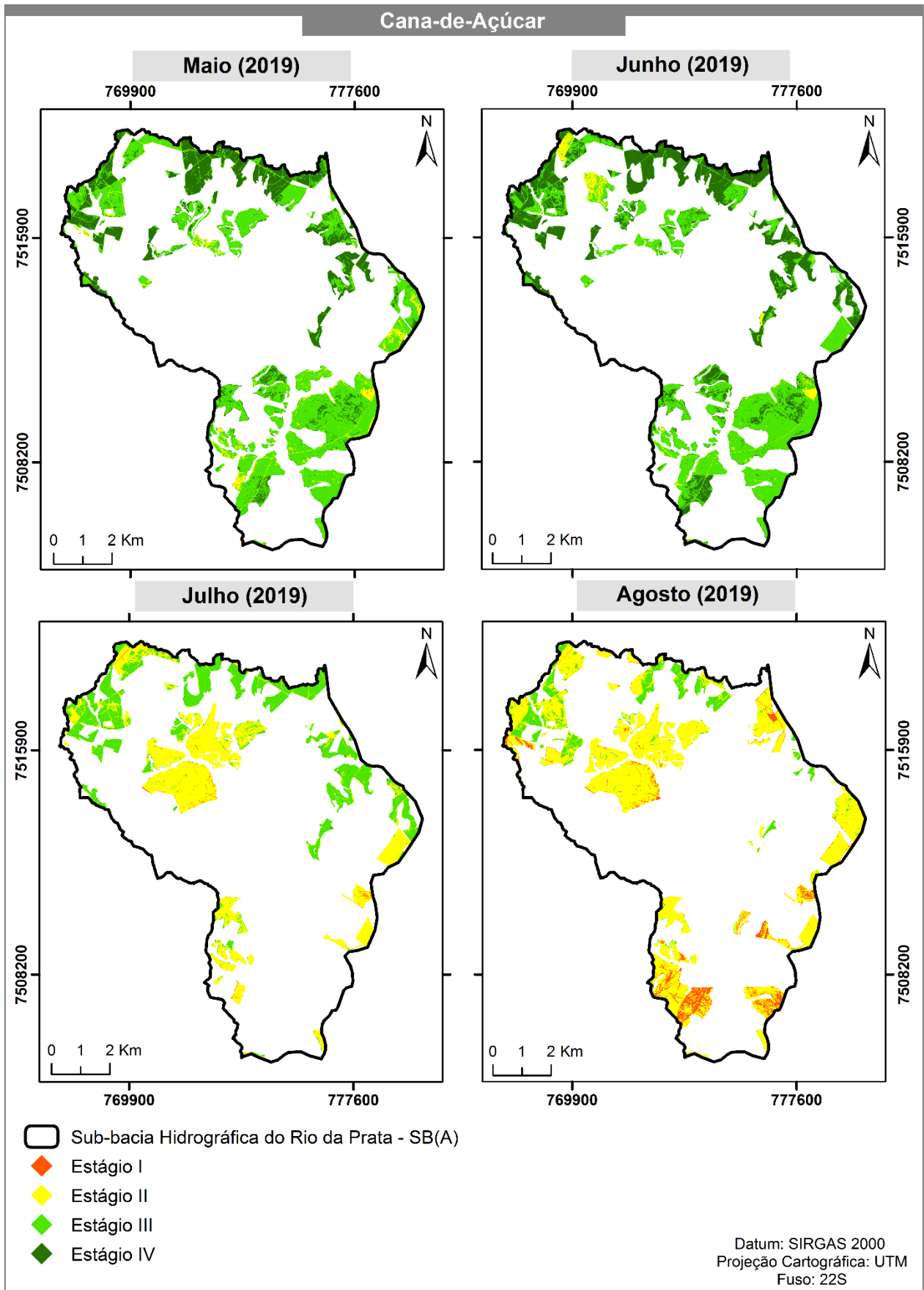
\* Viveiro de plantas (m<sup>3</sup>/duas horas por dia/área total viveiro de plantas).

**Tabela 41** - DHP<sub>a</sub> das sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).

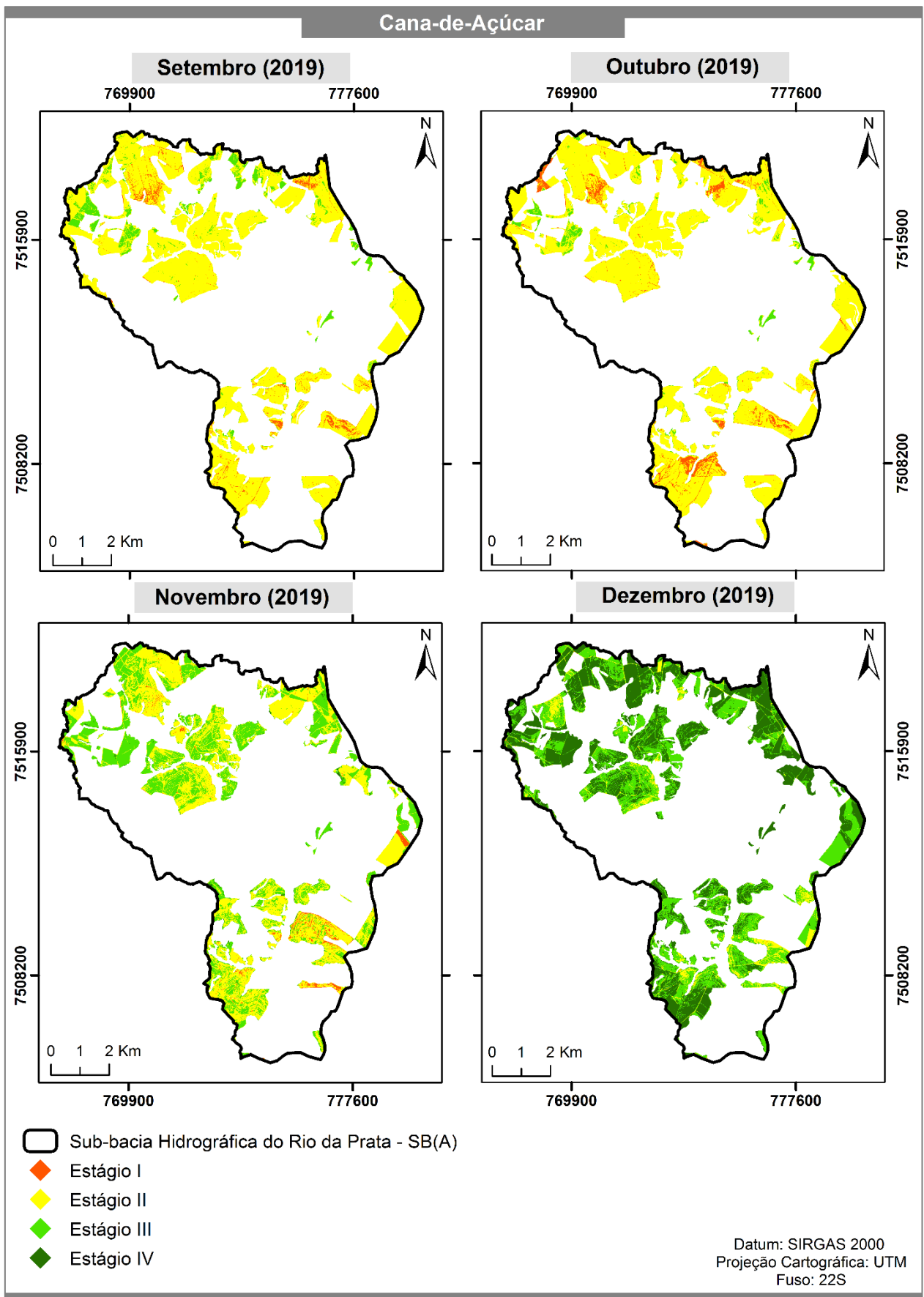
<b>Culturas</b>	<b>SB(F)</b>											
	<b>22/05/2019</b>	<b>22/06/2019</b>	<b>20/07/2019</b>	<b>31/08/2019</b>	<b>10/09/2019</b>	<b>04/10/2019</b>	<b>03/11/2019</b>	<b>7/12/2019</b>	<b>28/01/2020</b>	<b>17/02/2020</b>	<b>11/03/2020</b>	<b>24/04/2020</b>
Tomate	24,0	8,4	18,5	26,8	27,1	14,2	11,0	0,0	0,0	0,0	8,7	55,8
Vagem	30,9	10,4	47,3	48,0	49,0	21,1	15,5	0,0	0,0	0,0	5,8	51,1
Amora	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7
Caqui	124,2	83,6	150,0	233,7	214,0	108,2	76,3	0,0	0,0	0,0	0,0	148,8
Uva	73,0	37,8	103,0	173,4	140,8	26,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,4
<b>Total</b>	252,1	140,2	318,8	481,9	430,9	169,6	102,8	3,4e-7	3,4e-7	3,4e-7	14,5	339,1
<b>Culturas</b>	<b>SB(G)</b>											
	<b>Mai/2019</b>	<b>Jun/2019</b>	<b>Jul/2019</b>	<b>Ago/2019</b>	<b>Set/2019</b>	<b>Out/2019</b>	<b>Nov/2019</b>	<b>Dez/2019</b>	<b>Jan/2020</b>	<b>Fev/2020</b>	<b>Mar/2020</b>	<b>Abr/2020</b>
Flores e/ou Morango	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6
Pêssego	286,7	235,9	413,7	689,5	515,3	225,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	395,5
<b>Total</b>	3.101,3	3.050,5	3.228,3	3.504,1	3.329,9	3.039,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	2.814,6	3.210,1
<b>Culturas</b>	<b>SB(H)</b>											
	<b>Mai/2019</b>	<b>Jun/2019</b>	<b>Jul/2019</b>	<b>Ago/2019</b>	<b>Set/2019</b>	<b>Out/2019</b>	<b>Nov/2019</b>	<b>Dez/2019</b>	<b>Jan/2020</b>	<b>Fev/2020</b>	<b>Mar/2020</b>	<b>Abr/2020</b>
Flores	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0
<b>Total</b>	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0



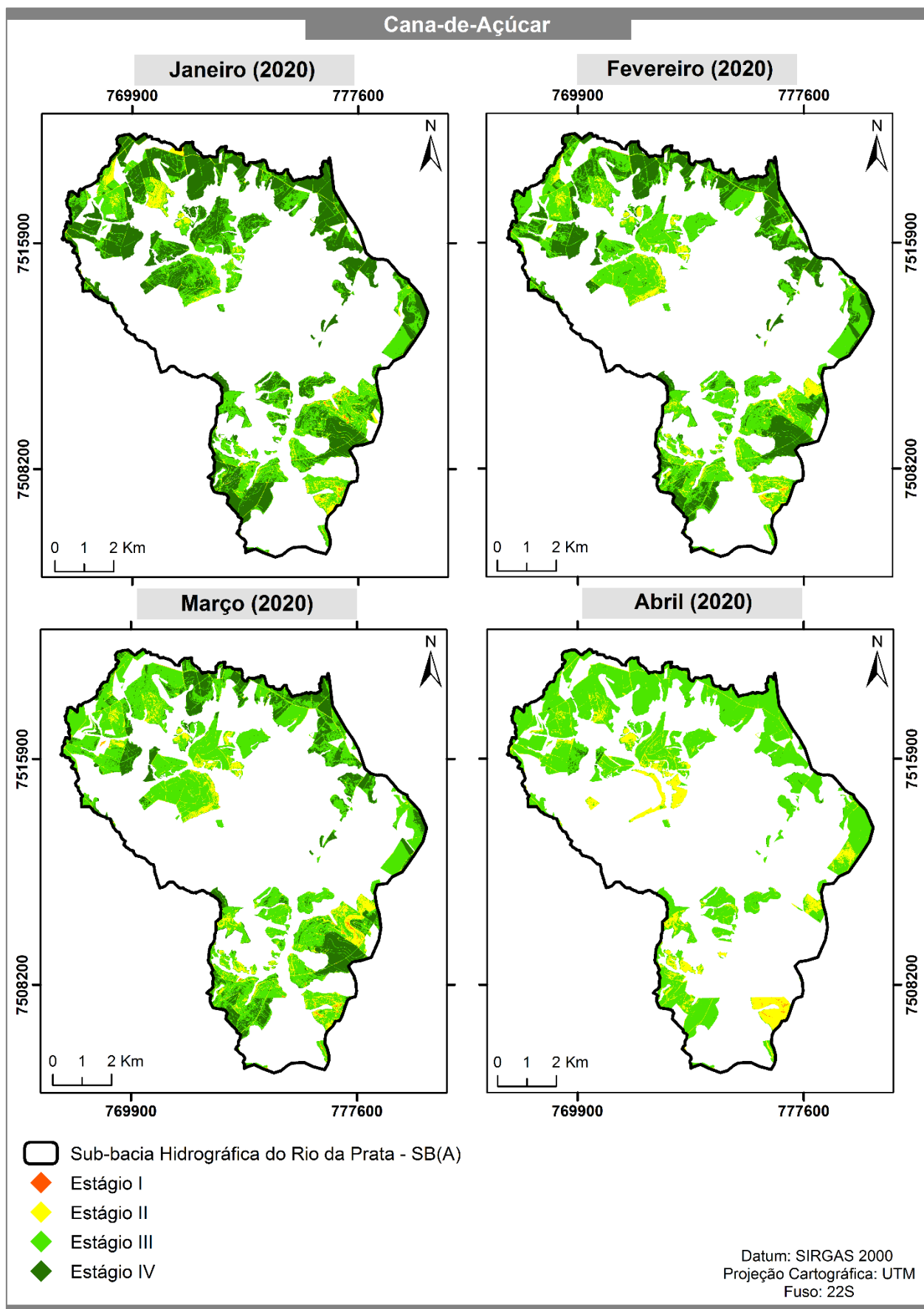
## Apêndice B4



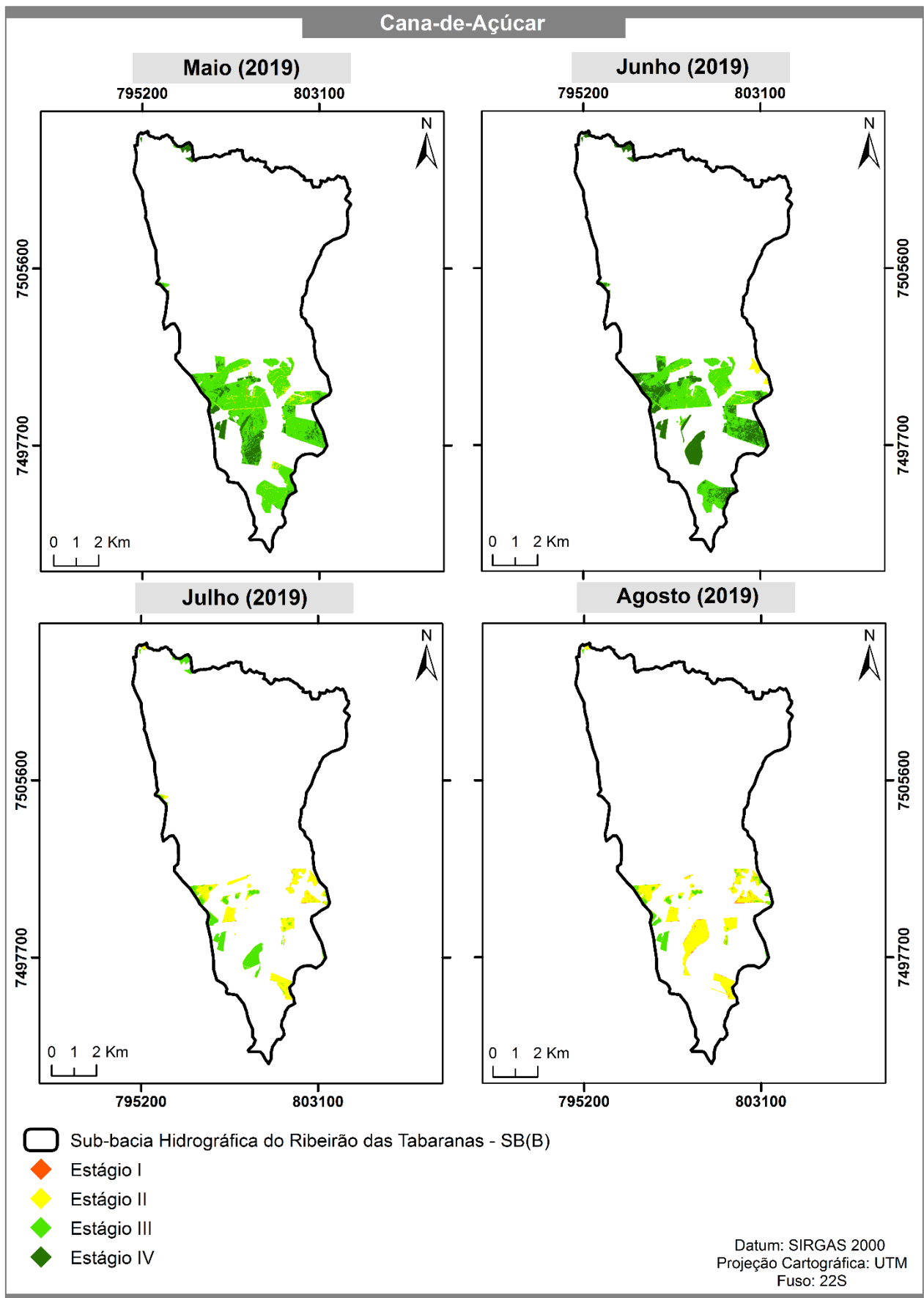
**Figura 123** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(A), nos meses de maio a agosto de 2019.



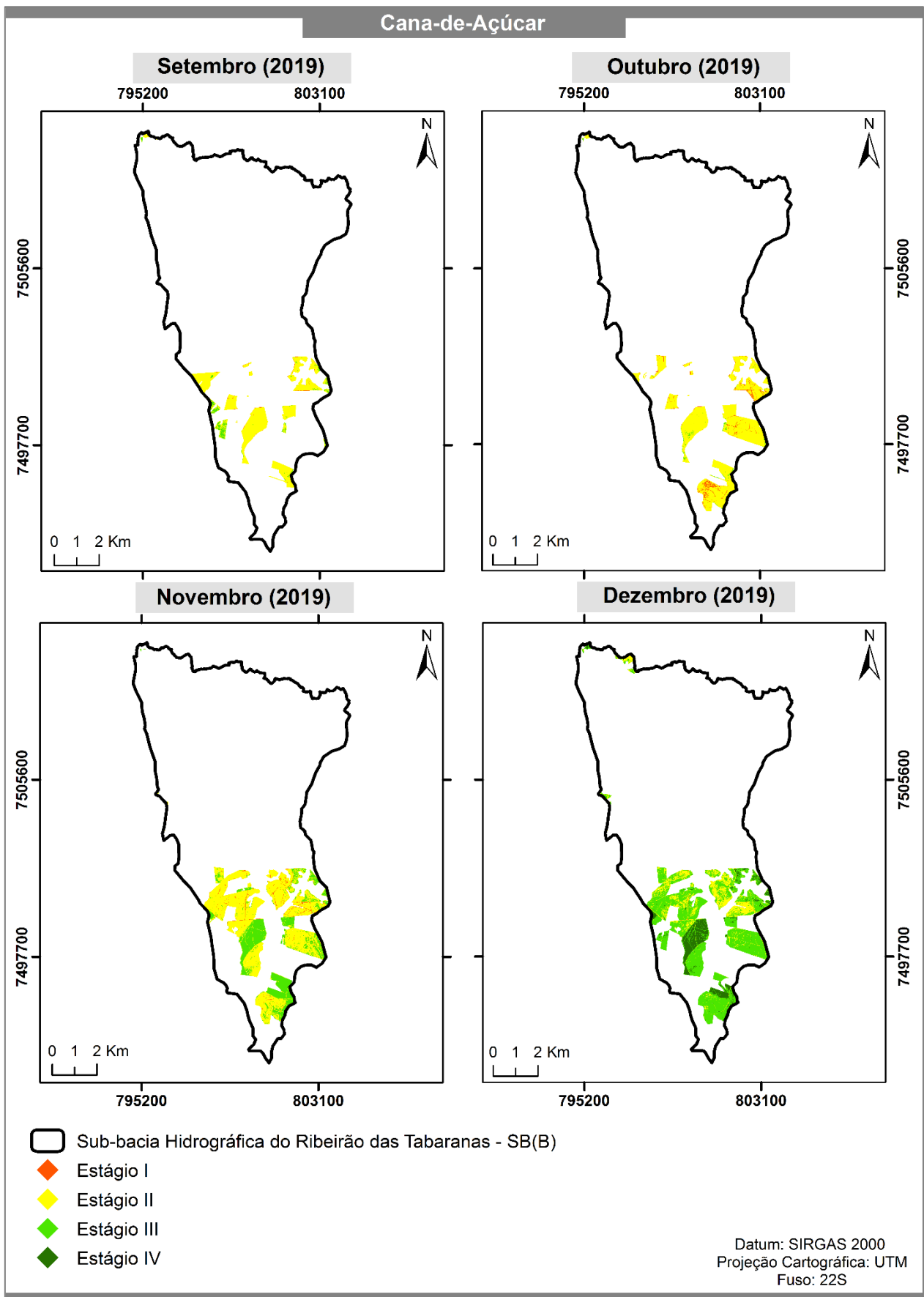
**Figura 124** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(A), nos meses de setembro a dezembro de 2019.



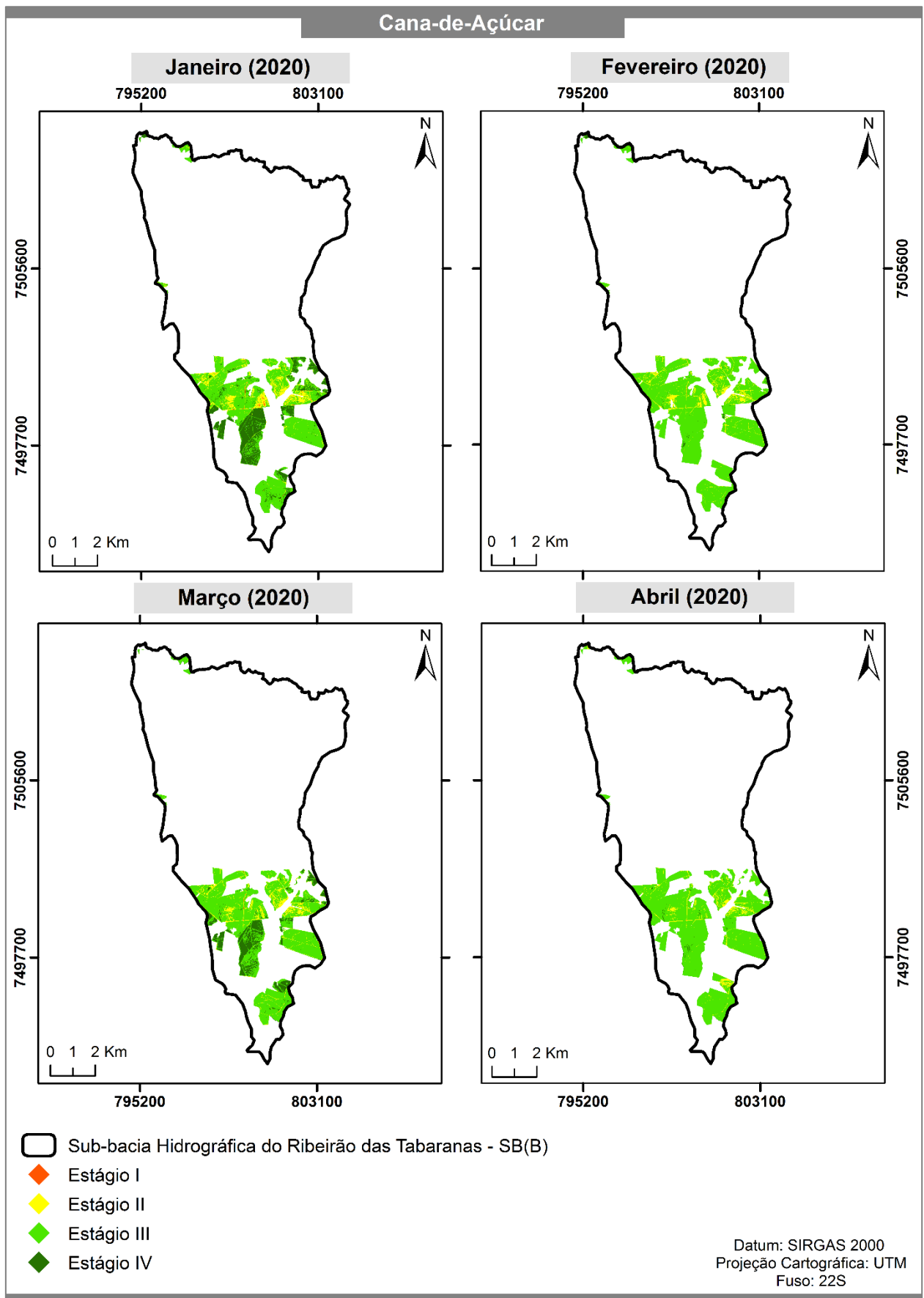
**Figura 125** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(A), nos meses de janeiro a abril de 2020.



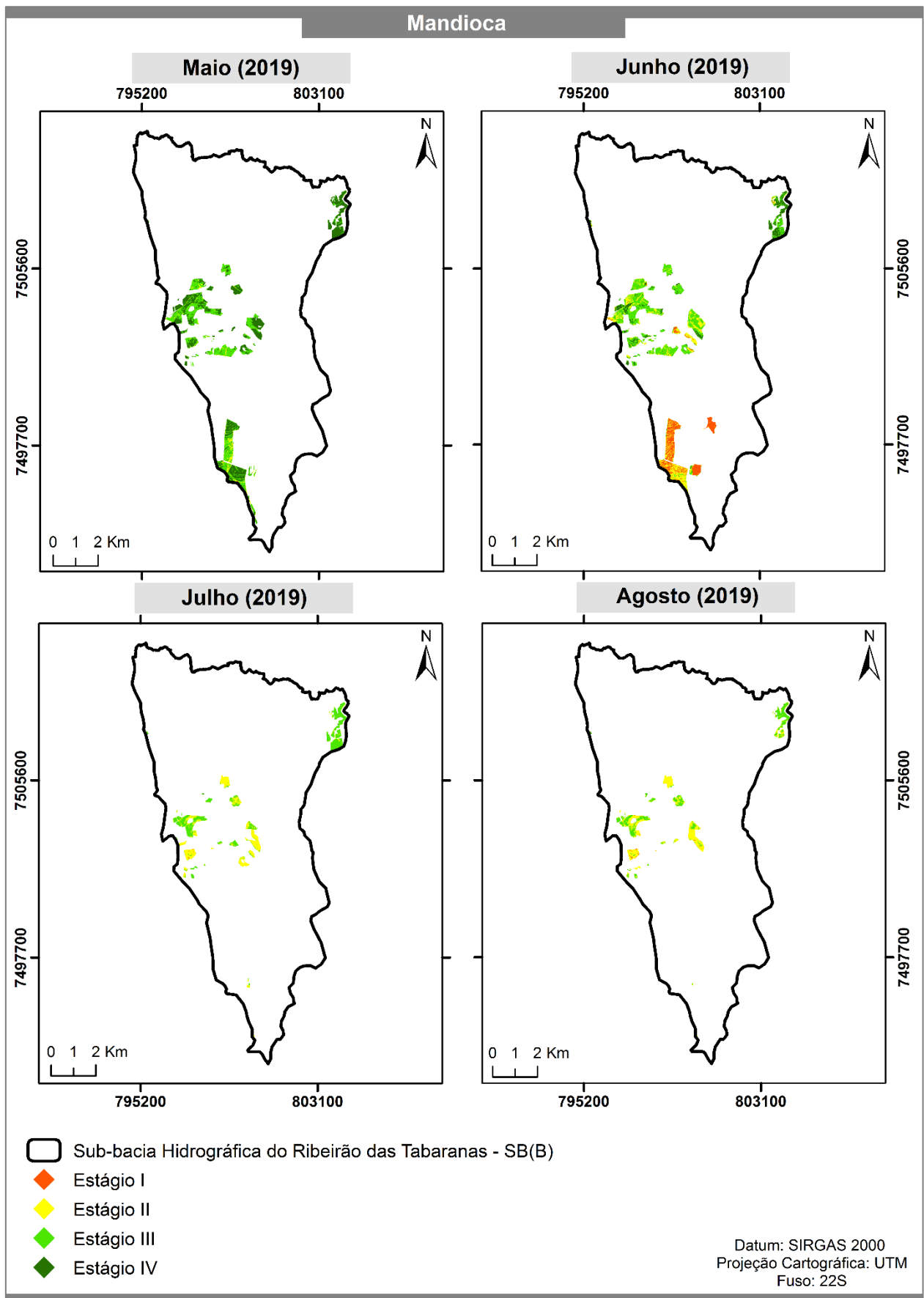
**Figura 126** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(B), nos meses de maio a agosto de 2019.



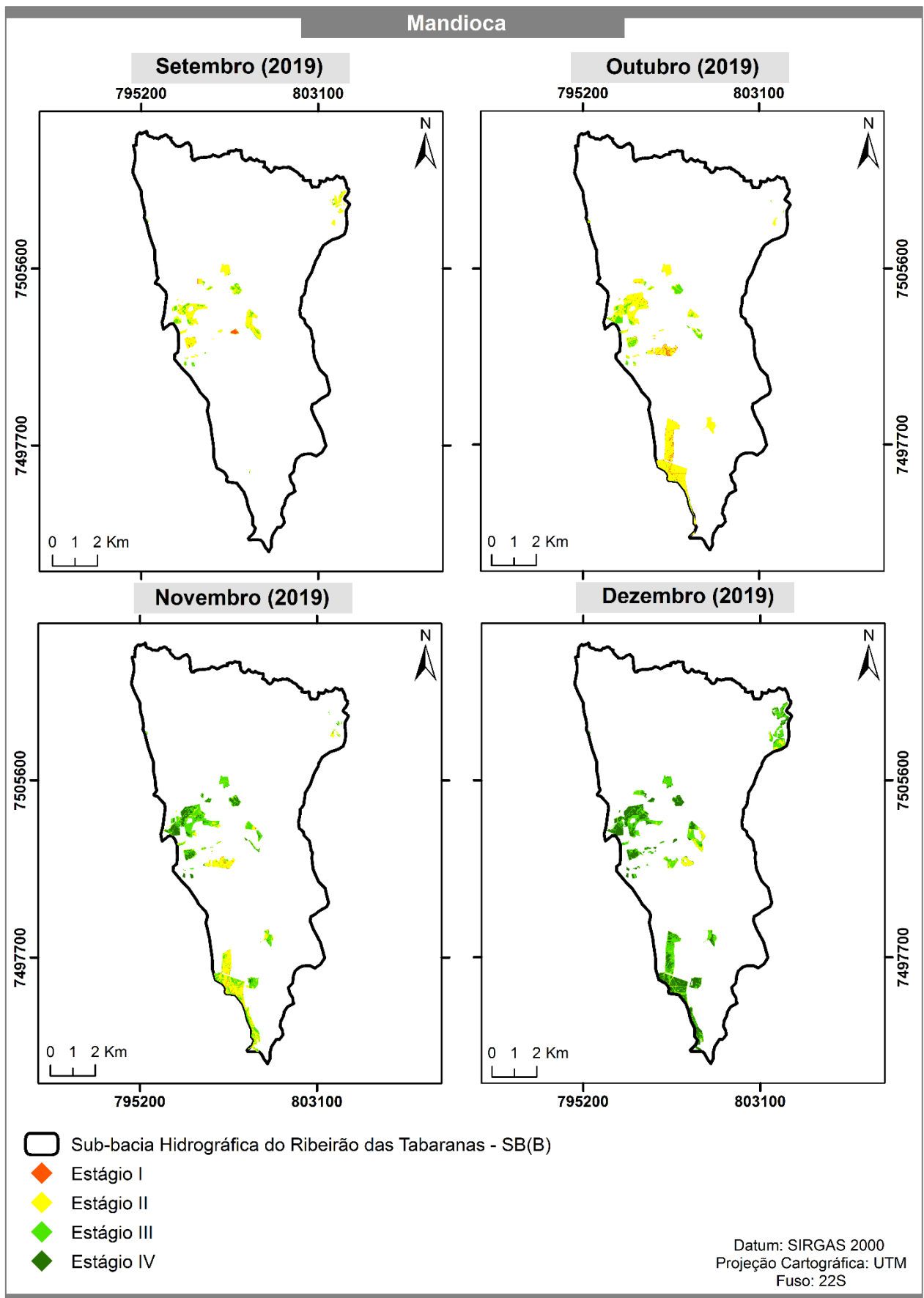
**Figura 127** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(B), nos meses de setembro a dezembro de 2019.



**Figura 128** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(B), nos meses de janeiro a abril de 2020.

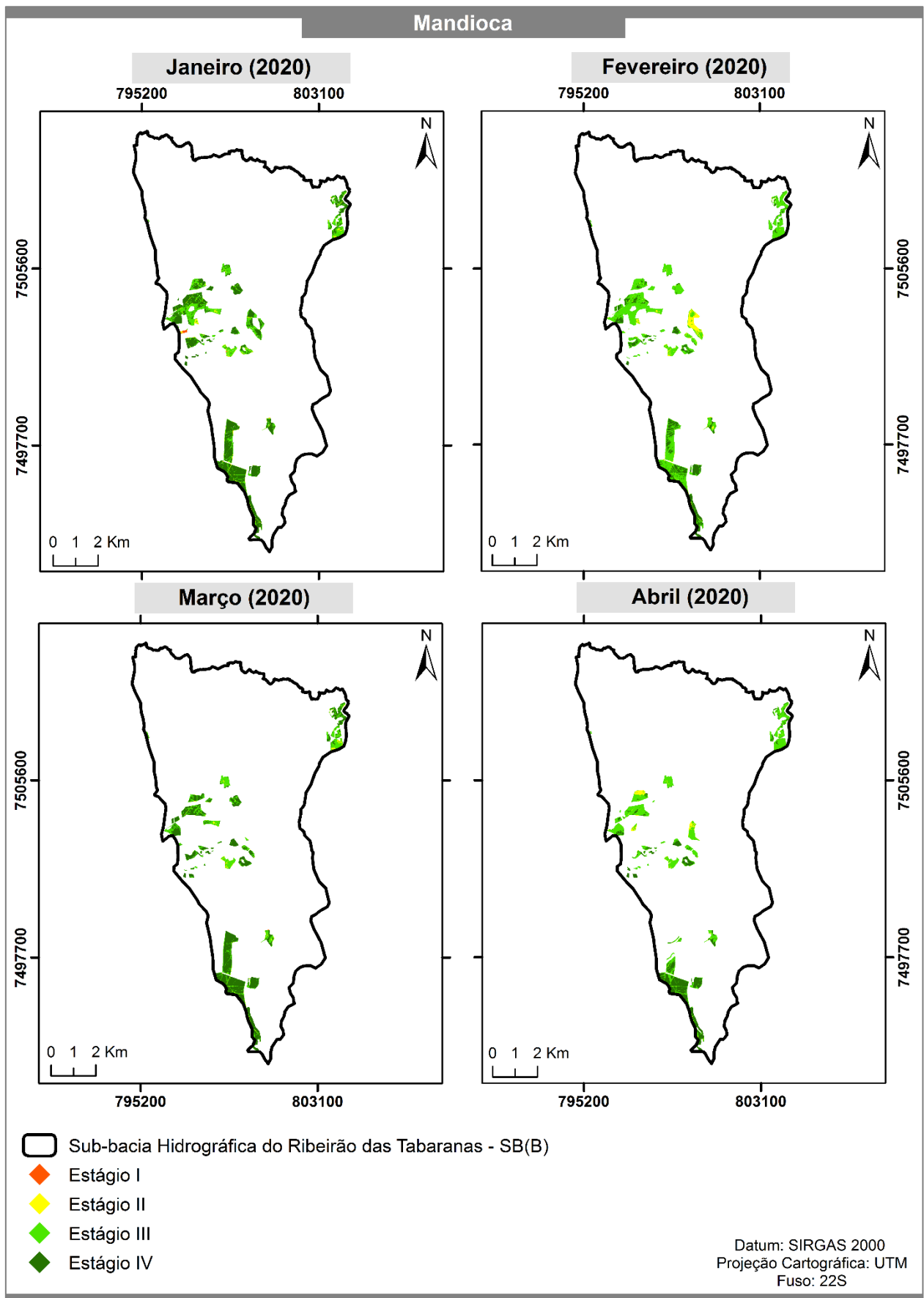


**Figura 129** - Estágios de desenvolvimento da cultura da mandioca na SB(B), nos meses de maio a agosto de 2019.

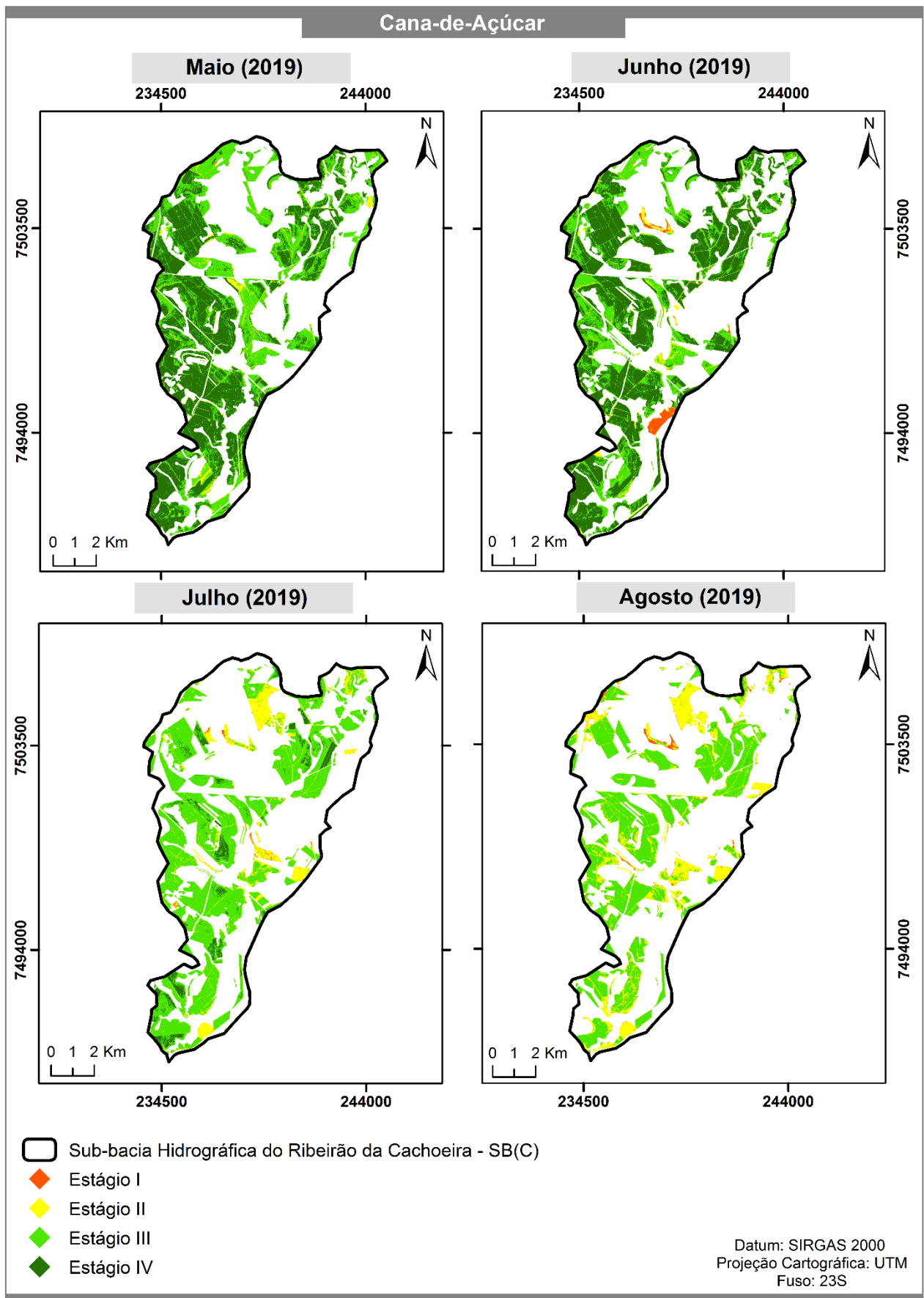


**Figura 130** - Estágios de desenvolvimento da cultura da mandioca na SB(B), nos meses de setembro a dezembro de 2019.

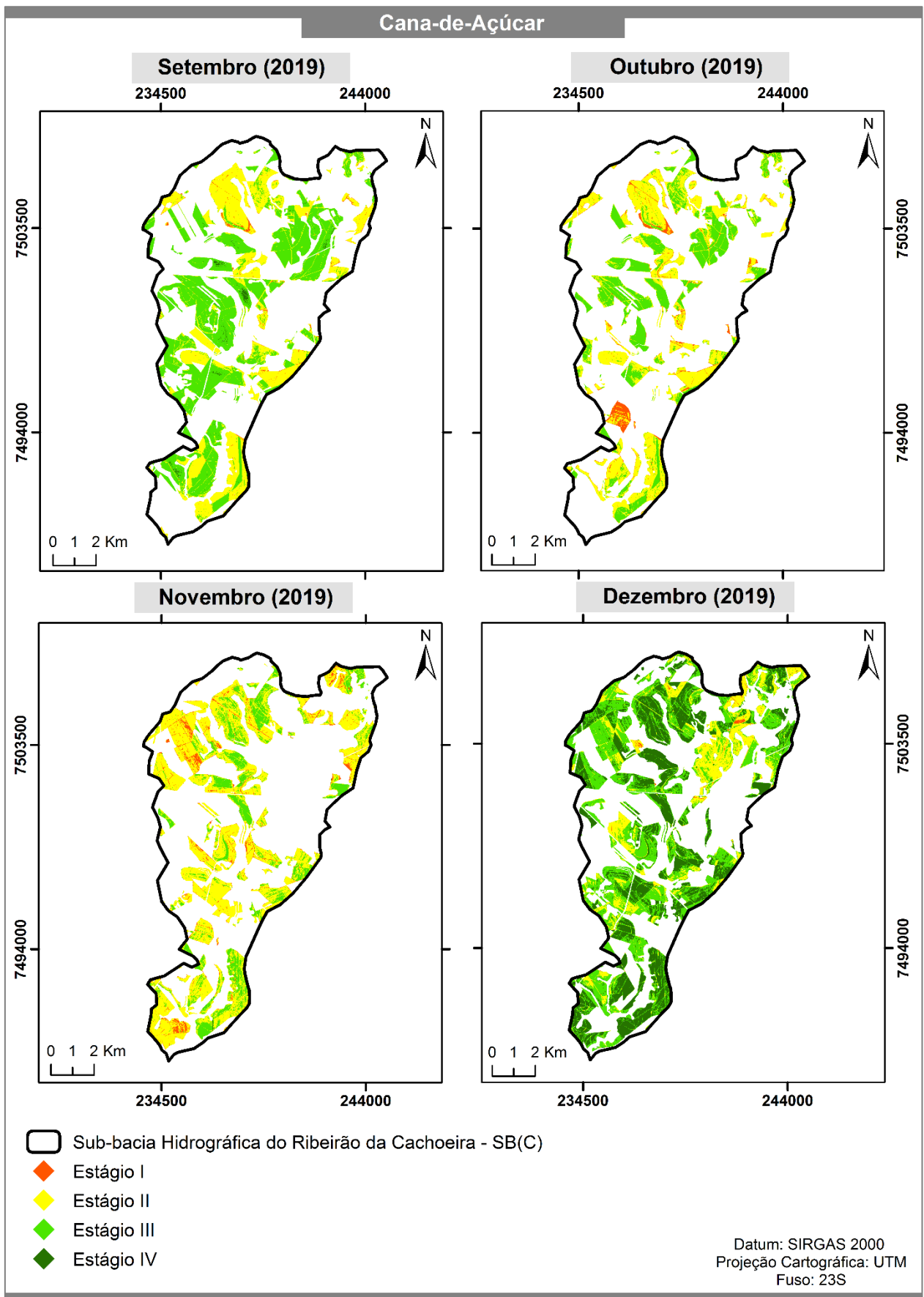




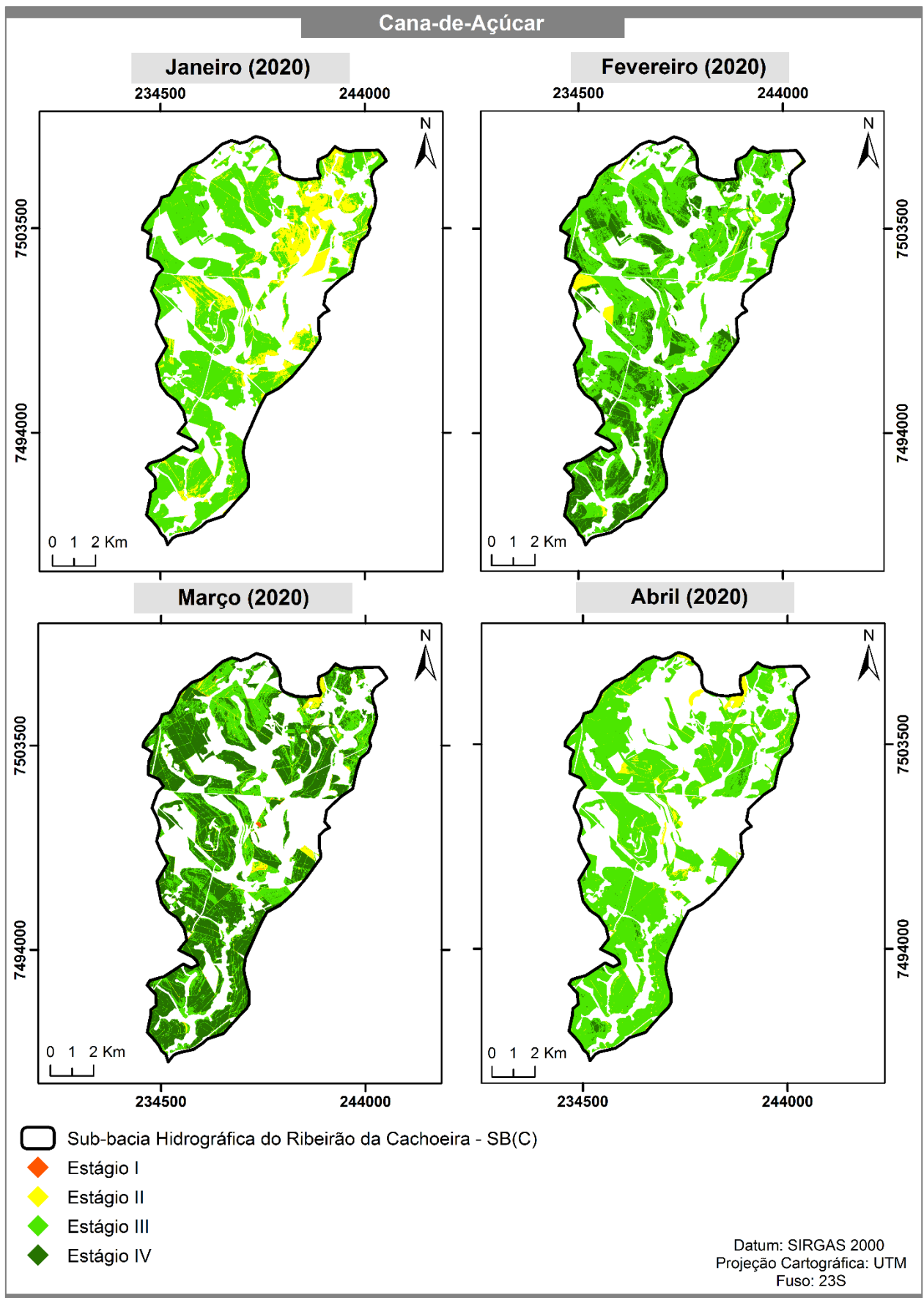
**Figura 131** - Estágios de desenvolvimento da cultura da mandioca na SB(B), nos meses de janeiro a abril de 2020.



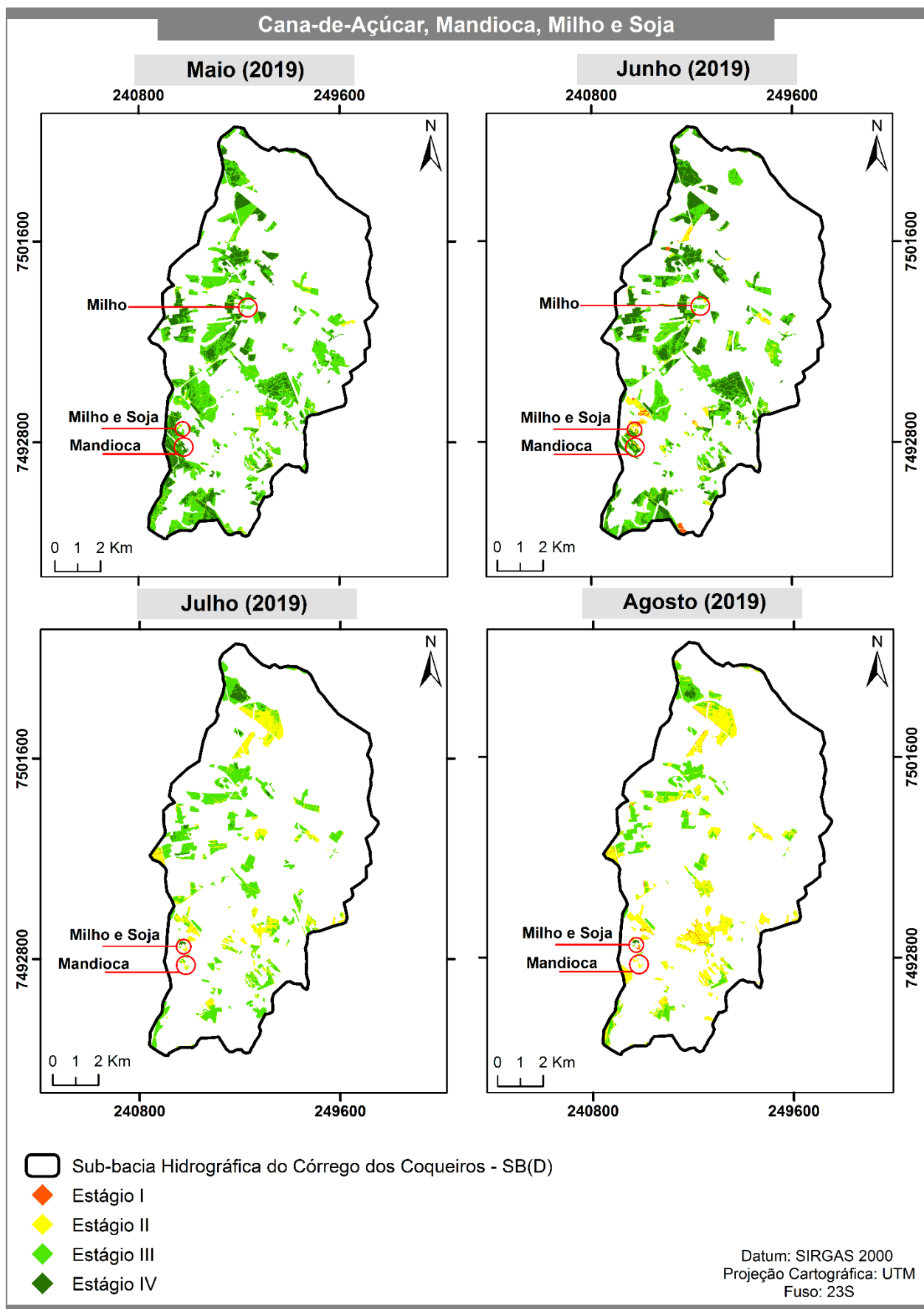
**Figura 132** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(C), nos meses de maio a agosto de 2019.



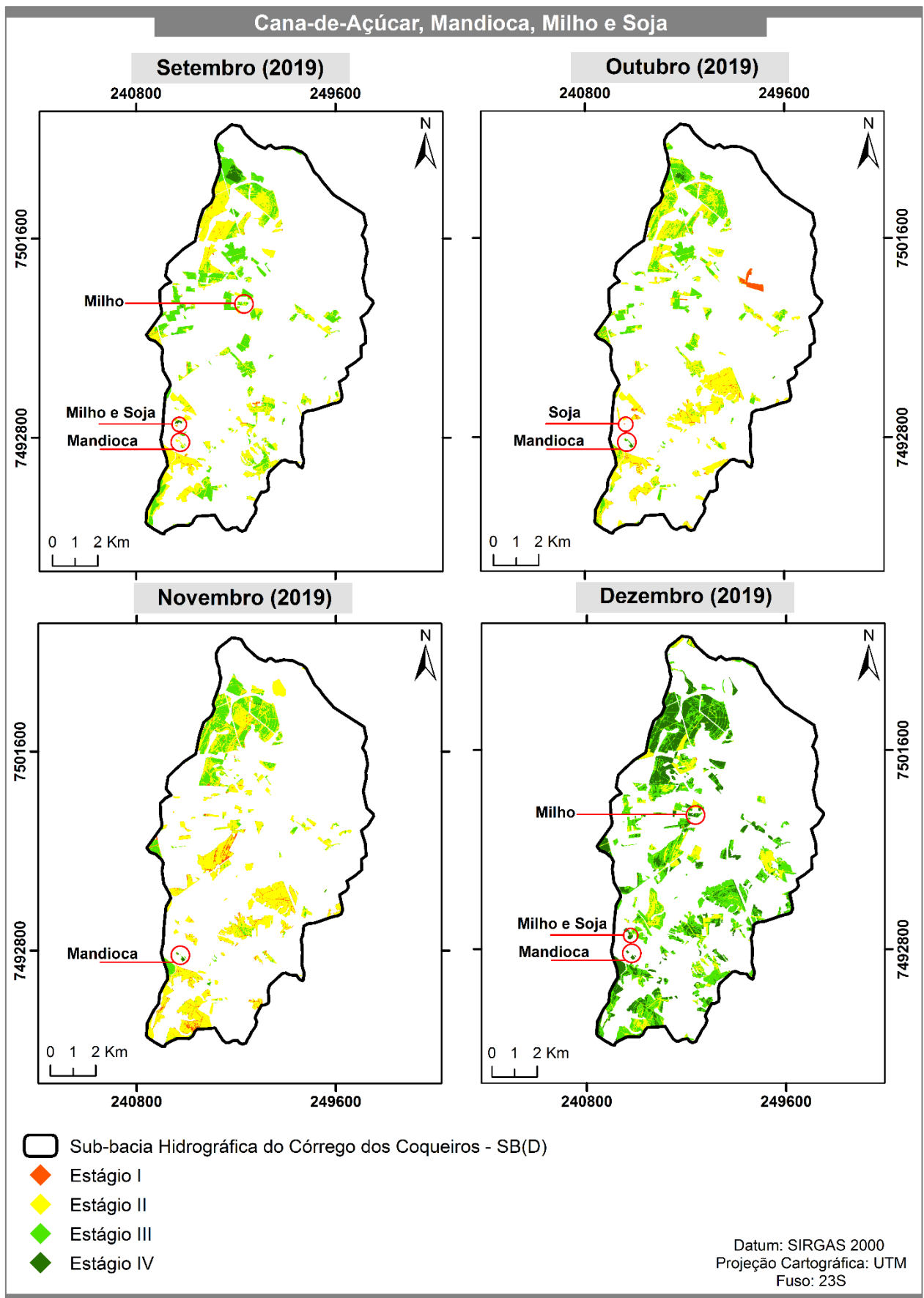
**Figura 133** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(C), nos meses de setembro a dezembro de 2019.



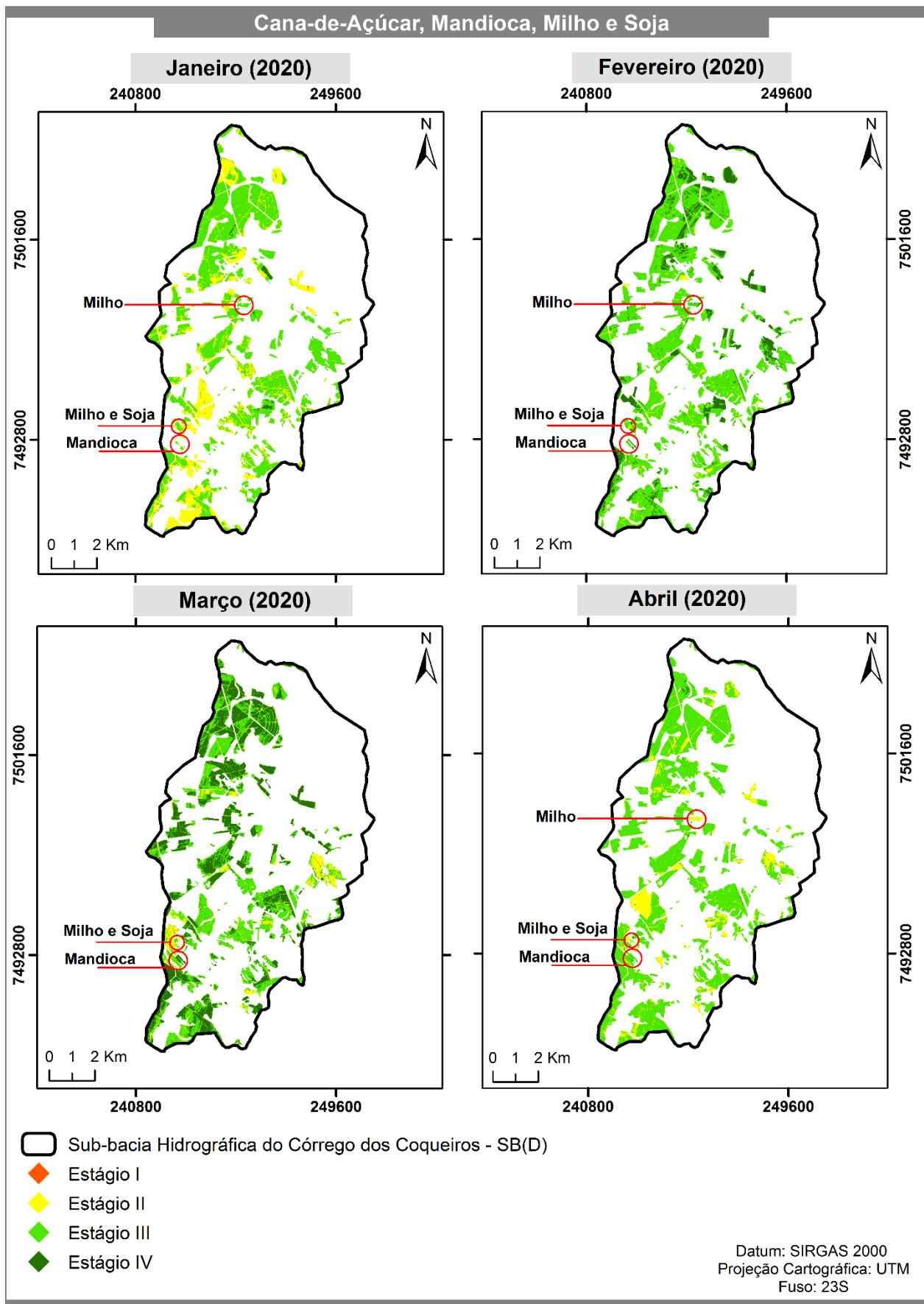
**Figura 134** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(C), nos meses de janeiro a abril de 2020.



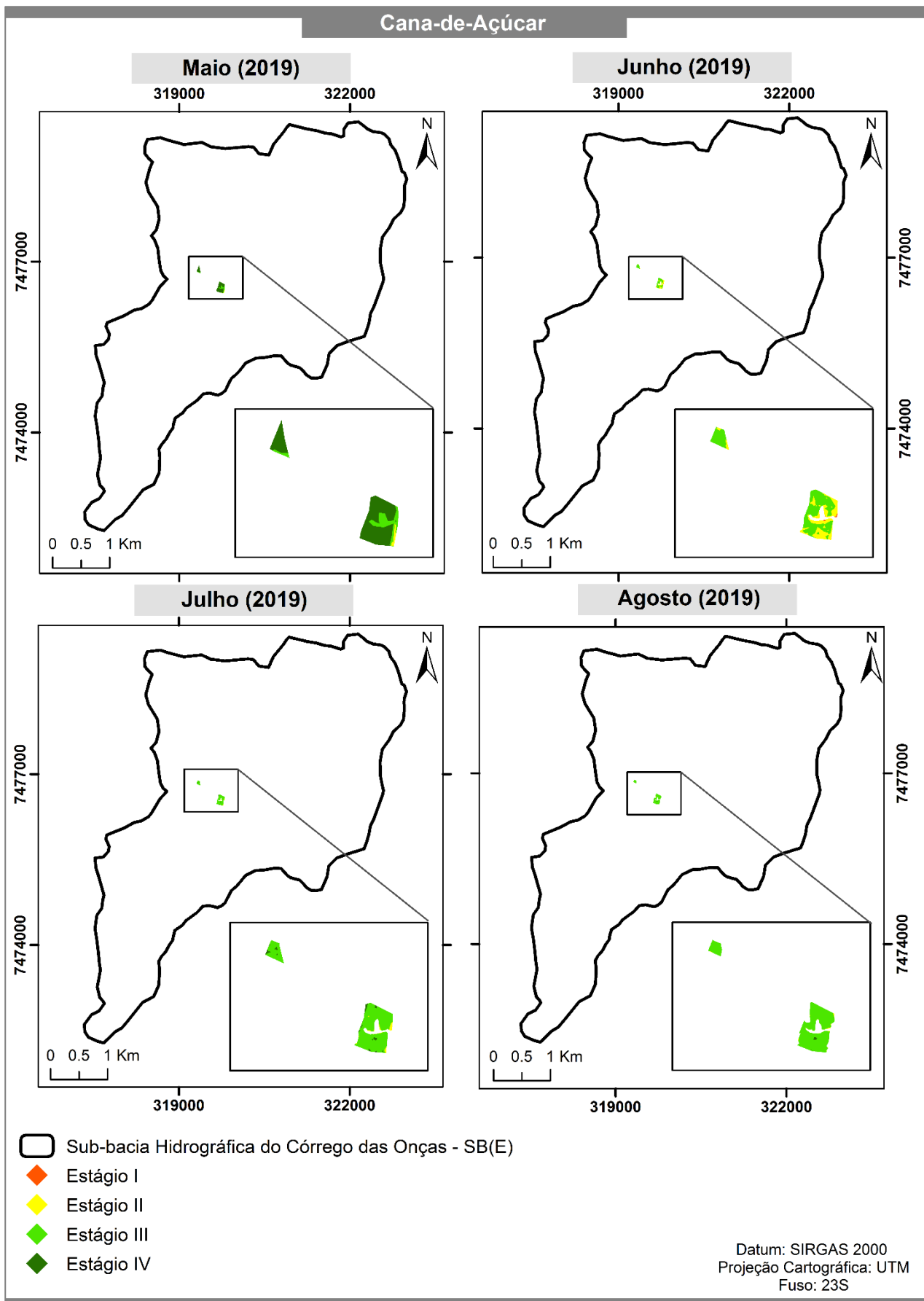
**Figura 135** - Estágios de desenvolvimento das culturas da cana-de-açúcar, da mandioca, do milho e da soja na SB(D), nos meses de maio a agosto de 2019.



**Figura 136** - Estágios de desenvolvimento das culturas da cana-de-açúcar, da mandioca, do milho e da soja na SB(D), nos meses de setembro a dezembro de 2019.

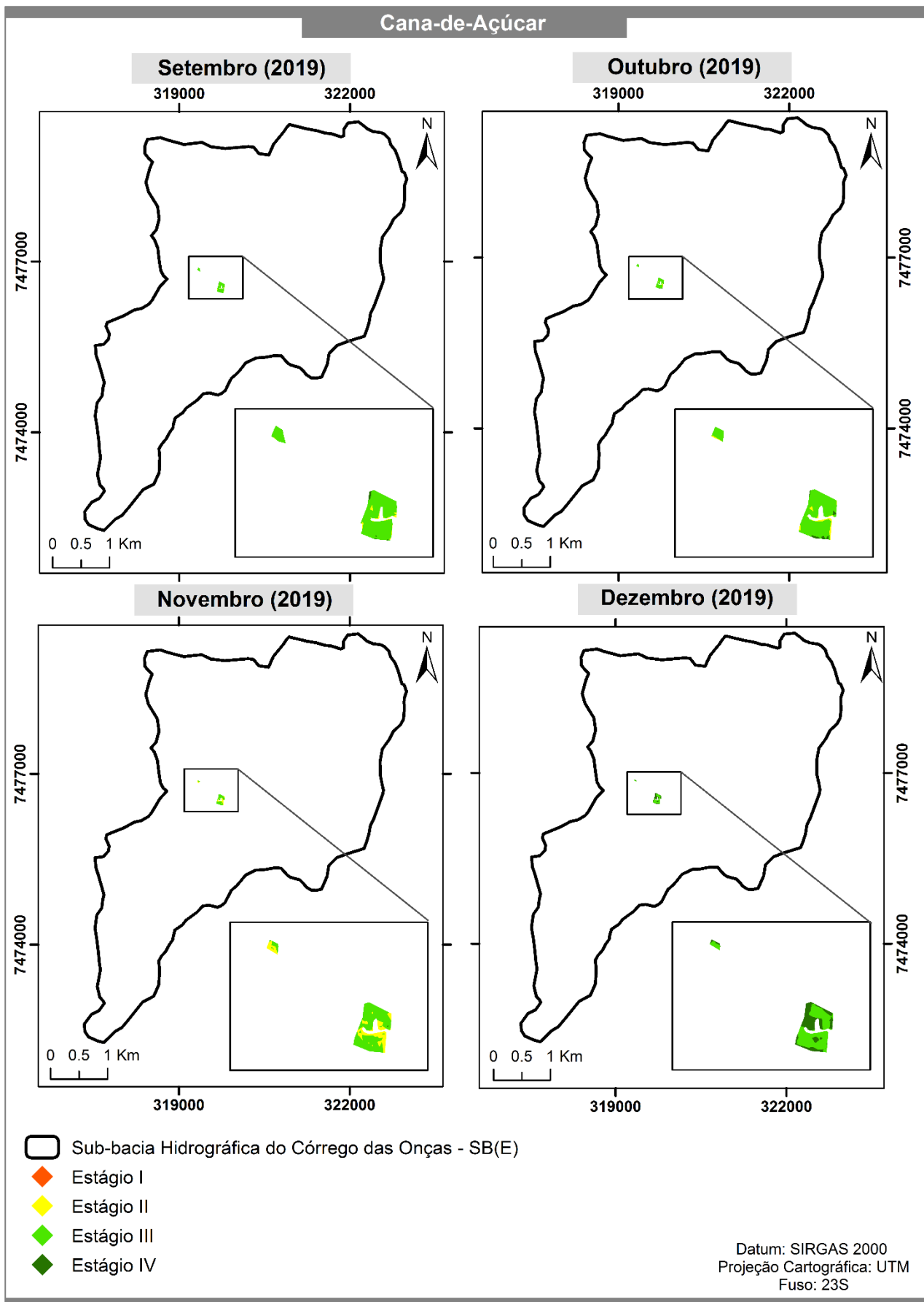


**Figura 137** - Estágios de desenvolvimento das culturas da cana-de-açúcar, da mandioca, do milho e da soja na SB(D), nos meses de janeiro a abril de 2020.

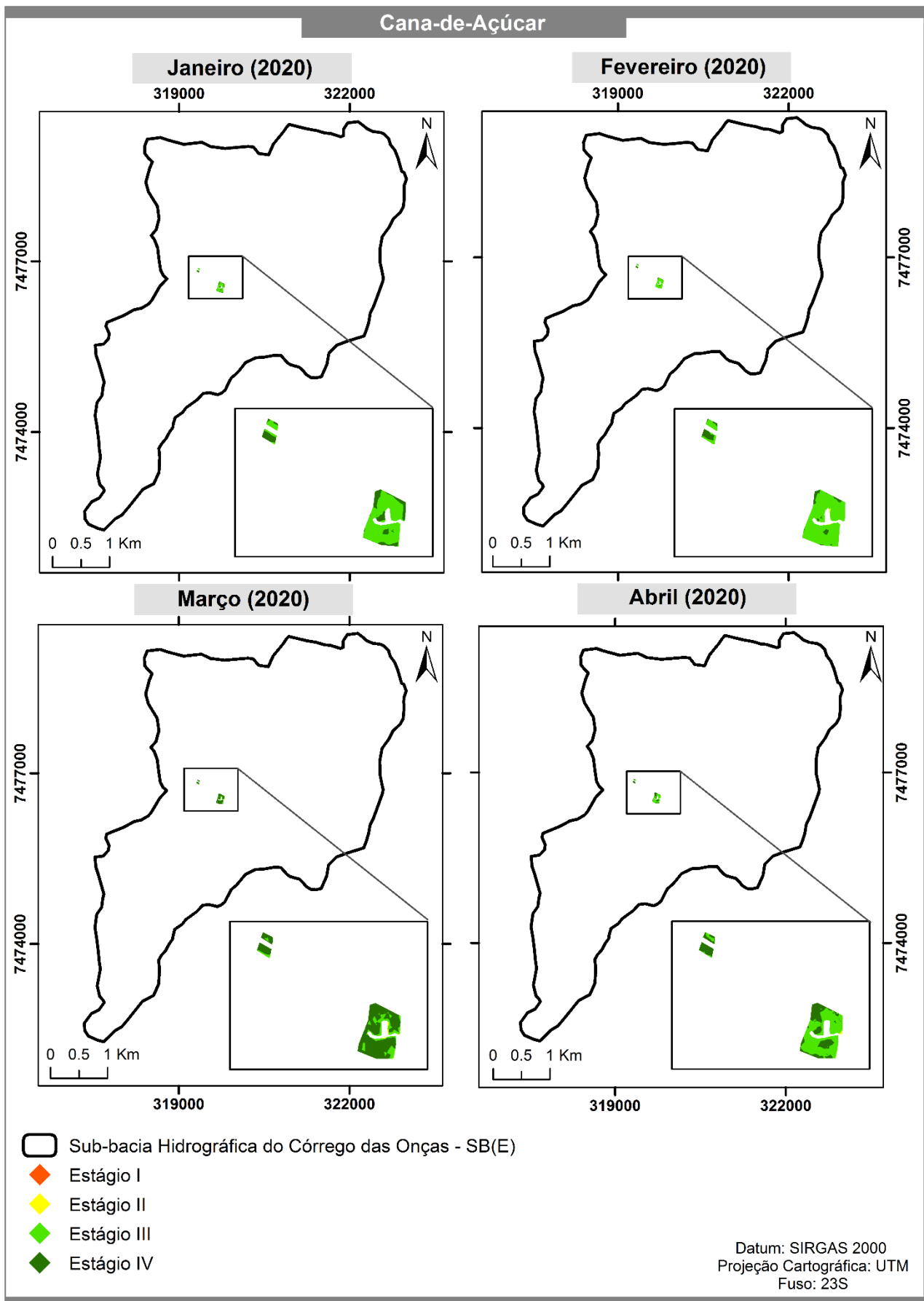


**Figura 138** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(E), nos meses de maio a agosto de 2019.

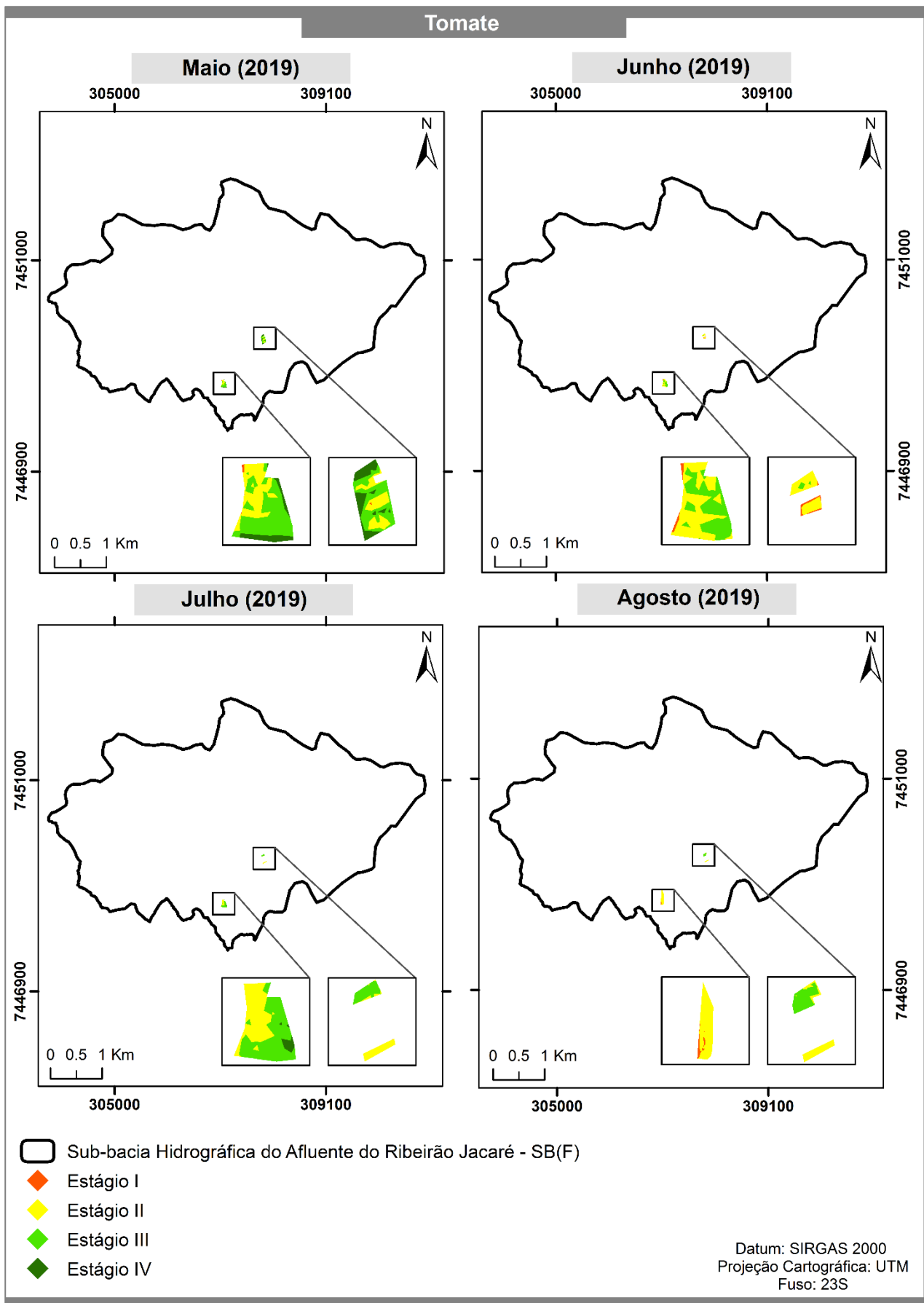




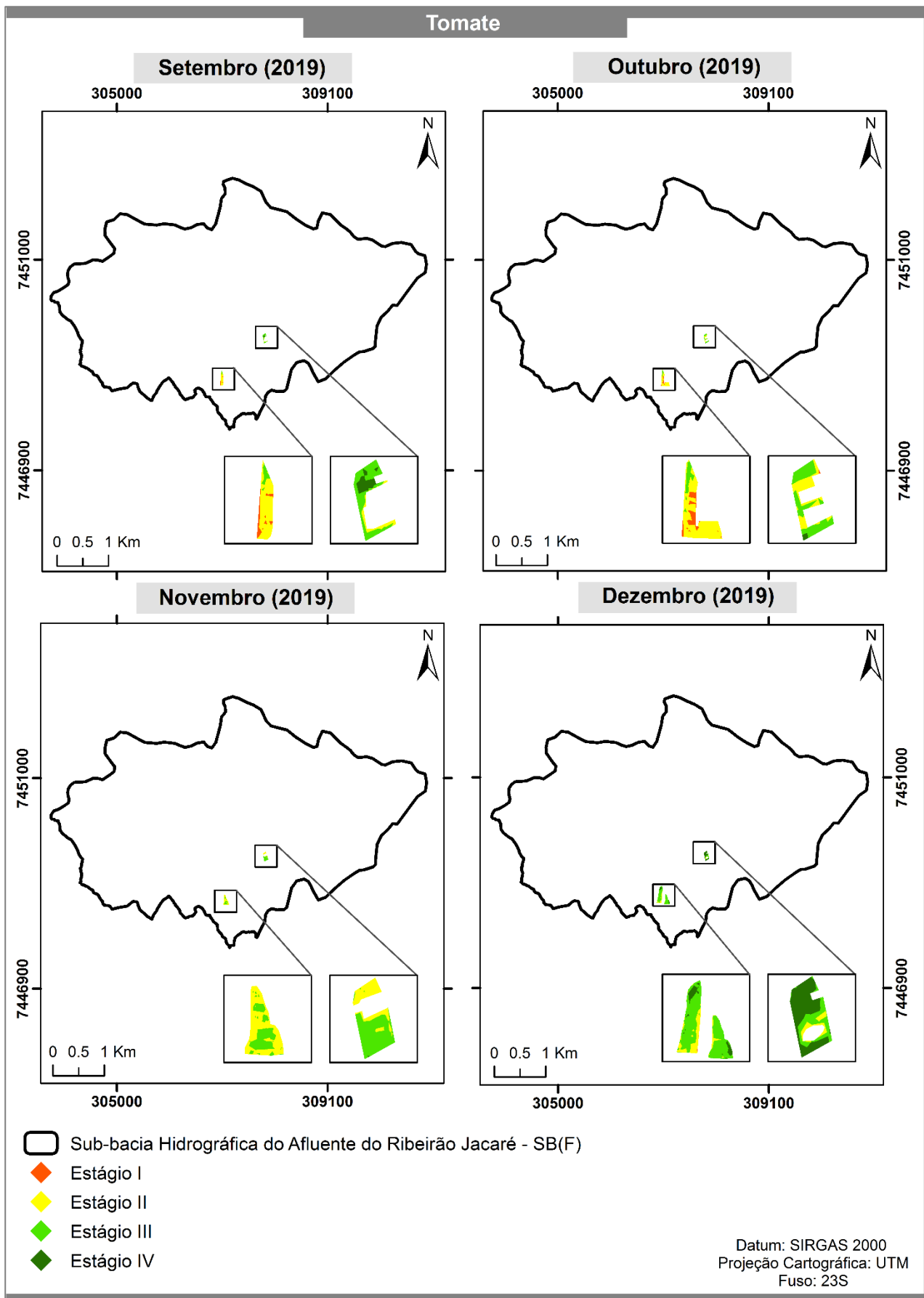
**Figura 139** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(E), nos meses de setembro a dezembro de 2019.



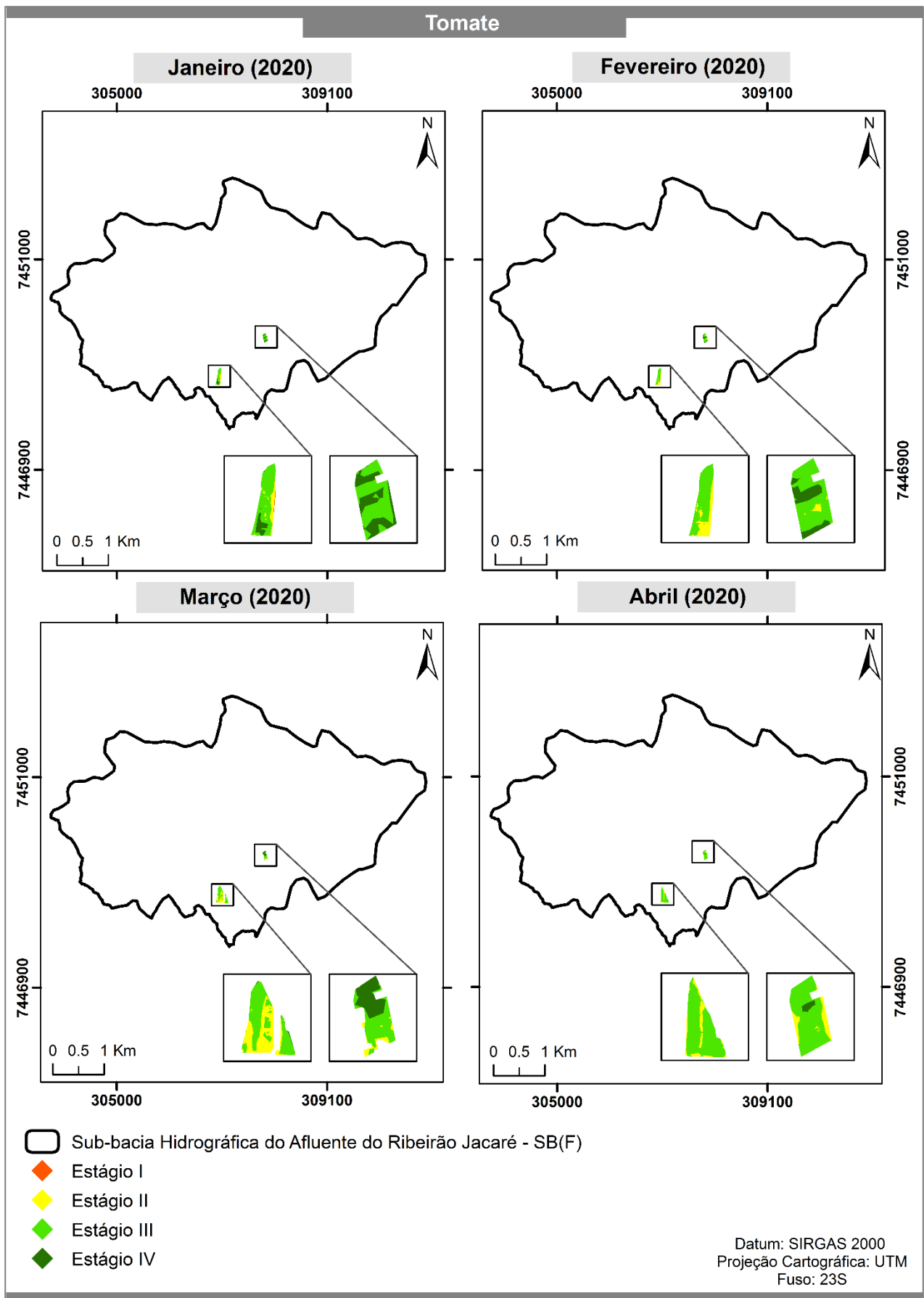
**Figura 140** - Estágios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar na SB(E), nos meses de janeiro a abril de 2020.



**Figura 141** - Estágios de desenvolvimento da cultura do tomate na SB(F), nos meses de maio a agosto de 2019.



**Figura 142** - Estágios de desenvolvimento da cultura do tomate na SB(F), nos meses de setembro a dezembro de 2019.



**Figura 143** - Estágios de desenvolvimento da cultura do tomate na SB(F), nos meses de janeiro a abril de 2020.

## **APÊNDICE C**

**C1 - Localização e quantidade de animais nas sub-bacias hidrográficas estudadas**

**Tabela 42 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata - SB(A).**

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	769298.2	7518329.6	12 bovinos
2	771617.8	7517897.6	70 bovinos
3	771614.6	7517899.4	38 bovinos
4	773202.1	7518250.1	20 bovinos
5	773269.2	7518154.9	40 bovinos
6	773876.7	7518412.2	20 bovinos
7	773868.1	7518412.2	17 bovinos
8	774239.0	7517047.8	370 bovinos e 13 equinos
9	768973.6	7516356.0	400 bovinos confinados, 4 equinos e 74 caprinos
10	770524.5	7516095.9	100 bovinos
11	774922.1	7516284.1	31 bovinos
12	776071.9	7516625.1	10 bovinos
13	768162.9	7515027.9	60 bovinos e 8 equinos
14	770288.9	7515144.1	100 bovinos
15	775590.6	7515614.6	100 bovinos
16	777686.8	7515497.2	11 bovinos e 1 suíno
17	777778.7	7515452.7	8 bovinos
18	775129.6	7514787.9	100 bovinos
19	775906.8	7514274.5	80 bovinos
20	775928.5	7514261.7	40 bovinos e 3 suínos
21	769684.5	7513108.0	300 bovinos e 18 equinos
22	772874.2	7513176.2	90 bovinos
23	773144.3	7513256.4	50 bovinos
24	778645.3	7513751.9	100 bovinos
25	774140.4	7512666.3	62 bovinos e 25 caprinos
26	774821.3	7512653.2	70 bovinos e 7 equinos
27	779108.0	7513078.7	1000 bovinos e 16 equinos
28	774764.9	7505632.0	340 bovinos e 70 caprinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 22S.

**Tabela 43 - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B).**

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	794959.4	7510976.3	200 bovinos
2	796361.7	7510597.2	56 bovinos
3	798381.1	7510543.5	120 bovinos
4	799184.4	7510799.0	Granja com 12.000 aves e 6 bovinos
5	800472.7	7510114.7	100 bovinos, 1 suíno e 5 equinos
6	802011.5	7509863.4	60 bovinos
7	803693.4	7509465.3	14 bovinos
8	796458.7	7509931.6	52 bovinos
9	796454.3	7509645.2	20 bovinos
10	796422.8	7509539.4	36 bovinos e 2 equinos
11	800444.3	7509388.9	18 bovinos e 2 suínos
12	801117.1	7509101.5	50 bovinos, 10 suínos e 4 equinos
13	801120.6	7509098.2	60 bovinos e 2 equinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 22S.

**Tabela 43** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B) (Continuação).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
14	800533.2	7508811.7	5 bovinos e 1 equino
15	800076.7	7508652.9	18 bovinos, 2 equinos
16	802763.8	7509010.7	20 bovinos e 3 equinos
17	803677.8	7508779.5	70 bovinos
18	795716.5	7508052.6	32 bovinos
19	801630.2	7508156.4	17 bovinos e 2 equinos
20	801397.1	7508023.2	3 bovinos e 40 caprinos
21	800860.3	7507504.9	4 bovinos e 2 equinos
22	802345.6	7507864.8	3 equinos e 7 caprinos
23	797251.2	7506880.1	200 bovinos
24	798587.5	7506840.8	94 bovinos, 4 suínos e 6 equinos
25	798674.5	7506875.3	80 bovinos
26	798610.5	7505023.6	10 bovinos
27	798254.1	7504938.2	3 ovinos
28	798075.9	7504850.8	30 bovinos
29	799068.0	7504772.5	80 bovinos e 1 equino
30	799072.9	7504772.1	30 bovinos e 3 equinos
31	798944.3	7504266.8	8 bovinos e 1 equino
32	798876.5	7504126.2	20 bovinos
33	800537.1	7503764.5	850 bovinos, 7 caprinos, 28 equinos e 25 suínos
34	796582.8	7503595.1	14 bovinos
35	797027.0	7503359.7	20 bovinos
36	798654.5	7502706.8	8 bovinos e 1 equino
37	798887.0	7502744.3	28 bovinos e 3 equinos
38	798891.5	7502730.7	14 bovinos e 1 equino
39	799025.4	7502363.3	100 bovinos e 4 equinos
40	799317.0	7502202.3	22 bovinos
41	799499.1	7502007.1	40 bovinos
42	797296.7	7501626.3	90 bovinos
43	797152.3	7501527.1	Granja com 18.000 aves
44	797295.2	7501628.6	20 bovinos
45	799927.8	7501271.6	20 bovinos e 1 equino
46	800196.9	7501098.5	40 bovinos e 3 equinos
47	801419.7	7499541.3	27 bovinos e 12 equinos
48	802296.3	7499459	100 bovinos e 10 equinos
49	801050.5	7499071	91 bovinos e 16 equinos
50	801180.4	7497650.9	200 bovinos e 5 equinos
51	799630.3	7496906.7	70 bovinos e 2 equinos
52	799920.4	7496780.6	250 bovinos e 6 equinos
53	800022.8	7495080.4	30 bovinos
54	800219.9	7493597.6	75 bovinos, 34 caprinos, 4 equinos e 13 suínos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 22S.



**Tabela 44** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	235675.2	7498902.1	4 caprinos e 3 suínos
2	240742.6	7498801.9	10 caprinos, 4 equinos e 10 suínos
3	240556.0	7498514.6	30 bovinos e 10 equinos
4	239594.7	7497530.1	6 caprinos
5	238318.2	7496145.8	10 bovinos e 5 equinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

**Tabela 45** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	246727.8	7504957.0	300 bovinos
2	245908.8	7500458.1	12 bovinos
3	244544.0	7500264.0	20 bovinos e 8 suínos
4	243329.5	7498800.0	5 bovinos
5	246675.2	7499010.0	35 equinos
6	243488.9	7497885.6	3 equinos
7	246169.0	7497855.1	170 bovinos, 170 caprinos, 4 equinos e 50 suínos
8	247613.3	7497878.1	40 bovinos
9	249700.6	7498224.6	17 caprinos
10	247963.9	7497311.7	15 bovinos e 8 equinos
11	249062.1	7497392.1	200 caprinos
12	243873.3	7496156.3	3 bovinos, 2 equinos e 20 suínos
13	248029.1	7495858.9	4 bovinos
14	244613.2	7495375.8	20 bovinos
15	248858.7	7495543.9	30 caprinos e 3 equinos
16	249295.6	7495232.7	50 bovinos e 4 equinos
17	244608.4	7494663.5	1 bovino
18	248341.1	7494663.2	4 bovinos
19	249092.8	7494190.2	100 bovinos e 1 equino
20	246965.3	7493877.1	22 bovinos
21	247042.5	7493442.2	60 bovinos
22	247186.5	7493573.8	20 bovinos
23	247592.8	7493539.6	20 bovinos
24	247125.9	7493563.7	1 bovino, 3 caprinos e 3 equinos
25	244237.9	7493257.6	1 bovino
26	244123.6	7493113.5	3 suínos
27	245386.2	7493114.8	8 bovinos e 1 equino
28	246147.6	7493141.5	11 bovinos e 5 equinos
29	244559.3	7492335.4	10 bovinos, 5 caprinos e 2 suínos
30	242346.1	7491715.3	10 bovinos
31	245218.4	7491363.1	4 bovinos
32	246099.6	7489999.5	50 bovinos
33	246095.2	7489992.9	50 bovinos
34	244818.2	7489172.5	20 bovinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

**Tabela 46** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	318815.5	7477668.9	50 bovinos e 6 equinos
2	319889.3	7476430.0	Granja com 37.500 aves
3	320253.6	7476268.5	60 bovinos
4	319407.3	7475850.4	37 bovinos
5	318870.9	7475066.3	Granja com 50.000 aves e 46 bovinos
6	319691.4	7474758.6	Granja com 80.000 aves
7	319035.0	7474632.4	170 bovinos
8	318262.7	7474007.2	110 bovinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

**Tabela 47** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	305869.4	7451063.5	30 bovinos e 95 equinos
2	308589.9	7451339.4	60 bovinos
3	305683.0	7450172.4	Granja com 57.000 aves
4	305122.8	7450010.1	54 bovinos
5	306489.2	7449599.3	Granja com 40.000 aves
6	306542.5	7449622.1	Granja com 45.000 aves
7	306534.9	7448789.9	100 bovinos
8	306878.7	7448478.6	21 bovinos
9	307224.7	7448456.6	50 bovinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

**Tabela 48** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	333067.1	7434955.3	15 bovinos
2	331333.2	7434108.3	150 bovinos
3	332654.7	7433244.8	30 bovinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

**Tabela 49** - Quantidade de animais existentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H).

Pontos	Coordenadas*		Quantidade de animais
	X	Y	
1	354489.2	7434874.1	10 equinos
2	354440.9	7434147.5	13 equinos
3	354436.6	7434101.5	8 bovinos
4	354269.8	7433183.7	9 bovinos
5	354057.4	7431721.0	120 bovinos
6	354019.7	7431657.7	8 equinos

\* Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

## **APÊNDICE D**

**D1 - Informações dos setores censitários,  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) nas sub-bacias hidrográficas estudadas**

**D2 - Consumo médio per capita de água nos municípios que abrangem as sub-bacias hidrográficas**

## Apêndice D1

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada.

<b>Sub-bacia hidrográfica do Rio da Prata - SB(A)</b>										
<b>Número*</b>	<b>Código do Setor</b>	<b>Município</b>	<b>Tipo</b>	<b>População (hab) (2010)</b>	<b>Área dos setores (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>) (2010)</b>	<b>Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)</b>	<b>População estimada por setor (hab) (2019)</b>	<b>Consumo médio per capita no ano de 2019 (m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>DH<sub>pop</sub> (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>
1	351410605000034	Dois Córregos	Rural	170	98,34	1,73	1,10	188	0,1515	28,48
2	351410605000035	Dois Córregos	Rural	-	0,01	3,21	1,10	-	0,1515	-
3	352980705000018	Mineiros do Tietê	Rural	1	0,26	2,62	0,78	1	0,1831	0,18
									<b>Total</b>	28,66
<b>Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Tabaranas - SB(B)</b>										
1	350790210000002	Brotas	Rural	-	0,10	2,60	1,38	-	0,1989	-
2	354700705000009	Santa Maria da Serra	Rural	169	57,99	2,91	1,47	193	0,1764	34,05
3	354700705000011	Santa Maria da Serra	Rural	-	0,12	0,00	1,47	-	0,1764	-
4	355040705000054	São Pedro	Rural	-	0,28	0,00	1,33	-	0,1767	-
5	355040705000055	São Pedro	Rural	31	12,77	2,42	1,33	35	0,1767	6,18
6	355040705000056	São Pedro	Rural	7	2,88	2,38	1,33	8	0,1767	1,41
7	355470605000014	Torrinha	Rural	125	20,03	6,25	0,78	134	0,1585	21,24
8	355470605000015	Torrinha	Rural	13	4,22	3,05	0,78	14	0,1585	2,22
									<b>Total</b>	65,10
<b>Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C)</b>										
1	351240705000029	Cordeirópolis	Rural	-	0,06	2,80	1,70	-	0,1754	-
2	352140805000001	Iracemápolis	Urbano	839	0,13	6.450,07	2,14	1.015	0,1031	104,65
3	352140805000002	Iracemápolis	Urbano	725	0,26	2.789,39	2,14	877	0,1031	90,42
4	352140805000003	Iracemápolis	Urbano	791	0,23	3.440,81	2,14	957	0,1031	98,67
5	352140805000004	Iracemápolis	Urbano	584	0,26	2.244,83	2,14	707	0,1031	72,89
6	352140805000005	Iracemápolis	Urbano	1004	0,42	2.391,25	2,14	1.215	0,1031	125,27
7	352140805000006	Iracemápolis	Urbano	657	0,08	8.208,89	2,14	795	0,1031	81,96
8	352140805000007	Iracemápolis	Urbano	971	0,13	7.467,70	2,14	1.175	0,1031	121,14
9	352140805000008	Iracemápolis	Urbano	677	0,13	5.206,79	2,14	819	0,1031	84,44
10	352140805000009	Iracemápolis	Urbano	479	0,09	5.317,50	2,14	580	0,1031	59,80
11	352140805000010	Iracemápolis	Urbano	1060	0,12	8.830,86	2,14	1.283	0,1031	132,28
12	352140805000011	Iracemápolis	Urbano	768	0,13	5.910,25	2,14	929	0,1031	95,78
13	352140805000012	Iracemápolis	Urbano	557	0,12	4.644,51	2,14	674	0,1031	69,49
14	352140805000013	Iracemápolis	Urbano	799	0,06	13.315	2,14	967	0,1031	99,70

\* Número dos polígonos espacializados nas Figuras 112 a 113 que representam os setores censitários.

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeira - SB(C)										
Número*	Código do Setor	Município	Tipo	População (hab) (2010)	Área dos setores ( $km^2$ )	Densidade Demográfica ( $hab/km^2$ ) (2010)	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)	População estimada por setor (hab) (2019)	Consumo médio per capita no ano de 2019 ( $m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )*	$DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ )
15	352140805000014	Iracemápolis	Urbano	944	0,10	9.438,76	2,14	1.142	0,1031	117,74
16	352140805000015	Iracemápolis	Urbano	806	0,10	8.061,50	2,14	975	0,1031	100,52
17	352140805000016	Iracemápolis	Urbano	398	0,09	4.423,15	2,14	482	0,1031	49,69
18	352140805000017	Iracemápolis	Urbano	710	0,33	2.151,05	2,14	859	0,1031	88,56
19	352140805000018	Iracemápolis	Urbano	4	0,24	16,63	2,14	5	0,1031	0,52
20	352140805000019	Iracemápolis	Rural	179	51,10	3,50	2,14	217	0,1031	22,37
21	352140805000020	Iracemápolis	Rural	44	12,46	3,57	2,14	53	0,1031	5,46
22	352140805000021	Iracemápolis	Rural	6	1,35	4,60	2,14	7	0,1031	0,72
23	352140805000022	Iracemápolis	Urbano	685	0,13	5.270,84	2,14	829	0,1031	85,47
24	352140805000023	Iracemápolis	Urbano	72	0,30	239,38	2,14	87	0,1031	8,97
25	352140805000024	Iracemápolis	Urbano	681	0,08	8.517,01	2,14	824	0,1031	84,95
26	352140805000025	Iracemápolis	Urbano	274	0,02	13.680,20	2,14	332	0,1031	34,23
27	352140805000026	Iracemápolis	Urbano	563	0,13	4.330,11	2,14	681	0,1031	70,21
28	352140805000027	Iracemápolis	Urbano	8	0,30	25,97	2,14	10	0,1031	1,03
29	352140805000028	Iracemápolis	Urbano	-	0,03	0,00	2,14	-	0,1031	-
30	352140805000029	Iracemápolis	Urbano	-	0,004	0,00	2,14	-	0,1031	-
31	352140805000030	Iracemápolis	Urbano	-	0,19	0,00	2,14	-	0,1031	-
32	352140805000031	Iracemápolis	Rural	-	0,09	0,00	2,14	-	0,1031	-
33	352140805000032	Iracemápolis	Rural	-	0,01	0,00	2,14	-	0,1031	-
34	352140805000033	Iracemápolis	Rural	-	0,02	0,00	2,14	-	0,1031	-
35	352140805000034	Iracemápolis	Urbano	687	0,06	11.456,20	2,14	831	0,1031	85,68
36	352690205000388	Limeira	Rural	-	0,09	1,82	1,16	-	0,1913	-
37	353870905000550	Piracicaba	Rural	42	5,37	7,81	1,15	47	0,1999	9,40
38	353870905000551	Piracicaba	Rural	22	14,60	1,48	1,15	24	0,1999	4,80
39	353870905000565	Piracicaba	Urbano	60	9,34	6,40	1,15	67	0,1999	13,39
40	353870930000002	Piracicaba	Rural	52	16,82	3,11	1,15	58	0,1999	11,59
41	354390715000002	Rio Claro	Rural	1	0,20	3,28	1,15	1	0,1966	0,20
42	354670205000021	Santa Gertrudes	Rural	1	0,56	1,55	2,45	1	0,1505	0,15
									<b>Total</b>	2.032,14

\* Número dos polígonos espacializados na Figura 113 que representam os setores censitários.

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D)										
Número*	Código do Setor	Município	Tipo	População (hab) (2010)	Área dos setores ( $km^2$ )	Densidade Demográfica ( $hab/km^2$ ) (2010)	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)	População estimada por setor (hab) (2019)	Consumo médio per capita no ano de 2019 ( $m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )*	$DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ )
1	351240705000029	Cordeirópolis	Rural	-	0,03	2,80	1,70	-	0,1754	-
2	352140805000009	Iracemápolis	Urbano	479	0,09	5.317,50	2,14	580	0,1031	59,80
3	352140805000012	Iracemápolis	Urbano	511	0,11	4.644,51	2,14	618	0,1031	63,72
4	352140805000013	Iracemápolis	Urbano	399	0,03	13.315,00	2,14	483	0,1031	49,80
5	352140805000016	Iracemápolis	Urbano	531	0,12	4.423,15	2,14	642	0,1031	66,19
6	352140805000019	Iracemápolis	Rural	12	3,30	3,50	2,14	15	0,1031	1,55
7	352140805000020	Iracemápolis	Rural	1	0,15	3,57	2,14	1	0,1031	0,10
8	352140805000021	Iracemápolis	Rural	68	14,81	4,60	2,14	82	0,1031	8,45
9	352140805000023	Iracemápolis	Urbano	596	2,49	239,38	2,14	721	0,1031	74,34
10	352140805000024	Iracemápolis	Urbano	511	0,06	8.517,01	2,14	618	0,1031	63,72
11	352140805000025	Iracemápolis	Urbano	684	0,05	13.680,20	2,14	828	0,1031	85,37
12	352140805000027	Iracemápolis	Urbano	54	2,09	25,97	2,14	65	0,1031	6,70
13	352690205000097	Limeira	Urbano	151	0,05	3.024,92	1,16	168	0,1913	32,14
14	352690205000101	Limeira	Urbano	187	0,08	2.336,46	1,16	207	0,1913	39,60
15	352690205000102	Limeira	Urbano	113	0,07	1.608,54	1,16	125	0,1913	23,91
16	352690205000166	Limeira	Urbano	-	0,0002	6.324,53	1,16	-	0,1913	-
17	352690205000167	Limeira	Urbano	598	0,16	3.735,77	1,16	663	0,1913	126,83
18	352690205000168	Limeira	Urbano	456	0,15	3.040,54	1,16	506	0,1913	96,80
19	352690205000169	Limeira	Urbano	210	0,04	5.255,06	1,16	233	0,1913	44,57
20	352690205000170	Limeira	Urbano	535	0,13	4.112,00	1,16	594	0,1913	113,63
21	352690205000171	Limeira	Urbano	573	0,15	3.821,86	1,16	636	0,1913	121,67
22	352690205000172	Limeira	Urbano	514	0,09	5.708,80	1,16	570	0,1913	109,04
23	352690205000173	Limeira	Urbano	669	0,07	9.558,55	1,16	742	0,1913	141,94
24	352690205000174	Limeira	Urbano	400	0,06	6.666,25	1,16	444	0,1913	84,94
25	352690205000179	Limeira	Urbano	107	3,06	34,94	1,16	119	0,1913	22,76
26	352690205000276	Limeira	Urbano	256	0,02	12.794,10	1,16	284	0,1913	54,33
27	352690205000277	Limeira	Urbano	836	0,55	1.520,76	1,16	927	0,1913	177,34
28	352690205000278	Limeira	Urbano	79	0,01	7.915,60	1,16	88	0,1913	16,83
29	352690205000279	Limeira	Urbano	1509	0,12	12.572,80	1,16	1.674	0,1913	320,24

\* Número dos polígonos espacializados na Figura 113 que representam os setores censitários.

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D)										
Número*	Código do Setor	Município	Tipo	População (hab) (2010)	Área dos setores ( $km^2$ )	Densidade Demográfica ( $hab/km^2$ ) (2010)	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)	População estimada por setor (hab) (2019)	Consumo médio per capita no ano de 2019 ( $m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )*	$DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ )
30	352690205000287	Limeira	Urbano	390	0,03	13.010,70	1,16	433	0,1913	82,83
31	352690205000288	Limeira	Urbano	736	0,06	12.262,80	1,16	817	0,1913	156,29
32	352690205000289	Limeira	Urbano	801	0,06	13.355,20	1,16	889	0,1913	170,07
33	352690205000290	Limeira	Urbano	1007	0,77	1.307,27	1,16	1.117	0,1913	213,68
34	352690205000291	Limeira	Urbano	669	0,18	3.715,32	1,16	742	0,1913	141,94
35	352690205000292	Limeira	Urbano	429	0,86	498,92	1,16	476	0,1913	91,06
36	352690205000293	Limeira	Urbano	342	0,45	760,18	1,16	379	0,1913	72,50
37	352690205000294	Limeira	Urbano	592	0,08	7.400,63	1,16	657	0,1913	125,68
38	352690205000295	Limeira	Urbano	684	0,07	9.776,39	1,16	759	0,1913	145,20
39	352690205000296	Limeira	Urbano	569	0,06	9.491,60	1,16	631	0,1913	120,71
40	352690205000297	Limeira	Urbano	545	0,05	10.906,10	1,16	605	0,1913	115,74
41	352690205000298	Limeira	Urbano	572	0,06	9.534,69	1,16	635	0,1913	121,48
42	352690205000299	Limeira	Urbano	606	0,05	12.121,50	1,16	672	0,1913	128,55
43	352690205000300	Limeira	Urbano	751	0,11	6.831,67	1,16	833	0,1913	159,35
44	352690205000301	Limeira	Urbano	513	0,04	12.830,80	1,16	569	0,1913	108,85
45	352690205000302	Limeira	Urbano	766	0,07	10.944,10	1,16	850	0,1913	162,61
46	352690205000303	Limeira	Urbano	729	0,07	10.411,40	1,16	809	0,1913	154,76
47	352690205000304	Limeira	Urbano	797	0,04	19.934,50	1,16	884	0,1913	169,11
48	352690205000305	Limeira	Urbano	880	0,05	17.594,20	1,16	976	0,1913	186,71
49	352690205000306	Limeira	Urbano	630	0,04	15.748,70	1,16	699	0,1913	133,72
50	352690205000307	Limeira	Urbano	896	0,05	17.925,50	1,16	994	0,1913	190,15
51	352690205000308	Limeira	Urbano	956	0,06	15.934,00	1,16	1.061	0,1913	202,97
52	352690205000309	Limeira	Urbano	930	0,08	11.627,70	1,16	1.032	0,1913	197,42
53	352690205000310	Limeira	Urbano	854	0,13	6.572,00	1,16	947	0,1913	181,16
54	352690205000311	Limeira	Urbano	953	0,06	15.875,10	1,16	1.057	0,1913	202,20
55	352690205000312	Limeira	Urbano	533	0,11	4.842,84	1,16	591	0,1913	113,06
56	352690205000313	Limeira	Urbano	646	0,08	8.078,02	1,16	717	0,1913	137,16
57	352690205000314	Limeira	Urbano	489	0,22	2.220,86	1,16	542	0,1913	103,68

\* Número dos polígonos espacializados na Figura 113 que representam os setores censitários.

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D)										
Número*	Código do Setor	Município	Tipo	População (hab) (2010)	Área dos setores ( $km^2$ )	Densidade Demográfica ( $hab/km^2$ ) (2010)	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)	População estimada por setor (hab) (2019)	Consumo médio per capita no ano de 2019 ( $m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )*	$DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ )
58	352690205000315	Limeira	Urbano	551	0,10	5.506,81	1,16	611	0,1913	116,88
59	352690205000316	Limeira	Urbano	610	0,06	10.163,60	1,16	677	0,1913	129,51
60	352690205000317	Limeira	Urbano	872	0,08	10.899,80	1,16	967	0,1913	184,99
61	352690205000318	Limeira	Urbano	841	0,13	6.469,57	1,16	933	0,1913	178,48
62	352690205000319	Limeira	Urbano	1094	0,27	4.050,95	1,16	1.214	0,1913	232,24
63	352690205000320	Limeira	Urbano	873	0,05	17.466,30	1,16	968	0,1913	185,18
64	352690205000321	Limeira	Urbano	931	0,05	18.620,50	1,16	1.033	0,1913	197,61
65	352690205000322	Limeira	Urbano	578	0,03	19.256,70	1,16	641	0,1913	122,62
66	352690205000323	Limeira	Urbano	531	0,03	17.712,70	1,16	589	0,1913	112,68
67	352690205000324	Limeira	Urbano	644	0,04	16.097,40	1,16	714	0,1913	136,59
68	352690205000325	Limeira	Urbano	543	0,04	13.583,60	1,16	602	0,1913	115,16
69	352690205000326	Limeira	Urbano	583	0,04	14.575,90	1,16	647	0,1913	123,77
70	352690205000327	Limeira	Urbano	676	0,04	16.887,60	1,16	750	0,1913	143,48
71	352690205000328	Limeira	Urbano	755	0,05	15.101,00	1,16	838	0,1913	160,31
72	352690205000329	Limeira	Urbano	1284	0,21	6.115,28	1,16	1.424	0,1913	272,41
73	352690205000330	Limeira	Urbano	807	0,05	16.149,00	1,16	895	0,1913	171,21
74	352690205000331	Limeira	Urbano	797	0,05	15.934,70	1,16	884	0,1913	169,11
75	352690205000332	Limeira	Urbano	823	0,11	7.483,09	1,16	913	0,1913	174,66
76	352690205000333	Limeira	Urbano	961	0,07	13.732,70	1,16	1.066	0,1913	203,93
77	352690205000334	Limeira	Urbano	1015	0,08	12.687,50	1,16	1.126	0,1913	215,40
78	352690205000335	Limeira	Urbano	1084	0,06	18.069,00	1,16	1.203	0,1913	230,13
79	352690205000336	Limeira	Urbano	1115	0,06	18.588,80	1,16	1.237	0,1913	236,64
80	352690205000337	Limeira	Urbano	46	2,65	17,37	1,16	51	0,1913	9,76
81	352690205000343	Limeira	Urbano	1006	0,14	7.188,86	1,16	1.116	0,1913	213,49
82	352690205000344	Limeira	Urbano	636	0,05	12.719,00	1,16	706	0,1913	135,06
83	352690205000345	Limeira	Urbano	946	0,12	7.883,64	1,16	1.049	0,1913	200,67
84	352690205000347	Limeira	Urbano	1019	0,07	14.552,30	1,16	1.130	0,1913	216,17
85	352690205000348	Limeira	Urbano	606	0,05	12.110,50	1,16	672	0,1913	128,55

\* Número dos polígonos espacializados na Figura 113 que representam os setores censitários.



**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D)										
Número*	Código do Setor	Município	Tipo	População (hab) (2010)	Área dos setores ( $km^2$ )	Densidade Demográfica ( $hab/km^2$ ) (2010)	Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)	População estimada por setor (hab) (2019)	Consumo médio per capita no ano de 2019 ( $m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )*	$DH_{pop}$ ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ )
86	352690205000349	Limeira	Urbano	650	0,05	13.003,70	1,16	721	0,1913	137,93
87	352690205000350	Limeira	Urbano	485	0,06	8.089,56	1,16	538	0,1913	102,92
88	352690205000351	Limeira	Urbano	178	2,60	68,56	1,16	197	0,1913	37,69
89	352690205000352	Limeira	Urbano	107	1,17	91,47	1,16	119	0,1913	22,76
90	352690205000357	Limeira	Urbano	4	1,97	2,03	1,16	4	0,1913	0,77
91	352690205000362	Limeira	Urbano	38	0,01	3.760,01	1,16	42	0,1913	8,03
92	352690205000363	Limeira	Urbano	657	0,17	3.865,47	1,16	729	0,1913	139,46
93	352690205000364	Limeira	Urbano	1062	0,15	7.077,15	1,16	1.178	0,1913	225,35
94	352690205000365	Limeira	Urbano	616	0,16	3.851,15	1,16	683	0,1913	130,66
95	352690205000370	Limeira	Urbano	123	0,08	1.538,35	1,16	136	0,1913	26,02
96	352690205000383	Limeira	Rural	23	4,30	5,33	1,16	26	0,1913	4,97
97	352690205000384	Limeira	Rural	167	10,61	15,75	1,16	185	0,1913	35,39
98	352690205000385	Limeira	Rural	151	9,50	15,94	1,16	168	0,1913	32,14
99	352690205000386	Limeira	Rural	127	7,65	16,62	1,16	141	0,1913	26,97
100	352690205000387	Limeira	Rural	385	12,06	31,94	1,16	427	0,1913	81,69
101	352690205000388	Limeira	Rural	15	8,15	1,82	1,16	17	0,1913	3,25
102	352690205000403	Limeira	Urbano	445	0,25	1.780,56	1,16	494	0,1913	94,50
103	352690205000404	Limeira	Urbano	441	0,14	3.152,96	1,16	489	0,1913	93,55
104	352690205000405	Limeira	Urbano	577	0,15	3.848,29	1,16	640	0,1913	122,43
105	352690205000406	Limeira	Urbano	502	0,13	3.862,02	1,16	557	0,1913	106,55
106	352690205000407	Limeira	Urbano	455	0,10	4.551,11	1,16	505	0,1913	96,61
107	352690205000433	Limeira	Urbano	1202	1,81	663,86	1,16	1.333	0,1913	255,00
108	352690205000434	Limeira	Urbano	436	1,97	221,50	1,16	484	0,1913	92,59
109	352690205000439	Limeira	Urbano	318	0,06	5.305,38	1,16	353	0,1913	67,53
110	352690205000440	Limeira	Urbano	666	0,05	13.321,60	1,16	739	0,1913	141,37
111	352690205000441	Limeira	Urbano	741	0,06	12.352,10	1,16	822	0,1913	157,25
112	352690205000442	Limeira	Urbano	575	0,06	9.577,27	1,16	638	0,1913	122,05
113	352690205000443	Limeira	Urbano	429	5,60	76,53	1,16	476	0,1913	91,06

\* Número dos polígonos espacializados na Figura 113 que representam os setores censitários.

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

<b>Sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Coqueiros - SB(D)</b>										
<b>Número*</b>	<b>Código do Setor</b>	<b>Município</b>	<b>Tipo</b>	<b>População (hab) (2010)</b>	<b>Área dos setores (<math>km^2</math>)</b>	<b>Densidade Demográfica (<math>hab/km^2</math>) (2010)</b>	<b>Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)</b>	<b>População estimada por setor (hab) (2019)</b>	<b>Consumo médio per capita no ano de 2019 (<math>m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}</math>)*</b>	<b><math>DH_{pop}</math> (<math>m^3 \text{ dia}^{-1}</math>)</b>
114	352690205000444	Limeira	Urbano	492	0,19	2.591,34	1,16	546	0,1913	104,45
115	352690205000445	Limeira	Urbano	407	0,61	667,34	1,16	452	0,1913	86,47
116	352690205000446	Limeira	Urbano	440	0,05	8.809,86	1,16	488	0,1913	93,35
117	352690205000447	Limeira	Urbano	565	0,23	2.454,75	1,16	627	0,1913	119,95
118	352690205000448	Limeira	Urbano	216	0,17	1.269,37	1,16	240	0,1913	45,91
119	352690205000449	Limeira	Urbano	433	0,04	10.820,30	1,16	480	0,1913	91,82
120	352690205000452	Limeira	Urbano	399	0,05	7.978,14	1,16	443	0,1913	84,75
121	352690205000453	Limeira	Urbano	355	0,08	4.435,44	1,16	394	0,1913	75,37
122	352690205000454	Limeira	Urbano	405	0,16	2.529,21	1,16	449	0,1913	85,89
123	352690205000455	Limeira	Urbano	362	0,07	5.175,51	1,16	402	0,1913	76,90
124	352690205000456	Limeira	Urbano	70	0,09	778,68	1,16	78	0,1913	14,92
125	352690205000460	Limeira	Urbano	58	5,54	10,48	1,16	64	0,1913	12,24
126	352690205000462	Limeira	Urbano	-	0,66	0	1,16	-	0,1913	-
127	352690205000486	Limeira	Rural	55	0,22	249,34	1,16	61	0,1913	11,67
128	352690205000509	Limeira	Rural	7	1,41	5,14	1,16	8	0,1913	1,53
									<b>Total</b>	14.173,35
<b>Sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças - SB(E)</b>										
1	350190505000059	Amparo	Rural	215	12,45	17,31	1,03	236	0,1797	42,41
2	350190505000060	Amparo	Rural	96	7,63	12,56	1,03	105	0,1797	18,87
3	350190505000084	Amparo	Urbano	264	0,17	1574,67	1,03	290	0,1797	52,11
4	355495305000011	Tuiuti	Rural	1	0,10	11,63	1,69	1	0,098	0,10
5	355495305000014	Tuiuti	Rural	1	0,02	34,23	1,69	1	0,098	0,10
									<b>Total</b>	113,59
<b>Sub-bacia hidrográfica do Afluente do Ribeirão Jacaré - SB(F)</b>										
1	352340405000113	Itatiba	Rural	128	3,51	36,39	2,12	155	0,1528	23,68
2	352340405000114	Itatiba	Rural	189	1,93	97,66	2,12	228	0,1528	34,84
3	352340405000115	Itatiba	Rural	-	-	40,49	2,12	-	0,1528	-
4	352340405000116	Itatiba	Rural	234	8,62	27,17	2,12	283	0,1528	43,24

\* Número dos polígonos espacializados nas Figuras 113 a 114 que representam os setores censitários.

**Tabela 50** - Informações dos setores censitários e a  $DH_{pop}$  ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ ) para cada sub-bacia hidrográfica estudada (Continuação).

<b>Sub-bacia hidrográfica do Afluentes do Ribeirão Jacaré - SB(F)</b>										
<b>Número*</b>	<b>Código do Setor</b>	<b>Município</b>	<b>Tipo</b>	<b>População (hab) (2010)</b>	<b>Área dos setores (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>) (2010)</b>	<b>Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (%) (2010-2019)</b>	<b>População estimada por setor (hab) (2019)</b>	<b>Consumo médio per capita no ano de 2019 (<math>m^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}</math>)*</b>	<b><math>DH_{pop}</math> (<math>m^3 \text{ dia}^{-1}</math>)</b>
5	352340405000118	Itatiba	Rural	136	5,19	26,12	2,12	164	0,1528	25,06
6	352340405000165	Itatiba	Rural	262	0,50	527,25	2,12	316	0,1528	48,28
7	352730605000036	Louveira	Rural	-	-	38,19	3,10	-	0,1671	-
8	352730605000051	Louveira	Urbano	1	0,01	100,77	3,10	1	0,1671	0,17
9	355670105000080	Vinhedo	Urbano	7	0,06	107,69	2,40	9	0,202	1,82
									<b>Total</b>	177,09
<b>Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Folha Larga - SB(G)</b>										
1	350410705000126	Atibaia	Urbano	124	1,14	108,96	1,34	140	0,1586	22,20
2	350410705000127	Atibaia	Urbano	220	1,34	163,98	1,34	248	0,1586	39,33
3	350410705000128	Atibaia	Rural	2	0,01	184,85	1,34	2	0,1586	0,32
4	350410705000129	Atibaia	Urbano	71	0,12	595,51	1,34	80	0,1586	12,69
5	350410705000197	Atibaia	Rural	-	-	18,25	1,34	-	0,1586	-
6	350410705000198	Atibaia	Rural	30	3,65	8,25	1,34	34	0,1586	5,39
7	350410705000270	Atibaia	Rural	192	2,01	95,55	1,34	216	0,1586	34,26
8	350410705000271	Atibaia	Rural	94	2,22	42,56	1,34	106	0,1586	16,81
9	350410705000272	Atibaia	Rural	-	0,37	-	1,34	-	0,1586	-
10	350410705000273	Atibaia	Urbano	31	0,07	440,87	1,34	35	0,1586	5,55
11	352520105000038	Jarinu	Rural	1	0,03	37,52	2,60	1	0,1701	0,17
									<b>Total</b>	136,72
<b>Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Morte - SB(H)</b>										
1	353240505000008	Nazaré Paulista	Urbano	400	0,11	3.635,70	1,35	451	0,2235	100,80
2	353240505000013	Nazaré Paulista	Urbano	9	0,29	30,01	1,35	10	0,2235	2,24
3	353240505000014	Nazaré Paulista	Urbano	32	1,51	21,32	1,35	36	0,2235	8,05
4	353240505000015	Nazaré Paulista	Urbano	370	6,53	56,59	1,35	417	0,2235	93,20
5	353240505000016	Nazaré Paulista	Urbano	1	0,06	19,84	1,35	1	0,2235	0,22
6	353240505000040	Nazaré Paulista	Urbano	203	2,03	99,86	1,35	229	0,2235	51,18
									<b>Total</b>	255,69

\* Número dos polígonos espacializados nas Figuras 114 a 115 que representam os setores censitários.

## Apêndice D2

**Tabela 51 - Consumo médio per capita de água (l hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) nos anos de 2000 a 2019 nos municípios que abrangem as áreas estudadas.**

Municípios	Consumo médio per capita de água (l hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )*																			
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	-	-	-	-	-	-	171,2	160,1	165,1	-	311,1	152,0	143,4	144,2	141,6	154,2	169,9	169,8	172,7	179,7
2	-	-	-	105,8	129,6	146,8	159,0	174,3	159,3	157,0	148,1	154,7	151,6	143,8	133,8	120,0	135,4	154,3	158,4	158,6
3	-	-	-	-	-	191,0	199,0	199,4	200,9	195,4	194,5	200,8	191,3	223,6	227,4	189,8	193,3	196,5	192,4	198,9
4	-	-	-	-	-	-	-	-	179,8	186,8	187,2	189,8	262,7	281,7	251,1	-	143,5	165,2	160,5	175,4
5	-	-	-	-	-	-	-	159,1	163,7	168,3	182,4	207,1	188,7	178,5	174,3	163,4	182,4	154,6	149,9	151,5
6	-	-	-	-	-	-	-	-	171,1	190,9	-	-	100,0	-	-	-	109,9	108,3	105,6	103,1
7	-	-	173,7	-	156,9	157,7	159,2	-	159,0	160,8	164,1	174,2	172,3	174,4	164,2	149,5	156,2	157,5	156,8	152,8
8	-	-	-	-	-	-	205,0	-	210,1	223,3	202,8	192,7	191,0	199,7	192,1	166,1	171,5	173,8	172,7	170,1
9	204,9	187,2	194,5	189,6	176,9	179,8	180,6	184,3	183,1	182,7	192,2	197,6	203,1	196,8	183,6	171,0	181,2	177,0	178,3	191,3
10	-	-	-	-	-	-	-	166,9	168,6	-	164,3	-	200,3	159,0	136,1	129,7	133,8	136,1	150,6	167,1
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157,2	173,0	164,9	165,6	166,8	448,6	183,7	183,7	183,1
12	-	-	-	-	-	-	141,2	-	144,0	144,3	178,3	225,2	234,1	240,0	228,1	191,6	194,4	209,2	209,0	223,5
13	215,2	179,0	162,0	164,1	164,0	176,3	183,7	200,0	203,0	201,1	205,7	215,1	219,2	215,3	202,5	187,8	189,4	227,0	197,9	199,9
14	166,6	187,6	194,5	177,7	172,3	171,8	180,0	170,4	179,4	229,0	235,6	206,0	181,6	179,9	178,6	167,7	169,6	171,0	236,0	196,6
15	-	-	-	-	-	-	-	-	181,5	189,9	184,3	148,4	171,0	168,4	167,3	148,3	148,4	145,4	144,8	150,5
16	-	-	-	-	-	-	173,9	-	175,2	177,1	175,5	175,2	189,6	176,2	175,5	162,6	166,9	163,4	162,8	176,4
17	-	-	-	-	-	-	-	-	188,4	312,1	186,5	171,0	161,8	152,3	148,9	142,1	150,5	156,5	167,5	176,7
18	-	-	-	-	-	-	-	-	157,1	158,0	158,5	-	-	49,6	182,0	154,2	158,1	159,8	156,9	158,5
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166,7	204,1	-	127,8	105,3	98,6	98,0
20	-	190,4	196,8	207,4	-	186,7	193,5	193,2	183,3	185,2	209,9	241,0	249,2	235,4	197,8	189,1	198,8	203,8	198,7	202,0
1 - Amparo							8 - Jarinu							15 - Santa Gertrudes						
2 - Atibaia							9 - Limeira							16 - Santa Maria da Serra						
3 - Brotas							10 - Louveira							17 - São Pedro						
4 - Cordeirópolis							11 - Mineiros do Tietê							18 - Torrinha						
5 - Dois Córregos							12 - Nazaré Paulista							19 - Tuiuti						
6 - Iracemápolis							13 - Piracicaba							20 - Vinhedo						
7 - Itatiba							14 - Rio Claro													

\*Dados coletados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

## **APÊNDICE E**

**E1 - Geolocalização dos pontos de captação de água, bem como os valores da  $DH_i$  nas sub-bacias hidrográficas**

## Apêndice E1

**Tabela 52** - Informações dos pontos de captação de água e a demanda hídrica do setor industrial.

Sub-bacia	Pontos	X (m)	Y (m)	Tipo de Captação	Data de Publicação da Outorga	Status do Uso	Vazão Outorgada				% do volume consumido com relação a vazão outorgada	DH <sub>i</sub> * (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )
							m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	h dia <sup>-1</sup>	dia mês <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>		
SB(A)	1	774060,90	7518150,98	Subterrânea	-	Isento de Cobrança	5,00	1	30	5,00	100	5,00
	2	772260,08	7513662,97	Subterrânea	16/12/2011	Ativo	35,00	5,5	30	192,50	100	192,50
	<b>Total</b>											<b>197,50</b>
SB(C)	1	238399,91	7506740,12	Superficial	21/08/2004	Ativo	2,00	15	30	30,00	100	30,00
	2	241580,07	7500830,07	Subterrânea	07/02/2015	Ativo	10,00	8	30	80,00	15,68	12,54
	3	239873,12	7500291,82	Superficial	09/02/2018	Ativo	1.224,00	1	30	1.224,00	79,99 (2019)	16.737,06 (2019)
	4	239873,11	7500241,96	Superficial	09/02/2018	Ativo	500,00	1	30	500,00		
	5	239973,13	7500141,78	Superficial	09/02/2018	Ativo	16.800,00	1	30	16.800,00	82,55	17.272,40
	6	238073,23	7498641,89	Superficial	09/02/2018	Ativo	2.400,00	1	30	2.400,00	(2020)	(2020)
<b>Total</b>											<b>16.779,60 (2019) 17.314,94 (2020)</b>	
SB(D)	1	250070,04	7502990,03	Subterrânea	04/11/2016	Ativo	4,50	9	30	40,50	1,36	0,55
	2	250909,89	7502281,99	Subterrânea	18/03/2015	Ativo	1,90	10	30	19,00	100	19,00
	3	245750,12	7501330,05	Subterrânea	25/07/2015	Isento de Cobrança	0,80	10	22	8,00	100	8,00
	4	245150,14	7498599,99	Subterrânea	14/11/2015	Isento de Cobrança	30,00	0,4	30	12,00	100	12,00
	5	244455,93	7498380,99	Subterrânea	01/10/2011	Ativo	7,31	12,31	30	89,99	100	89,99
	6	244356,75	7498245,45	Subterrânea	25/11/2017	Isento de Cobrança	5,50	1	30	5,50	100	5,50
	7	245347,07	7497326,01	Subterrânea	20/04/2016	Ativo	11,50	8	30	92,00	100	92,00
	8	242202,55	7496094,89	Subterrânea	29/08/2019	Ativo	600,00	1	30	600,00	100 (2019) 66,76 (2020)	600,00 (2019) 400,55 (2020)
	9	242610,09	7493729,99	Subterrânea	22/10/2014	Isento de Cobrança	4,90	1	30	4,90	100	4,90
<b>Total</b>											<b>831,94 (2019) 632,49 (2020)</b>	
SB(F)	1	308007,32	7449762,12	Subterrânea	23/08/2017	Isento de Cobrança	3,50	1	30	3,50	100	3,50
	2	309016,12	7450138,67	Subterrânea	24/10/2018	Isento de Cobrança	8,00	1	30	8,00	100	8,00
	3	309507,90	7450223,69	Subterrânea	18/08/2018	Ativo	24,00	1	30	24,00	83,33	50,00
	4	310158,02	7450013,50	Subterrânea	18/08/2018	Ativo	36,00	1	22	36,00		
<b>Total</b>											<b>61,50</b>	

\* Corresponde a DH<sub>i</sub> considerando todos os pontos de captações de água para uso industrial existentes nas sub-bacias, levando em consideração a data de publicação das outorgas e o período analisado (maio/2019 a abril/2020).

## **APÊNDICE F**

**F1 - Vazões outorgadas referente as captações superficiais e subterrâneas existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas**

## Apêndice F1

**Tabela 53 - Vazões consumidas (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) referente as captações superficiais e subterrâneas existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas.**

<b>Vazões consumidas (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) nas sub-bacias hidrográficas estudadas</b>													
<b>Sub-bacias</b>	<b>Tipos de captações por setores</b>	<b>Mai/2019</b>	<b>Jun/2019</b>	<b>Jul/2019</b>	<b>Ago/2019</b>	<b>Set/2019</b>	<b>Out/2019</b>	<b>Nov/2019</b>	<b>Dez/2019</b>	<b>Jan/2020</b>	<b>Fev/2020</b>	<b>Mar/2020</b>	<b>Abr/2020</b>
SB(A)	Cap. Sub. (Setor Industrial)	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50
SB(B)	Cap. Sup. (Setor Agrícola)	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
SB(C)	Cap. Sub. (Setor Populacional)	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50	106,50
	Cap. Sup. (Setor Populacional)	8.970,86	8.970,86	8.970,86	8.970,86	8.970,86	8.970,86	8.970,86	8.970,86	9.094,48	9.094,48	9.094,48	9.094,48
	Cap. Sub. (Setor Industrial)	16.767,06	16.767,06	16.767,06	16.767,06	16.767,06	16.767,06	16.767,06	16.767,06	17.302,40	17.302,40	17.302,40	17.302,40
	Cap. Sup. (Setor Industrial)	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54
SB(D)	Cap. Sub. (Setor Agrícola)	1.476,00	1.501,00	1.501,00	1.573,00	1.573,00	1.573,00	1.573,00	1.573,00	1.573,00	1.573,00	1.585,00	1.585,00
	Cap. Sup. (Setor Agrícola)	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50
	Cap. Sub. (Setor Pecuário)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	Cap. Sub. (Setor Populacional)	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56	870,56
	Cap. Sup. (Setor Populacional)	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
	Cap. Sub. (Setor Industrial)	231,94	231,94	231,94	831,94	831,94	831,94	831,94	831,94	831,94	632,49	632,49	632,49
SB(E)	Cap. Sub. (Setor Agrícola)	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15	21,15
	Cap. Sub. (Setor Populacional)	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52	143,52
SB(F)	Cap. Sub. (Setor Pecuário)	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10
	Cap. Sub. (Setor Populacional)	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80	140,80
	Cap. Sub. (Setor Industrial)	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50

Cap. Sub.: Captações Subterrâneas Cap. Sup.: Captações Superficiais.



**Tabela 53 - Vazões consumidas (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) referente as captações superficiais e subterrâneas existentes nas sub-bacias hidrográficas estudadas (Continuação).**

<b>Vazões consumidas (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) nas sub-bacias hidrográficas estudadas</b>													
<b>Sub-bacias</b>	<b>Tipos de captações por setores</b>	<b>Mai/2019</b>	<b>Jun/2019</b>	<b>Jul/2019</b>	<b>Ago/2019</b>	<b>Set/2019</b>	<b>Out/2019</b>	<b>Nov/2019</b>	<b>Dez/2019</b>	<b>Jan/2020</b>	<b>Fev/2020</b>	<b>Mar/2020</b>	<b>Abr/2020</b>
SB(G)	Cap. Sub. (Setor Agrícola)	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20	152,20
	Cap. Sup. (Setor Agrícola)	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60	2.814,60
	Cap. Sub. (Setor Populacional)	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
	Cap. Sup. (Setor Populacional)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
SB(H)	Cap. Sub. (Setor Pecuário)	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77

Cap. Sub.: Captações Subterrâneas Cap. Sup.: Captações Superficiais.