

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

Bruno Silva Cavalcante

**Uso e Ocupação do Solo no Sistema Cantareira:** expansão urbana e efeitos em sistemas-  
hidrogeomorfológicos.

São Paulo  
2022

Bruno Silva Cavalcante

**Uso e Ocupação do Solo no Sistema Cantareira:** expansão urbana e efeitos em sistemas-hidrogeomorfológicos.

Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Planejamento Ambiental

Orientador: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Cleide Rodrigues

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Cu	<p>Cavalcante, Bruno</p> <p>Uso e Ocupação do Solo no Sistema Cantareira: expansão urbana e efeitos em sistemas-hidrogeomorfológicos. / Bruno Cavalcante; orientadora Cleide Rodrigues - São Paulo, 2022. 53 f.</p> <p>TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.</p> <p>1. Uso e Ocupação do Solo. 2. Expansão Urbana. 3. Sistema Cantareira. I. Rodrigues, Cleide, orient. II. Título.</p>
----	--

Dedico este trabalho a todos aqueles que acreditaram em mim, com amor, admiração e gratidão por seu apoio, carinho e presença ao longo do período de elaboração deste trabalho.

Ko lati sode ninu titu laisi ofa.  
“Não adianta atirar sem flecha.”

(Provérbio Yorub )

## RESUMO

CAVALCANTE, Bruno Silva. **Uso e Ocupação do Solo no Sistema Cantareira**: expansão urbana e efeitos em sistemas hidrogeomorfológicos. 2022. 53 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Este estudo apresenta a elaboração de um mapa de uso e ocupação do solo do Sistema Cantareira para identificar a expansão urbana ocorrida de 2003 a 2021 nas bacias hidrográficas que o compõem. A composição de legenda, parâmetros e categorias utilizadas no mapa são baseadas no diagnóstico ambiental do Sistema Cantareira elaborado pelo Instituto Socioambiental (2007) e na metodologia da Antropogeomorfologia, que agrega importantes conteúdos de uso da terra para diagnósticos sobre de processos hidrogeomorfológicos. A análise a partir dessa abordagem que considera a ação antrópica variável entre os agentes que impactam nas formas, processos e materiais superficiais da área de estudo, permite avaliar como as intervenções humanas impactam diretamente os sistemas hidrogeomorfológicos que compõe o maior sistema de abastecimento hídrico de São Paulo. Por meio de técnicas de geoprocessamento, tratamento, cruzamento e coleta de dados espaciais, como proposto por Crosta (1992), foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo do Sistema Cantareira no ano de 2021, cujo o objetivo foi o de caracterizar o local, demonstrar o processo de expansão urbana em comparação ao mapeamento sobre o ano de 2003 e, também, servir de referência e instrumento auxiliar na elaboração de estudos voltados ao Sistema Cantareira.

**Palavras-chave:** Uso e Ocupação do Solo. Expansão Urbana. Sistema Cantareira.

## **ABSTRACT**

CAVALCANTE, Bruno Silva. **Uso e Ocupação do Solo no Sistema Cantareira**: expansão urbana e efeitos em sistemas hidrogeomorfológicos. 2022. 53 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

This study presents the development of a map of land use and occupation of the Cantareira System to identify the urban expansion occurred from 2003 to 2021 in the watershed which compose it. The composition of legend, parameters and categories used in the map are based on the environmental diagnosis of the cantareira system prepared by Instituto Socioambiental (2007) and the methodology of Anthropogeomorphology, which aggregates important land use content for diagnosis of hydrogeomorphological processes. The analysis from this approach considers the variable human action among the agents that impact the forms, processes and surface materials of the study area, allows us to evaluate how human interventions directly impact the hydrogeomorphological systems that make up the largest water supply system of Sao Paulo. Through geoprocessing techniques, treatment, crossing and spatial data collection, as proposed by Crosta (1992), a map of land use and occupation of the Cantareira System was prepared in 2021, whose objective was to characterize the site, demonstrate the process of urban expansion compared to the mapping on the year 2003 and also serve as a reference and assist instrument in the preparation of studies focused on the Cantareira System.

**Keywords:** Land Use and Occupation. Urban expansion. Cantareira System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa de Uso do Solo 2003 (ISA)	14
Figura 2	Ilustração esquemática do Sistema Cantareira	18
Figura 3	Variação do nível da água nos reservatórios	19
Figura 4	Localização do Sistema Cantareira	22
Figura 5	Delimitação das bacias hidrográficas do Sistema Cantareira	23
Figura 6	Unidades de Conservação sobre o Sistema Cantareira	24
Figura 7	Barragem de Paiva Castro em construção	26
Figura 8	Gráfico de Volume de Água Bruta do Sistema Cantareira	27
Figura 9	Praças de pedágio da Rodovia Fernão Dias (em Mairiporã)	29
Figura 10	Mapa de produção hídrica do Sistema Cantareira	36
Figura 11	Esquema do procedimento de classificação supervisionada	39
Figura 12	Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2021	40
Figura 13	Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Atibainha)	45
Figura 14	Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Cachoeira)	46
Figura 15	Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Jacareí)	47
Figura 16	Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Jaguari)	48
Figura 17	Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Juquery)	49



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Uso e ocupação do solo 2003 e 2021	41
Tabela 2	Modalidades de uso urbano 2003 e 2021	42
Tabela 3	Modalidades de uso urbano 2021 por bacia hidrográfica	43
Tabela 4	Percentual de uso urbano 2021 por modalidade e bacia hidrográfica	43
Tabela 5	Áreas de uso urbano 2003 e 2021 por bacia hidrográfica	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Área de Proteção Ambiental
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
Emplasa	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISA	Instituto Socioambiental
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PES	Parque Estadual
RAE	Repartição de Águas e Esgotos
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Oscip	Organização da Sociedade Civil de Interesse Público

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS	12
1.2 JUSTIFICATIVA	15
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>22</b>
2.1 BREVE HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA	25
2.2 SOBRE A CRISE DE ABASTECIMENTO	26
2.3 CONTEXTO FÍSICO-AMBIENTAL	30
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>32</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS DA CIÊNCIA GEOMORFOLÓGICA E BASES CONCEITUAIS	32
3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANTROPOGEOMORFOLOGIA	33
3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AÇÃO ANTRÓPICA NO SISTEMA CANTAREIRA	34
3.2 PROCEDIMENTOS CARTOGRÁFICOS	38
<b>4 RESULTADOS E ANALISE</b>	<b>41</b>
4.1 OBSERVAÇÕES SOBRE A EXPANSÃO URBANA POR BACIA HIDROGRÁFICA	44
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>50</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Piveli (2005) a água constitui-se no mais importante recurso natural por ser um elemento fundamental a vida, bem como para todas as atividades desenvolvidas pelos humanos. Portanto, a garantia de fontes de água que assegurem sua quantidade e qualidade para os diversos usos é tema indispensável a qualquer comunidade. Dessa forma, a segurança hídrica constitui-se em tema de suma importância e comumente relacionada a ideia de sustentabilidade, na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/1997), por exemplo, o artigo 2º prevê a necessidade de:

“I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”

Neste sentido, para alertar sobre as condições de preservação que se encontram os corpos d'água do principal sistema produtor de água para a Região Metropolitana de São Paulo o Instituto Socioambiental (ISA) lançou em 2006 um diagnóstico socioambiental do Sistema Cantareira chamado, Cantareira: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo.

Este estudo ganhou destaque após a crise hídrica ocorrida em 2014, pois já apontava para as sucessivas quedas que ocorreram nos níveis dos reservatórios, por conta de periódicas estiagens e pela crescente ocupação humana nas áreas das cinco bacias formadoras do sistema, considerando este processo de ocupação desordenado e ameaçador a existência dos corpos d'água na região (ISA, 2006).

Dessa forma, a partir de uma abordagem sistêmica sobre o meio físico que considera a ação antrópica como sendo uma das variáveis entre os agentes que impactam diretamente a produção de água bruta em sistemas hidrogeomorfológicos, este estudo trata do processo de uso e ocupação do solo nas áreas das bacias hidrográficas que compõem o Sistema Cantareira.

### 1.1 Objetivos

O objetivo central é identificar as mudanças de uso e ocupação do solo ocorridas nas bacias hidrográficas que compõem o Sistema Cantareira. Segundo a Sabesp (2022) a Região Metropolitana de São Paulo possui um sistema integrado de 7 sistemas de abastecimento: Alto Tietê, Guarapiranga, Cotia, Rio Grande, Rio Claro, São Lourenço e Cantareira. Dentre estes o

Sistema Cantareira é o produtor de água mais importante, pois atende cerca de 9,8 milhões de pessoas das Zonas Norte, Central e partes das Zonas Leste e Oeste da capital, bem como os municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba e São Caetano do Sul, além de parte dos municípios de Guarulhos, Barueri, Taboão da Serra e Santo André, representando aproximadamente 46% do volume de água tratada e destinada a Grande São Paulo.

Ainda conforme a companhia de saneamento, o Sistema Cantareira é composto por 6 represas, que juntas possuem uma capacidade de armazenamento de quase 1 trilhão de litros de água, sendo que as represas Jaguari, Jacareí, Cachoeira e Atibainha estão localizadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, enquanto que as represas Paiva Castro e Águas Claras localizam-se na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Estas represas são interligadas por túneis e canais, e contam com uma estação elevatória com capacidade para impulsionar 33 m<sup>3</sup>/s de água em um desnível de aproximadamente de 120 metros e o tratamento da água a ser fornecida é feito na estação de tratamento do Guaraú; a maior instalação de tratamento da Grande São Paulo.

De acordo com a ANA (2021), em meados de 2013, com o prolongamento da estiagem, o Sistema Cantareira passou a apresentar baixas na reposição hídrica evidenciando sinais de esgotamento. Nos anos subsequentes, com a continuidade nas baixas pluviométricas, ficou evidente a existência de deficiências na gestão dos recursos hídricos para abastecimento da RMSP, as vazões afluentes do principal sistema de abastecimento da região, o sistema Cantareira, foram bem menores, a ponto de ficarem abaixo do pior ano da série histórica de monitoramento.

Desde então a oscilação dos reservatórios do sistema atinge limites críticos apresentando sinais de esgotamento pela dificuldade na reposição de níveis considerados seguros para garantia do abastecimento e operação dos sistemas de captação, armazenamento tratamento. De acordo com Rodrigues e Villela (2016) a crise na disponibilidade de água bruta e do consumo de água caracteriza-se como uma faceta de uma crise geral ligada a água na RMSP. Para os autores esta crise de abastecimento é parte de uma crise mais ampla, que perdura há décadas, percorrendo desde uma crise sanitária mais ligada a saúde, à questão de riscos como enxurradas e enchentes, entre outros aspectos relacionados ao uso e gestão dos recursos hídricos no Estado de São Paulo.

Rodrigues e Villela (2016) afirmam a escassez na disponibilidade de água nos reservatórios é proveniente de variáveis ligadas a gestão dos recursos hídricos, bem como de variáveis de ordem física as bacias hidrográficas geradoras de água bruta dos sistemas de



Para identificação da expansão urbana foi utilizada imagem de satélite Landsat 8 no ano de 2021, com base em procedimentos propostos por Crosta (1992) para análise espacial a partir de imagens de satélite. Os resultados obtidos pelo mapa de uso e ocupação do solo de 2021 foram comparados ao mapa referente ao uso e ocupação do solo no ano de 2003, elaborado pelo Instituto Socioambiental (ISA) em 2006, para delimitar a expansão da mancha urbana ocorrida desde o diagnóstico ambiental elaborado por esta Oscip.

A análise da expansão urbana ocorrida de 2003 a 2021 considera a existência de uma relação de dependência entre diferentes atributos que compõem um sistema ambiental que pode ser desestruturado frente a ação humana, isto é, considera uma abordagem na qual um conjunto de objetos ou atributos e suas relações encontram-se organizados para executar uma função particular<sup>1</sup>.

Esta abordagem está baseada a estudos voltados ao dimensionamento do impacto da variável ação antrópica sobre as formas, processos e, também, materiais superficiais. O campo de pesquisa voltado a esta temática é a Antropogeomorfologia, como sugere Nir (1982).

Como o objetivo específico foi a produção de mapa de Uso e Ocupação do Solo para identificação e análise da expansão urbana em relação a um estudo pretérito, este apresenta as áreas de maiores alterações provocadas pelo homem, bem como a distinção entre variações ocorridas no tempo devido à evolução paisagem neste período de dezoito anos.

## **1.2 Justificativa**

A problemática acerca dos impactos da urbanização sobre o meio físico mostra-se de suma relevância para identificar e compreender como as intervenções antrópicas alteram a paisagem e o equilíbrio dinâmico de determinados sistemas.

Nir (1983) denomina de “Antropogeomorfologia” a ciência que reconhece a atividade humana como intervenção no meio físico. Em sua obra trata a utilização da abordagem sistêmica na antropogeomorfologia, considerando os efeitos da ação humana sobre a natureza e as suas relações com a geomorfologia como o desmatamento, a agricultura, a mineração, a construção de estradas e a urbanização; por exemplo, o autor aponta que o desmatamento pode causar resistência do solo à ação da água.

A análise do uso e ocupação do solo consiste em buscar conhecer a forma com que área de interesse é utilizada, permitindo uma caracterização da evolução das interações

---

<sup>1</sup>. Sugere-se aqui a definição de sistema proposta por Thornes e Brunsden (CHRISTOFOLETTI, 1979)

antrópicas com o meio ambiente ao longo do tempo, se constituindo como uma representação espacial dessas interações quando confrontado dois ou mais marcos temporais.

Esse recurso encontra-se em metodologias como a da *landscape ecology*, geossistemas, antropogeomorfologia, fragilidade, dentre outras que inserem as atividades humanas sobre a superfície, e pode ser usado como suporte às decisões de planejamento e ao desenvolvimento sustentável. Na geomorfologia, alguns autores dedicaram-se a formular e testar alguns procedimentos, categorias e parâmetros para compreensão dos efeitos da ação antrópica sobre o meio físico.

A partir da caracterização do uso do solo pode-se, por exemplo, identificar geoindicadores como parâmetros de degradação, como fez Soares (2008) que, para subsidiar a avaliação da degradação ambiental do Sistema Cantareira, optou por desenvolver e relacionar dois mapas de uso do solo, por meio de foto interpretação de fotografias aéreas de 1962 e 2000. A partir da análise destes mapas foi possível entender o processo de evolução na ocupação da área e mapear os indicadores de degradação tais como sulcos, ravinas, solo exposto e movimento de massa.

Ainda sobre a utilização do uso e ocupação do solo, Silva (2005) por meio deste recurso, pôde reconstituir a história do uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Guarivutuva, identificando geoindicadores significantes sobre a magnitude das ações diretas da urbanização sobre aquele sistema hidrogeomorfológico.

No que refere-se a área de estudo, o Sistema Cantareira é composto basicamente de quatro reservatórios, situados em costas decrescentes (Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro, interligado por túneis e canais com bombeamento (na Estação Elevatória de Santa Inês) para a estação de tratamento do Guaraú, possibilitando assim a captação e abastecimento hídrico a cerca de 9,8 milhões de pessoas na RMSP.

Por tratar-se do abastecimento da RMSP, para consolidação do sistema extensas áreas antes emersas e seu entorno imediato foram modificadas do ponto de vista da paisagem, houve a alteração da hidrografia local além da fauna e da flora devido ao alagamento das cotas mais baixas alargando planícies, além da remoção de populações e suas atividades em detrimento da implantação de novas estruturas e formas de uso do entorno das represas.

Do ponto de vista geomorfológico as transformações apresentam-se mais acentuadas. Ao estudar a geomorfologia da área das barragens do Alto Jaguari na década de 70, Ab'Saber (1973) destacou o ato de que neste processo as variações do nível d'água contribuem para a formação de praias lacustres, à sedimentação significativa de sedimentos de baixa



granulometria no fundo, ao alagamento e mudança na dinâmica hídrica dos cursos fluviais tributários, entre outras modificações da dinâmica natural local.

A interferência humana sobre sistemas físicos não modifica simplesmente o relevo, mas modifica, sobretudo, a cobertura pedológica local. Esta é fundamental à dinâmica natural por interagir com o clima, vegetação, materiais da superfície, corpos d'água e organismos vivos. A interferência antrópica sobre o solo leva a alteração de sua composição mineral, pedoclima e topografia, além de alterar o tempo dos processos pedológicos naturais pela inserção ou remoção de organismos vivos e/ou materiais (GOUDIE, 1990)

Para além do impacto direto da construção dos reservatórios há outras intervenções antrópicas importantes sobre a área como, por exemplo, a agricultura, pastagem e o processo de urbanização; sendo este último o foco do presente estudo.

Um relevante estudo acerca dos impactos ambientais decorrentes da expansão urbana foi realizado por Tucci (2002), e neste, destaca que a redução da infiltração da água no solo, o aumento da intensidade e do volume do escoamento superficial da água e o rebaixamento do lençol freático são alterações decorrentes da alteração no uso e cobertura do solo que impactam diretamente o ciclo hidrológico.

Em análise ao mapa de uso e ocupação do solo do ISA (2007), Rodrigues e Villela (2016) verificam que em 2003, 70% da área dos mananciais do Sistema produtor da Cantareira já observava uso antrópico de diversas modalidades e atribuem ao uso antrópico, principalmente o uso urbano, como sendo de risco potencial a degradação ambiental, pois este uso somado ao tipo de solo e relevo ali existente ameaça a manutenção do balanço hidrológico original, ampliando os componentes da circulação hídrica superficial e diminuindo o tempo de resistência da água no sistema, dentre outros efeitos.



Figura 02 - Ilustração esquemática do Sistema Cantareira. Fonte: <[www.gov.br/ana/pt-br](http://www.gov.br/ana/pt-br)> Acesso em novembro de 2021

A área estudada é impactada pela ação humana significativamente há mais de um século pois, como aponta o diagnóstico do ISA (2007), a ocupação expressiva da área iniciou-se no século XIX com a implantação de lavouras de café, já no início do século seguinte há como atividade predominante na área a pecuária extensiva devido a investimentos em gado pela desvalorização do café e, por fim, na história mais recente da área há, como um dos desdobramentos da consolidação do sistema de abastecimento, a ampliação e implantação de estradas e infraestrutura urbana advindas das novas modalidades de uso e ocupação do solo local como turismo e lazer.





Figura 03 - Exemplo de variação no nível de água dos reservatórios em período de estiagem prolongada. Fonte: Imagens de Satélite Google Earth, acessado em 06/01/2022.

É preciso considerar que a crise de abastecimento da RMSP não está, única e exclusivamente, ligada a maior demanda por água devido ao aumento da população, a mudança no padrão de consumo e a falta de investimentos em captação e reutilização deste recurso, trata-

se, porém, de uma soma de fatores. De acordo com Rodrigues e Villela (2016) para se analisar a disponibilidade de água nos reservatórios é necessário observar, tanto as variáveis naturais da área das bacias hidrográficas geradoras de água bruta considerando a “entrada” de água e o estado de preservação das superfícies repositórias, quanto a as variáveis dependentes da gestão.

As variáveis físicas relacionadas à capacidade de reposição de água nos reservatórios do Sistema Cantareira dão-se pela capacidade local de captar e reter água, essas características são de ordem natural e resultantes da composição do solo, relevo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Entre essas variáveis o uso do solo mostra-se fundamental para compreensão dos processos humanos que se sucederam e sucedem no local de maneira a localizar os processos em andamento pois as intervenções antrópicas modificam não só a paisagem, mas também o seu equilíbrio dinâmico.

A partir da análise evolutiva da área com a confrontação dos mapas de uso e ocupação do solo de diferentes períodos também é possível avaliar como a gestão governamental dá-se sobre a área, associada a outros elementos como investimentos, zoneamento, legislação sobre a área e propostas de preservação e recuperação do ambiente natural local.

No que diz respeito à variável antrópica, Rodrigues et. al (2019) afirmam que:

“[...] trabalhar com a variável antrópica tem estreita conexão com a possibilidade de mudanças de rumos no âmbito do ordenamento territorial e ambiental, seja no sentido de adaptação, prevenção, recuperação, e outras ações relevantes, todas elas dependentes e limitadas pelas esferas sociais, políticas e econômicas (Rodrigues et. al, 2019)

Ainda conforme os autores supracitados, as modificações impressas nos sistemas físicos, decorrentes da urbanização são consideradas de alta magnitude, sendo estes equiparáveis a “catástrofes naturais”. Diante disso, este estudo optou por pesquisar a evolução desta categoria de intervenção antrópica na área de maior relevância para o abastecimento hídrico da Região Metropolitana de São Paulo.

A relevância da temática envolvendo o Sistema Cantareira deve-se por este ser o maior sistema de abastecimento de água da RMSP, pela crise de abastecimento ser um tema de caráter urgente e pela necessidade de repensar os desafios que envolvem a gestão dos recursos hídricos e a preservação das áreas de reposição e captação hídrica.

Dessa forma, considerando as intervenções antrópicas como uma das principais variáveis a influenciar a qualidade e a quantidade de água que a região produz, o estudo se justifica por:

- Tratar de um sistema de abastecimento hídrico de imprescindível relevância para a RMSP;
- Fornecer dados e interpretações para subsidiar discussões científicas acerca da relação entre o antrópico e o natural;
- Produzir recurso teórico e analítico voltados ao planejamento, tendo em vista que demonstra as mudanças em curso na área e aponta para as consequências deste processo.





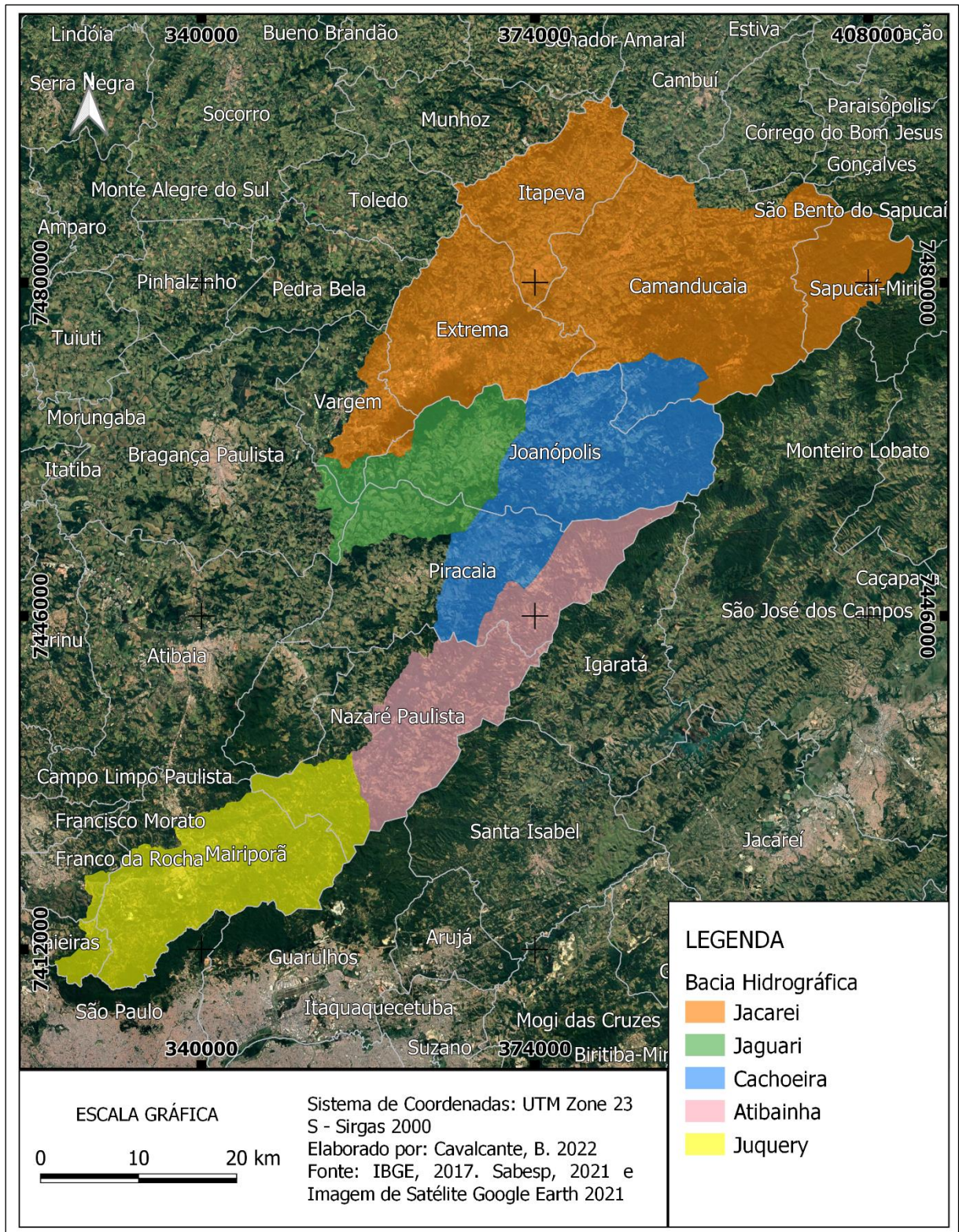


Figura 05 - Delimitação das bacias hidrográficas do Sistema Cantareira

De acordo com o mapa de Unidades de Conservação do Estado de São Paulo (Secretaria Meio Ambiente de São Paulo) e Instituto Estadual de Florestas/MG, a área do Sistema Cantareira é abrangida por sete Unidades de Conservação distribuídas em duas categorias de proteção: são três Áreas de Proteção Ambiental; APA do Rio Piracicaba e Juqueri-



Mirim (Área II), APA Fernão Dias e APA Sistema Cantareira, caracterizadas pelo uso sustentável e quatro Parques Estaduais de São Paulo; PES Itapetininga, PES Itaperaba, PES Juquery e PES Turístico da Cantareira, que preveem a proteção integral das áreas.

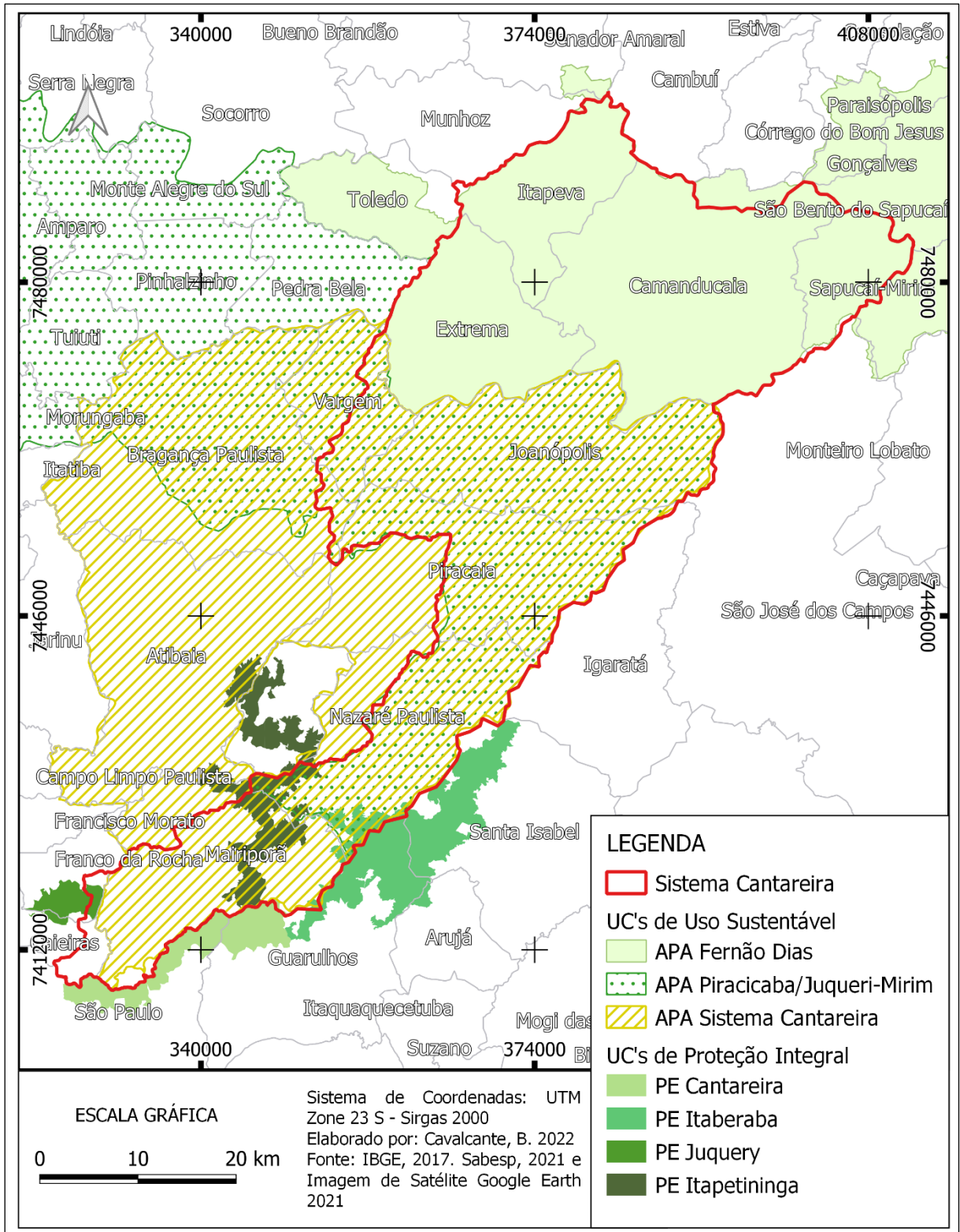


Figura 06 - Unidades de Conservação sobre o Sistema Cantareira.



## 2.1 Breve histórico de uso e ocupação da área

De acordo com Instituto Socioambiental (2007), a região que hoje abriga o Sistema Cantareira era, até o final da década de 1960, predominantemente marcada pelas atividades econômicas agropecuárias, vista principalmente como um lugar de passagem entre Minas Gerais e São Paulo. Com a urbanização crescente de São Paulo e o rápido crescimento demográfico provocado pela industrialização, iniciou-se a busca de mananciais protegidos distantes das áreas urbanizadas e que pudessem suprir a crescente demanda por água.

Segundo Custódio (2016) a adução de águas para abastecimento da capital paulista inicia-se na Serra da Cantareira ainda na década de 70 do século XIX com a criação da Companhia Cantareira de Águas e Esgoto, a primeira empresa a fornecer água para a cidade. Em meados da década de 90, ainda daquele século, por questões financeiras a companhia foi estatizada com a criação da Repartição de Águas e Esgotos (RAE). O sistema foi sucessivamente ampliado e atuou até a década de 1970 quando iniciou-se a adução rio Juqueri dando início ao atual Sistema Cantareira.

O Sistema Cantareira foi inaugurado, efetivamente, em 1973 de forma a incrementar o abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo, a área além de possuir potencial de produção hídrica na época, também estava fora da rota preferencial de expansão urbana por suas características geográficas (ISA, 2006).

Ainda conforme o Instituto Socioambiental, com a implantação do sistema e seus reservatórios, a região sofreu uma mudança significativa, as áreas férteis e planas foram inundadas e todo o ecossistema foi modificado. É possível notar, por exemplo, na foto a seguir o impacto causado na paisagem com o processo de construção de uma das barragens. Grande parte da população acabou migrando para os centros urbanos da região e alguns proprietários e os que permaneceram ao redor dos reservatórios, optaram por desenvolver atividades ligadas ao turismo; neste processo grandes áreas de vegetação nativa foram substituídas por gramados e infraestruturas de lazer. Outra atividade que ganhou muita força na região foi a silvicultura, ocupando extensas áreas. Com a construção de importantes rodovias que atravessam a região abriram o território para o transporte de mercadorias e matérias primas, instalação de indústrias de grande porte e especulação imobiliária.

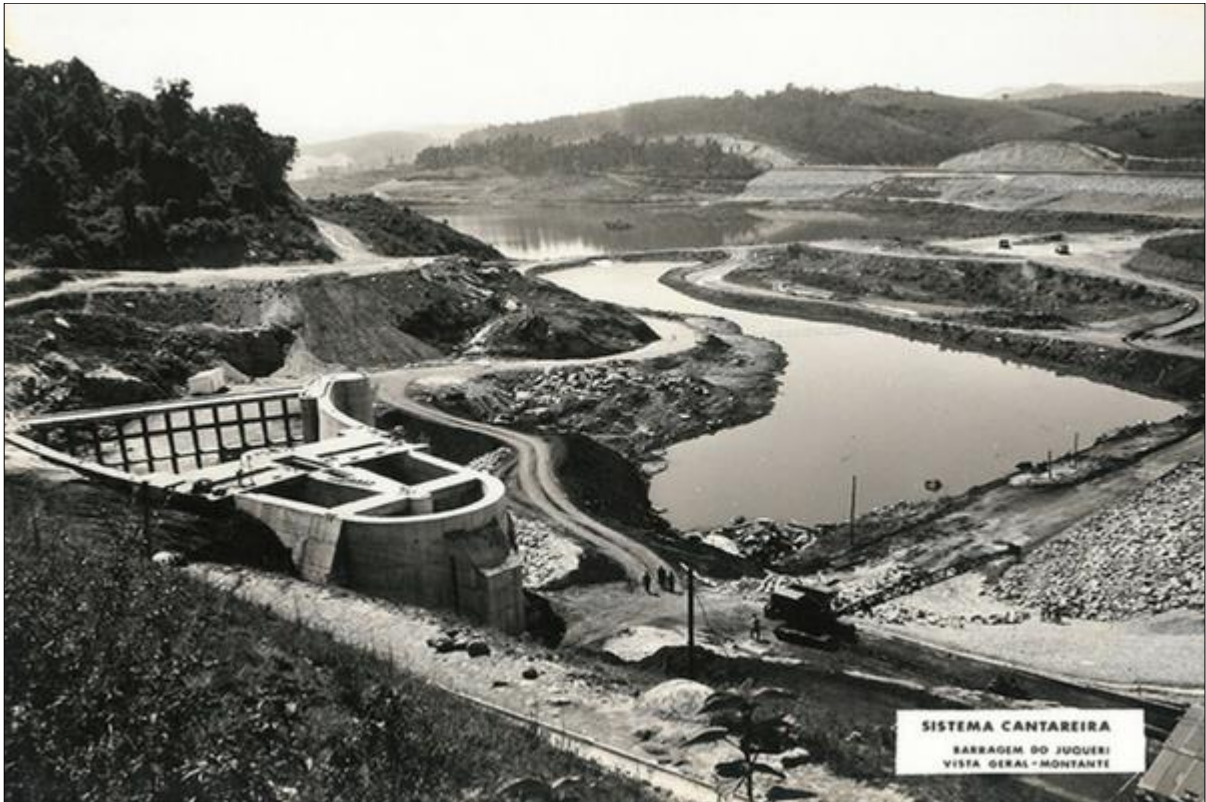


Figura 07 - Barragem de Paiva Castro em construção (entre 1966 e 1973). Fonte: <sabesp.com.br> Acesso em dezembro de 2021.

## 2.2 Sobre a crise de abastecimento

Para Custódio (2016) desde as formas de abastecimento individuais; como utilização de córregos, bicas e fontes que brotavam de algumas vertentes, aos grandes sistemas de abastecimentos interligados por vultosas obras de engenharia, o fornecimento de água, inicialmente para São Paulo hoje para a Grande São Paulo, foi instituído de forma a não oferecer níveis seguros de abastecimento, sendo suas crises periódicas com intensidade variável. Com a existência de crises anteriores, inclusive relacionadas a produção de Água no Sistema Cantareira, o autor classifica a crise de abastecimento de água ocorrida em 2014 como antiga, porém com uma nova roupagem.

É possível notar em análise a variação do volume de água bruta disponível no sistema Cantareira de 2003 a 2015, que o volume útil chegou próximo aos 400 hm<sup>3</sup> de 2003 a 2004 e de 2007 a 2008, os níveis mais seguros foram registrados entre os anos de 2009 a 2012, já no final de 2013 nota-se a crescente queda nos níveis do reservatório.

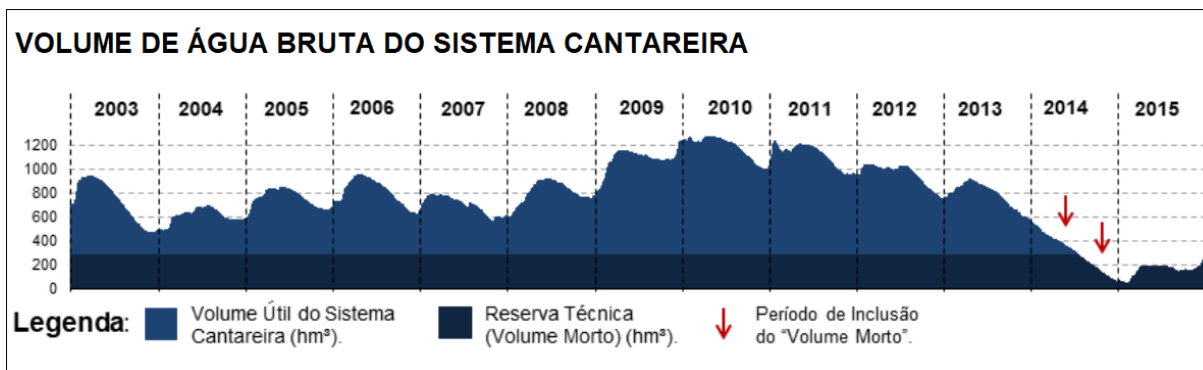


Figura 08 – Gráfico de Volume de Água Bruta do Sistema Cantareira . Fonte: ZAVATTINI e FONTÃO (2019), adaptado.

De maneira sucinta, o Sistema Cantareira começa a vivenciar baixas médias pluviométricas em meados de 2013, com o agravamento da estiagem o sistema apresentou maiores sinais de esgotamento. Os anos de 2014 e 2015 foram decisivos para trazer à tona a problemática que envolve o abastecimento de água da Grande São Paulo, pois, como exposto pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021) neste período as vazões afluentes ao sistema foram bem menores do que a média histórica, registradas desde 1930, inclusive abaixo do pior ano da série, que até então havia sido 1953.

Em 2014, em média o Sistema Cantareira recebeu 23% da média histórica das afluições e em 2015, 50%; desde então o uso da reserva técnica conhecida como "volume morto", que soma cerca de 480 bilhões de litros de água localizados abaixo das estruturas de operação dos reservatórios e acessíveis apenas por bombeamento, tornou-se uma realidade somado a campanhas de racionamento e o acompanhamento dos níveis de água dos reservatórios como notícia diária.

Ao discutir as causas da crise Custódio (2016) desconsidera a estiagem como varável predominante para eclosão da crise atribuindo peso sobretudo ao uso e ocupação do solo, conforme trecho a seguir:

“De fato, a estiagem existe e é uma das mais severas das últimas décadas, mas não se pode dizer que seja uma raridade na história e na geografia da região, e a causa primordial da crise. As causas também são, sem dúvida, o desmatamento ao redor dos reservatórios e a ocupação indevida de áreas de mananciais até mesmo por pastagens (CUSTÓDIO, 2016)”

Tratando a estiagem como fenômeno hidrometeorológico natural que possui variabilidade cíclica de precipitação relativamente previsível, Neto (2016) aponta para causas

da crise como sendo de ordem gerencial. O primeiro posto ressaltado pelo autor é a falta de investimentos para manter a segurança hídrica:

“O Cantareira, concluído em meados de 1980, com produção de 33 m<sup>3</sup>/s quando a RMSP tinha cerca de 14 milhões de habitantes, foi o último grande investimento realizado. Depois apenas mais 5,7 m<sup>3</sup>/s foram acrescentados ao Alto Tietê em 2012, quando já abrigava mais de 21 milhões de habitantes, ou seja, quase nada (NETO, 2016).”

O autor destaca também causas relacionadas ao sistema político-institucional pelo não cumprimento de políticas públicas onde dispositivos legais foram negligenciados nas últimas décadas:

“(...) Constituição Federal de 1988 e Estadual de 1989, (...) Política Estadual de recursos Hídricos (Lei n. 7.663/1991) (...) Política Estadual de Saneamento Ambiental (Lei n. 7.750/1992) foram praticamente ignoradas nesses 23 anos passados (NETO, 2016).”

Ainda sobre fatores climáticos, Rodrigues e Villela (2016) que ao discutirem o escassez de disponibilidade de água na Grande São Paulo concluem que, a questão climática associada com menor disponibilidade hídrica não explica totalmente a falta de água para abastecimento público, pois, a exemplo da análise feita sobre os indicadores quantitativos da estação pluviométrica do DAEE, localizada no município de Vargem/SP, próxima dos reservatórios Jaguari-Jacarei, pôde-se verificar que em sua série histórico-pluviométrica que períodos de estiagem sobre o Sistema Cantareira são de caráter isolados, não havendo dados concretos que recentes que apontem estiagem severa.

Em regra, o fator climático; a estiagem, não é negada, porém configura-se como uma das variáveis a compor a crise hídrica ou até mesmo uma atenuante, tendo em vista que os sistemas produtores de água do estado deveriam estar preparados para eventos climáticos que já são observados há décadas e há projeções que as indicam.

Em atenção aos autores citados, nota-se que a crise é composta por duas principais variáveis, as naturais como, clima, reposição e preservação d'água no sistema, e as variáveis ligadas a gestão como, investimentos e infraestrutura para captação, distribuição e tratamento destas águas. Porém é preciso ressaltar que estas estão diretamente ligadas, pois a variável ambiental agrava-se pela negligência sobre a gestão e preservação dos recursos naturais.





Figura 09 - Praças de pedágio da Rodovia Fernão Dias (em Mairiporã), exemplo de estrutura que compõe a expansão urbana local. Fonte: Google Earth, 2021.

## 2.3 Contexto físico-ambiental

Ab'Saber (1973), ao estudar a geomorfologia da área das barragens do Alto Jaguari, define a área como sendo pertencente ao domínio dos mares de morros, este domínio é o de maior complexidade de padrões de paisagens porque nele existem padrões locais e sub-regionais condicionados principalmente as variáveis tectônicas (escarpas e linhas de falhas) e litológicas (presença de rochas muito diferentes entre si), o que leva a uma variação significativa aos processos erosivos, de intemperismo e de pedogênese pois essa heterogeneidade da maior resistência a erosão em determinados componentes da paisagem.

Sobre as redes hidrográficas da região, Ab'Saber (1973) descreve como sendo drenagens densas nos ramos menores e forma insequente e com alto grau de dentritificação e cabeceiras com adaptações subsequentes com rumos predominantes NW-AW.

Ainda o mesmo autor caracteriza “a região que se estende desde o norte da Serra da Cantareira até os altos vales do rio Atibaia e Jaguari” como parte do “sistema de compartimentação dos terrenos antigos de São Paulo, sujeitos à alternância de processos morfoclimáticos intertropicais e a ação contínua de ascensão epirogênica”. O autor também ressalta a existência de planícies fluviais “em meio a depressões isoladas no meio de morros elevados” com drenagens meândricas e aluviões finas e numerosas cicatrizes de meandros abandonados (AB'SABER, 1973).

Outra caracterização é dada pelo memorial explicativo do mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), neste o conjunto de bacias estudadas encontra-se no Cinturão Orogênico Atlântico sob a unidade morfoescultural do Planalto e Serra da Mantiqueira, que possui altitude média 700 a 1.000 metros nas áreas mais planas e de 1.000 a 2.000 metros nas áreas serranas, sendo sua declividade predominantemente superior a 30%.

Quanto aos solos, segundo publicação da Embrapa (2011) regionalmente predominam na região os solos do tipo PVAd – Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos, e LVAd - Latossolos Vermelho-amarelos distróficos. Para o IPT (1981) a litologia é constituída basicamente por gnaisses, migmatitos e granitos, composição esta que propiciou a formação de solos do tipo Cambissolos, Litólicos, Podzólicos além de muitos afloramentos rochosos.

No que se refere à processos erosivos, os predominantes nessa área são:

“fenômenos de escorregamentos superficiais e profundos e de rastejo, principalmente em corpos coluvionares. São frequentes quedas de blocos relacionados às estruturas da rocha [...] ou no caso de matacões, devido ao deslocamento provocado pela

remoção de material terroso que os envolvem. Nos sopés das encostas são comuns as formas de acumulação [...]. Os fenômenos de erosão hídrica são evidentes somente nas áreas desprovidas de qualquer cobertura vegetal [...] (IPT, 1983).”

Mesmo o mapeamento geomorfológico do IPT sendo específico para o estado de São Paulo o entendimento sobre estas características podem ser estendidos de forma genérica à área de estudo que incide no estado de Minas Gerais, pois, a área de estudo encontra-se sob a mesma unidade de relevo na classificação do IBGE (2006); em ambos os estados.

Sobre o clima, a área de estudo está inserida no domínio climático mesotérmico brando, para Nilmer (1989) trata-se de um clima de temperaturas amenas durante todo o ano; a média anual varia em torno de 19 a 18°C, com precipitação média anual de 1356.9mm, sendo característico de áreas tropicais este domínio no local estudado é classificado de úmido para super úmido apresentando ao longo do ano de 1 a 2 meses de estiagem. Já o IPT (1983) atribui para esta área uma pluviosidade anual que varia de 1500mm a mais de 2000 e as temperaturas médias anuais são entre 13° e 18°C

Por fim, a área encontra-se predominantemente no domínio característico de região de Mata Atlântica. De acordo com o Mapa de Vegetação do Brasil, do IBGE (2004), a cobertura vegetal da região em que está inserido o Sistema Cantareira é de Floresta Ombrófila Densa, porém antropizada, isto é, as características originais foram alteradas havendo agora o predomínio de vegetação secundária e de atividades agrícolas na paisagem.



### 3 METODOLOGIA

Estudos geomorfológicos que consideram a ação humana sobre o meio é uma abordagem de desenvolvimento relativamente recente na ciência geomorfológica e nas Ciências da Terra de forma geral, bem como na Geografia Física (Rodrigues, 1997) e se subdividem conforme a especialidade. Os recursos metodológicos utilizados para elaboração do presente estudo estão assentados principalmente na Geografia Física e na Geomorfologia. São aqui apresentados da seguinte maneira: a breve contextualização dos principais pontos da ciência geomorfológica, considerações sobre a antropogeomorfologia para compreensão da abordagem analítica usada sobre o mapa, em seguida são abordados os procedimentos realizados para elaboração do mesmo.

#### 3.1 Considerações históricas da ciência geomorfológica e bases conceituais

Em sua obra *Geomorphology, pure and applied*, Hart (1986) considera o estudo das formas, dos materiais superficiais, dos processos e sua aplicação como sendo um estudo antigo, desenvolvido desde o século XVII, porém, apenas na segunda metade da década de XX que a Geomorfologia aplicada ganha visibilidade; tanto pela demanda intelectual quanto pela demanda social relacionada a compreensão dos fenômenos naturais e o desenvolvimento de planejamento ambiental.

Para a aplicação da Geomorfologia é preciso compreender a abordagem sistêmica sobre o meio físico. Em geografia Física e na Geomorfologia a teoria geral dos sistemas encontra-se bem difundida, segundo Rodrigues (1997), diferentes tipos de sistemas são triviais como categorias analíticas voltadas ao entendimento de mecanismos e processos, por exemplo, uma bacia hidrográfica configura um sistema complexo onde ocorre uma constante interação entre os diversos elementos que a compõe.

A abordagem sistêmica considera um complexo de componentes em interação em determinado meio, por exemplo, para a Geografia Física Christofolletti (1979) considera que, os sistemas ambientais físicos representam a organização espacial resultante da interação dos elementos componentes físicos da natureza, possuindo expressão espacial na superfície terrestre. Ainda conforme o autor, um sistema é composto basicamente por matéria; que será mobilizada através do sistema, energia; que se caracteriza pelas forças que fazem o sistema funcionar, e estrutura; que é constituída pelos elementos e suas relações.

Um objeto ou elemento pode ser entendido como parte integrante de um sistema bem como pode ser um sistema propriamente dito, como exemplifica Giroldo: “um rio é um



elemento do sistema hidrológico, mas pode ser analisado como um sistema próprio (GIROLDO, 2013).”, portanto, um elemento pode ser analisado de diferentes formas por meio da abordagem sistemática.

De acordo com Hart (1986) é fundamental compreender o conceito de equilíbrio na análise sistêmica, para ele, equilíbrio não está relacionado a inercia, mas sim a capacidade reorganização natural do sistema frente a introdução de novos elementos perturbam sua dinâmica pretérita.

Dessa forma, os estudos da paisagem ganham destaque por propor uma análise integrada por meio da abordagem sistêmica, ou seja, consideram a interação entre diversos elementos e processos que compõem a paisagem. Esta abordagem estabelece as bases conceituais do presente trabalho a partir de uma visão sistêmica sobre a esfera ambiental e subsidia o entendimento dos fenômenos de forma mais abrangente, considerando a dinâmica de funcionamento do ambiente natural afetado pela ação humana (GREGORY, 1992).

### **3.2 Considerações sobre a Antropogeomorfologia**

Estudos geomorfológicos que consideram a ação humana sobre o meio é uma abordagem que, segundo Gregory (1992), não despertava o interesse dos geógrafos físicos, estes optavam pelo estudo da mudança ambiental antes do homem para conhecer processos não modificados por ele e, quando muito, incluir o homem como elemento secundário.

Porém, o mesmo autor aponta que tem sido cada vez maior a preocupação com o agente antrópico, pois em meados da década de 60 estudos da antropogeomorfologia ganharam força e o homem, então, passou a ser considerado agente expressivo dentro dos processos pela crescente ênfase no estudo de processos que consideravam a magnitude e frequência da ação humana e, também, pela crescente preocupação com o meio ambiente.

Gregory (1992) ressalta que mesmo sendo no século XX que a influência do homem sobre o meio físico tenha tomado o pensamento geomorfológico, há estudos que já o faziam como a obra de Marsh – *Man and Nature or Physical Geography as modified by human action* de 1864 e o livro de Sherlock – *Man as a Geological Agent* de 1922. No entanto, somente com a obra de Nir – *Man, a geomorphological agente: a introduction to antropic geomorfology* de 1982 é que houve o tratamento mais aprofundado de uma abordagem antropogeomorfológica considerando a relevância da abordagem sistêmica.

Rodrigues (1997) ao avaliar experiências e instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental no Brasil ressalta que:

“ a consideração do antrópico é essencialmente interdisciplinar e pode envolver os recursos da abordagem sistêmica. Envolve sobremaneira a questão da escala temporal, a noção de magnitude e frequência, noção de limiares, assim como processos e sistemas geomorfológicos (RODRIGUES, 1997)”.

Autores como Nir (1983), Rodrigues (1997), entre outros, convergem no entendimento que para a geomorfologia aplicada o reconhecimento do homem na posição de agente geomorfológico representou um grande avanço.

O dimensionamento do impacto antrópico sobre o meio físico é fundamental e inerente a Antropogeomorfologia, porém segundo Rodrigues (2004), apenas recentemente estudos deste cunho vêm sendo realizados de forma mais padronizada e articulada.

A autora supracitada, fez uma revisão da literatura em geomorfologia propondo um resgate dos princípios básicos da geomorfologia pura, além de apontar para a aplicação de procedimentos que possibilitam identificar e evidenciar a degradação humana sobre o meio físico. Em sua revisão, destaca, também, os principais estudos realizados no Brasil envolvendo a abordagem de antrópico em Geografia Física e Geomorfologia. Nestes estudos a aplicação dos procedimentos como a Cartografia Geomorfológica Possibilitou identificar, dimensionar e prever as consequências da ação do homem, enquanto agente geomorfológico.

Diante de constante aplicação e revisão de procedimentos teórico-metodológicos em Geografia Física é que se desenvolveu uma proposta sólida de avaliação e dimensionamento da ação humana sobre sistemas físicos, Rodrigues (2010) apresenta parte dos resultados obtidos demonstrando que é possível realizar avaliações objetivas de impactos da ação antrópica em sistemas hidrogeomorfológicos.

### **3.3 Considerações sobre a ação antrópica no Sistema Cantareira**

Até meados de 2000, a região dos mananciais do Sistema Cantareira não contava com cartografia de base detalhada, tampouco com uma caracterização consistente das diferentes formas de apropriação deste espaço. O primeiro grande trabalho feito com este viés foi o Mapa de Uso e Ocupação do Solo da RMSP que, segundo o governo do Estado de São Paulo (2005), foi produzido pela, hoje extinta, Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano, com informações de 2002 extraídas de imagens do satélite Ikonos e dados das prefeituras municipais dos 42 municípios abrangidos pelo mapeamento. Por considerar apenas a região metropolitana

e parte dos municípios de Nazaré Paulista, Paraibuna e São Roque, o mapa da Emplasa não contempla o Sistema Cantareira como um todo, apenas parte da bacia hidrográfica do Juquery foi contemplada, ou seja, pouco se sabia acerca do uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas que compõem o referido sistema de abastecimento.

Le Sann (2005), afirma que os elementos espaciais na cartografia temática são representados por meio de documentos, sejam analíticos, sejam sintéticos, frutos do pensamento das escolhas de um especialista, ou seja, a cartografia temática tem como objetivo não apenas representar a distribuição espacial de um determinado fenômeno, mas propõe uma interpretação sobre este.

Para alertar sobre a importância de proteger os corpos d'água e sua qualidade nos sistemas produtores de água o Instituto Socioambiental (ISA) lançou em 2006 um diagnóstico socioambiental do Sistema Cantareira chamado, Cantareira: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo.

Este diagnóstico faz uma caracterização geral dos aspectos socio-físico-ambientais do Sistema Cantareira, analisando o que eles denominaram de alterações socioambientais ocorridas no período de 1989 a 2003, utilizando-se dos conteúdos de mapeamento oferecidos por uma análise regional de evolução do uso do solo e, com isso, sistematizando uma abordagem das ameaças e perspectivas para a sustentabilidade socioambiental da região, considerando seu valor estético.

Em suas conclusões esse estudo afirma que a ocupação antrópica em áreas de mananciais impacta diretamente na produção hídrica das bacias hidrográficas, comprometendo-a pela impermeabilização de área e remoção da cobertura natural que dificulta a permanência da água no sistema, pela inadequada preservação de nascentes, assim como, a degradação de corpos hídricos.

Os dados obtidos pelo ISA apontam que o uso urbano no período analisado cresceu consideravelmente (crescimento de 33,5%) em detrimento da diminuição de áreas naturais, tais como campos antrópicos, áreas de reflorestamento e remanescentes de Mata Atlântica. Este crescimento sucedeu-se principalmente com a expansão de áreas de ocupação dispersa, que são caracterizadas por núcleos urbanos, condomínios e principalmente sítios e chácaras.

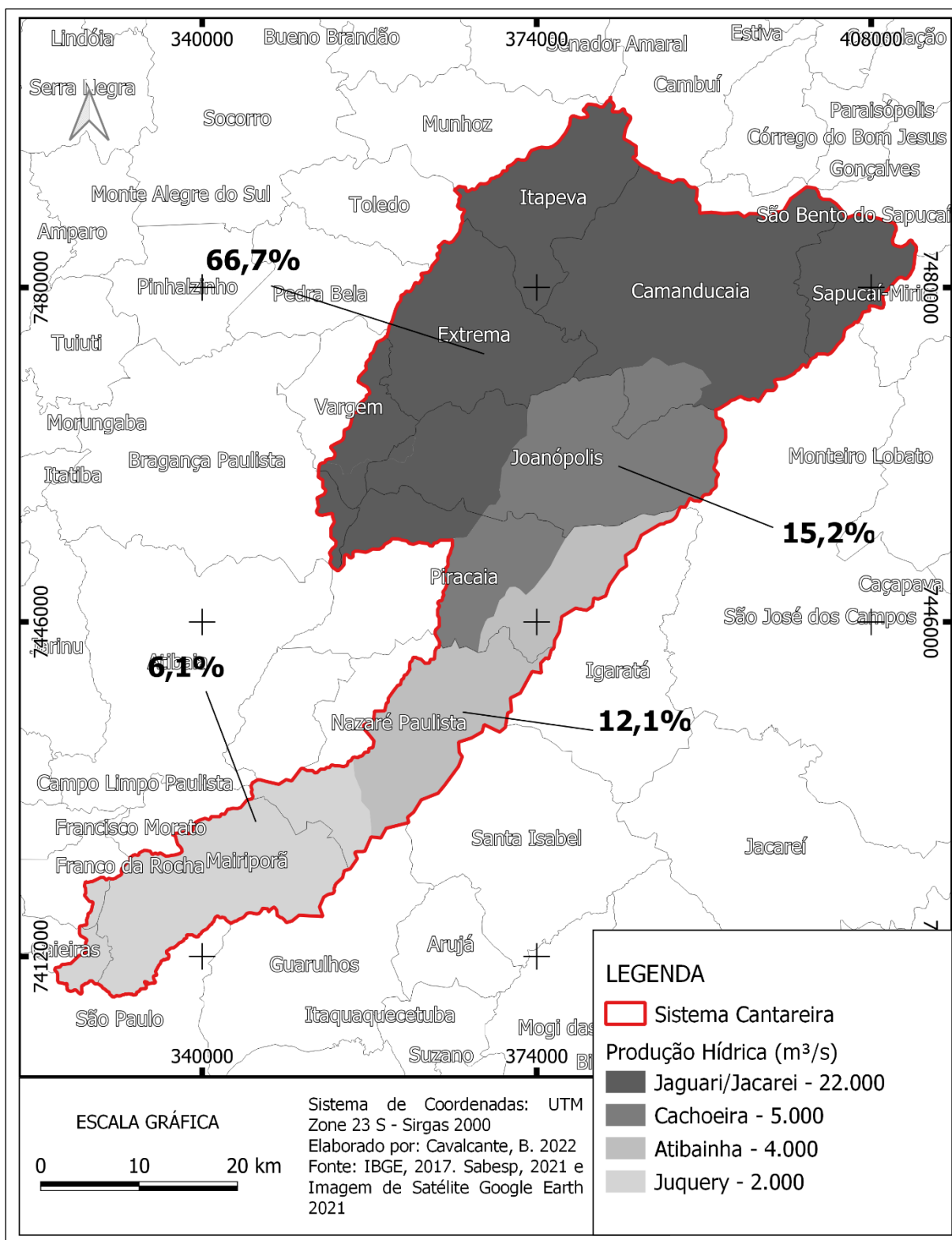


Figura 10 - Mapa de produção hídrica do Sistema Cantareira.

Com a análise da expansão urbana feita pelo ISA (2006), pode-se considerar o processo de urbanização como sendo qualquer transformação territorial que altere as características naturais e tenha por objeto ou por efeito a criação ou aumento de área do solo urbanizada. Este processo é um dentre as ações antrópicas que causam impactos sobre sistemas naturais e foi destacado, aqui, para análise da evolução do uso e ocupação do solo na região bacias hidrográficas formadoras do Sistema Cantareira.

Numa linha mais voltada à cartografia geomorfológica, Soares (2008) avalia a degradação ambiental do Sistema Cantareira com a elaboração de Cartografia Morfológica de Detalhe no Alto Jacareí. Por meio desta cartografia a pesquisadora comparou indicadores de degradação existentes na área de estudo entre o ano de 1962 e 2003, e observou o aumento de formas erosivas associadas a ocupação humana; as áreas desmatadas para criação de pastos e para implantação de chácaras e estradas são as que apresentam maior quantidade de sulcos e ravinas, além da constatação de movimentos de massa próximos ao reservatório.

Outro estudo relevante em apontamentos da degradação física foi o de Maestu (2008), que pesquisou a evolução de um sistema meândrico de terceira ordem numa sub-bacia do rio Jaguari, no qual, por meio de geoindicadores pode-se observar a destruição fluvial da área de mananciais, associada ao aumento antrópico da magnitude e frequência de vazões intensas nas bacias produtoras de água.

Ainda na linha da alteração do meio físico, o estudo de Giroldo (2013) abordou a degradação física do solo, especificamente, os efeitos do pisoteio de gado em vertentes na bacia hidrográfica do rio Jacareí. Em seu trabalho fica evidente as mudanças morfo-pedológicas na área estudada, nesta constatou-se o aumento de resistência à penetração da água no solo devido a alteração de sua densidade e compactação. A pesquisadora ainda destaca que, a perturbação não altera apenas as propriedades do solo, mas envolve também a dinâmica hídrica local pois, a diminuição do potencial de infiltração reduz a reposição de água nos lençóis freáticos e amplia o escoamento superficial acarretando na perda de solo.

Douglas (1986), Nir (1983) e Rodrigues (2004), estudaram e propuseram parâmetros e indicadores de degradação do meio físico específicos da intervenção urbana e concluíram que esta modalidade de intervenção deve ser estudada à parte, devido à magnitude das transformações do meio físico, isto é, o grau de alteração morfológica, seja direta ou indireta, dado pela intervenção urbana é indiscutivelmente maior que as alterações relativas a situação de equilíbrio dinâmico próprio dos sistemas físicos.

Rodrigues et. al (2019) apontam que as intervenções antrópicas, observadas em diferentes estudos antrogeomorfológicos, chagam, em alguns casos, a taxas de mudança

equiparáveis a transformações de ordem tectônica e de eventos extremos de mudanças climáticas globais; o que confere à ação antrópica sobre sistemas físicos dimensão de processos de alta magnitude.

Desta forma, este estudo optou por pesquisar a evolução desta categoria de intervenção antrópica de alta magnitude nos sistemas fluviais numa área estratégica e fundamental ao abastecimento hídrico da Região Metropolitana São Paulo.

### **3.2 Procedimentos cartográficos**

O desenvolvimento das Geotecnologias trouxe uma série de avanços nas análises do espaço geográfico, pois a maior disponibilidade de dados e recursos para edição de mapas complexos e o cruzamento de informações espaciais tem possibilitado maior acurácia na compreensão das mudanças espaciais de determinadas áreas.

A análise de fenômenos espaciais por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite representar e sintetizar fenômenos quantificáveis e classificáveis por meio de mapas, de acordo com Machado (2014), estes mapas são, *a priori*, abstrações da realidade, pois o mundo real é muito complexo para ser mensurado ou representado em sua totalidade; dessa forma, os mapas nos permitem representa-lo utilizando modelos confiáveis que permite a compreensão, com clareza e conhecimento, sobre o que existe e se manifesta no espaço geográfico.

A base cartográfica digital utilizada para elaboração do mapa de Uso e Ocupação do Solo atual do Sistema Cantareira foi o conjunto de bandas espectrais do satélite Landsat 8 (cena LC82190762021234LGN00,), esta cena foi escolhida por ser de 22/08/2021 período de baixa pluviometria na região, o que favoreceu a ausência de nuvens. Os dados foram organizados, processados, editados e finalizados no software de SIG chamado QGIS 3.16.8.

Primeiro, as imagens foram processadas de modo a melhorar a qualidade da composição com o emprego de algumas técnicas como: correção geométrica, redução da dimensionalidade e operação de contraste (Brito et al. 2005) para aumentar a discriminação visual dos objetos presentes na mesma. Segundo, para a representação do Uso e Ocupação do Solo foi utilizada a classificação supervisionada da imagem de satélite.

Classificação supervisionada é o procedimento utilizado com maior frequência para análise quantitativa de dados de imagens de sensoriamento remoto. A classificação supervisionada (figura 10) usa amostras de treinamento que servem como referência para a identificação das classes no restante da imagem, quanto maior o número de amostras maior a

acurácia do resultado obtido, com isso cada categoria neste estudo teve o mínimo de 10 amostras realizadas para sua classificação.

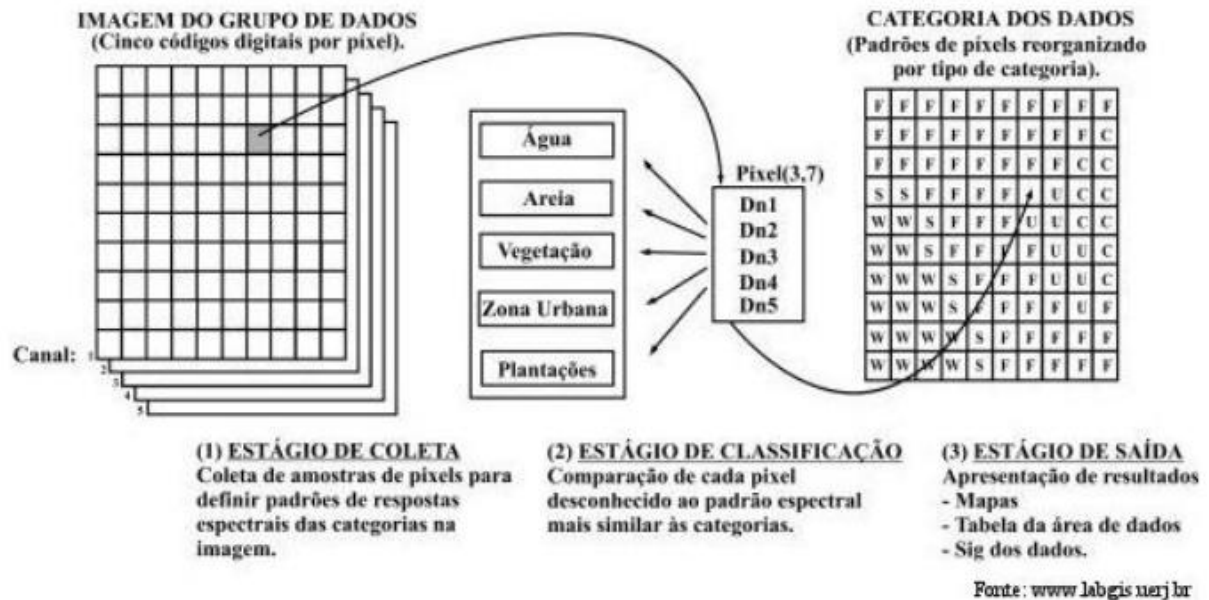


Figura 11 - Esquema demonstrativo do procedimento de classificação supervisionada (Fonte: [www.labgis.uerj.br](http://www.labgis.uerj.br))

Neste processo são utilizados algoritmos para nomear os pixels em uma imagem de forma a representar tipos específicos de cobertura terrestre (LILLESAND e KIEFER, 1994). O método de classificação utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood Classification) que considera a ponderação das distâncias das médias utilizando parâmetros estatísticos (CROSTA, 1992), sendo a categorias utilizadas as mesmas propostas pelo mapa de uso e ocupação do solo de 2003 elaborado pelo ISA .



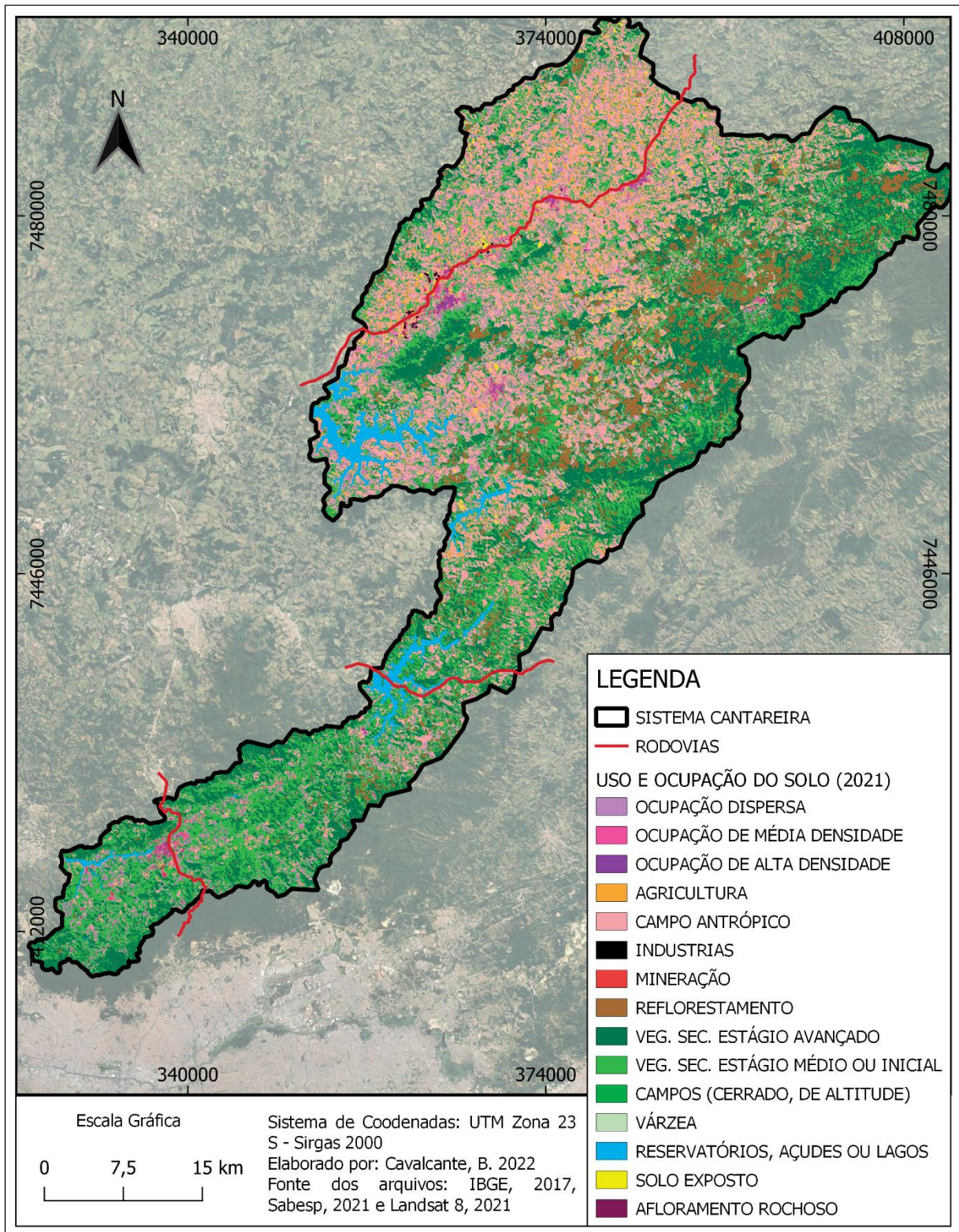


Figura 12 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo no Sistema Cantareira em 2021 para análise da expansão urbana.



#### 4 RESULTADOS E ANALISE

O processo de classificação demandou algumas revisões, as amostras foram revistas por diversas vezes, principalmente para categorias com características muito similares, como por exemplo, as matas secundárias em estágios diferentes de regeneração, a diferenciação entre as três categorias de ocupação urbana e afloramentos rochosos com algumas feições urbanas.

Algumas categorias foram desconsideradas como Lazer; esta abrange formas muito distintas de interpretação e características que se confundem com outras de maior importância, Água (lagos, lagoas); foi somado a categoria dos reservatórios pela dificuldade do SIG distinguir de forma precisa a diferença entre estas áreas na escala proposta e Nuvem; pois a cena escolhida não apresentou na área do conjunto de bacias qualquer dado semelhante a vapor d'água.

Com os devidos ajuste e a elaboração do mapa do uso e ocupação do solo, foi possível identificar as modificações ocorridas no período de 2003 a 2021 e fica evidente a expressiva mudança em algumas categorias. A Tabela 01 apresenta os valores absolutos e relativos sobre a área total (em hectares) do sistema em cada um dos anos analisados.

A expansão urbana é dada pelo aumento da categoria Ocupação Urbana, que no período de 2003 a 2021 aumentou sua área em 3.036,60 ha, que representa um aumento aproximado de 40,9%, ou seja, o acréscimo de área urbana nas regiões das bacias produtoras de água no Sistema Cantareira quase que dobrou.

**Tabela 01:** Quantificação das áreas de uso e ocupação do solo no Sistema Cantareira nos anos de 2003 e 2021

CLASSE DE USO DO SOLO	2003 (ha)	%	2021 (ha)	%	AUMENTO/ DIMINUIÇÃO (ha)	AUMENTO/ DIMINUIÇÃO (%)
OCUPAÇÃO URBANA	7.430,60	3,3%	10.467,20	4,6%	3.036,60	40,9%
AGRICULTURA	4.249,30	1,9%	6.199,90	2,7%	1.950,60	45,9%
CAMPO ANTRÓPICO	117.723,50	51,6%	51.304,70	22,5%	-66.418,80	-56,4%
INDÚSTRIA	133,2	0,1%	314,8	0,1%	181,60	136,3%
MINERAÇÃO	119,6	0,1%	99,8	0,0%	-19,80	-16,6%
REFLORESTAMENTO	32.984,0	14,5%	34.743,40	15,2%	1.759,40	5,3%
SOLO EXPOSTO	2.987,90	1,3%	4.279,40	1,9%	1.291,50	43,2%
CAMPO NATURAL	739,5	0,3%	801,1	0,4%	61,60	8,3%
VÁRZEA	336,8	0,1%	607,5	0,3%	270,70	80,4%
MATA ATLÂNTICA SECUNDÁRIA EM ESTÁGIO MÉDIO OU INICIAL DE REGENERAÇÃO	16.717,70	7,3%	59.149,70	25,9%	42.432,00	253,8%
MATA ATLÂNTICA SECUNDÁRIA EM ESTÁGIO AVANÇADO DE REGENERAÇÃO	30.070,10	13,2%	46642,0	20,5%	16.571,90	55,1%
RESERVATÓRIO	6.497,70	2,9%	5.455,60	2,4%	-1.042,10	-16,0%
AFLORAMENTO ROCHOSO	119,9	0,1%	145	0,1%	25,10	20,9%
OUTROS	7.835,0	3,4%	7.739,20	3,4%	-95,80	-1,2%
<b>TOTAL</b>	<b>227.949,3</b>	<b>100,0%</b>	<b>227.949,3</b>	<b>100,0%</b>		

Fonte e Organização: Bruno Silva Cavalcante

Já no que diz respeito ao uso do solo urbano por categoria, mesmo que a região do Sistema Cantareira não possua uma urbanização muito expressiva, considerando as manchas urbanas em relação a área total do sistema, o diagnóstico do ISA (2007) já apontava para uma expansão significativa das modalidades de usos urbanos ocorrida de 1989 a 2003, neste período foi registrado o aumento de 33,5% da ocupação urbana em relação a área anterior.

No período de análise atual (2003 a 2021) a área ocupada por usos urbanos demonstrou a continuidade e aceleração do processo de expansão com um crescimento de 40,9%. Este aumento representa 7,4 pontos percentuais a mais que o período de análise anterior, porém é preciso salientar que o período de análise atual se refere a um período de 18 anos enquanto o anterior 14 anos.

**Tabela 02:** Quantificação das áreas de uso urbano no Sistema Cantareira nos anos de 2003 e 2021.

<b>EXPANSÃO URBANA</b>	<b>2003 (ha)</b>	<b>2021 (ha)</b>	<b>EXPANSÃO (ha)</b>	<b>EXPANSÃO %</b>
OCUPAÇÃO DISPERSA	5.600,10	7.615,70	2.015,60	36,0%
OCUPAÇÃO URBANA DE MÉDIA DENSIDADE	1.169,00	2.049,0	880,00	75,3%
OCUPAÇÃO URBANA DE ALTA DENSIDADE	661,5	802,5	141,00	21,3%
<b>TOTAL</b>	<b>7430,6</b>	<b>10467,2</b>	<b>3036,6</b>	<b>40,9%</b>

Fonte e Organização: Bruno Silva Cavalcante

Este crescimento em números percentuais deu-se principalmente nas áreas de ocupação urbana de média densidade, com incremento de 880,0 de área o que representa um aumento de 75,3% em relação ao ano de 2003. Esta modalidade de ocupação é caracterizada por áreas urbanas em formação ou crescimento e ocupam, em regra, as bordas das áreas de ocupação urbana de alta densidade.

Já em números absolutos é possível compreender o quanto em área representa a expansão urbana. A modalidade de ocupação dispersa é predominante na região e constitui-se de pequenos núcleos urbanos, condomínios, chácaras, residências de veraneio, hotéis/pousadas; em geral, áreas residenciais relativamente isoladas que geralmente atendem ao turismo. Nota-se, também, que essa modalidade de ocupação urbana é valorizada pelas características naturais do local, pois dá-se preferencialmente sobre antigos campos antrópicos próximos a áreas de Mata Atlântica, seja em estágio de regeneração inicial, médio ou avançado.

Em todas as bacias hidrográficas que compõem o Sistema Cantareira a modalidade de uso urbano Ocupação Dispersa é a de maior extensão territorial, somadas as áreas dessas categorias correspondem a 7.615,70 hectares.

O processo de expansão urbana, porém, ocorre de forma heterogênea sobre as bacias hidrográficas, dessa forma, alguns reservatórios estão mais expostos aos impactos antrópicos do que outros.

**Tabela 03:** Quantificação das áreas por modalidade de uso urbano no Sistema Cantareira em 2021 e por bacia hidrográfica

EXPANSÃO URBANA	OCUPAÇÃO DISPERSA	MEDIA DENSIDADE	ALTA DENSIDADE	TOTAL	%
ATIBAINHA	992,58	20,10	0,00	1.012,68	9,7%
CACHOEIRA	652,71	1,09	0,00	653,80	6,2%
JACAREÍ	1.089,80	653,80	229,50	1.973,10	18,9%
JAGUARI	2.084,80	353,23	392,70	2.830,73	27,0%
JUQUERY	2.795,81	1.020,78	180,30	3.996,89	38,2%
<b>TOTAL</b>	<b>7.615,70</b>	<b>2.049,00</b>	<b>802,50</b>	<b>10.467,20</b>	<b>100,0%</b>

Fonte e Organização: Bruno Silva Cavalcante

**Tabela 04:** Percentual das áreas por modalidade de uso urbano no Sistema Cantareira em 2021 em relação a área total de cada bacia hidrográfica

EXPANSÃO URBANA	OCUPAÇÃO DISPERSA	MEDIA DENSIDADE	ALTA DENSIDADE	TOTAL
ATIBAINHA	98,02%	1,98%	0,00%	100,00%
CACHOEIRA	99,83%	0,17%	0,00%	100,00%
JACAREÍ	55,23%	33,14%	11,63%	100,00%
JAGUARI	73,65%	12,48%	13,87%	100,00%
JUQUERY	69,95%	25,54%	4,51%	100,00%

Fonte e Organização: Bruno Silva Cavalcante

Por mais a bacia hidrográfica do Juquery represente a maior área urbanizada dentro do sistema, outras bacias (Cachoeira e Jacareí) mais que dobraram sua extensão urbana em relação ao ano de 2003 o que demanda maior atenção, em especial no que se refere a bacias de Jacareí que em conjunto com a bacia hidrográfica Jaguari configuram a maior área tributária de águas do Sistema Cantareira.

**Tabela 05:** Quantificação das áreas de uso urbano no Sistema Cantareira em 2003 e 2021 por bacia hidrográfica

EXPANSÃO URBANA	2003	2021	EXPANSÃO (ha)	Expansão %
ATIBAINHA	861,20	1.012,68	151,48	17,6%
CACHOEIRA	307,60	653,80	346,20	112,5%
JACAREÍ	598,70	1.973,10	1.374,40	229,6%
JAGUARI	2.507,50	2.830,83	323,33	12,9%
JUQUERY	3.155,60	3.996,99	841,39	26,7%
<b>TOTAL</b>	<b>7.430,60</b>	<b>10.467,40</b>	<b>3.036,80</b>	<b>40,9%</b>

#### **4.1 Observações sobre a expansão urbana por bacia hidrográfica**

A bacia hidrográfica Atibainha e Cachoeirinha são similares em seus aspectos de uso do solo urbano: ambas possuem mais de 98% de sua área urbana como sendo de Ocupação Dispersa, a nestas Ocupação Urbana de Média Densidade são inexpressivas e não possuem Ocupação Urbana de Alta Densidade.

No caso da bacia hidrográfica Jacaré a expansão urbana sucedeu-se, majoritariamente, ladeando a Rodovia Fernão Dias, onde também é possível notar a ocorrência de indústrias e trechos de solo exposto, o que geralmente está associado a terraplenagem e preparo do solo para ocupação.

Em análise a bacia hidrográfica do Jaguari é possível concluir que apesar de ser a bacia com a segunda maior área urbana absoluta, é aquela que apresentou menor taxa de expansão, 12,9% em relação ao ano de 2003, porém, proporcionalmente a própria área é aquela que apresentou maior crescimento da categoria Ocupação Urbana de Alta Densidade

Por fim, a bacia hidrográfica do Juquery possui sua maior mancha urbana as margens da Rodovia Fernão Dias e de parte do reservatório de Paiva Castro, esta área configurava a de maior taxa de expansão urbana no período de 1989 a 2003 (ISA, 2007) com uma expansão de 41,5%, essa taxa no período posterior, de 2003 a 2021, corresponde a 26,7%, indicando a desaceleração no processo de expansão urbana local.

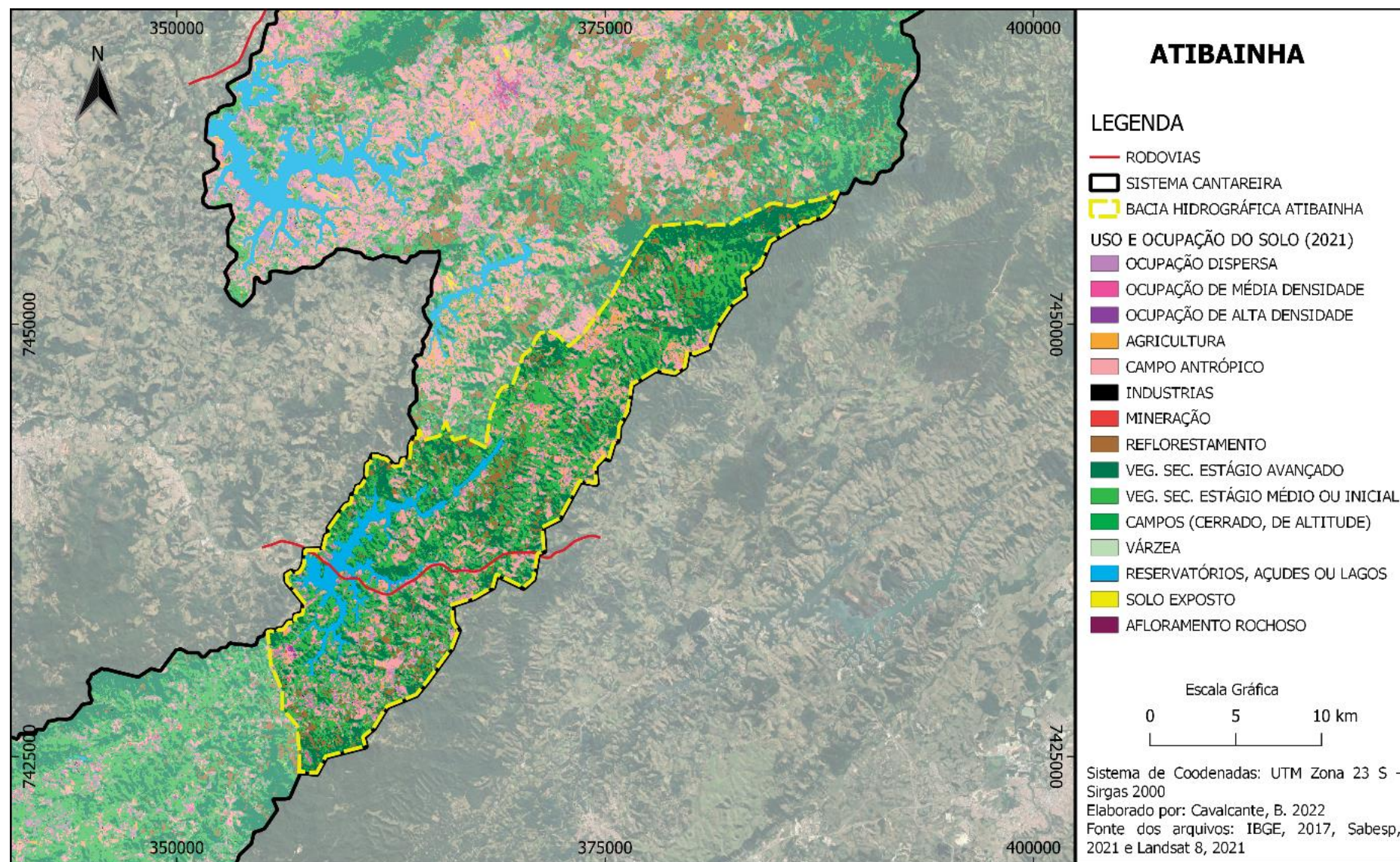


Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na bacia hidrográfica do Atibainha em 2021.



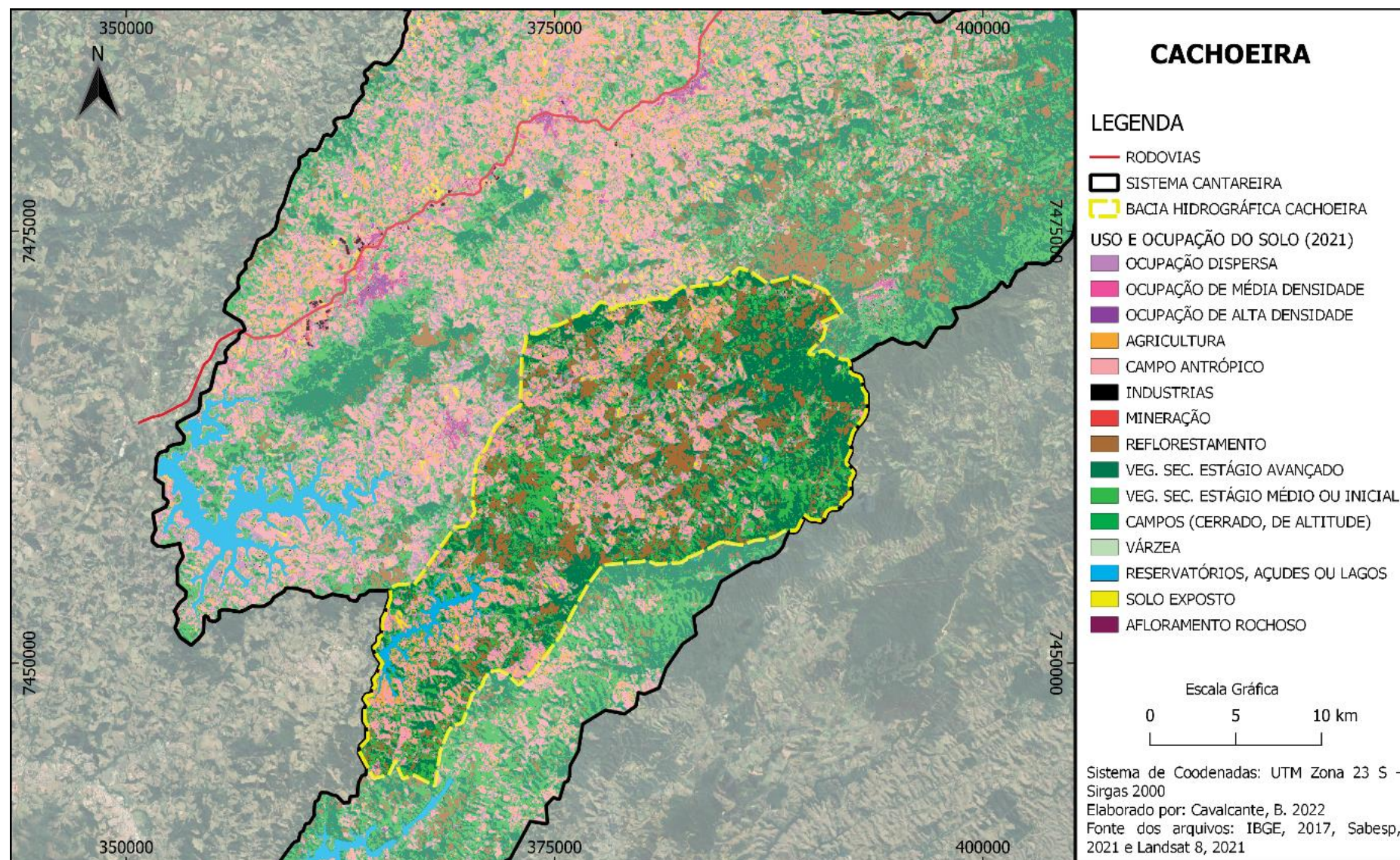


Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na bacia hidrográfica do Cachoeira em 2021.



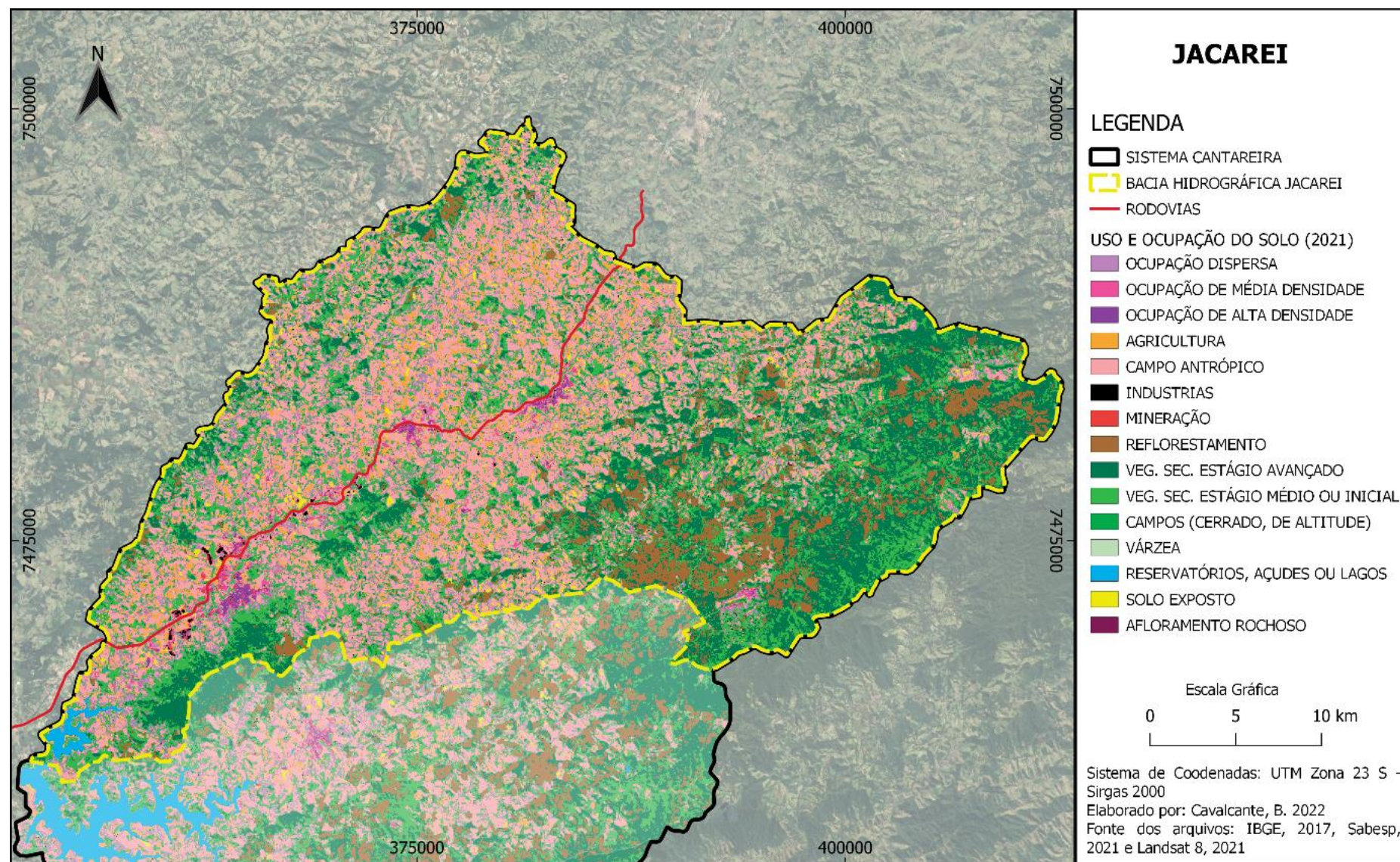


Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na bacia hidrográfica do Jacareí em 2021.



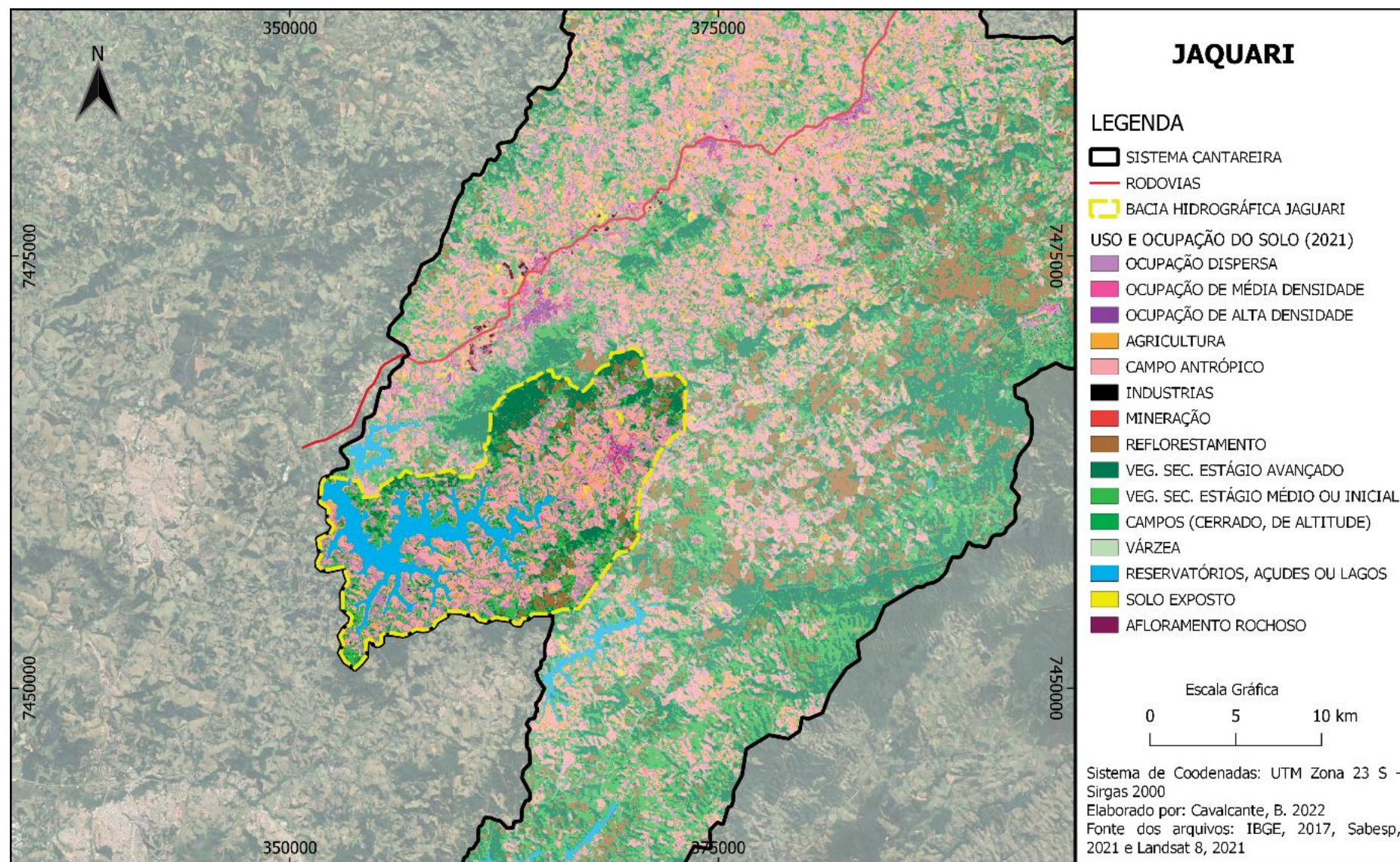


Figura 16 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na bacia hidrográfica do Jaguari em 2021.



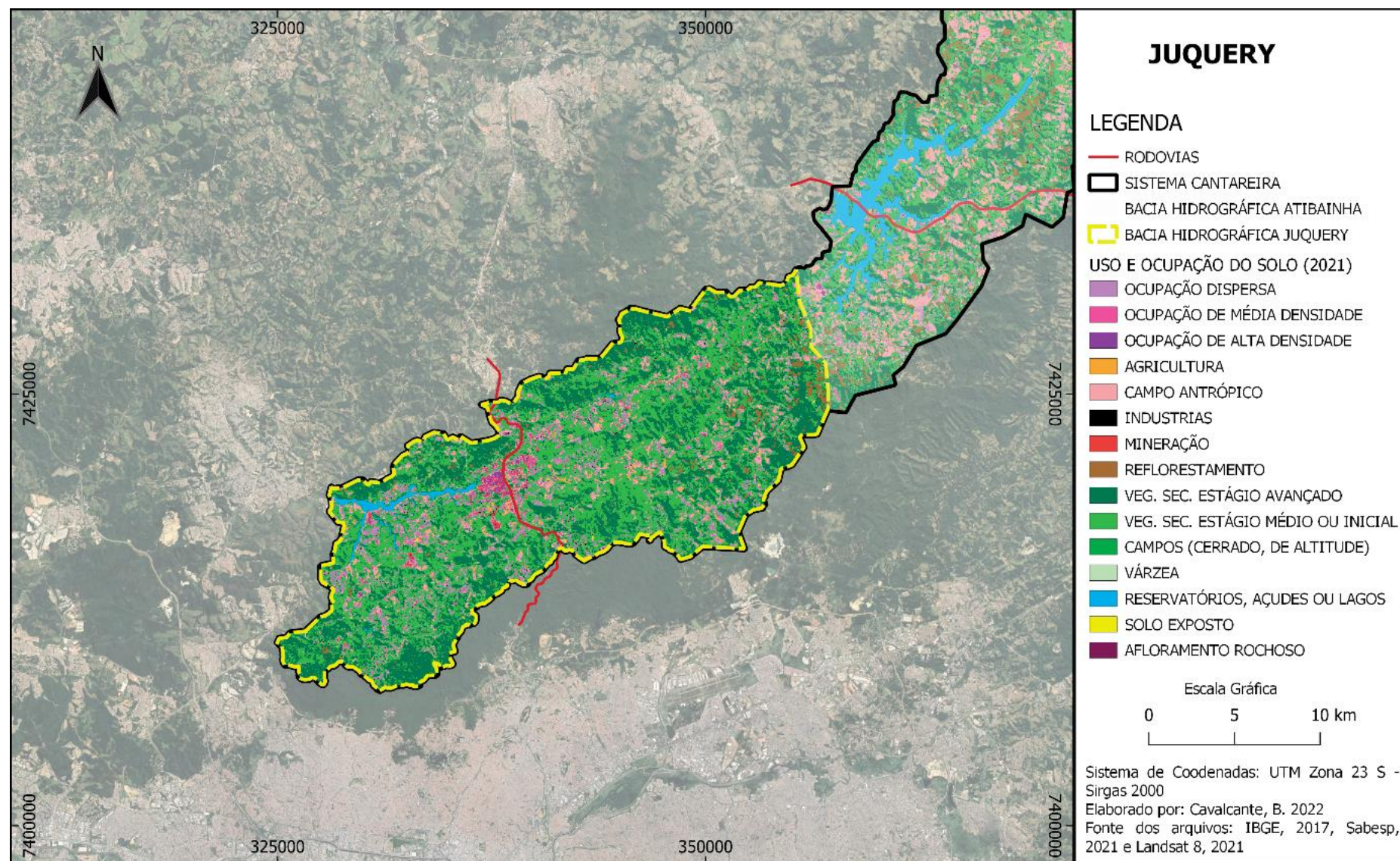


Figura 17 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na bacia hidrográfica do Juquery em 2021

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo a elaboração de um mapa de uso e ocupação do solo para identificar e analisar o processo de expansão urbana nas bacias hidrográficas que compõem o Sistema Cantareira. Esse processo permitiu atualizar e fornecer novos dados sobre a evolução do uso do solo no local e concluir que a expansão urbana na área estudada é uma realidade sem perspectivas de desaceleração, tendo em vista que, há continuidade do crescimento acentuado de 2003 a 2021 em todas as categorias de ocupação urbana.

A proposta de análise da área a partir de uma abordagem geosistêmica optou por caracterizar a ação antrópica como sendo variável relevante a compreensão da dinâmica do sistema. O mapeamento oferece elementos de análise para entendimento dos processos antrópicos que se sucederam sobre as bacias hidrográficas da área, podendo configurar importante referencial para o planejamento ambiental no Sistema Cantareira.

O método apesar de comportar o objetivo do trabalho pode ser revisado e adaptado para dar maior acurácia aos dados obtidos para análise pois, ao realizar a classificação supervisionada alguns resultados podem ser questionados devido ao fato de algumas classes terem um comportamento espectral próximo, como, por exemplo, a vegetação natural com a silvicultura e da pastagem com a agricultura.

Por fim, levando em conta as considerações aqui feitas, fica evidente a importância de estudos sobre a evolução do uso do solo pois, estes são primordiais ao diagnóstico das atividades humanas que estão interferindo no ambiente natural em um determinado período de tempo. Melhor dizendo, o entendimento da configuração espacial das áreas de expansão urbana, sua evolução e funcionamento, é fundamental para o desenvolvimento de formas corretas de manejo a fim de mitigar e evitar perturbações no meio físico.

## 6 REFERÊNCIAS

AB’SABER, A. N. (1973) Geomorfologia da área das barragens do Alto Jaguari. In: Geomorfologia no. 42. IG. São Paulo.

ANA. Agência Nacional de Águas (ANA), HIDROWEB, [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), acessado em outubro de 2021.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)>. Acesso em: 25 mai. 2022.

BRITO, J.L.S.; PRUDENTE, T.D. Análise temporal do uso do solo e cobertura vegetal do município de Uberlândia-MG, utilizando imagens ETM+/ Landsat 7. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 17, n 32, p. 37-46, jun. 2005

CHRISTOFOLETTI, A. (1979) Análise de Sistemas em Geografia. São Paulo. Hucitec

CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP. 1992. 170p.

CUSTÓDIO, V. A crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo (2014-2015). Geosp – Espaço e Tempo (Online), v.19, n.3, p.445-463, 2016.

GIROLDO, L. Terracetes de pisoteio de gado e mudanças morfo-pedológicas em vertente amostral na bacia hidrográfica do rio Jacareí, Serra d Mantiqueira – SP. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DOUDIE, A. The human impact in the natural environmental. 3º edição. Londres, Blackwell, 1990

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. GEOINFO - Mapa exploratório de solos – Mapa de Solos do Brasil , escala 1:5000000., Rio de Janeiro, 2011

GREGORY, K. J. A natureza da Geografia Física. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1992.

HART, M. G. Geomorphology pure and Applied. London, George Allen & Unwin, 1986.

IBGE. Mapa de vegetação brasileira – escala 1:5 000 000. Rio de Janeiro, IBGE, 2004.

IBGE. Mapa de unidades de relevo do Brasil – escala 1:5 000 000. Rio de Janeiro, IBGE, 2ªed. 2006.

IEF. Instituto Estadual de Florestas do Estado de Minas Gerais, [www.ief.mg.gov.br](http://www.ief.mg.gov.br), acessado em janeiro de 2022.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo (1:500000) – Memorial Explicativo vol. 1. São Paulo, 1981

ISA. INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: ISA, 2007.

LE SANN, J. G. (2005) Thematic cartography in geo-environmental research. Revista do departamento de Geografia, n. 16, p. 61-69.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W. Remote sensing and image interpretation. New York: Jhon Wiley e Sons Inc., 1994.

MAESTU, J. Levantamento morfo-sedimentológico em planície fluvial meândrica: contribuição ao estudo dos geoindicadores. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MACHADO, R P. Os Novos Enfoques da Geografia Com o Apoio das Tecnologias da Informação Geográfica, Revista do Departamento de Geografia - USP, Volume Especial Cartogeo (2014), p. 203-241

NETO, J. C. C. A crise hídrica no estado de são Paulo. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v.19, n.3, p.479-484, 2016.

NILMER, E. Climatologia do Brasil. 2. ed Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989.

NIR, D. (1983) Man, a geomorphological agente. Israel. Keter Publishing House.



PIVELI, R.P. Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físicos-Químicos. São Paulo. ABES, 2005.

RODRIGUES, C. Geomorfologia Aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros. (Tese – Doutorado) – Dep. de Geografia – FFLCH – USP (1997)

RODRIGUES, C. Urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia: tributo a leituras geográficas. In: CARLOS, A.F. & Oliveira, A. U. (orgs), Geografias de São Paulo, representação e crise da metrópole, Ed. Contexto, São Paulo, 2004, pg. 89-114.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 20, p. 111-125, 2010.

RODRIGUES, C.; VILLELA, F. N. J. Disponibilidade e escassez de água na Grande São Paulo: elementos-chave para compreender a origem da atual crise de abastecimento. Gols, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 399-421, 2016.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. C. M. C.; LUZ, R. A.; VENEZIANI, Y.; SIMAS, I. T. H.; SILVA, J. P. Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 105-123, 2019.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, [www.site.sabesp.com.br](http://www.site.sabesp.com.br), acessado em março de 2022.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo, Planejamento, [www.saopaulo.sp.gov.br](http://www.saopaulo.sp.gov.br), acessado em fevereiro de 2022.

SILVA, J. P. Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo. Faculdade de filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, São Paulo, 2005.

SMA. Atlas das Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2018.

SOARES, F. P.; RODRIGUES, C. Cartografia morfológica de detalhe e intervenções antrópicas no Alto Jacareí: subsídios à avaliação da degradação ambiental do Sistema Cantareira. GEOUSP: espaço e tempo: revista da pós-graduação em geografia, São Paulo, 2008.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento de drenagem urbana. RBRH – Revista Brasileira de recursos Hídricos. V.7, n.1, p.5-27, 2002.