

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**A IMPORTÂNCIA DA EXPLORAÇÃO CONSCIENTE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PROJETO GEOPARQUE CORUMBATAÍ**

Luana Ayumi Watanave

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
Orientador

Rio Claro (SP)

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

LUANA AYUMI WATANAVE

A IMPORTÂNCIA DA EXPLORAÇÃO CONSCIENTE DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PROJETO
GEOPARQUE CORUMBATAÍ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2021

W324i Watanave, Luana Ayumi
A importância da exploração consciente das águas
subterrâneas na área do projeto Geoparque Corumbataí /
Luana Ayumi Watanave. -- Rio Claro, 2021
80 f.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado -
Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: José Eduardo Zaine
Coorientador: André de Andrade Kolya

1. Água subterrânea. 2. Aquíferos. 3. Geoconservação.

4. Geoparque. 5. Bacia do Rio Corumbataí. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LUANA AYUMI WATANAVE

A IMPORTÂNCIA DA EXPLORAÇÃO CONSCIENTE DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PROJETO
GEOPARQUE CORUMBATAÍ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Eduardo Zaine (orientador)

Profa. Dra. Ana Elisa Silva de Abreu

Prof. Msc. Roger Dias Gonçalves

Rio Claro, 24 de março de 2021.

Luana A. Watanave
Assinatura da aluna

José Eduardo Zaine
Assinatura do orientador

Agradecimentos

Antes de tudo é necessário agradecer ao Zaine por acreditar em mim quando até eu estava em dúvida se daria certo. Obrigada professor pelo voto de confiança desde o início, pela paciência e compreensão durante a pandemia e pelo apoio quando necessário.

Também é preciso agradecer a minha família por ir me buscar tarde na rodoviária na sexta e me levar cedo na segunda, mesmo dormindo tarde no domingo para cozinhar os meus almoços e jantas da semana. Além disso, por me fazer rir das desgraças que eu passava nos campos e as vezes vir nos visitar no sábado e não no domingo para eu encontrar todo mundo como era antes da faculdade.

Meus amigos não são menos importantes: Pam, obrigada por me ajudar com meus cursos sobre direito ambiental e na parte de legislação do meu TCC e por aceitar retomar o contato que havíamos perdido; Perla, obrigada por me mostrar uma saída quando eu achava que o fim era reclamar e por estar sempre perto, mesmo longe; Fabi, obrigada por atender as minhas ligações por Skype no começo, fazer eu me sentir menos sozinha e me distrair quando eu precisava.

Aos amigos que passaram por grande parte da jornada comigo: Aline, ainda bem que eu não te bloqueei depois daquela mensagem estranha, senão quem ia ouvir as minhas reclamações durante os trabalhos ou quem faria milhões de exercícios de mineral comigo? Obrigada por ficar ao meu lado quando nos momentos difíceis; Bruno, eu digo que foi um erro ter te convidado para se sentar do meu lado, mas você sabe que é mentira, obrigada por ser a minha carona, meu parceiro de mapeamento e meu amigo por todos esses anos; Helena, minha vizinha que fazia show na cozinha, obrigada por estar disposta a ouvir as minhas reclamações, bobearias e surtos por causa de algum grupo. E alguns outros que eu queria citar mas não caberão em uma página só. Eu sei que é difícil conviver comigo gente, vocês merecem aplausos por isso e (talvez infelizmente) quero carregar nossa amizade até o fim da vida.

Por último, o agradecimento mais importante, obrigada Luana, por aguentar até aqui e não desistir quando você queria, por decidir estudar a invés de assistir mais um episódio, por segurar a língua quando você queria xingar e por aguentar tantas injustiças sem se envolver em nenhuma discussão. Você conseguiu, parabéns!

*“Geoparques não são apenas pedras, geoparques
são sobre pessoas”*

(Chris Woodley-Stewart, gerente do Geopark
North Pennine)

Resumo

O termo geoconservação surgiu no fim do século XX para tratar da preservação de geossítios, locais de importância geológica inventariados e caracterizados. Um meio de preservação são os geoparques, uma ideia originada pela UNESCO em 2000. O projeto Geoparque Corumbataí está localizado na Bacia do Rio Corumbataí, no centro leste do estado de São Paulo, uma região com a presença de sistemas aquíferos importantes para a sociedade como os sistemas aquíferos Tubarão e Guarani, que correm altos riscos de contaminação e diminuição do volume de água. Por meio da caracterização destes e dos demais aquíferos da região, se deseja evidenciar a relevância da água subterrânea para a comunidade e contribuir com ações de valorização e proteção ambiental. Com a pesquisa de diversos trabalhos realizados na área do projeto Geoparque Corumbataí, foram apresentadas diversas características dos aquíferos, suas contaminações e valores de reservas e demandas. Além de quais deles carecem de proteção e as diferenças entre os mecanismos governamentais que tem como objetivo sua preservação e o projeto Geoparque Corumbataí.

Palavras-chave: Água subterrânea. Aquíferos. Geoparque. Geoconservação. Bacia do Rio Corumbataí.

Abstract

The term geoconservation arose at the end of the 20th century to address the preservation of geosites, places of geological importance already inventoried and characterized. An alternative of preservation are the geoparks, an idea originated by UNESCO in 2000. The Geopark Corumbataí project is in the Corumbataí Watershed, in the eastern center of the São Paulo state, a region with the presence of important aquifer systems for society such as the Tubarão and Guarani Aquifer Systems, which have a high risk of contamination and decrease of water volume. Through the characterization of these and other aquifers in the region, it is desired to highlight the relevance of groundwater for the community and contribute to actions of valorization and environmental protection. With the research of several papers of the Geopark Corumbataí project's area, several characteristics of the aquifers were presented, their contamination, numbers of reserves and demands. In addition, which of them lack protection and the differences between the government mechanisms that aim their preservation and the Geopark Corumbataí project.

Key words: Groundwater. Aquifers. Geopark. Geoconservation. Corumbataí watershed.

Lista de figuras

Figura 1 – Classificação dos tipos de aquíferos quanto a porosidade. A) Poroso; B) Fraturado; C) Cárstico.....	15
Figura 2 – Classificação dos tipos de aquífero quanto a pressão hidroestática.....	16
Figura 3 – Evolução histórica das áreas de proteção no entorno de afloramentos de águas subterrâneas no Brasil. A) Situação com o Código Florestal de 1965. B) Situação após as resoluções CONAMA nº 004 de 1985 e 303 de 2002, as leis nº 7.511 de 1986 e 7.803 de 1989. C) Situação após a Lei nº 9.985 de 2000 e antes da Resolução CONAMA nº 303 de 2002. D) Situação com o Código Florestal de 2012 e antes da ADI nº 4.903 de 2018.....	20
Figura 4 – Fluxograma com a sequência dos métodos.....	24
Figura 5 – Localização das UGRHI's no estado de São Paulo, com destaque (em preto) para a UGRHI 5, nomeada Piracicaba, Capivari e Jundiaí.	25
Figura 6 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (em verde) em relação a Bacia PCJ.....	26
Figura 7 – Classificação dos climas da região da Bacia PCJ segundo Köppen, com destaque (em preto) para a sub-bacia do Rio Corumbataí.....	27
Figura 8 – Tipos de solos predominantes na sub-bacia do Rio Corumbataí. Sendo LR, LE e LV, latossolos roxo, vermelho e vermelho-amarelo, respectivamente; PV e PE, podzólicos vermelho-amarelo e vermelho-escuro, respectivamente; TE, terra roxa estruturada; AQ, areias quartzosas; Li, litólicos; Hi, gley pouco húmicos e húmicos e BV, brunizem avermelhado. ..	28
Figura 9 – Mapa geológico da Bacia do Rio Corumbataí.	30
Figura 10 – SAT localiza-se sotoposto ao embasamento cristalino, em sedimentos arenosos e argilosos.....	33
Figura 11 – Captações superficiais e subterrâneas da Bacia do Rio Corumbataí.	36
Figura 12 – SAG localizado acima do Aquicludo Passa Dois e abaixo do SASG.....	37
Figura 13 – Áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani.	39
Figura 14 – Área de afloramento do SAG no estado de SP e na Bacia do Rio Corumbataí. ..	40
Figura 15 – SASG localizado entre o Aquífero Bauru e o SAG.....	41
Figura 16 – Aquífero Bauru livre sotoposto ao SASG.....	44
Figura 17 – Quantidade de registros para cada finalidades de uso nas Bacias PCJ. Números do banco de dados de cobrança paulista para os usuários com outorga destinada à captação subterrânea.....	50
Figura 18 – Percentual que as demandas de cada setor representam da demanda total na sub-bacia do Rio Corumbataí.	51

Figura 19 – Distribuição das demandas de água por município com destaque (em vermelho) para a sub-bacia do Rio Corumbataí.....	53
Figura 20 – Fontes potenciais de contaminação na Bacia do Rio Corumbataí.	54
Figura 21 – Classificação IPP dos municípios da Bacia do Rio Corumbataí.....	55
Figura 22 – Vulnerabilidade dos aquíferos na Bacia do Rio Corumbataí.	56
Figura 23 – Áreas de Preservação Permanentes (APP) e Unidades de Conservação (APAs e FE) da Bacia do Rio Corumbataí.....	57

Lista de quadros

Quadro 1 – Índice de utilização permitida dos sistemas aquíferos do estado de São Paulo. ..	17
Quadro 2 – Vazão disponível nos aquíferos presentes na Bacia do Rio Corumbataí.	31
Quadro 3 – Síntese das informações apresentadas neste capítulo.....	46
Quadro 4 – Compilação dos dados de demanda obtidos da sub-bacia do Rio Corumbataí....	52
Quadro 5 – Tipos de áreas contaminadas inventariadas nos municípios da Bacia do Rio Corumbataí.	56
Quadro 6 – Unidades de Conservação na Bacia do Rio Corumbataí.....	58

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	GEOCONSERVAÇÃO.....	13
2.2	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	15
2.3	LEGISLAÇÃO SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	18
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	23
3.2	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	23
3.3	ANÁLISE DOS DADOS	23
3.4	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	24
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	25
4.1	BACIA DO RIO CORUMBATAÍ	25
4.2	AQUÍFEROS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORUMBATAÍ.....	29
5.	CARACTERIZAÇÃO DOS AQUÍFEROS	33
5.1	SISTEMA AQUÍFERO TUBARÃO	33
5.2	AQUICLUDE PASSA DOIS	36
5.3	SISTEMA AQUÍFERO GUARANI	37
5.4	SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL.....	41
5.5	AQUÍFERO DIABÁSIO	43
5.6	AQUÍFERO BAURU	43
5.7	AQUÍFEROS CENOZOICOS INDIFERENCIADOS	44
5.8	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	45
6.	DISCUSSÃO E RESULTADOS	47
6.1	RESERVAS DOS AQUÍFEROS	47
6.2	DEMANDAS NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ.....	48
6.2.1	Demanda potencial	48

6.2.2 Demanda real de abastecimento urbano	48
6.2.3 Demanda industrial.....	49
6.2.4 Demanda para irrigação	50
6.2.5 Demanda para criação animal.....	51
6.2.6 Síntese das demandas	51
6.2.7 Reserva vs. Demanda	52
6.3 CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS	53
6.4 MEIOS DE PROTEÇÃO DOS AQUÍFEROS.....	57
6.5 PROJETO GEOPARQUE CORUMBATAÍ COMO INSTRUMENTO DE GEOCONSERVAÇÃO	60
7. CONCLUSÕES	62
8. REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

A geodiversidade está ameaçada por conta do avanço das grandes cidades, com isso, problemas como invasão de locais para a construção de moradia, descarte impróprio do lixo, poluição do solo e das águas por conta de agrotóxicos e resíduos de indústrias se tornam cada vez mais comuns (COSTA, 1987). Alguns destes locais deveriam ser preservados, protegidos e valorizados por conta de sua relevância científica, social ou econômica. Uns podem ser utilizados para fins educacionais, outros como um local rentável a partir de turismo. Ainda podemos citar a importância de algumas áreas para a recarga de aquíferos ou fontes de água que abastecem diversas cidades da região.

Tendo em vista os imbróglis citados, um dos assuntos que vem ganhando maior destaque é a geoconservação, que engloba iniciativas em defesa dos espaços não só geológica e geomorficamente, mas também cultural, social e economicamente importantes (SHARPLES, 2002; GRAY, 2004). Para que alguma medida seja tomada na questão da preservação, seja de pontos específicos ou de aquíferos, é importante a inclusão da população local, já que são estes os indivíduos que estão em contato contínuo com o que se quer conservar.

Uma etapa chave para que mais pessoas se engajem na defesa destes espaços seria a educação ambiental em escolas, por exemplo. Para isto, inicialmente a linguagem especializada de difícil compreensão das Geociências deve ser mudada para algo mais informal, deixando-a mais acessível para o público em geral (BRILHA, 2005), como o que ocorre nos demais geoparques ao redor do mundo, como o Araripe Geopark localizado no Ceará. Além disso, devem ser feitas atividades que despertem o fascínio da população, fazendo com que mantenham o interesse na área e, com o conhecimento obtido, passem a ver a importância do local e transforme em ações o desejo de preservar o espaço.

Uma das iniciativas com o intuito de proteger as áreas por meio da educação ambiental e seu uso sustentável, são os geoparques, criados pela Unesco, definidos como uma área singular com grande importância geológica, sendo gerenciados considerando sua proteção (UNESCO, 2017). Tem o objetivo de conscientizar o público geral sobre problemas ambientais, dar um senso de identificação a população local com a região em que vivem, criar empregos e estimular a economia por meio de geoturismo (CPRM, 2019).

Um local com as características de um geoparque é a sub-bacia do Rio Corumbataí, que pertence a Bacia do Rio Piracicaba, no centro leste do estado de São Paulo. Uma região com diversos geossítios de grande importância, aquíferos ricos que alimentam grandes regiões e a

presença de áreas de recarga importantes, como do Sistema Aquífero Guarani por exemplo, que abrange não apenas o Brasil, mas diversos países.

Por estas razões foi criado o Projeto Geoparque Corumbataí, para valorizar a geoconservação da sub-bacia, já que conta com a presença de águas subterrâneas que abastecem as torneiras de diversos municípios de seu entorno e possui muitos locais altamente populosos e industrializados. A contaminação ou escassez destes aquíferos tem potencial para causar problemas de saúde pública, por isso sua conservação e a conscientização da população de sua relevância é de extrema importância. Além disto, a implementação do geoparque traria uma nova fonte de renda para a comunidade através do geoturismo.

O trabalho tem como objetivo destacar a relevância dos aquíferos Tubarão, Guarani, Serra Geral e Diabásio na área do projeto Geoparque Corumbataí. Para isto, eles serão caracterizados, visando ressaltar sua importância para a sociedade e contribuir com ações de valorização e proteção ambiental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Alguns tópicos importantes para o decorrer do trabalho são algumas definições e informações sobre geoconservação, incluindo geodiversidade, patrimônio geológico local e parte da história de geoparques. Além disto, são dadas algumas características fisiográficas sobre a região da Bacia do Rio Corumbataí, definição de aquíferos, breve caracterização daqueles presentes na área e síntese sobre a legislação relevante à água subterrânea.

2.1 GEOCONSERVAÇÃO

Não se sabe quando o termo geodiversidade foi usado pela primeira vez (GRAY, 2004), mas ele recebeu maior atenção depois da Conferência de Malvern, realizada em 1993 no Reino Unido, que tinha como tema a conservação geológica e paisagística (GRAY, 2004; BRILHA, 2005). A geodiversidade difere da biodiversidade por seu foco estar nos aspectos abióticos da natureza (ambientes geológicos) e possui diversas definições distintas.

Segundo Sharples (2002) e Australian Heritage Commission et al. (2002), a geodiversidade trata da “diversidade de características, conjuntos, sistemas e processos geológicos (substrato), geomorfológicos (formas de paisagem) e do solo”.

Para Stanley (2000), o termo representa “a variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra”.

Segundo Gray (2004), a geodiversidade é “a variedade natural de aspectos geológicos (minerais, rochas e fósseis), geomorfológicos (formas de relevo, processos) e do solo. Inclui suas coleções, relações, propriedades, interpretações e sistemas” e possui valores intrínseco (por conta da própria existência), cultural, estético, econômico, funcional (suporte para uso e ocupação humana e processos que afetam sistemas físico e ecológico) e científico/educativo.

Arelado aos valores atribuídos para a geodiversidade está a conservação do patrimônio geológico local, este definido como sendo

“constituído por georrecursos culturais, que são recursos não-renováveis de índole cultural, que contribuem para o reconhecimento e interpretação dos processos geológicos que modelaram o Planeta Terra e que podem ser caracterizados de acordo com seu valor (científico, didático), pela sua utilidade (científica, pedagógica, museológica, turística) e pela sua relevância (local, regional, nacional e internacional)” (MUÑOZ, 1988, p. 85 - 100).

O patrimônio geológico local também é considerado como “o conjunto de geossítios (ou locais de interesse geológico) inventariados e caracterizados de uma dada região” (BRILHA,

2005). Ele está ameaçado por diversas atividades humanas (COSTA, 1987), principalmente porque a população não possui conhecimento sobre ele e, muitas vezes, nem sabe de sua existência (SALVAN, 1994). Para a preservação do patrimônio geológico deu-se o nome de geoconservação e tem como objetivos conservar, proteger, minimizar os impactos, interpretar e contribuir para manutenção da biodiversidade dependente da geodiversidade (SHARPLES, 2002). Ela é apoiada por instrumentos jurídicos como a Lei Federal nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que criou critérios e normas para a criação, implantação e gestão de áreas naturais preservadas, além do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (PEREIRA, BRILHA, MARTINEZ, 2008) que visa proteger as características geológicas, geomorfológicas, espeleológicas, arqueológicas, paleontológicas e culturais e gerar meios e incentivos para seu estudo e monitoramento, resultando em educação e recreação por meio do contato com a natureza.

Para que seja promovida a educação ambiental, deve-se destacar não só a geologia, mas também os aspectos culturais e históricos e temas envolvendo a poluição ambiental, como o descarte indevido de lixo, resíduos industriais e esgoto (NASCIMENTO et al., 2008). Para que todos entendam sobre o patrimônio geológico, é preciso fazer com que a linguagem científica fique acessível ao público leigo, contribuindo com seu conhecimento, despertando seu interesse e compreensão da importância da área, o primeiro passo para que tomem atitudes pela proteção do local (BRILHA, 2005).

No fim do século XX foi criado o *Geoparks* (Geoparques, em português), programa da UNESCO, que visa a conservação e divulgação do patrimônio geológico, esta foi a primeira iniciativa de valorizar locais com a geologia como o principal atrativo. Hoje ele é bastante difundido em locais engajados na geoconservação, países europeus e China são exemplos (NASCIMENTO et al., 2008).

Durante o 30º Congresso Internacional de Geologia, realizado em 1996 em Pequim, nasceu a ideia da *European Geoparks Network* (Rede Européia de Geoparques, em português) enquanto se discutia sobre o patrimônio geológico, se tornou realidade em junho de 2000 com membros da França, Grécia, Alemanha e Espanha (NASCIMENTO et al., 2008).

No Brasil entre as iniciativas pioneiras na área estão a da CPRM – Serviço Geológico do Brasil e a do DRM/RJ (Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro), com o Programa Geotourismo do Brasil (GEOECOTURISMO, 2006) e o Projeto Caminhos Geológicos (CAMINHOS GEOLÓGICOS, 2006), respectivamente. O primeiro descreve

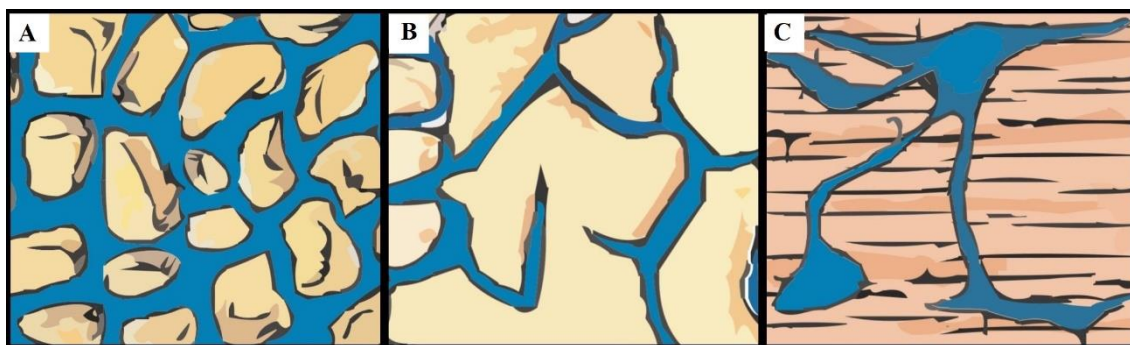
monumentos, feições, parques geológicos, afloramentos, cachoeiras, cavernas, sítios fossilíferos, patrimônio mineiro, fontes termais, paisagens, trilhas e outras atividades ecoturísticas, enquanto o segundo faz o levantamento, sistematização, uso, conservação e valorização de atrações que podem ser utilizadas pelo geoturismo.

2.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Segundo ANA (2017), os aquíferos são resultado do excedente da água pluvial que penetra o solo e preenche os espaços vazios presentes nas rochas, estas permitem sua circulação, armazenamento e extração, ou seja, são reservas de água subterrânea abastecidas pela chuva que são as responsáveis por suprir os rios dos arredores, garantindo que grande parte não seque em época de seca, definidos como perenes. Por sua abundância, muitos são usados para consumo humano ou agricultura, mostrando que sua preservação é de grande importância.

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com o tipo de porosidade das rochas, sendo divididos em três tipos: poroso, fraturado e cárstico (Figura 1). O primeiro caso é caracterizado pelo movimento da água através dos poros naturais da rocha, já o tipo fraturado e o cárstico são associados a vazios não naturais, sendo do primeiro tipo quando se trata de fraturas e fissuras de rochas ígneas ou metamórficas e do segundo no caso dissolução de rochas carbonáticas (FEITOSA et al., 2008).

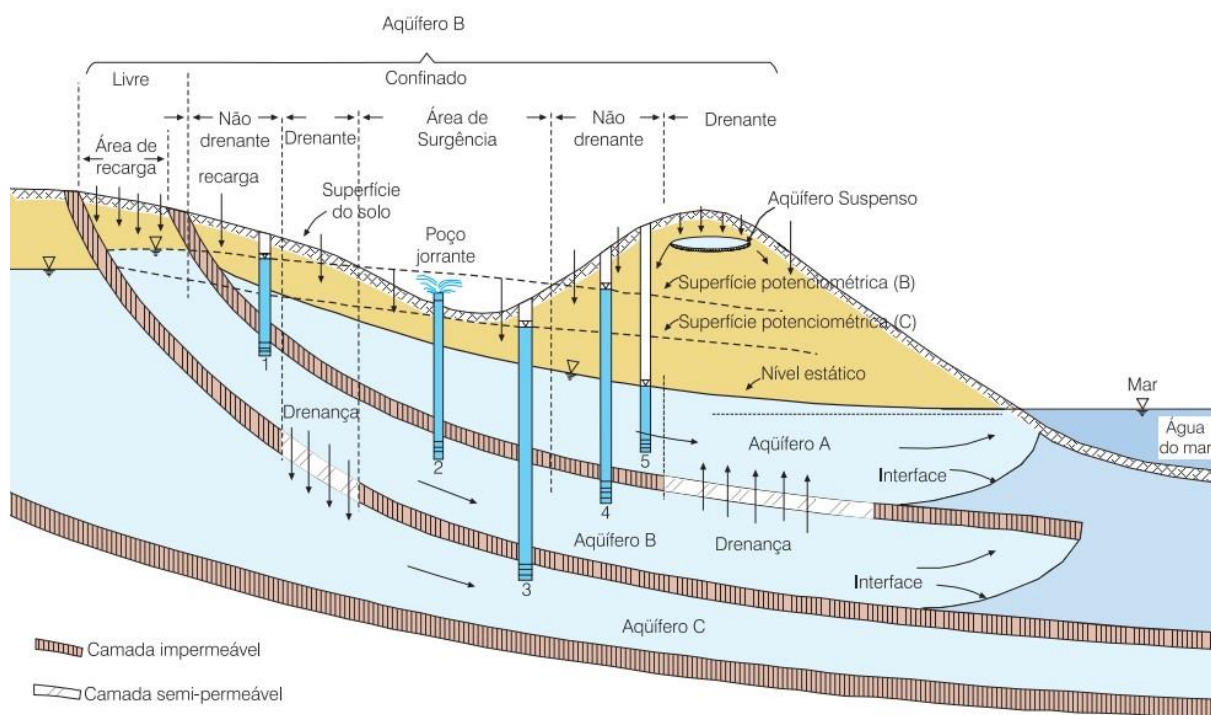
Figura 1 – Classificação dos tipos de aquíferos quanto a porosidade. **A)** Poroso; **B)** Fraturado; **C)** Cárstico.



Fonte: modificado de MMA (2007).

Outra classificação possível, considera a pressão hidrostática, distinguindo aquíferos confinados e livres (Figura 2). Segundo Feitosa et al. (2008), o primeiro pode ser definido como aquele que possui uma pressão em seu topo mais alta que a atmosférica, chamados também de aquíferos sob pressão. As camadas em contato com ele o diferenciam em aquíferos confinados drenantes, quando pelo menos uma é permeável, permitindo a entrada e saída de fluxo, e não drenantes, quando todas são impermeáveis. Também são classificados entre drenantes (base semipermeável) e não drenantes (base impermeável).

Figura 2 – Classificação dos tipos de aquífero quanto a pressão hidroestática.



Fonte: Feitosa et al. (2008).

Os poços que perfuram os confinados drenantes, podem ser jorrantes ou artesianos surgentes, ou seja, quando o nível freático está acima da superfície e a água subterrânea naturalmente chega à superfície (FEITOSA et al., 2008).

Ainda segundo Feitosa et al. (2008), os aquíferos livres, freáticos ou não confinados são aqueles que possuem pressão igual a atmosférica, possibilitando a infiltração da água pela superfície e caracterizando uma zona de recarga.

Existe também um caso especial chamado aquífero suspenso, este é formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável, entre a superfície e o nível freático da região, geralmente possuem caráter temporário, já que o nível freático varia constantemente (FEITOSA et al., 2008).

A água presente nos aquíferos está relacionada com o escoamento da bacia de drenagem em que se encontra, portanto, sua recarga vem diretamente da superfície, assim qualquer iniciativa de exploração de águas subterrâneas deve ser monitorada, já que afeta diretamente a disponibilidade hídrica de uma região. Para isto, foi determinada uma porcentagem da reserva reguladora que pode ser utilizada de cada aquífero (Quadro 1) dentro do estado de São Paulo levando em consideração a porosidade e hidráulica de cada aquífero e técnicas de captação (SIGRH, 2000).

Quadro 1 – Índice de utilização permitida dos sistemas aquíferos do estado de São Paulo.

SISTEMA AQUÍFERO	ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO (%)
Cenozoico, Bauru, Paraná-Furnas, Tubarão	25 a 27
Guarani, Bauru-Caiuá, Litorâneo, Quaternário	30
Cristalino, Serra Geral	20
Passa Dois (considerado um aquíclode regionalmente)	15

Fonte: elaborado pela autora baseado em dados de Agência das Bacias PCJ (2020b).

Existem estimativas de disponibilidade hídrica para cada bacia hidrográfica, porém estas consideram apenas as porções livres dos aquíferos, que possuem médias de vazões muito mais elevadas comparando-se com suas partes confinadas, um bom exemplo disso é o Sistema Aquífero Guarani que tem uma reserva total explotável de aproximadamente 40 km³/ano em toda sua extensão, dentro do estado de São Paulo, grande parte dele encontra-se confinado, reduzindo esse número para 4,8 km³/ano (ROCHA, 1997). Estes dados destacam a importância de uma utilização consciente da água através de um gerenciamento que é feito para alguns usos, como o doméstico e o industrial, porém os cadastros para outorga no DAEE e no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGA) não são atualizados com a frequência que deveriam para uma utilização controlada, além disso, muitas vezes se capta um volume mais elevado que o informado (COMITÊS PCJ, 2018).

As águas subterrâneas são usadas principalmente para abastecimento público e apresentam vantagens em relação as águas superficiais, já que são mais protegidos de agentes poluidores. Segundo o SigRH (2000), em 1997, aproximadamente 72% dos municípios do estado de São Paulo utilizam os aquíferos como fonte de água, número que subiu para 80% em 2006 (IRITANI & EZAKI, 2012), e 67% destes são totalmente abastecidos por ela, dentre eles grande parte possui menos de dez mil habitantes, mas também existem grandes cidades como Ribeirão Preto, onde já se sente o reflexo do uso excessivo dos aquíferos que é o rebaixamento do nível freático da região.

Ainda segundo SigRH (2000), as consequências da exploração além do limite das águas subterrâneas ocorrem em decorrência da captação desordenada do recurso por conta da carência de regulamentos sobre o problema, de normas para a construção de poços, de profissionais habilitados, de conscientização pública e da não aplicação de conhecimentos de hidrogeologia.

A poluição também é um problema, estudos conduzidos pela CETESB, DAEE e Instituto Geológico mostram que regiões de recarga do Sistema Aquífero Guarani, Ribeirão Preto/Franca e arredores, Bauru e arredores, São José dos Campos, Taubaté e Pindamonhangaba e Campinas e arredores são regiões onde é necessária maior preocupação ambiental (SIGRH, 2000). Para a gestão nestes locais sugeriram-se estudos de hidrogeologia e análise e monitoramento de atividades poluidoras (SIGRH, 2000).

O que vem sendo feito pela CETESB é a análise de amostras de uma rede de poços distribuídos pelos aquíferos dependendo de sua vulnerabilidade, uso público e extensão de sua área de afloramento, por exemplo a partir de um cadastro de atividade e políticas que visem proteger não apenas os mananciais, mas também os poços perfurados (CETESB, 2019).

2.3 LEGISLAÇÃO SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A intenção a proteger as águas subterrâneas e áreas importantes para preservação de sua qualidade, se iniciou na teoria em 1934 por parte do governo federal, com o Código Florestal (BRASIL, 1934a). Embora sua função fosse de defesa hídrica, não expressou proteção a afloramentos de água subterrânea.

A primeira legislação que tratou especificamente de recursos hídricos no Brasil foi o Código de Águas criado pelo Decreto Federal nº 25.643 em 10 de julho de 1934 (BRASIL, 1934b), mas este visava apenas regularizar seu uso para aproveitamento econômico.

A reformulação do Código Florestal em 1965 (BRASIL, 1965), revogado em 2012, cria as Áreas de Preservação Permanentes (APP) que podem ser definidas como locais pré-estabelecidos por conta de suas características naturais relevantes para proteção, sejam eles cobertos ou não de vegetação nativa, visando preservar recursos hídricos, paisagem, estabilidade geológica e biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e garantir o bem-estar da população que vive em áreas próximas. Ele é o primeiro a expressar a necessidade de proteger os afloramentos de água subterrânea e bacias contribuintes, porém, não estabelece os conceitos legais para nascentes e olhos d'água e a largura da faixa de proteção (Figura 3A).

Estes valores para as margens de rios foram modificados com a Lei nº 7.511 de 1986 que aumentou sua APP para no mínimo 30 metros (BRASIL, 1986). Para as nascentes e olhos d'água, a Resolução CONAMA nº 004 de 1985 (BRASIL, 1985), usada como fundamento para a Lei nº 7.803 de 1989 (BRASIL, 1989), estipula uma faixa de proteção como um raio de 50

metros de largura em qualquer situação topográfica, estendendo essa proteção a bacia contribuinte quando necessário (Figura 3B).

Os recursos hídricos foram considerados um bem limitado apenas com a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), que criou a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), com o objetivo de assegurar sua disponibilidade para gerações futuras por meio da utilização racional e descentralizada, garantindo assim sua qualidade e quantidade de maneira integrada e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos naturais ou causados pelo uso inadequado, também promove a conservação dos solos, já que sua contaminação pode afetar diretamente os aquíferos e rios. Esta é a lei que regulamentou os planos de recursos hídricos, quais empreendimentos necessitam da outorga para uso da água, sua cobrança etc., para promover sua utilização sustentável. Além disso, o dinheiro arrecadado com os impostos é direcionado para programas de educação ambiental e tecnologias visando a preservação dos recursos hídricos.

Outra ferramenta importante para a preservação não apenas dos aquíferos, mas também do meio ambiente, veio com a Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), que cria o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), estabelecendo normas e critérios para criação, implantação e gestão das unidades de conservação, que são espaços definidos pelo Poder Público com o objetivo de contribuir para a conservação dos recursos naturais e promover o desenvolvimento sustentável, sendo divididas entre as Unidades de Proteção Integral e de Uso Sustentável, a segunda com uma exploração mais flexibilizada que a primeira. São parte das Unidades de Conservação, as Áreas de Proteção Ambiental (APA), definidas como uma área que possui ocupação humana e tem o objetivo de proteger atributos bióticos, abióticos, estéticos e culturais importantes para a qualidade de vida da população.

Porém, a Lei nº 9.985 revoga a Resolução CONAMA nº 004 (BRASIL, 1985), deixando de incorporar a área que protegia as bacias de drenagem contribuintes (Figura 3C), o que foi revertido pela Resolução CONAMA nº 303 de 2002 (BRASIL, 2002), regressando a situação da Figura 3B.

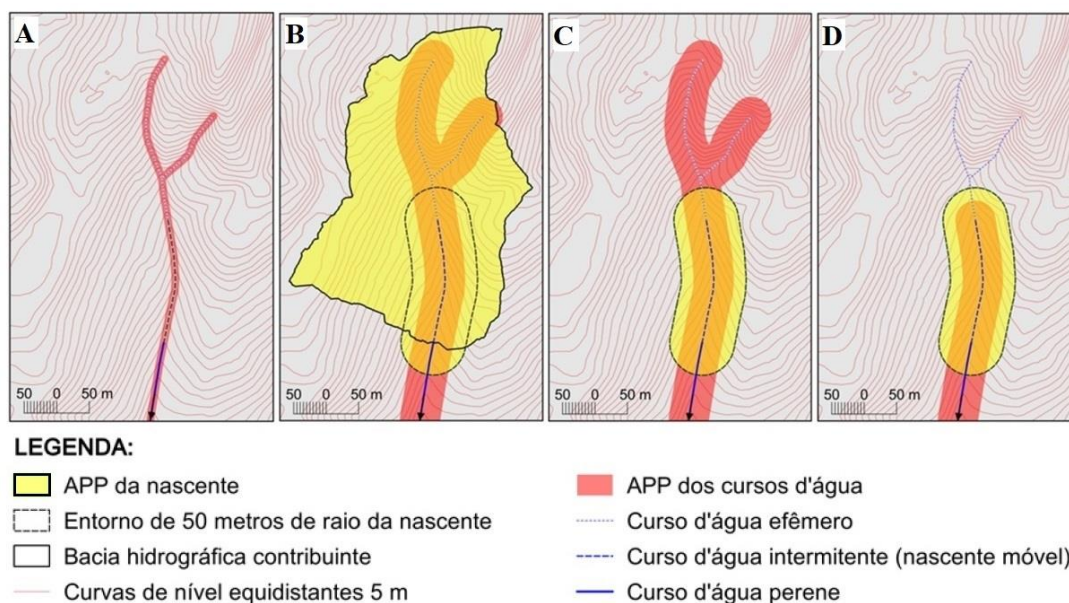
A Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012a), introduz o novo Código Florestal. Nesta classificação, pela primeira vez são diferenciadas nascente e olho d'água, sendo a primeira considerada perene e originária de corpos d'água, enquanto o segundo pode ser intermitente e dele não se derivam rios. A Área de Proteção Permanente (APP) é definida baseada nas dimensões, a partir de um raio de 50 metros, sendo tarefa do proprietário da terra

onde ela se encontra assegurar sua preservação, este dever é transferido ao novo dono no caso de venda do terreno, que podem receber uma compensação como incentivo à conservação ambiental, caso contrário, se houver a supressão da vegetação são aplicadas sanções e não há ajuda financeira por parte do governo para a recomposição da área.

Porém, o Código Florestal foi alterado pela Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012 (BRASIL, 2012b), que retirou a proteção no entorno dos olhos e cursos d'água intermitentes (Figura 3D), desconsiderando também a bacia de drenagem contribuinte como parte da APP, mostrando grande retrocesso na questão de proteção de águas tanto superficiais quanto subterrâneas. Esta lei foi derrubada pelo Supremo Tribunal Federal (STF) em 2018 por meio da Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) nº 4.903 que afirma que “os entornos das nascentes e dos olhos d'água intermitentes configuram área de preservação ambiental” (STF, 2018).

Figura 3 – Evolução histórica das áreas de proteção no entorno de afloramentos de águas subterrâneas no Brasil.

A) Situação com o Código Florestal de 1965. **B)** Situação após as resoluções CONAMA nº 004 de 1985 e 303 de 2002, as leis nº 7.511 de 1986 e 7.803 de 1989. **C)** Situação após a Lei nº 9.985 de 2000 e antes da Resolução CONAMA nº 303 de 2002. **D)** Situação com o Código Florestal de 2012 e antes da ADI nº 4.903 de 2018.



Fonte: modificado de Souza et al (2019).

Em termos de legislação estadual, a determinação da preservação das águas subterrâneas veio com a Lei nº 6.134 de 1988 (SÃO PAULO, 1988) por meio de medidas de proteção permanentes para conservação e melhor aproveitamento, como a fiscalização de sua exploração, medidas e estudos contra a contaminação, descarte de resíduos industriais,

comerciais e agropecuários lançados em locais onde não poderão poluir as águas subterrâneas, estudos hidrogeológicos e cadastro antes de poços serem perfurados.

Depois, a Lei Estadual nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991 (SÃO PAULO, 1991), atualizada pela Lei nº 16.337 de 14 de dezembro de 2016 (SÃO PAULO, 2016), estabeleceu os mesmos objetivos para a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), auxiliado pelo Sistema Integrado de Gerenciamento (SIRGH), em sua atualização também tenta fomentar projetos para aproveitamento múltiplo, incentiva o reuso e a recirculação, práticas racionais de irrigação e oferece subsídio ao planejamento da localização de empreendimentos, além da prevenção, mitigação e adaptação em áreas de maior vulnerabilidade à mudanças climáticas e recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos por meio de planos e programas.

Para o funcionamento da PERH, foram estabelecidos alguns critérios em documentos como a Deliberação CRH nº 052 de 15 de abril de 2005 (CRH, 2005), que tem como objetivo padronizar as metodologias para o controle e restrição do uso da água subterrânea, a Resolução Conjunta SERHS/SMA nº 1 de 22 de dezembro de 2006 (SERHS/SMA, 2006) que integra a outorga e o licenciamento ambiental e a Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3 de 21 de junho de 2006 (SMA/SERHS/SES, 2006), que estabelece as diretrizes para a gestão integrada da água subterrânea em áreas urbanas. Além destes, o Decreto nº 61.430, de 17 de agosto de 2015 (SÃO PAULO, 2015), fixou valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos especificamente na UGRHI Piracicaba, Jundiaí e Capivari, responsável pela gestão das águas na Bacia do Rio Corumbataí.

No fim da década de 90 também foi aprovada a Lei nº 9.866 (SÃO PAULO, 1997), baseadas em leis dos anos 70 aplicadas na Região Metropolitana de São Paulo que determinam padrões urbanísticos, restringem e apresentam critério para implantar sistemas públicos de abastecimento de água, de coleta e de disposição de resíduos sólidos e de esgotos em alguns mananciais em locais chamados Áreas de Proteção de Mananciais. A nova lei passa a abranger todo o estado e redefine os locais como Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM). Elas são criadas por leis específicas baseadas nas necessidades regionais, exigindo um Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental e são consideradas uma ou mais sub – bacias hidrográficas com mananciais relevantes para o abastecimento público.

A área de recarga mais importante na Bacia do Rio Corumbataí é a do SAG, por meio de sedimentos da Formação Pirambóia a água penetra no solo para abastecer o grande sistema (IRRIGART, 2005), abrangendo áreas de Analândia, Charqueada, Corumbataí, Ipeúna,

Itirapina e Rio Claro, municípios que são parte tanto da APA Corumbataí – Botucatu – Tejuapá Perímetro Corumbataí quanto da APA Piracicaba/Juqueri – Mirim Área I (BRAGA, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O trabalho foi iniciado com a etapa de levantamento de dados, consistindo na leitura e síntese de trabalhos encontrados pela internet, incluindo trabalhos de conclusão de curso, teses, artigos científicos e livros, sobre os conceitos de geodiversidade e geoconservação, como Gray (2004) e Nascimento et al. (2008). Em seguida foram consultados trabalhos sobre águas subterrâneas para que fosse elaborada uma explicação sucinta sobre o assunto, além de leituras sobre as Bacias PCJ para que fosse elaborada uma compilação de suas características principais como clima, solo e economia, importantes para que se obtenha um entendimento geral, a partir de relatórios elaborados pelos Comitês PCJ.

Após o estudo geral, foram lidos trabalhos mais específicos sobre os principais aquíferos dentro da área do Projeto Geoparque Corumbataí, sendo colhidas informações específicas como extensão geral, qualidade das águas, profundidade, geologia e quão influentes eles são na economia da região.

3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa foram organizados os dados de extensão, qualidade, geologia profundidade para cada aquífero dentro do território do projeto Geoparque Corumbataí que foram colhidas na etapa anterior.

Além disto, foram consultados artigos com informações sobre a proteção ambiental e de recursos hídricos desde o Código das Águas de 1934, tanto no âmbito federal quanto as legislações do estado de São Paulo e dados de reservas de demandas dos aquíferos que ocorrem na área do projeto Geoparque Corumbataí.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Nesta fase os dados levantados anteriormente foram organizados de forma que mostrassem os usos dos principais aquíferos nas cidades, quais estão sendo mais afetados por conta de influências antrópicas e qual tipo de contaminante é predominante em sua extensão.

Assim, é possível observar quais são as ameaças a integridade de cada aquífero e o quanto sua contaminação afeta os municípios que dependem dele, com isto, em futuras fases do trabalho, será possível a sugestão de um meio de proteção a alguns deles.

Também foi caracterizado cada aquífero tanto em sua totalidade quanto especificamente na região estudada. As imagens utilizadas foram modificadas e melhoradas em termos de qualidade usando o *Paint* e o *PhotoScape*.

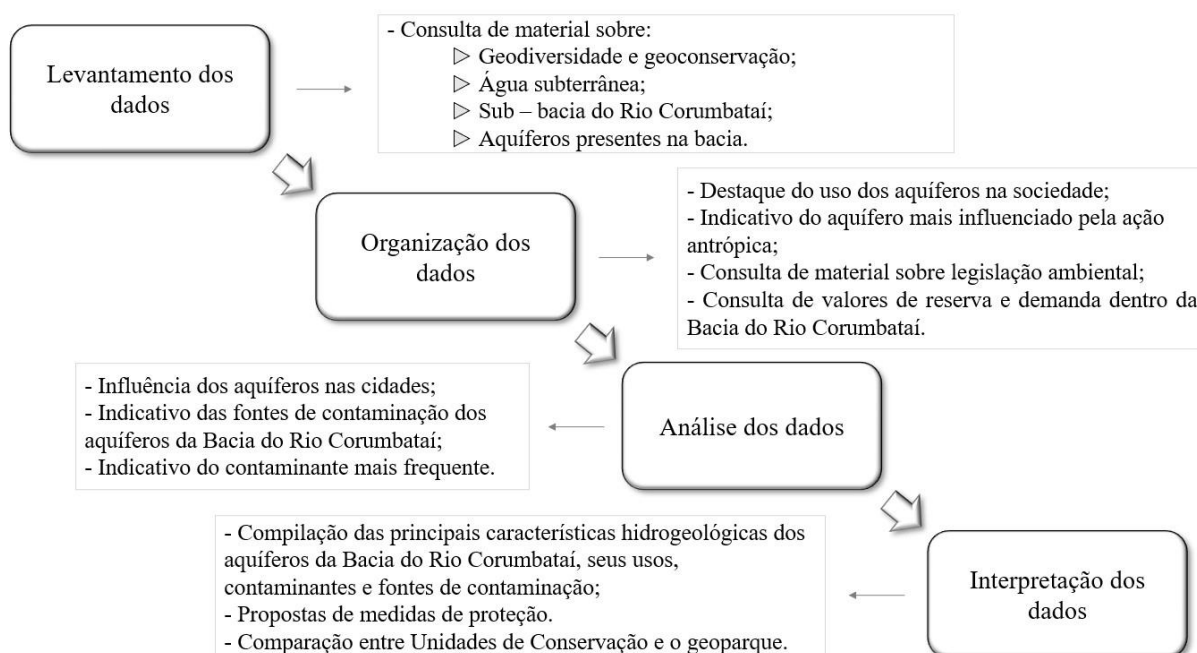
3.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Na última etapa, foi finalizado o trabalho escrito com a interpretação dos dados. Estão descritas as principais características da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, incluindo as hidrogeológicas, seus principais contaminantes e suas fontes, o uso de cada aquífero na sociedade, os valores de reservas e demandas foram comparados entre si e com outros estudos dos Comitês PCJ.

Também foram propostas algumas medidas para proteção de alguns aquíferos a partir de sua análise na fase anterior com o intuito de mostrar a razão pela qual estes devem ser valorizados pela população que mora em seu entorno, favorecendo a proteção dos aquíferos.

O Geoparque Corumbataí é aliado nesta missão de geoconservação, em conjunto com as comunidades, os municípios e entidades. Também foi comparada a proteção e os benefícios oferecidos pelas Unidades de Conservação e pelos geoparques. A sequência de ações pode ser vista no fluxograma (Figura 4).

Figura 4 – Fluxograma com a sequência dos métodos.



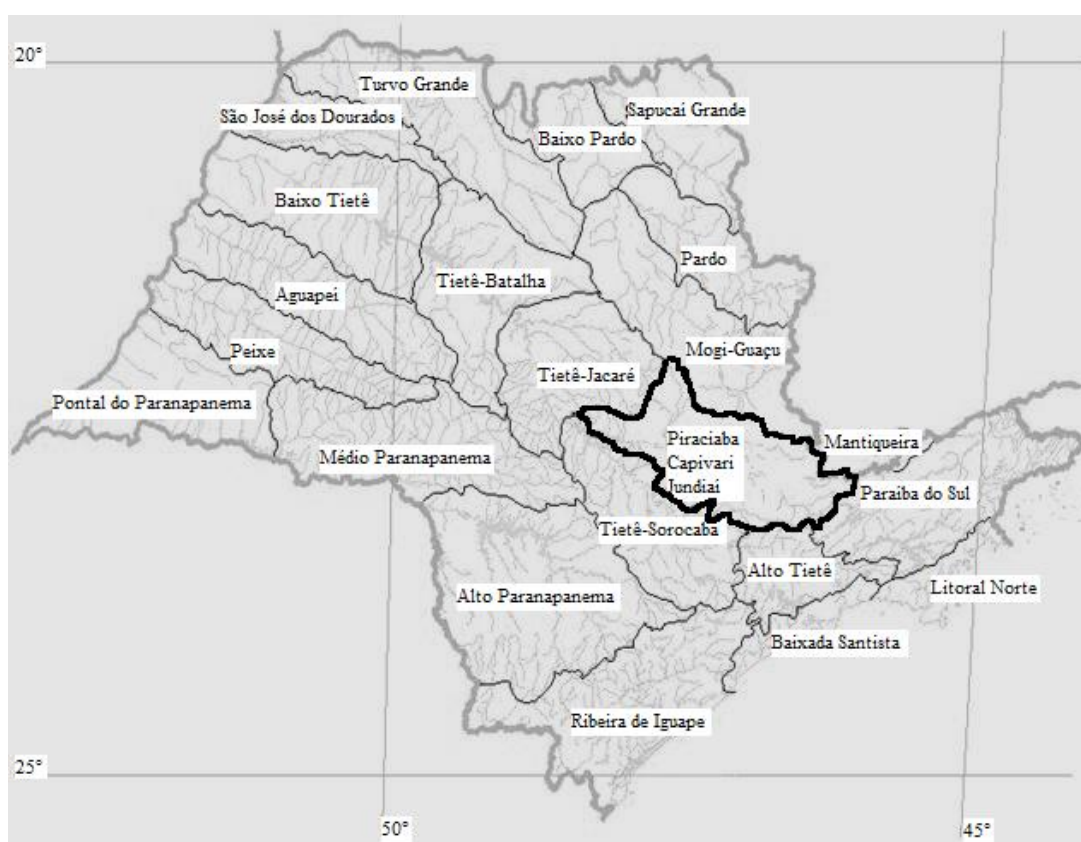
Fonte: elaborado pela autora.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1 BACIA DO RIO CORUMBATAÍ

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, área que foi analisada, é uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, inserida em umas das 21 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) de São Paulo (Figura 5), na porção centro-leste do estado. Situa-se na UGRHI 5, que consiste na junção da bacia mencionada com as dos rios Capivari e Jundiá, também chamadas de Bacias PCJ.

Figura 5 – Localização das UGRHI's no estado de São Paulo, com destaque (em preto) para a UGRHI 5, nomeada Piracicaba, Capivari e Jundiá.

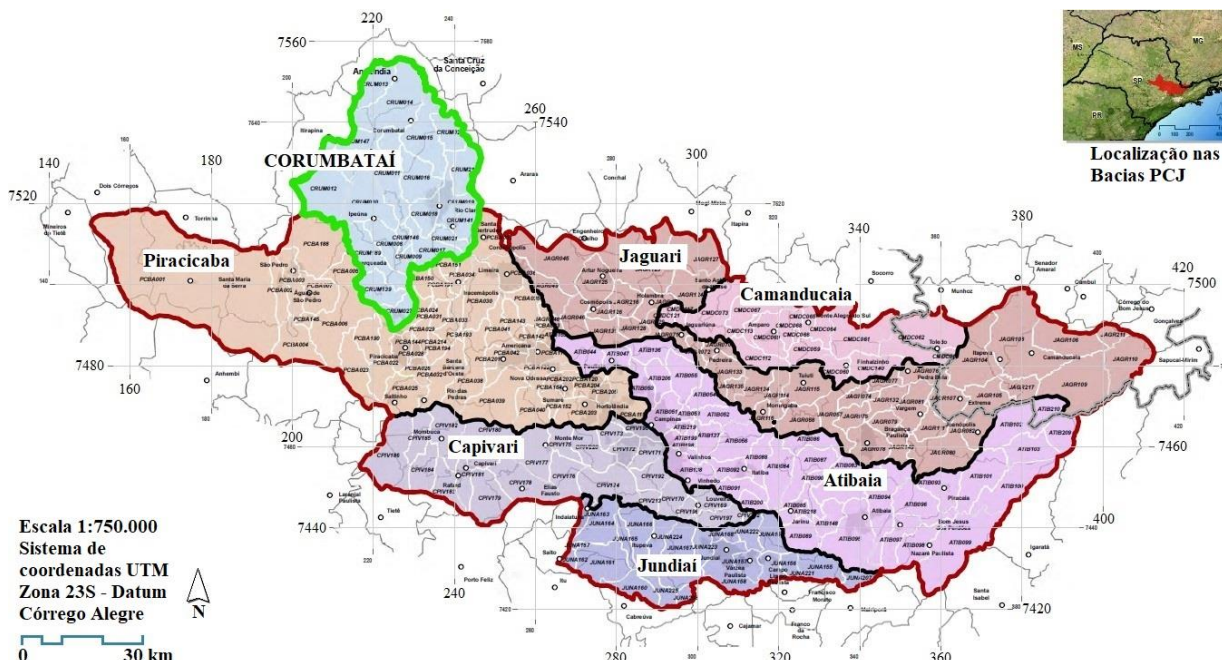


Fonte: modificado de Projeto Biota (2002).

A Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, é dividida entre os principais rios, resultando nas sub-bacias dos rios Jaguari, Camanducaia, Atibaia, Jundiá, Capivari e Corumbataí (Figura 6), alvo deste estudo, que se localiza na porção noroeste da bacia e ocupa aproximadamente 170.000 hectares, abrangendo municípios como Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro, Santa Gertrudes, e parte de Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Itirapina e Piracicaba. O principal rio da sub-bacia estudada é o Corumbataí que nasce em Analândia e desemboca no Rio Piracicaba depois de percorrer aproximadamente 120 quilômetros recebendo água dos rios Passa Cinco, Cabeça e Ribeirão Claro, com um desnível total de 588 metros, encontrando-se a

1.058 metros em sua nascente na Serra do Cuscuzeiro e 470 metros em sua desembocadura, com uma declividade média de 0,7% (CEAPLA, 2009).

Figura 6 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (em verde) em relação a Bacia PCJ.



Fonte: modificado de Cobrape (2010).

Os rios da região são utilizados para abastecimento doméstico, irrigação, aquicultura, hidratação de animais, um exemplo disto é a faixa do Ribeirão Claro entre o local de captação de água para Rio Claro e sua confluência com o Córrego Santa Gertrudes (COMITÊS PCJ, 2000).

A geomorfologia da Bacia do Rio Corumbataí se encaixa na transição entre a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental, a primeira definida como uma depressão formada por erosão entre escarpas da zona de *cuestas*, estas delimitam a porção leste dos derrames basálticos, a segunda sofreu erosão, gerando um aplainamento da superfície (PENTEADO, 1976).

O clima em grande parte da região é do tipo Cwa na classificação Köppen, chamado de subtropical, com duas estações bem definidas (Figura 7): uma seca durante o inverno, com cerca de apenas 20% da precipitação anual, aproximadamente 150 mm (CEAPLA, 2009) e temperaturas médias de 17°C e uma chuvosa no verão, representando 80% das chuvas anuais, chegando a mais de 600 mm (CEAPLA, 2009) e temperaturas superiores a 22°C (SALATI, 1996; TROPPEMAIR & MACHADO, 1993). Segundo CEAPLA (2009), a primavera possui características semelhantes ao verão, com chuvas que ultrapassam os 500 mm, enquanto o outono se parece com o inverno, suas chuvas ficam em torno de 200 mm.

Figura 7 – Classificação dos climas da região da Bacia PCJ segundo Köppen, com destaque (em preto) para a sub-bacia do Rio Corumbataí.

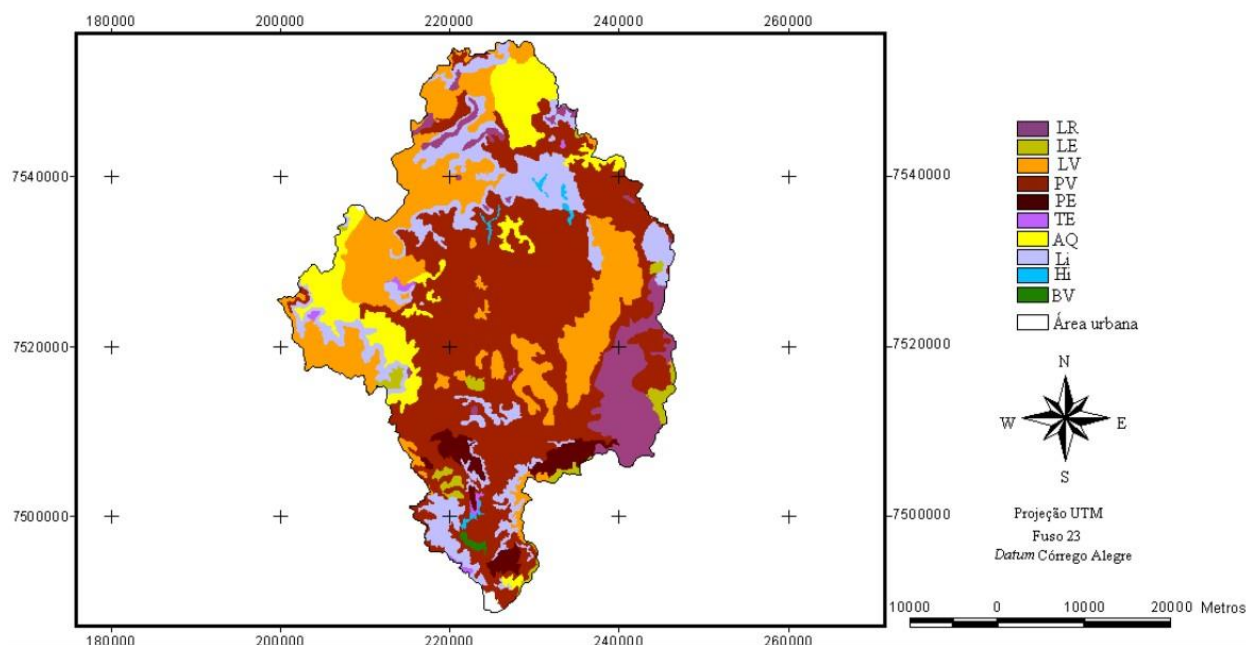


Fonte: modificado de Alvares et al. (2013).

Os solos da região (Figura 8) são predominantemente podzólicos e latossolos vermelho-amarelos, que ocupam aproximadamente 65% da bacia (KÖFFLER, 1993; PROJETO CORUMBATAÍ, 2001). O principal bioma nativo na sub-bacia do Rio Corumbataí é o Cerrado, que consiste em árvores baixas e um estrato herbáceo rasteiro (GOODLAND & FERRI, 1979). Mesmo o solo não sendo extremamente fértil, a área foi desmatada para dar lugar a plantações de café, ferrovias e olarias no século XIX (GARCIA, 2000), mais tarde estes locais foram ocupados por pastagens, cana de açúcar e silvicultura (KÖFFLER, 1993). A cana ainda é predominante na região, ocupando aproximadamente 43,96% da área total (COMITÊS PCJ, 2018), mas hoje nestes locais a topografia plana e a proximidade de centros consumidores facilitou a agricultura ser mecanizada e mais áreas estão sendo usadas na agropecuária (TOLEDO FILHO et al., 1984). Além destas, as regiões da sub-bacia do Rio Corumbataí possuem um importante polo cerâmico nacional, indústrias sucroalcooleiras e do setor metal-mecânico e produção de folheado, localizados, respectivamente, em Santa Gertrudes, Rio Claro, Piracicaba e Limeira (SIGRH, 2016).

Segundo os Comitês PCJ (2018), também existem várias áreas de mata nativa na região da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, que, somadas, correspondem a 22,7% do total, ocorrendo predominantemente no município de Rio Claro, onde estão porções das Áreas de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí – Botucatu – Tejuapá e Piracicaba e Juqueri – Mirim Área I.

Figura 8 – Tipos de solos predominantes na sub-bacia do Rio Corumbataí. Sendo LR, LE e LV, latossolos roxo, vermelho e vermelho-amarelo, respectivamente; PV e PE, podzólicos vermelho-amarelo e vermelho-escuro, respectivamente; TE, terra roxa estruturada; AQ, areias quartzosas; Li, litólicos; Hi, gley pouco húmicos e húmicos e BV, brunizem avermelhado.



Fonte: Projeto Corumbataí (2001).

Geologicamente, está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, esta com uma área aproximada de 1.400.000 quilômetros quadrados (ZÁLAN et al, 1987; MILANI, 1997), ocupando parte dos estados de Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além de países vizinhos ao Brasil, como Paraguai, Argentina e Uruguai. As formações geológicas que abrangem a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí são: Itararé e Tatuí do Grupo Tubarão, Irati e Corumbataí do Grupo Passa Dois, Pirambóia, Botucatu e Serra Geral do Grupo São Bento e Rio Claro (KÖFFLER, 1993).

Em termos de água subterrânea, a região não é tão rica, porém ela possui cada vez mais importância, já que, por conta do crescimento econômico local, principalmente para indústrias e irrigação, as demandas crescem, tornando necessário extrair uma vazão cada vez mais alta dos aquíferos. Este aumento progressivo pode gerar um problema caso seja feito de maneira desenfreada e sem fiscalização, pois, como já dito, as Bacias PCJ não possuem um arcabouço hidrogeológico de grande potencial, tornando-as suscetíveis a quedas na quantidade disponível e qualidade da água (COMITÊS PCJ, 2018).

4.2 AQUÍFEROS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORUMBATAÍ

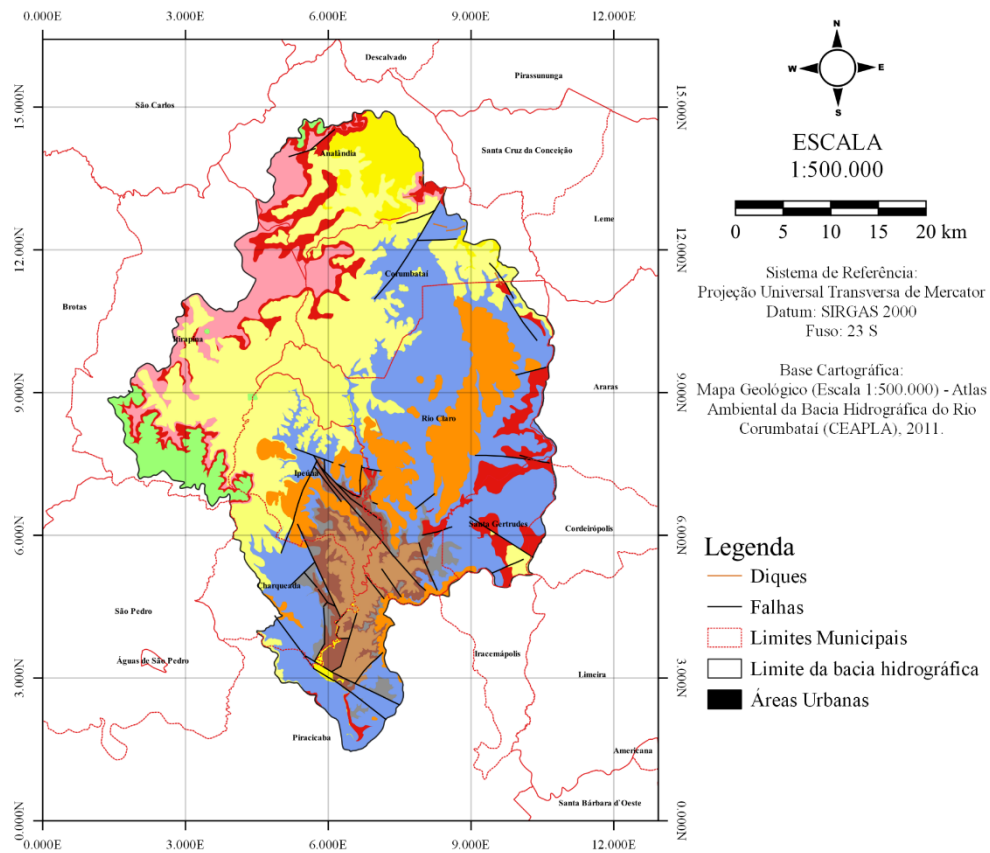
As Bacias PCJ possuem uma baixa dependência das águas subterrâneas, indicando que dentro das porcentagens totais extraídas, o abastecimento da UGRHI é predominantemente composto de águas superficiais (ROCHA et al., 2006).

O volume de água subterrânea potável disponível para o consumo de cada habitante é um importante fator para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, neste aspecto, as Bacias PCJ estão entre aquelas com a disponibilidade crítica em relação as demais bacias do estado de São Paulo (ROCHA et al., 2006). Porém, na região ainda não ocorrem os problemas de exploração excessiva dos aquíferos, seus impactos socioeconômicos são mínimos, a qualidade da água subterrânea é alta e a região tem uma vulnerabilidade baixa, com poucos casos de contaminação (ROCHA et al., 2006).

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí possui em seu território os aquíferos fraturados Serra Geral e Diabásio, ambos relacionados a Formação Serra Geral; e os aquíferos sedimentares Guarani, que corresponde a quase 50% da área da sub-bacia (COMITÊS PCJ, 2018) nas formações Pirambóia e Botucatu, Passa Dois nas formações Irati e Corumbataí, Tubarão nas rochas das formações Itararé e Tatuí, o Aquífero Bauru na Formação Itaqueiri e o Aquífero Cenozoico Indiferenciado, relacionado a Formação Rio Claro, suas coberturas correlatas e os depósitos aluvionares e coluvionares (Figura 9).

A produtividade de cada aquífero é influenciada pela densidade de fraturas e posicionamento topográfico/estratigráfico dos estratos aquíferos. Tem relação também com sua capacidade específica, quanto mais alto este valor, maior a vazão pode ser extraída para cada metro rebaixado (COMITÊS PCJ, 2018). Além disso, ainda segundo os Comitês PCJ (2018), também pode-se afirmar que a recarga das águas subterrâneas depende do regime e volume de chuvas que infiltra a superfície, o que decorre das propriedades hidráulicas do solo, do tipo de ocupação e declividade.

Segundo os Comitês PCJ (2018), as reservas totais são divididas em três: a reguladora, a permanente e a explorável. A primeira, chamada reguladora, efetiva ou de recurso dinâmico, correspondente ao volume de água que entra no aquífero anualmente através das precipitações. A segunda é a permanente, estática ou armazenamento permanente, referente a quantidade total de água armazenada nos poros e fraturas das rochas, podendo ser ou não exploráveis.

Figura 9 – Mapa geológico da Bacia do Rio Corumbataí.

Era geológica	Unidades geológicas	Principais litologias	Unidades aquíferas
Cenozoico	Aluviões e Coberturas Recentes	Sedimentos arenosos inconsolidados.	Aquífero Cenozoico Indiferenciado
	Formação Rio Claro	Arenitos arcossianos e conglomeráticos mal consolidados e argilitos.	
Mesozoico	Formação Itaqueri	Intercalação de arenitos com matriz argilosa, folhelhos, conglomerados e arenitos silicificados.	Aquífero Bauru
	Formação Serra Geral	Basaltos e diabásios.	Sistema Aquífero Serra Geral/Aquífero Diabásio
	Formação Botucatu	Arenitos de granulação média a fina, com argilitos e siltitos na porção superior.	Sistema Aquífero Guarani
	Formação Pirambóia	Arenitos médios a muito finos intercalados com argilitos e siltitos.	
Paleozoico	Formação Corumbataí	Argilitos, folhelhos e siltitos com intercalação de bancos carbonáticos.	Aquicluda Passa Dois
	Formação Irati	Membro Taquaral com siltitos e folhelhos e Membro Assistência com folhelhos associados a calcários com concreções de sílex.	
	Formação Tatui	Ambos membros com lamitos. Inferior também com siltitos e superior com arenitos e calcários. Fácies Ibicatu no topo com conglomerados ricos em clastos de sílex e camadas de arenito grosso.	Sistema Aquífero Tubarão
	Grupo Itararé	Arenitos com granulação fina a conglomerados, diamictitos, folhelhos, lamitos, siltitos e ritmitos, com seixos e blocos erráticos.	

Fonte: modificado de Ceapla (2009), com informações de Almeida & Barbosa (1953); Arab et al., (2009); Assine et al., (2003); IPT (2000); Oliveira, (2012); Perinotto & Zaine (2008); Schneider et al., (1974); Soares (1972); Zaine (1994).

Ainda de acordo com os Comitês PCJ (2018), a terceira e última é a reserva explorável, que representa a vazão anual que pode ser extraída do aquífero sem produzir efeitos indesejáveis, sendo eles de ordem econômica (exaustão ou rebaixamento, impossibilitando o uso), hidrogeológica (inviabilização do uso das captações por limite das câmaras de bombeamento, acesso a água de má qualidade ou recalques no terreno prejudicando construções) ou social (deterioração do equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios, fontes e lagoas ou impedem o uso econômico da natureza).

A sub-bacia do Rio Corumbataí possui uma vazão disponível estimada em 1,724 m³/s, este número representa 12,4% do total das Bacias PCJ, sendo captados cerca de 0,172 m³/s, aproximadamente 10% do valor disponível, grande parte captada do Sistema Aquífero Guarani. No Quadro 2, está listada a vazão disponível dos aquíferos da Bacia do Rio Corumbataí, calculado com base na porosidade das rochas, capacidade hidráulica e formas de captação de água dos aquíferos (LOPES, 1994; SIGRH, 2001).

Quadro 2 – Vazão disponível nos aquíferos presentes na Bacia do Rio Corumbataí.

VAZÃO DISPONÍVEL NOS AQUÍFEROS	
Aquífero	Vazão (m³/s)
Cenozóico	0,172
Bauru	0,055
Serra Geral	0,037
Diabásio	0,094
Guarani	0,888 (51,5% do total)
Passa Dois	0,4 (23,2% do total)
Tubarão	0,078

Fonte: modificado de Irrigart (2005).

O Sistema Aquífero Tubarão (SAT) ocorre na porção centro-sudeste do estado de São Paulo, na Depressão Periférica, possui um valor baixo de vazão disponível, mas é encontrado numa região de alta taxa de crescimento, por isso, é muito usado (IRRIGART, 2005). Está relacionado a Formação Itararé depositada diretamente acima do embasamento cristalino em ambiente glacial continental e a Formação Tatuí de ambiente marinho raso, ambas de idade paleozoica.

O Aquicludo Passa Dois é o responsável por separar os sistemas aquíferos Tubarão e Guarani, está depositado em sedimentos finos do Grupo Passa Dois (IRRIGART, 2005).

Localmente pode ser denominado aquitarde, mas não possui grande capacidade de fornecer água para grandes comunidades.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) possui arenitos depositados em ambiente fluvio-lacustre e eólico no Triássico da Formação Pirambóia (CAETANO-CHANG & WU, 1992; MILANI et al., 1994) e os depositados em ambiente eólico no Jurássico-Cretáceo da Formação Botucatu, estes estão em discordância angular sobrepostos ao Grupo Passa Dois e uma parte se encontra confinada pela Formação Serra Geral (IPT, 1981).

O SAG ocupa grande parte da porção oeste da Depressão Periférica Paulista, aflorando numa faixa irregular de aproximadamente 160.000 km², estendendo-se de Rifaina, a norte, até Fartura, a sul e está sobreposto ao Aquicludo Passa Dois. É considerado o principal aquífero da Bacia do Paraná em termos de reserva e produtividade de águas subterrâneas (IRITANI & EZAKI, 2012), abastecendo grandes cidades em sua porção aflorante, como São José do Rio Preto, Marília, Ribeirão Preto, Araraquara e São Carlos. Porém, segundo os Comitês PCJ (2018), o aquífero se encontra distante dos principais centros de demanda das bacias.

Fora de São Paulo, o SAG é resultado de diversas outras formações, como Rosário do Sul no sul do Brasil e Buena Vista no Uruguai, ambas datadas do Triássico e Missiones no Paraguai e Tacuarembó na Argentina e Uruguai do Jurássico (ROCHA, 1997).

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) corresponde aos basaltos da Formação Serra Geral, datado do Eocretáceo (TURNER et al, 1994; STEWART et al, 1996), localizado entre o SAG e Bauru, ele ocorre de forma irregular no centro do estado de São Paulo.

O Aquífero Diabásio foi formado no mesmo evento da Formação Serra Geral, mas se diferencia do aquífero anterior por corresponder aos diabásios em forma de *sills* e diques alojados em rochas mais antigas, com ocorrência restrita, encontra-se como manchas em meio ao SAT, SAG e Aquicludo Passa Dois (COBRAPE, 2010).

O Aquífero Bauru ocorre em rochas dos Grupos Bauru e Caiuá, dentro da bacia, representados pela Formação Itaqueri, na região sudoeste, que possui arenitos, folhelhos e conglomerados (ALMEIDA & BARBOSA, 1953).

Alguns também se referem aos terrenos sedimentares terciários a recentes como Aquíferos Cenozoicos Indiferenciados, estes correspondem a Formação Rio Claro, suas coberturas cenozoicas correlatas e depósitos aluvionares e coluvionares recentes (COMITÊS PCJ, 2018).

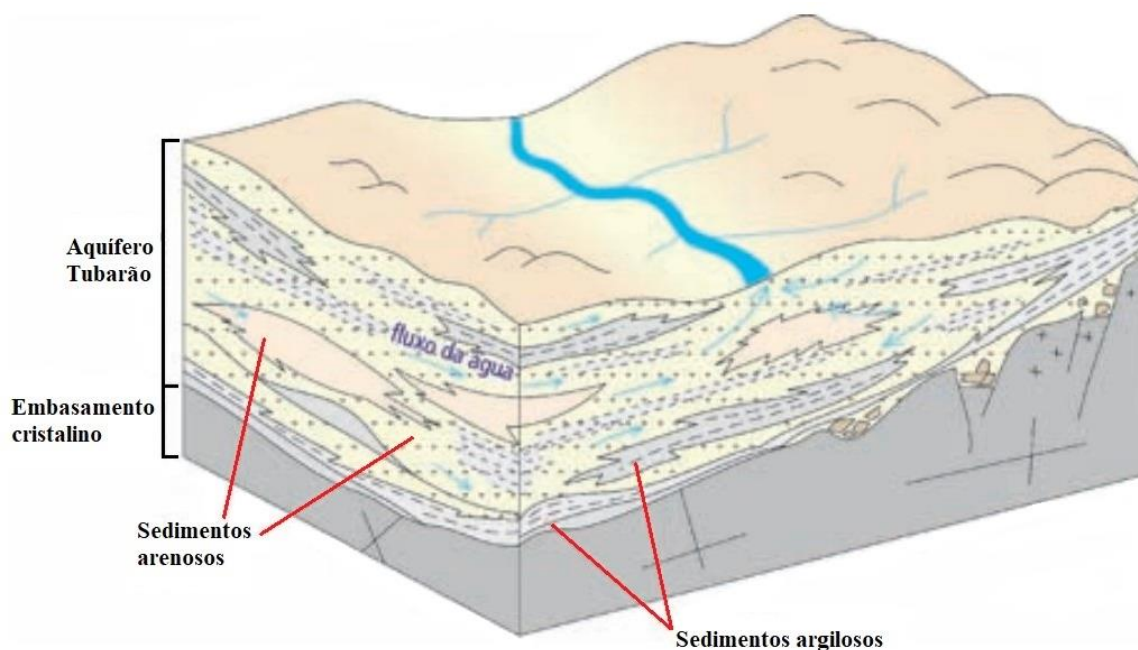
5. CARACTERIZAÇÃO DOS AQUÍFEROS

Neste capítulo serão apresentadas descrições e observações mais detalhadas sobre vazão, região onde ocorre e qualidade da água dos aquíferos presentes na sub-bacia do Rio Corumbataí, sendo eles o Sistema Aquífero Tubarão, Aquiclude Passa Dois, Sistema Aquífero Guarani, Sistema Aquífero Serra Geral, Aquífero Diabásio, Aquífero Bauru e o Aquífero Cenozoico Indiferenciado.

5.1 SISTEMA AQUÍFERO TUBARÃO

O Sistema Aquífero Tubarão está localizado no grupo homônimo, corresponde aos reservatórios das formações Itararé e a Tatuí (Figura 9), a primeira é depositada acima do embasamento cristalino da Bacia do Paraná de idade Pré-Cambriana (Figura 10), composto por rochas como granitos, migmatitos, gnaisses, xistos e quartzitos (PERINOTTO & ZAINÉ, 2008).

Figura 10 – SAT localiza-se sotoposto ao embasamento cristalino, em sedimentos arenosos e argilosos.



Fonte: Iritani & Ezaki (2005).

Segundo Perinotto & Zaine (2008), a Formação Itararé possui 900 metros de espessura, tem contatos discordante e concordante com as rochas do embasamento e da Formação Tatuí. Foi depositado durante o Permiano-Carbonífero (SCHNEIDER et al, 1974) em uma grande diversidade de ambientes, como glacio-marinho plataformar, deltas, lagos, leques aluviais e fluvial (WASHBURNE, 1930), por isso, também possui litologias muito variadas, arenitos finos, conglomerados, diamictitos, folhelhos, siltitos, lamitos e ritmitos (ARAB et al, 2009), também existem seixos facetados, estriados e caídos, estes evidenciam a origem glacial das

rochas (DERBY, 1878). A diversidade de fácies dentro da formação faz com que também haja grande variedade pedogenética como solos com fragmentos de rochas, argilosos ou arenosos e com diversas colorações.

A Formação Tatuí, com contatos concordantes com as formações Itararé e Irati, do Grupo Passa Dois. Possui 50 metros de espessura (PERINOTTO & ZAINÉ, 2008), idade Permiana, depositada em plataforma marinhas, sistemas costeiro, deltaico (FÚLFARO et al, 1984) e progradante em ambiente marinho com trato de sistema de mar alto, no caso da fácies Ibicatu (STEVAUX et al, 1986). As rochas depositadas segundo Soares (1972) são lamitos e siltitos marrom arroxeados no membro inferior e lamitos cinza esverdeados, arenitos e calcários no membro superior, além de conglomerados com clastos de sílex e camadas lenticular e tabular de arenitos grossos da fácies Ibicatu. A Formação Tatuí localiza-se em paisagens com alta declividade, o que influencia em sua pedogênese, fazendo com que o solo possua pouca espessura, composta por argila com areia fina subordinada e coloração amarela pálida.

Segundo Montanheiro et al. (2014), o sistema possui números baixos de produtividade, por conta da grande quantidade de intrusões de diabásio da Formação Serra Geral que interrompem a continuidade do reservatório, além da variedade de camadas com diferentes espessuras e composição granulométricas.

O SAT se localiza desde o estado de Minas Gerais até o Paraná, ocupando aproximadamente 450 quilômetros de comprimento e 45 quilômetros de largura na porção centro-sudeste do estado de São Paulo, entre os municípios de Casa Branca (extremo leste) e Itararé (sudeste), onde ocorre a Depressão Periférica Paulista e estão cidades como Sorocaba, Itu e a Região Metropolitana de Campinas (ROCHA et al, 2006), também chamado de eixo Campinas-Piracicaba, centros de conurbação e industrialização, com alta taxa de crescimento e escassez de recursos hídricos (COMITÊ PCJ, 2018). O aquífero tem uma área de aproximadamente 20.700 quilômetros quadrados e grande parte não é aflorante por conta das rochas dos grupos Paraná (Furnas e Ponta Grossa) e Passa Dois (Irati e Corumbataí), que abrigam o Aquicludo Passa Dois, porém aflora nas UGRHIs 4 e 5 (ODA et al, 2005).

As porções norte e central da ocorrência do SAT possuem um potencial de armazenamento de água mais debilitado, pois os sedimentos das formações Itararé e Tatuí possuem alto grau de cimentação e intrusões de diabásio (IRRIGART, 2005), aliada a isto está a matriz lamítica dos arenitos, conferindo menor permeabilidade, o que limitam sua potencialidade (COMITÊS PCJ, 2018). A partir de seu contato com o embasamento, sua

espessura pode chegar a até 800 metros, aumentando para oeste, direção que adentra a Bacia do Paraná, porém, dentro da sub-bacia do Rio Corumbataí está aproximadamente entre 200 e 500 metros (DAEE, 1982), abrangendo maiores áreas nos municípios de Charqueada, Piracicaba, Ipeúna e Rio Claro e em menor magnitude em Corumbataí e Santa Gertrudes.

Segundo DAEE (2008), a água do SAT possui, em comparação com os demais aquíferos sedimentares (Figura 9), os teores mais elevados de sódio, fluoreto e sulfato e é de boa qualidade para o consumo humano. Possui águas doces a fracamente salinas, classificadas como bicarbonatadas sódicas, variando até mistas e cálcicas, algumas desconformidades dos sais citados acima, mercúrio, chumbo, ferro e manganês (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020b).

Como já citado anteriormente, em comparação com os demais aquíferos, o SAT possui baixa produtividade, além disso, sua profundidade pode chegar a números muito elevados, existe uma grande quantidade de intrusões espessas de diabásio e um decréscimo da vazão em médio prazo (2 a 10 anos), já que a recarga do aquífero é deficiente, estes fatores tornam sua exploração possível somente em locais aflorantes e tornam novas perfurações mais arriscadas (COMITÊS PCJ, 2018), porém mesmo o aquífero possuindo heterogeneidades e descontinuidades, ainda é a principal fonte de água subterrânea que abastece a região. Na maior parte de sua extensão extrai-se 10 m³/h por poço, mas pode-se chegar até a 40 m³/h por poço (DAEE, 2008).

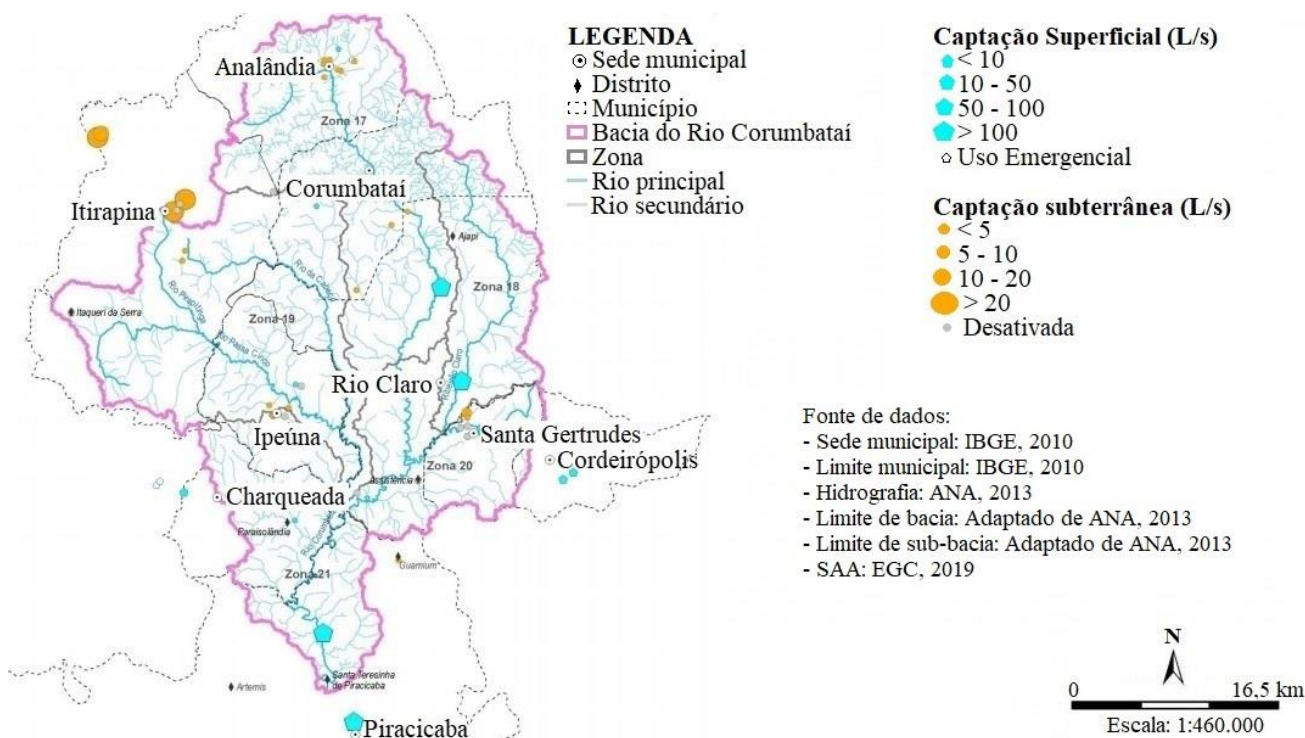
O SAT é usado para abastecimento público nos municípios de Corumbataí, Ipeúna, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes como pode ser visto na Figura 11, que mostra as captações dos municípios sem distinção entre aquíferos. O primeiro possui 2 poços de captação que totalizam 5,56 L/s (apenas 21% da vazão total), toda água subterrânea passa por desinfecção simples com cloro e o sistema de abastecimento urbano da cidade possui um índice de perdas baixo em relação as médias nacionais e estaduais, com apenas 16,7% (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020a).

Ipeúna possui 6 poços com captação da água subterrânea, com uma vazão de 36,1 L/s, o que corresponde a 67% da vazão total e um índice de perda de 48,2%. Antes da distribuição é feita uma desinfecção simples e mensalmente são checados parâmetros como coliformes totais e termotolerantes, cor aparente, temperatura, pH e turbidez para garantir a qualidade da água (AGÊNCIAS DAS BACIAS PCJ, 2020a).

Segundos as Agências das Bacias PCJ (2020a), a cidade de Rio Claro é abastecida em grande parte pela água superficial, com apenas 5,5 L/s, que representa apenas 0,5% da vazão

total captada, possui 4 poços que efetivamente produzem apenas 2,9 L/s por conta do tempo de funcionamento das bombas, este total passa por um processo de desinfecção simples e o município possui um índice de perdas de 39,4%, valor influenciado pelo sistema de medição deficiente.

Figura 11 – Captações superficiais e subterrâneas da Bacia do Rio Corumbataí.



Fonte: Agência das Bacias PCJ (2020a).

Santa Gertrudes possui 2 poços com vazão de 8,1 L/s, isto corresponde a 12% da vazão das captações da cidade, possui um índice de perdas de 20% e a água é tratada com adição de flúor antes de sua distribuição (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020a).

Já a cidade de Piracicaba possui 5 poços no SAT, todos fora da Bacia do Rio Corumbataí e com pouca representação na vazão total de captação, com apenas 11,2 L/s de 2.131,2 L/s (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020a).

5.2 AQUICLUDE PASSA DOIS

O Aquíclude Passa Dois faz a divisão entre o SAT e SAG, é composto predominantemente por sedimentos marinhos do Grupo Passa Dois (formações Irati e Corumbataí), possuindo folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos, com espessuras variadas e, algumas vezes ritmicamente intercalados (IRRIGART, 2005). Pode atuar em algumas porções como o aquífero do tipo fissural, intergranular ou poroso em meio a suas

camadas mais arenosas (COBRAPE, 2010), mas isto não o possibilita de fornecer água a grandes comunidades (IRITANI & EZAKI, 2012).

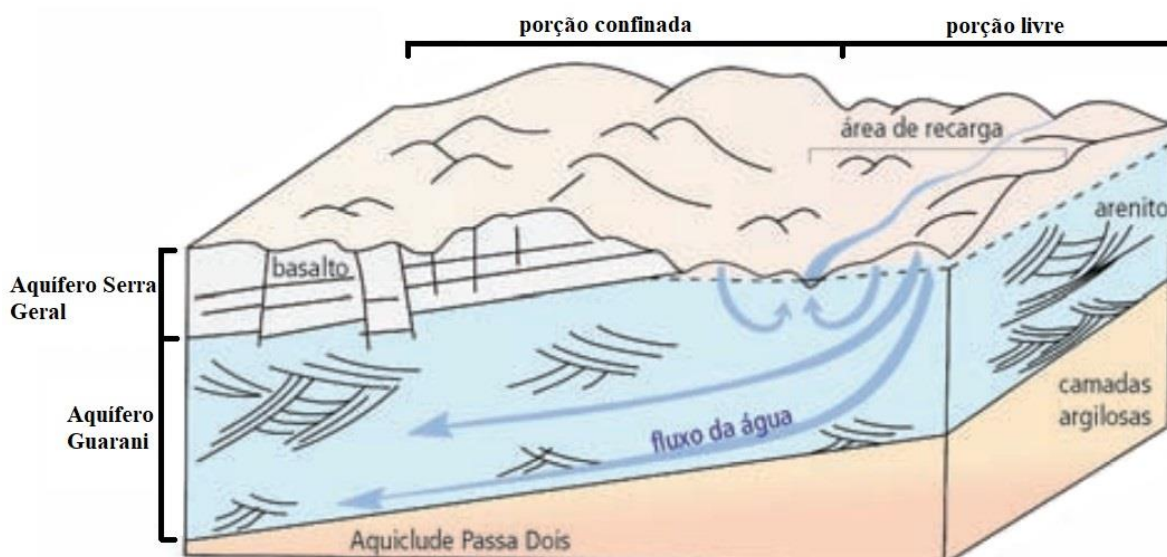
Segundo Manzione (2015), o Aquiclude Passa Dois abrange, no estado de São Paulo, uma área aproximada de 6.900 quilômetros quadrados, aflorando em 1.219 quilômetros quadrados e pode chegar a uma espessura média de 120 metros (IRITANI & EZAKI, 2012).

Dentro das Bacias PCJ o Aquiclude Passa Dois aflora em cerca de 1326 quilômetros quadrados, aproximadamente 9% das bacias. Abrange grande parte da área leste da Bacia do Rio Corumbataí, englobando os municípios de Corumbataí, Rio Claro, Ipeúna, Charqueada, Piracicaba e Santa Gertrudes, mas não há exploração de água neste perímetro (COBRAPE, 2010).

5.3 SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

O Sistema Aquífero Guarani localiza-se, dentro do estado de São Paulo, em rochas do Grupo São Bento, mais especificamente composto pelas formações Pirambóia e, sotoposta a ela, a Botucatu (Figura 9), a primeira de idade triássica e a segunda do Jurássico-Cretáceo. Ocorre sobreposto ao Aquiclude Passa Dois e sotoposto ao SASG (Figura 12).

Figura 12 – SAG localizado acima do Aquiclude Passa Dois e abaixo do SASG.



Fonte: Iritani & Ezaki (2005).

A Formação Pirambóia, segundo Perinotto & Zaine (2008), possui 150 metros de espessura e contatos discordantes, tanto com a Formação Corumbataí abaixo, quanto da Formação Botucatu acima. Possui grãos do tamanho areia com superfícies polidas, subarredondados, que variam de grãos médios a muito finos com algumas pequenas

intercalações com silte e argila e estratificações plano paralelas e cruzadas de baixo ângulo (ASSINE et al, 2003; PERINOTTO & ZAINÉ, 2008; ZAINÉ, 1994), o que evidencia a origem eólica de sua porção de topo num ambiente desértico, enquanto a base possui deposição fluvial (BRIGHETTI, 1994; SOARES, 1973). Seu contato com a Formação Botucatu é marcado por uma discordância regional (MILANI, 1994, 1997; ZÁLAN et al., 1987).

A Formação Botucatu ocorre em uma faixa estreita e contínua (N-S) no estado de São Paulo (COMITÊS PCJ, 2018) e possui uma intercalação de lâminas de areia fina a média e arenitos conglomeráticos na base (COMITÊ PCJ, 2018), apresenta estratificações cruzada, planar e acanalada, evidenciando seu depósito ambiente desértico, características observadas em rochas formadas por dunas eólicas, além de algumas poucas estratificações plano paralelas, relacionada a interdunas, elas também foram as responsáveis, junto com o recobrimento pelos derrames da Formação Serra Geral, pela variação de espessura da Formação Botucatu (ASSINE et al, 2004), que, segundo Soares (1975), é inferior a 150 metros e, segundo Sinelli et al. (1980), não ultrapassa 80 metros. Outras peculiaridades que associam a formação a ação do vento são os altos graus de arredondamento e seleção dos grãos, ausência de argila, granocrescência ascendente e laminação *pin stripe* (ASSINE et al, 2004).

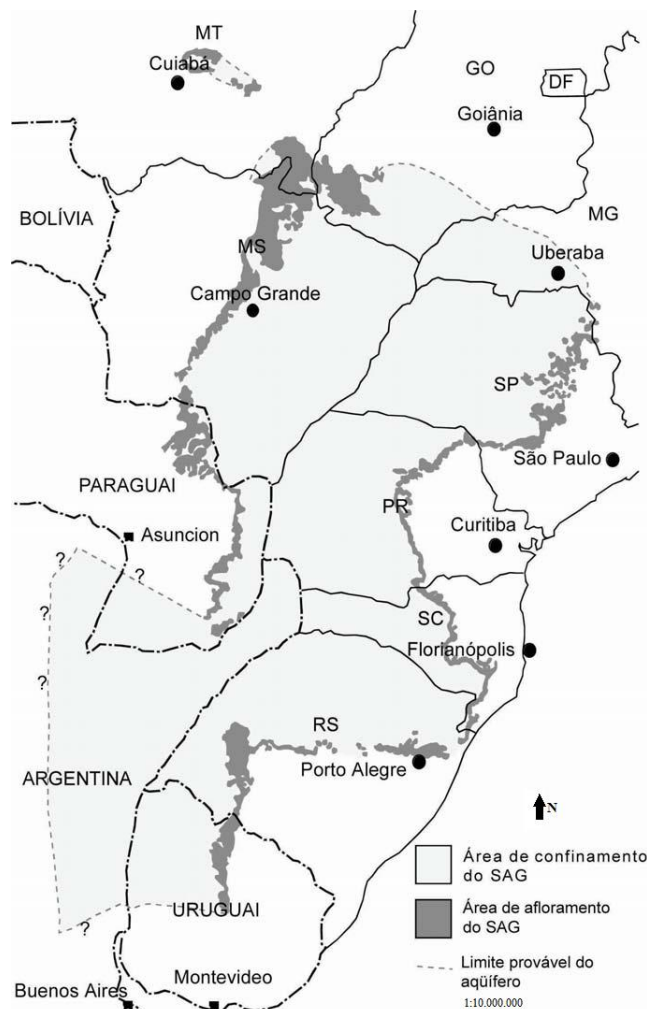
A Formação Botucatu encontra-se sob a Formação Serra Geral, por isso, a primeira possui inúmeros diques e *sills* a cortando e o contato entre as duas é interdigitado (ASSINE et al, 2004). Seu principal mineral constituinte é o quartzo, este se encontra muitas vezes com uma coloração avermelhada devido à presença de óxido de ferro que envolve o grão. Como a Formação Botucatu é composta majoritariamente por grãos do tamanho areia, o solo resultante também é predominantemente arenoso (COMITÊS PCJ, 2018).

Segundo Ribeiro (2008), o SAG ocupa uma área de 1.296.500 de quilômetros quadrados, presente em parte da Argentina (225.500 km²), Paraguai (71.700 km²), Uruguai (58.500 km²) e no Brasil (840.800 km²), dentro dos estados Mato Grosso do Sul (213.200 km²), Rio Grande do Sul (157.600 km²), São Paulo (155.800 km²), Paraná (131.300 km²), Goiás (55.000 km²), Minas Gerais (52.300 km²), Santa Catarina (49.200 km²) e Mato Grosso (26.400 km²) (Figura 13).

Segundo os Comitês PCJ (2018), o SAG ocorre na porção oeste das Bacias PCJ, ocupando aproximadamente 15% de sua área (2.126 quilômetros quadrados), em uma região onde não se situam municípios com alta demanda de água, distante dos principais centros e em condições freáticas na maior parte em que fica exposto dentro da UGRHI 5. Dentro da sub-

bacia do Rio Corumbataí, o aquífero abrange 755 quilômetros quadrados, o que corresponde a 42, 1% da região correspondendo a cidades como Analândia, Corumbataí, Itirapina, Ipeúna e pequenas frações de Charqueada e Rio Claro, com uma espessura de 250 metros na área livre e 350 a 500 metros na área confinada (IRRIGART, 2005).

Figura 13 – Áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani.



Fonte: modificado de OEA (2001).

Na UGRHI 5, mais especificamente no oeste da sub-bacia do Rio Corumbataí, está localizada sua zona de recarga (Figura 14), o que exige um planejamento mais cuidadoso para o uso e ocupação do solo para que a quantidade e a qualidade de suas águas sejam preservadas, além disso, seu afloramento dá certo conforto em termos de disponibilidade de água para a região que, como já dito, não é rica na categoria recursos hídricos subterrâneos, porém ele encontra-se distante dos centros de maiores demandas hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.

Figura 14 – Área de afloramento do SAG no estado de SP e na Bacia do Rio Corumbataí.



Fonte: modificada de Barbosa et al. (2011).

Segundo DAEE (2008), as águas do SAG são boas para tanto para consumo humano quanto para outras atividades. De fato, o aquífero abastece cidades tanto em áreas onde ele aflora quanto onde se encontra confinado, o que comprova sua alta produtividade e qualidade.

As águas do SAG são pouco mineralizadas, com uma concentração de sais maior e um pH básico em subsolo e menor e pH ácido em superfície, classificada como bicarbonatadas sódicas e cálcio-magnesianas na região de recarga (ASSINE et al., 2004), em geral de alta qualidade, como já dito, apenas algumas ocorrências pontuais de alguns metais e ametais (COMITÊS PCJ, 2018), como ferro e manganês em Analândia e, além destes, alumínio, chumbo e bactérias heterotróficas em Itirapina (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020b).

Em áreas aflorantes, os poços podem ser explorados se houver vazão entre 20 e 80 m³/h, já em regiões onde o SAG encontra-se confinado, é possível obter até 360 m³/h por poço, o que é o suficiente para abastecer até 30.000 indivíduos (DAEE, 2008).

Na Bacia do Rio Corumbataí, as águas subterrâneas do SAG são captadas para o abastecimento de diversas cidades. Uma delas é Analândia, que possui 7 poços para captação com vazão de 18,92 L/s (82% da vazão total das captações destinadas ao abastecimento do

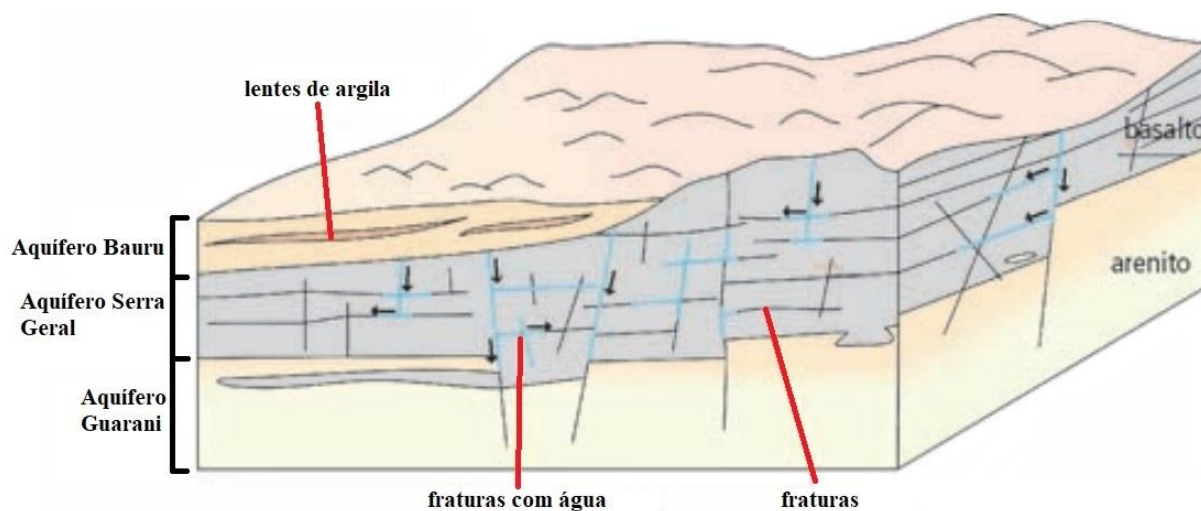
município) com um índice de perda de 59,65%, sendo todo o volume tratado com cloro e flúor para uma desinfecção simples antes da distribuição (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020a).

Outra cidade que utiliza o SAG é Itirapina, contando com 8 poços que passam por desinfecção simples através da adição de cloro e flúor, possuem vazão de 139,74 L/s, este número representa 100% da vazão total das captações e tem índice de perda de 28,8%, porém este valor é julgado como um subdimensionamento das perdas, pois não há parâmetros mostrando a quantidade de água que entra no sistema (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020a).

5.4 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL

O Sistema Aquífero Serra Geral é do tipo fraturado e ocorre em rochas extrusivas de maneira irregular na região da Depressão Periférica Paulista, localizado entre o SAG e o Aquífero Bauru (Figura 15), ambos sistemas relacionados as formações Pirambóia e Botucatu (Figura 9, página 30) e às rochas dos grupos Bauru e Caiuá, respectivamente (ROCHA et al., 2005). São correlatos a Formação Itaqueri (NISHIYAMA & ZUQUETTE, 1994), esta sobreposta a Formação Serra Geral (Figura 9, página 30) na Serra do Itaqueri, a oeste da Bacia do Rio Corumbataí (BASILIO, 2019), porém não há nenhum poço cadastrado nessa formação dentro da sub-bacia (DAEE, 2021), não interferindo então no SASG.

Figura 15 – SASG localizado entre o Aquífero Bauru e o SAG.



Fonte: Iritani & Ezaki (2005).

A Formação Serra Geral tem sua origem no Jurássico-Cretáceo (SCHNEIDER et al, 1974), relacionada a atividade do *hotspot* Tristão da Cunha que levou a fragmentação do Gondwana e a abertura do Atlântico no Cretáceo, gerando um magmatismo fissural que ocupa uma região de aproximadamente $1,2 \times 10^6$ km² da Bacia do Paraná (MELFI et al, 1988), do centro-sul do Brasil até Paraguai, Uruguai e Argentina.

A água se aloja em fraturas originadas pelo resfriamento da lava basáltica e pelo movimento tectônico posterior a sua consolidação (ROCHA et al., 2005). Este aquífero ocupa a porção oeste de São Paulo, mas está recoberto pelo Aquífero Bauru em grande parte do estado, aflorando apenas na porção central e em regiões rebaixadas como próximo aos rios Grande, a norte, e Paranapanema, a sul, limitados a leste pelas *Cuestas Basálticas* (IRRIGART, 2005). Na área onde aflora pode atingir até 300 metros de espessura e em subsuperfície chegam a até 2000 metros como o que ocorre no Pontal do Paranapanema, no oeste do estado (MILANI, 2004). Estão instaladas nos basaltos da Formação Serra Geral, cidades como Ribeirão Preto e São Carlos, importantes centros econômicos do interior do estado de São Paulo. Segundo os Comitês PCJ (2018), o SASG pode, com os demais aquíferos fraturados, atender demandas domésticas e rurais de pequeno porte.

Suas águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas ou sódicas de maneira secundária, são pouco mineralizadas, mas possuem uma concentração mais alta que o permitido em alguns pontos de chumbo, sulfato, fluoreto, nitrato, ferro, crômio e bactérias heterotróficas (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020b).

Segundo o DAEE (2008), a vazão média do SASG é de 23 m³/h por poço, mas este valor é muito variável, podendo ser seco ou atingir até 100 m³/h por poço em algumas regiões e seu potencial hídrico varia entre 7 e 100 m³/h. A água retirada é adequada para consumo humano e outros usos.

Segundo os Comitês PCJ (2018), os basaltos do SASG recobrem a Formação Botucatu nas sub-bacias dos rios Corumbataí e Piracicaba, ocupando apenas 2%, que representa 306 quilômetros quadrados, já que possui sua ocorrência restringida pelas *cuestas*. Em termos de observação apenas da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí corresponde a 8,29% de sua área, em partes esparsas e mínimas de Analândia, Corumbataí, Itirapina, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes.

Segundo DAEE (2021), existe um total de 4 poços na Bacia do Rio Corumbataí que exploram o SASG, sendo 2 em Itirapina e 2 em Rio Claro. Um em Itirapina é destinado a irrigação e piscicultura e os demais são destinados ao abastecimento, seja privado ou público. Porém, os poços de Rio Claro possuem valores de vazão muito baixos, inferiores até ao poço de uso rural em Itirapina.

5.5 AQUÍFERO DIABÁSIO

O Aquífero Diabásio possui uma extensão restrita, predominantemente no noroeste do estado de São Paulo, aparecendo como manchas em meio ao SAT e SAG e ao Aquicludo Passa Dois e é relacionado ao mesmo evento que deu origem as rochas basálticas da Formação Serra Geral (Figura 9, página 30) e do aquífero homônimo, diferencia-se deste por utilizar-se de fissuras em rochas ígneas intrusivas básicas (em sua maioria diabásios) para alojar água (COMITÊS PCJ, 2018).

Sua ocorrência é restrita a Depressão Periférica Paulista, a maior parte dos diques localiza-se na porção extremo sul do estado de São Paulo, penetrando em rochas pré-cambrianas com direção preferencial de N40/50W (ALMEIDA, 1964), grande parte localiza-se dentro da Formação Itararé (COMITÊS PCJ, 2018). Essas fraturas possuem profundidades variáveis e podem atuar como barreiras ou condutos onde a água subterrânea circula mais rapidamente, segundo os Comitês PCJ (2018), sua potencialidade hídrica varia de 1 a 12 m³/h, o que pode, junto com outros aquíferos fraturados abastecer comunidades rurais de pequeno porte.

Assim como o SASG, o Diabásio possui águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, pouco mineralizadas e com concentrações de metais como ferro e cromo e de substâncias como nitratos e sulfetos mais altas do que os valores máximos permitidos em alguns pontos (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020b).

Dentro das Bacias PCJ, o Aquífero Diabásio aflora, segundo os Comitês PCJ (2018), em apenas 4% da bacia, correspondendo a aproximadamente 543 quilômetros quadrados, grande parte na Bacia do Rio Piracicaba (497 km²), porém há também ocorrências aflorantes significativas a N-NW de Campinas, de Piracicaba a Iracemápolis e a N de Limeira e E de Rio Claro, esta se enquadra dentro da sub-bacia do Rio Corumbataí, no município do Santa Gertrudes.

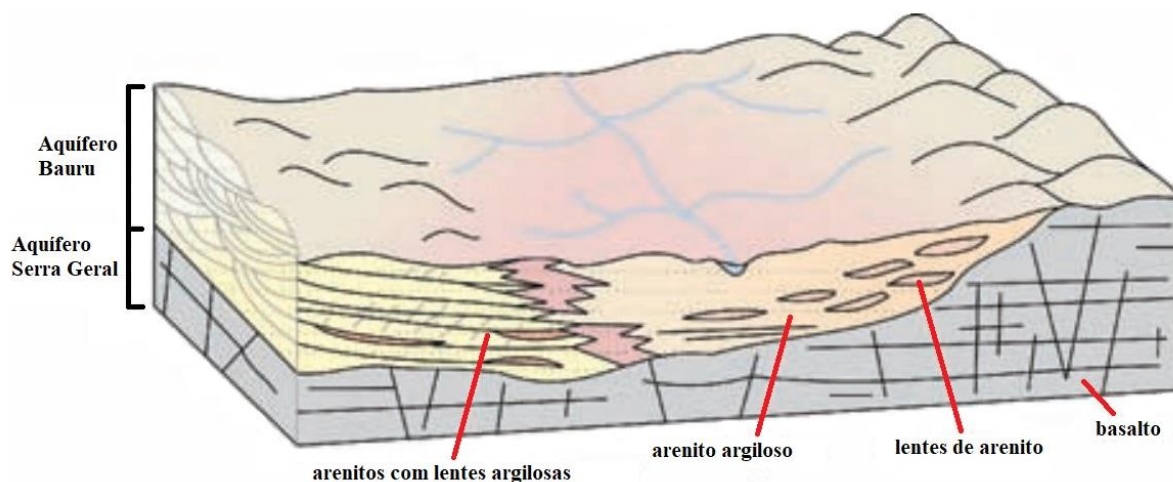
5.6 AQUÍFERO BAURU

O Aquífero Bauru livre (Figura 16) a semiconfinado que ocorre alojado nas rochas dos Grupos Bauru e Caiuá, formados há 65 milhões de anos, correspondem a rochas arenosas, areno-argilosas e siltosas que foram depositadas em ambiente desértico e fluvial (IRITANI & EZAKI, 2012). Na bacia ocorre em rochas da Formação Itaqueri (Figura 9, página 30), sendo correlato ao Aquífero Bauru, mas com uma extensão limitada (IRRIGART, 2005).

Ele ocupa áreas dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás, além de parte do território do Paraguai, totalizando uma extensão de 370.000

quilômetros quadrados (CPRM, 2012). Dentro de São Paulo tem 96.900 quilômetros quadrados, ocorrendo de Barretos a Bauru até o Pontal do Paranapanema (IRITANI & EZAKI, 2012) e com sua espessura variando de 75 a 300 metros (CETESB, 2019).

Figura 16 – Aquífero Bauru livre sotoposto ao SASG.



Fonte: Iritani e Ezaki (2005).

A Formação Itaqueri é datada do Cenozoico (COTTAS & BARCELOS, 1981; PONÇANO et al., 1982; BRANDT NETO, 1984) e possui depósitos areno-conglomeráticos que aparecem no topo da Serra do Itaqueri (ALMEIDA & BARBOSA, 1953) a sudoeste da Bacia do Rio Piracicaba, nas áreas dos municípios de Itirapina, Ipeúna e Charqueada, sobreposta a Formação Serra Geral, a partir de uma discordância erosiva, ou pela Formação Botucatu (BASILIO, 2019). Segundo Almeida & Barbosa (1953), ela possui uma espessura de até 125 metros e é constituída de arenitos com matriz argilosa, folhelhos, conglomerados e arenitos silicificados.

A vazão explorável dos poços é de aproximadamente 5 a 20 m/h, mas pode chegar a até 100 a 200 m³/h na Formação Caiuá (CAMPOS, 1993), ausente na área estudada. As águas do aquífero são classificadas como fracamente bicarbonatadas calco-magnesianas (ROCHA et al., 1979). Possui concentrações altas de nitrato, cloreto, bário, chumbo, arsênio e zinco na sua extensão (CETESB, 2010).

5.7 AQUÍFEROS CENOZOICOS INDIFERENCIADOS

Os Aquíferos Cenozoicos Indiferenciados ocorrem em porções da Formação Rio Claro, suas coberturas cenozoicas correlatas e depósitos aluvionares e coluvionares recentes (Figura 9, página 30), sendo estes pertencentes ao Terciário e Quaternário (COMITÊS PCJ, 2018).

A Formação Rio Claro é datada do Mioceno-Pleistoceno (FERREIRA & CHANG, 2008; MELO, 1995; ZAINE, 1994), seu contato é discordante, já que está sobreposta às formações Corumbataí nas proximidades do Distrito de Ajapi, Pirambóia em cotas mais elevadas e Irati na região do Domo de Pitanga, isto ocorre por conta das perturbações tectônicas geradoras deste e de outros domos na Bacia do Paraná e do mergulho de suas camadas, conferindo à Formação Rio Claro uma superfície de deposição já com certo caimento (ZAINE, 1994). Foram gerados arenitos arcoseano mal consolidado e conglomerático e de argilitos avermelhados, podem ser vistas estratificações cruzadas e estruturas de corte e preenchimento e resultantes de ressecamento (SCHNEIDER et al, 1974). Segundo Zaine (1994), possuem uma espessura de aproximadamente 40 metros, originados em paleoambiente fluvial, ocorrendo geralmente como coberturas descontínuas sobre relevos suave e aplainado, Ferreira (2005), ainda completa dizendo que a formação capeia os divisores de águas dos Rios Corumbataí, Passa Cinco, Cabeça e Ribeirão Vermelho.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, ele engloba os terrenos sedimentares terciários a recentes listados na Figura 9 (página 30), encontrados próximos ao centro da sub-bacia, nos municípios de Rio Claro e uma pequena porção de Ipeúna. Existe apenas um poço cadastrado no DAEE (2021), localizado em Rio Claro, como uma alternativa de abastecimento privado, extraindo 5 m³/h.

5.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Vemos na Figura 11 (página 36) algumas cidades que exploram água subterrânea para diversas finalidades. Analândia explora o SAG voltado ao abastecimento público enquanto Corumbataí e Ipeúna utilizam águas do SAT para o mesmo propósito.

No caso de Itirapina, seus poços estão no SAG e no SASG, este utilizado tanto para abastecimento quanto para irrigação e piscicultura, Piracicaba explora água do SAT, mas em quantidades baixas e todos os poços se encontram fora da Bacia do Rio Corumbataí.

Os municípios de Santa Gertrudes e Rio Claro são abastecidas por águas deste mesmo sistema, mas o último explora também o SASG e o Aquífero Cenozoico Indiferenciado, porém representando um baixo volume.

O resumo de algumas informações como formações geológicas, espessura dos sistemas, municípios que são abrangidos, classificação das águas subterrâneas, quais teores estão acima dos valores considerados normais (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ 2020b) e a vazão média por poço para cada aquífero presente na Bacia do Rio Corumbataí pode ser visto no Quadro 3.

Quadro 3 – Síntese das informações apresentadas neste capítulo.

SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES DOS AQUÍFEROS						
Aquífero	Geologia	Espessura (m)	Municípios	Classificação da água	Teores elevados	Vazão por poço
SAT	Grupo Tubarão (Itararé e Tatuí)	200 a 500	Charqueada Ipeúna Piracicaba Rio Claro	Bicarbonatadas sódica, mista e cálcica	Sódio Cloreto Sulfato	10 a 40 m ³ /h
SAG	Grupo São Bento (Pirambóia e Botucatu)	200 (quando afluente) 350 a 500 (quando confinado)	Analândia Charqueada Corumbataí Itirapina, Ipeúna Rio Claro	Bicarbonatadas sódica e cálcio- magnésiana	Ferro Manganês Alumínio Chumbo	20 a 80 m ³ /h nas porções livres e 360 m ³ /h em regiões confinadas
SASG	Formação Serra Geral	300 (quando afluente)	Analândia Corumbataí Itirapina Piracicaba Rio Claro Santa Gertrudes	Bicarbonatadas cálcica, magnésiana e sódica	Chumbo Sulfato Fluoreto Nitrato Ferro Crômio Bactérias heterotróficas	23 m ³ /h, mas pode chegar até 100 m ³ /h
Bauru	Formação Itaqueri	75 a 300	Charqueada Ipeúna Itirapina	Fracamente bicarbonatadas calco- magnésianas	Nitrato Cloreto Chumbo Arsênio Zinco	5 a 20 m ³ /h
Diabásio	Formação Serra Geral	Variável	Santa Gertrudes	Bicarbonatadas cálcica e magnésiana	Ferro Cromo Nitrato Sulfetos	1 a 12 m ³ /h

Fonte: elaborado pela autora baseado em Agência das Bacias PCJ, (2020b); Assine et al., (2004); Cetesb (2010); Cetesb (2019); Comitês PCJ (2018); DAEE (1982); DAEE (2008); DAEE (2021); Irrigart (2005).

6. DISCUSSÃO E RESULTADOS

6.1 RESERVAS DOS AQUÍFEROS

Segundo os Comitês PCJ (2018), a água subterrânea se tornará cada vez mais importante para as Bacias PCJ, já que estas possuem eixos de crescimento econômico, o que aumenta as demandas para o abastecimento doméstico, irrigação e indústrias, estas de grande porte, responsáveis pelo desenvolvimento do estado de São Paulo e até do país. A necessidade de água aliada a um potencial hidrogeológico regular torna as Bacias PCJ vulneráveis em termos de qualidade e quantidade de água subterrânea.

Sendo uma região em expansão urbana e industrial, mas também com áreas voltadas para agropecuária, a captação de água subterrânea para abastecimento público é dificultada pelo alto número de poços tubulares e volume extraído. Além disto, os corpos d'água superficiais que antes eram usados para alimentar as cidades, estão em processo de degradação, perdendo sua qualidade e potencial de aproveitamento, o que intensificou a procura por água subterrânea (COMITÊS PCJ, 2018).

Dentre os aquíferos presentes na Bacia do Rio Corumbataí, aqueles que são boas opções para captação de água, são os com os resultados mais elevados no cálculo de reserva reguladora, ou seja, com maior entrada de água através das precipitações. Segundo os Comitês PCJ (2018), os com os maiores números são os aquíferos Cristalino (ausente na sub-bacia do Rio Corumbataí), com 25,5 m³/s, seguido pelo SAT com 8,621 m³/s, ambos se encontram em locais com grande número de habitantes (demanda elevada), com alta vulnerabilidade e risco à poluição, por isso deve receber maior atenção em termos de balanço quantitativo. Além destes há também o SAG, este com 7,63 m³/s, apesar de ser uma excelente opção para captação de água, está distante dos grandes núcleos populacionais, ele deve ser estudado com prioridade segundo os Comitês PCJ (2018), para que sejam implantadas medidas intensas de preservação na área estudada (áreas de recarga) para que a quantidade e qualidade de suas águas sejam mantidas.

Além disso, já foi dito antes que o SAT é um sistema pobre em termos de volume de água subterrânea no Capítulo 2, por conta da descontinuidade das camadas e da heterogeneidade das camadas (ODA et al., 2012), portanto mesmo com maior entrada de água pluviais possuem poços com baixa produtividade, porém isso não impede sua exploração por diversas cidades como Corumbataí, Ipeúna e Piracicaba. O que mostra que não são apenas estes resultados que determinam quais sistemas são melhores serem explorados e a falta de estudos mais específicos

poderiam acarretar grandes consequências para o sistema aquífero, afetando milhares de pessoas.

A reserva explorável de água subterrânea dentro da Bacia do Rio Corumbataí foi calculada por meio de três estudos, dois Relatório de Situação (02/03 e 2015), cujos resultados foram 1,72 m³/s (1720 L/s) e 4,52 m³/s (4520 L/s), respectivamente e uma estimativa por porcentagem de uso que resultou em 2,49 m³/s (2490 L/s).

6.2 DEMANDAS NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ

6.2.1 Demanda potencial

Em termos de demandas dentro da sub-bacia do Rio Corumbataí, é dividido entre as demandas potenciais e reais. A primeira é associada à estimativa da vazão exigida pela população, sendo a média diária por indivíduo, englobando consumos doméstico, comercial, público e industrial. Já a demanda real é calculada pelas captações, a vazão extraída e suas localizações para o abastecimento do município (COMITÊS PCJ, 2018).

Segundo os Comitês PCJ (2018), as demandas potenciais foram calculadas para as populações urbana e rural, levando em consideração o volume anual produzido, a taxa de população atendida e a vazão *per capita* consumida. As Bacias PCJ possuem uma demanda potencial total média de 17,23 m³/s (17.230 L/s) (Quadro 4) (COMITÊS PCJ, 2018), resultado similar ao apresentado pelo Relatório de Situação (COMITÊS PCJ, 2016) de 17,85 m³/s (17.850 L/s), porém muito inferior ao do Plano 2010-2020 (COBRAPE, 2010) de 19,06 m³/s (19.060 L/s), esta diferença pode ser explicada pela diferente fonte de informações, no caso do estudo de 2010, foram usados dados do Cadastro de Cobrança, Cetesb e DAEE.

Segundo os Comitês PCJ (2018), a sub-bacia do Rio Corumbataí possui um dos menores valores de demanda de sua população urbana dentre as demais sub-bacias, com 870 L/s (0,87 m³/s). Em termos de demanda potencial total para o abastecimento urbano, a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí encontra-se entre aquelas com o menor valor, segundo os Comitês PCJ (2018), com apenas 0,9 m³/s (900 L/s) (Quadro 4).

6.2.2 Demanda real de abastecimento urbano

Já as demandas reais consideraram as captações obtidas através de visitas, ocorridas em 2017, e nos Cadastros da Cobrança Paulista e CNARH (Cobrança Nacional de Usuários de Recursos Hídricos), com informações de 2016, estes resultados foram comparados com os números do Plano 2010-2020 (COBRAPE, 2010), este baseado no Cadastro da Cobrança e dados da Cetesb e DAEE. Os produtos desta pesquisa mostram que a captação de água

subterrânea para o abastecimento urbano na sub-bacia do Rio Corumbataí cresceu desde o estudo da Cobrape (2010), nele o valor era de 0,07 m³/s (70 L/s), enquanto no estudo mais recente o valor aumentou para 0,113 m³/s (113 L/s).

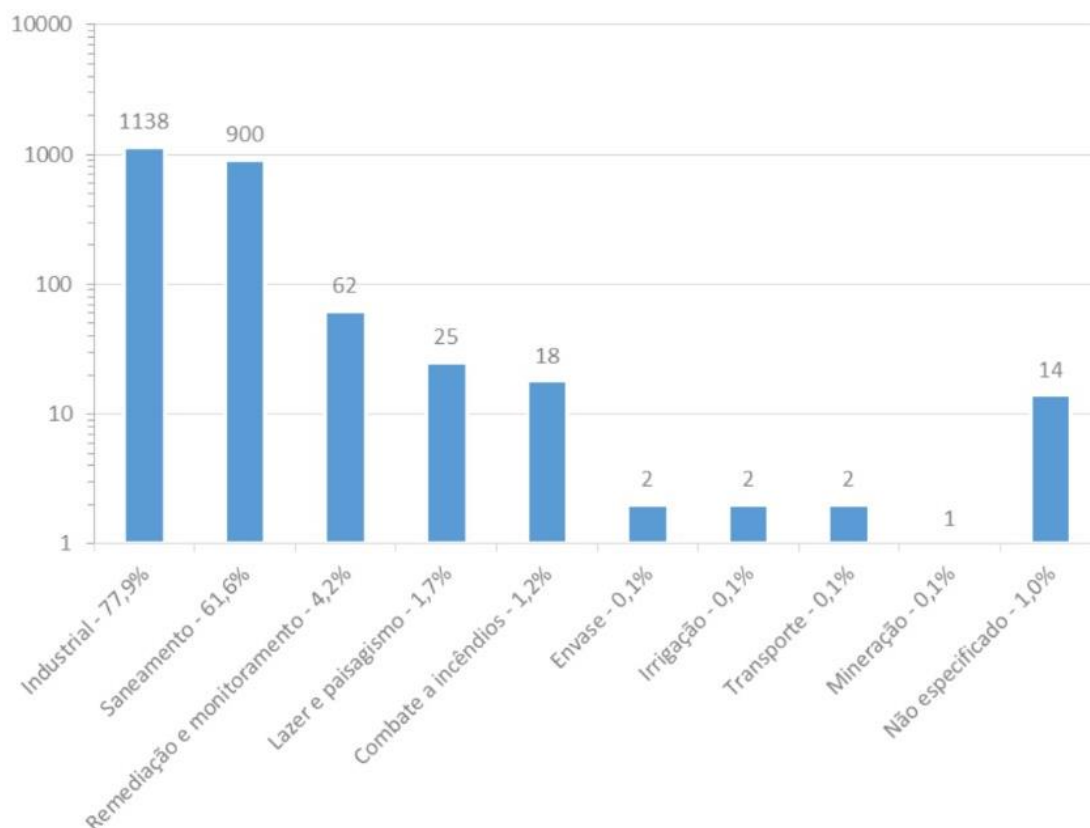
Além disso, embora possua uma demanda potencial baixa, a Bacia do Rio Corumbataí tem a demanda real do abastecimento urbano muito elevada, de 2,921 m³/s (2.921 L/s), sendo 0,113 m³/s (113 L/s) provenientes dos aquíferos (Quadro 4) como já dito anteriormente. Embora ainda esteja dentre os menores números da UGRHI 5, pode ser considerada uma bacia “produtora”, já que possui um volume de captação muito mais elevado que sua demanda potencial, concluindo-se que o abastecimento da população de certos municípios não sai necessariamente da bacia em que ele está contido, ocorrendo uma transposição de demandas. No caso da sub-bacia do Rio Corumbataí, é de onde parte a água para atender a cidade de Piracicaba, localizada na sub-bacia do Rio Piracicaba, cedendo até 2000 L/s em um único ponto de captação.

6.2.3 Demanda industrial

Quando se trata de demanda industrial, as maiores exigências são dos municípios de Limeira, Rio Claro e Santa Gertrudes por conta da produção de folheados, indústrias sucroalcooleiras e do polo nacional de cerâmica, respectivamente (COMITÊS PCJ, 2018). Em números gerais, as atividades industriais são as que mais requerem água dos aquíferos, sendo outorgado um volume anual para captação de aproximadamente 41,46 hm³ (mais de 41 bilhões de litros por ano), uma vazão média de 1.314,69 L/s nas Bacias PCJ, porém não se pode garantir que toda água seja de uso industrial, sendo aplicada também para saneamento, mineração, combate a incêndios, lazer e paisagismo, envase etc, pode-se apenas saber a quantidade de registros de captação para determinada atividade como pode ser visto na Figura 17, mas cada um pode possuir mais de uma finalidade.

A Bacia do Rio Corumbataí possui um total de 118 outorgas ativas para captação no banco de dados paulista com a finalidade de alimentar as indústrias, extraindo um total de 473,74 L/s (aproximadamente 0,47 m³/s), sendo a segunda sub-bacia com a menor demanda real da UGRHI 5, atrás da Camanducaia que conta com apenas com 262,24 L/s (aproximadamente 0,26 m³/s). Dentre as outorgas, 93 delas são destinadas as águas subterrâneas, enquanto 25 são para água superficial, correspondendo a aproximadamente a 79% e 21%, respectivamente, porém, a segunda ainda representa a maior parte do volume total, equivalente a 11,35 hm³/ano (76%), contra apenas 3,58 hm³/ano (24% sendo aproximadamente 113,52 L/s) (Quadro 4) segundo os Comitês PCJ (2018).

Figura 17 – Quantidade de registros para cada finalidades de uso nas Bacias PCJ. Números do banco de dados de cobrança paulista para os usuários com outorga destinada à captação subterrânea.



Fonte: Comitês PCJ (2018).

6.2.4 Demanda para irrigação

No caso das demandas para a irrigação, foram levadas em consideração as áreas irrigadas dos municípios baseados no ano de 2015 (ANA, 2017) e o consumo hídrico unitário para a tarefa (ANA, 2003), o resultado consistiu numa estimativa de valores totais utilizados em cada zona nas sub-bacias considerando uma distribuição uniforme, sem distinção entre captações subterrâneas e superficiais (COMITÊS PCJ, 2018). O produto da estimativa para 27,07 km³ de área irrigada na sub-bacia do Rio Corumbataí foi um valor de 0,677 m³/s (677 L/s) (Quadro 4), um dos menores números, mesmo englobando a cidade de Piracicaba, destaque na demanda das Bacias PCJ, necessitando de 0,45 m³/s (450 L/s) para 18,02 km² (COMITÊS PCJ, 2018).

Outros estudos sobre o assunto obtiveram grandes variações no resultado quando comparados, com valores entre 0,38 m³/s (COBRAPE, 2010) e 0,81 m³/s (IRRIGART, 2007) com dados apenas para irrigação e 0,90 m³/s quando somados também números da aquicultura no Cadastro de Irrigantes das Bacias PCJ de 2004. Segundo os Comitês PCJ (2018), essa

diferença pode ocorrer pela maior parte dos consumidores se enquadrarem como isentos de outorga, no caso, por exemplo de extrações de menos de 15 m³/dia de água subterrâneas.

O valor de 0,677 m³/s estimado pelo estudo dos Comitês PCJ (2018) é superior ao volume outorgado pelo DAEE de 0,231 m³/s (231 L/s) e pelos Atos Declaratórios para Cadastro de Usos de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos para Usuários Rurais de 0,001 m³/s (1 L/s), o que mostra o quanto os números podem não refletir a realidade na Bacia do Rio Corumbataí, tendo visto que a estimativa de consumo já é superior ao valor outorgado pelo Poder Público.

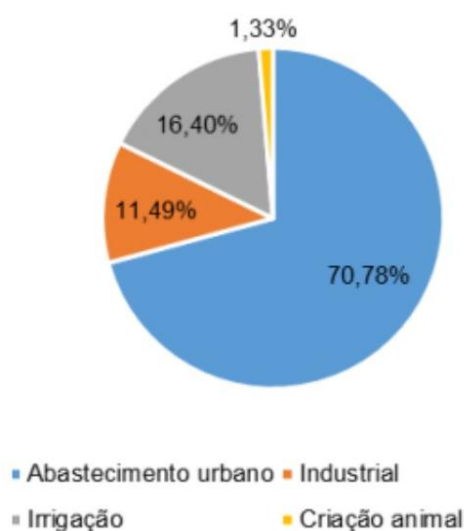
6.2.5 Demanda para criação animal

A demanda para criação animal também não faz distinção entre os números de água superficial e subterrânea, sendo o volume consumido na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí estimado em 0,0436 m³/s (aproximadamente 44 L/s) (Quadro 4), que representa apenas 10% da demanda hídrica da Bacia do Rio Piracicaba voltada para este setor (COMITÊS PCJ, 2018).

6.2.6 Síntese das demandas

Com estes dados fornecidos pelos Comitês PCJ (2018), é possível calcular aproximadamente a demanda real total para os aquíferos da sub-bacia do Rio Corumbataí, somando-se 0,113 m³/s voltado ao abastecimento urbano, 0,11352 m³/s da indústria, 0,677 m³/s destinados a irrigação e 0,0436 m³/s da criação animal, resultando em 0,94712 m³/s (947,12 L/s) (Quadro 4). As porcentagens de consumo correspondentes a cada uma destas demandas dentro da Bacia do Rio Corumbataí podem ser vistas na Figura 18.

Figura 18 – Percentual que as demandas de cada setor representam da demanda total na sub-bacia do Rio Corumbataí.



Fonte: Comitês PCJ (2018).

Quadro 4 – Compilação dos dados de demanda obtidos da sub-bacia do Rio Corumbataí.

DEMANDAS DOS AQUÍFEROS DA SUB-BACIA DO RIO CORUMBATAÍ	
Demandas potenciais	
Demanda potencial total média (L/s)	17.230
População urbana atendida (L/s)	870
Demanda potencial total para abastecimento urbano (L/s)	900
Demandas reais	
Demanda real do abastecimento urbano (L/s)	113
Demanda industrial (L/s)	113,52
Demanda da irrigação (s/ distinção entre subterrâneo e superficial) (L/s)	677
Demanda da criação animal (s/ distinção entre subterrâneo e superficial) (L/s)	43,6
Demanda real aproximada dos aquíferos	
Demanda real total (L/s)	947,52

Fonte: elaborado pela autora com dados dos Comitês PCJ (2018).

A sub-bacia do Rio Corumbataí é uma das que mais se utilizam das reservas subterrâneas dentro das Bacias PCJ (Figura 19), sendo os municípios de Itirapina, Analândia e Ipeúna abastecidos predominantemente por aquíferos, entre eles, o primeiro se utiliza integralmente de águas subterrâneas. Além destes, Corumbataí e Santa Gertrudes também se aproveitam deste meio, porém em menor escala que os citados anteriormente.

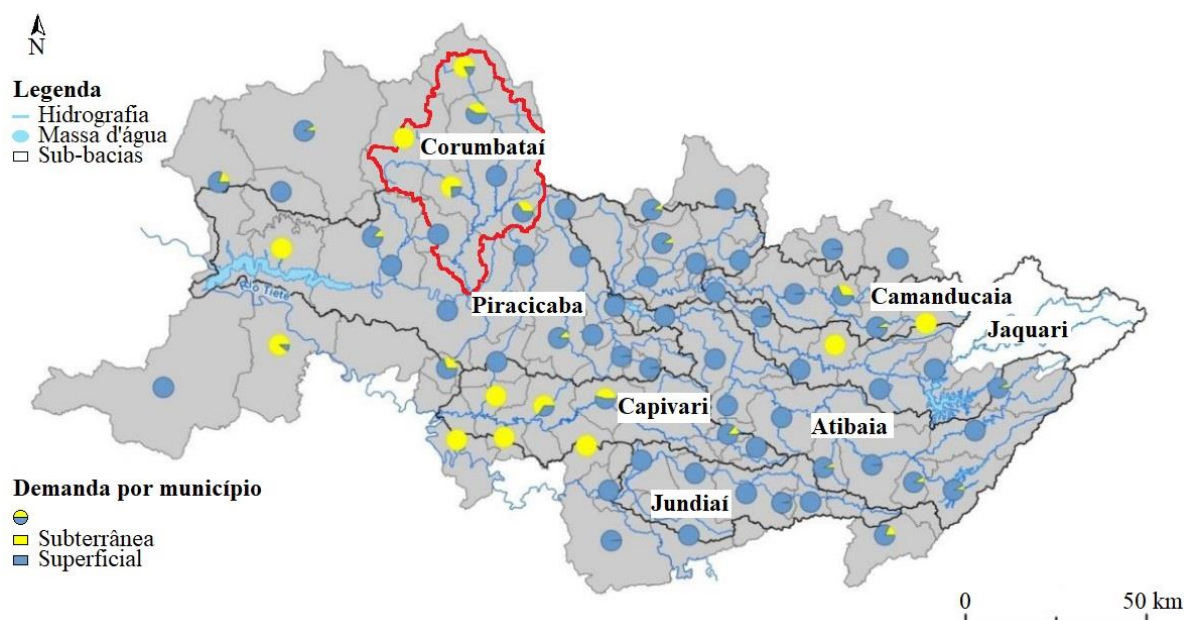
6.2.7 Reserva vs. Demanda

Cada sub-bacia teve sua demanda de água subterrânea estimada por três diferentes métodos e com estes números foi possível obter um balanço entre eles e as reservas explotáveis, relacionando a disponibilidade e a demanda. Para a sub-bacia do Rio Corumbataí, as reservas de cada estudo foram 1,72 m³/s, 4,52 m³/s e 2,49 m³/s e as demandas para o abastecimento público e industrial (únicas com distinção entre as águas subterrâneas e superficiais) são 0,11 m³/s cada, somando 0,22 m³/s, todos os valores foram vistos anteriormente.

Os balanços subterrâneos são calculados em porcentagens, multiplicando o valor total da demanda por cem e dividindo-os pelas reservas. Com isso, os resultados foram 12,79%, 4,87% e 8,83%, respectivamente, sendo, junto com as sub-bacias dos rios Jaguari e Piracicaba, as com maior conforto hídrico dentro das Bacias PCJ (COMITÊS PCJ, 2018). Porém a demanda

provavelmente está subestimada por razões já citadas, principalmente na região de grande expansão urbana de Piracicaba, Limeira e Rio Claro.

Figura 19 – Distribuição das demandas de água por município com destaque (em vermelho) para a sub-bacia do Rio Corumbataí.



Fonte: modificado de Comitês PCJ (2018).

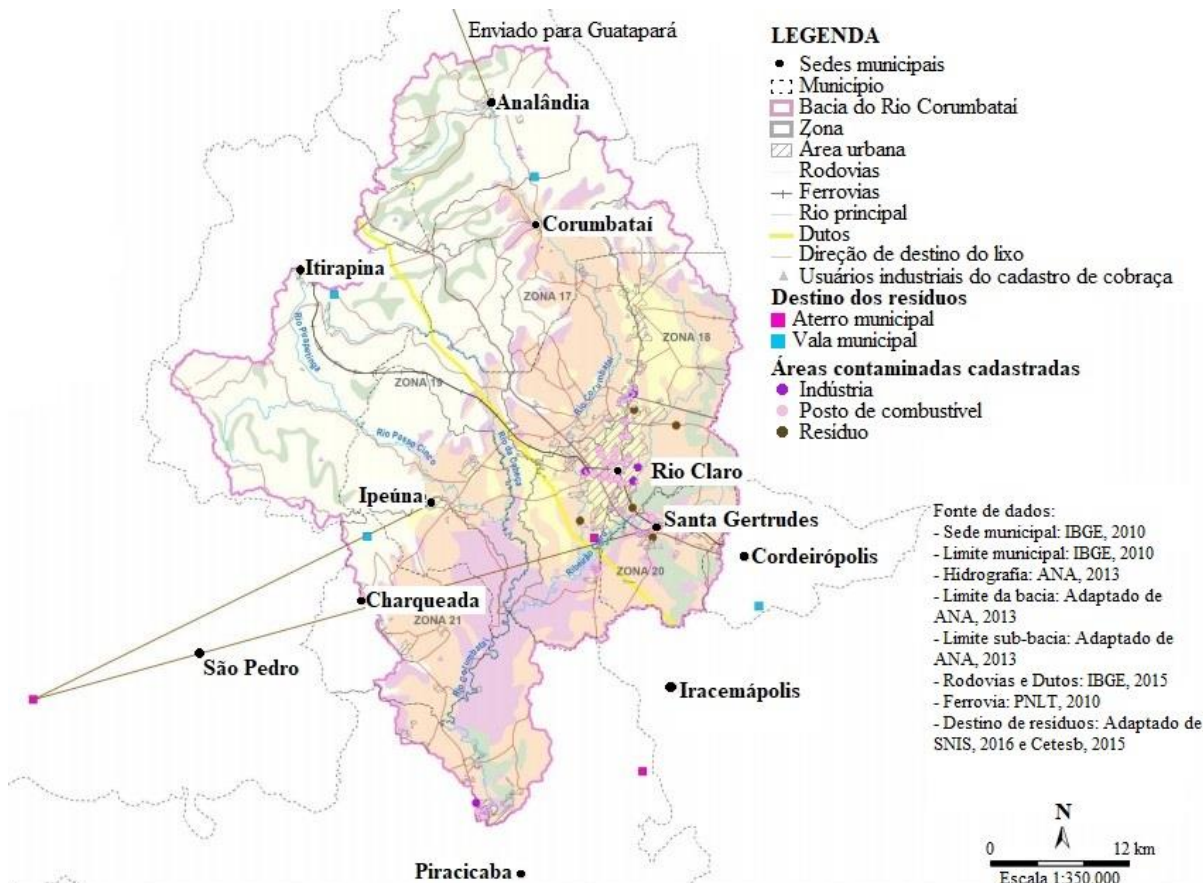
6.3 CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS

Alguns dos possíveis contaminantes dos aquíferos possuem diversas fontes, derivadas direta ou indiretamente das regiões com alta urbanização, podendo ser citados empreendimentos, destinação inadequada do lixo urbano, postos de combustível, mineração, agricultura e pecuária, entre outros (Figura 20). As manchas urbanas como Rio Claro, a maior da sub-bacia, algumas menores como Santa Gertrudes, Corumbataí, Ipeúna e Analândia, além de algumas fora da bacia, como Piracicaba, são potenciais origens de contaminação.

A região próxima à Rio Claro é onde se encontra grande parte da contaminação por nitrato e fluoreto (COMITÊS PCJ, 2018). O primeiro pode causar danos se ingerido em altas concentrações, oxidando o ferro da hemoglobina, formando metahemoglobina, que prejudica a capacidade de transporte de oxigênio do sangue (WEITZBERG & LUNDBERG, 2013), pode ter origem de fertilizantes utilizados no solo (GORMLY & SPALDING, 1979; BÖHLKE, 2002; WANG et al., 2016; SPALDING et al., 2019) ou até mesmo o vazamento de esgoto (MONTANHEIRO, 2014; ZHANG et al.; 2015; GRIMMEISEN et al.; 2017; VYSTAVNA et al.; 2017). Segundo Stradioto, Teramoto & Chang (2019) nenhuma amostra de água dos aquíferos dentro das Bacias PCJ possuem valores de nitrato acima dos aceitos pela Cetesb,

porém as águas devem ser constantemente testadas, já que são grandes responsáveis pelo abastecimento público dentro da Bacia do Rio Corumbataí.

Figura 20 – Fontes potenciais de contaminação na Bacia do Rio Corumbataí.



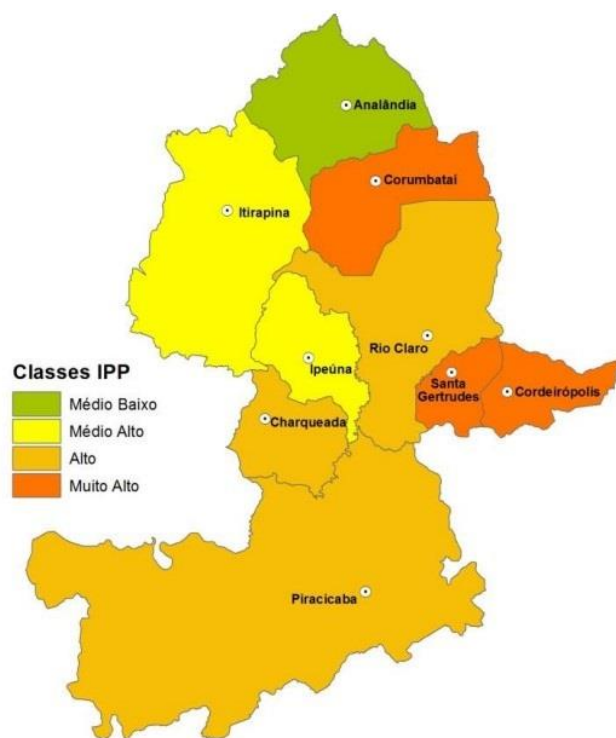
Fonte: Agências das Bacias PCJ (2020b).

No caso de contaminações por fluoreto, sua ingestão contínua pode ocasionar fluorose dentária, que gera uma anomalia no desenvolvimento dos dentes, algumas deformações no esmalte podem provocar manchas brancas a amareladas ou até deformidades anatômicas que necessitam da extração dos mesmos (FEJESKOV et al., 1991). Altas concentrações deste contaminante podem ser vistas no SAG e no SASG. São formuladas algumas hipóteses sobre suas origens nas águas subterrâneas, são elas os fertilizantes enriquecidos em flúor (FLORES et al., 2003), a interação da água com rochas ricas em fluoretos por um tempo prolongado (FRAGA, 1992; CARRILO-RIVERA et al., 2012; KIM & JEONG, 2005; NANNI, 2006) ou a conexão do SASG e do SAG por conta de fraturas que possibilitaram a ascensão da água com altas concentrações de flúor (MACHADO, 2005).

A tendência de poluição de cada município chamada de IPP (Índice de Potencial Poluidor) foi medida a partir da classificação de empreendimentos licenciados pela Cetesb, usando o método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), aplicado em zonas

urbanas (Figura 21). É preciso destacar que as águas dos aquíferos devem ser constantemente analisadas, principalmente nos locais com IPP alto, pois grande parte é utilizada no abastecimento público.

Figura 21 – Classificação IPP dos municípios da Bacia do Rio Corumbataí.



Fonte: Agência das Bacias PCJ (2020b).

Das áreas contaminadas inventariadas pela Cetesb (2017), mais da metade se encontra em Rio Claro e Piracicaba, por serem as maiores manchas urbanas e terem um setor industrial desenvolvido, com contaminações em postos de combustível, indústrias e por conta da disposição de resíduos. Esta e as demais áreas estão listadas no Quadro 5, totalizando 85. Quanto ao gerenciamento delas, há 8 sob investigação, 13 com risco confirmado, 20 em processo de monitoramento para encerramento, 16 em processo de remediação, 6 sendo reutilizada e 19 reabilitadas para uso declarado (AGÊNCIAS DAS BACIAS PCJ, 2020b).

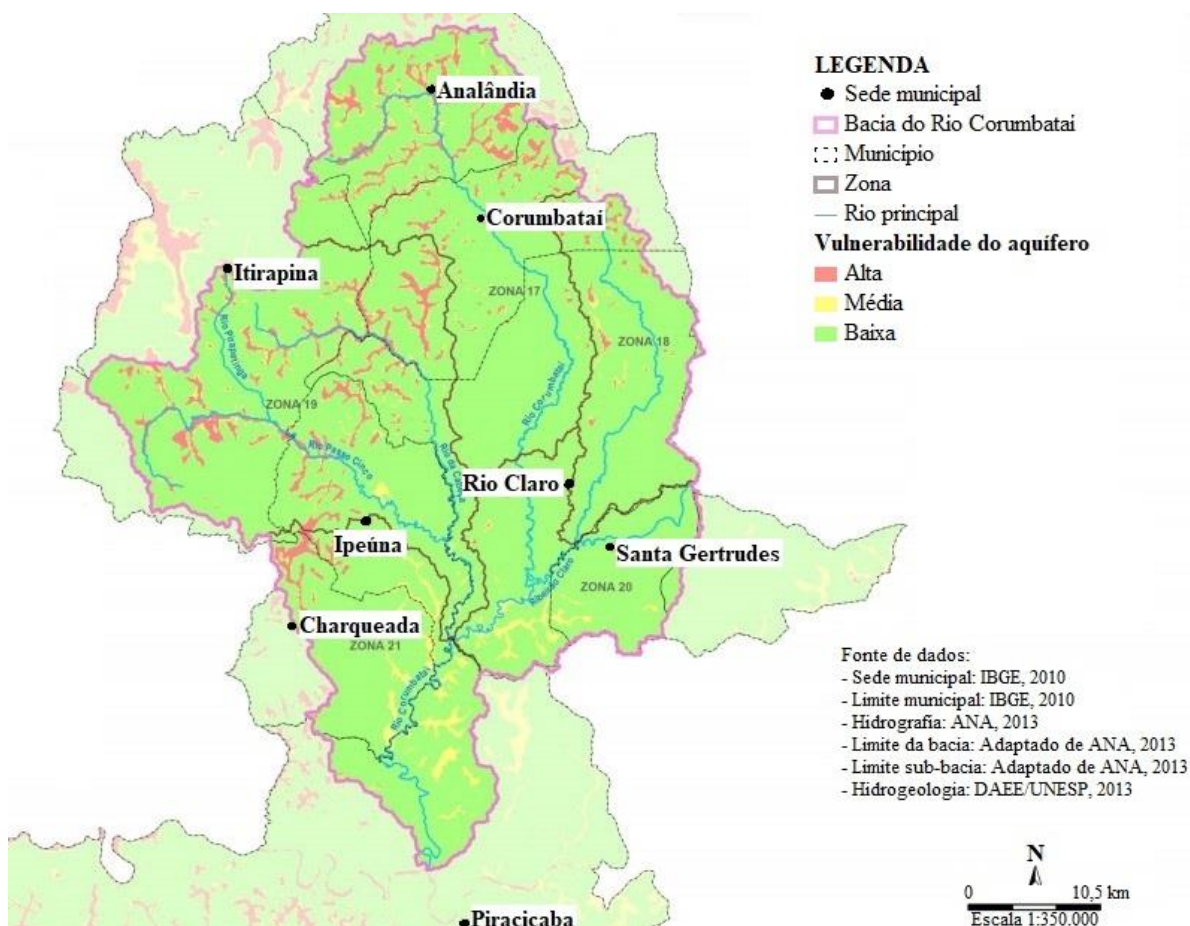
Segundo as Agências das Bacias PCJ (2020b), uma origem potencial de contaminação são rodovias e ferrovias na região, onde podem ocorrer acidentes com vazamentos de produtos perigosos. No caso das rodovias, a maior atenção é voltada para a região das *Cuestas Basálticas*, em que o relevo possui uma declividade mais acentuada. Já em termos de ferrovias, há a Cordeirópolis – Santa Gertrudes – Rio Claro – Itirapina, o trecho entre estas duas últimas cidades citadas é onde se exige cautela, já que é a região onde o SAG é aflorante.

Quadro 5 – Tipos de áreas contaminadas inventariadas nos municípios da Bacia do Rio Corumbataí.

ÁREAS CONTAMINADAS INVENTARIADAS PELA CETESB (2020)			
	Postos de combustível	Indústria	Disposição de resíduos
Charqueada	2	-	-
Ipeúna	1	-	-
Santa Gertrudes	-	-	1 (industriais)
Rio Claro	21	4	5
Piracicaba	39	10	2

Fonte: elaborado pela autora com dados da Cetesb (2020).

Em termos de vulnerabilidade, ou seja, a suscetibilidade dos aquíferos de serem afetados por contaminantes superficiais, segundo as Agências das Bacias PCJ (2020b), a Bacia do Rio Corumbataí é classificada como baixa. Os locais com índices mais elevados ocorrem na faixa oeste, correspondente ao SAG nas cidades de Analândia, Corumbataí e Itirapina e aquíferos livres como os do Terciários a recentes (Figura 22).

Figura 22 – Vulnerabilidade dos aquíferos na Bacia do Rio Corumbataí.

Fonte: Agências das Bacias PCJ (2020b).

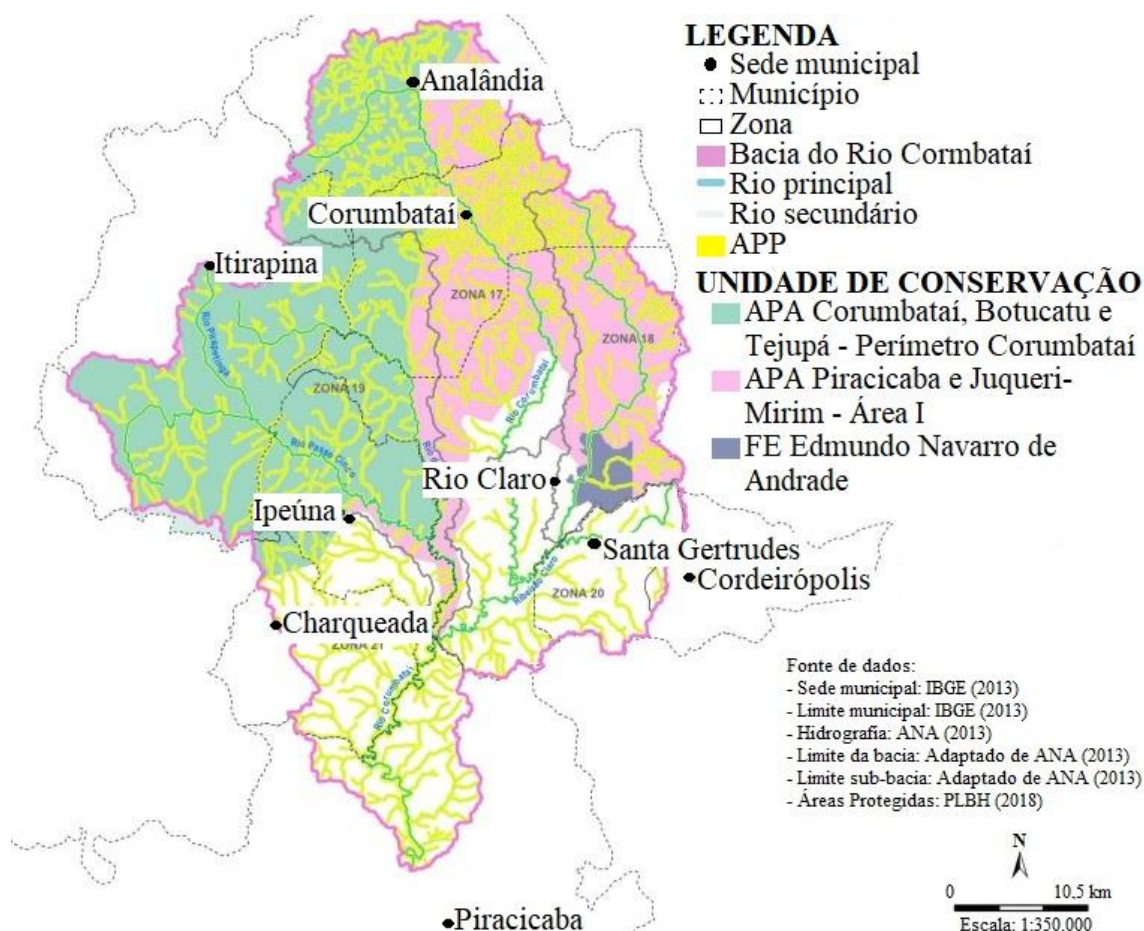
6.4 MEIOS DE PROTEÇÃO DOS AQUÍFEROS

As Áreas de Preservação Permanentes (APPs) são espaços de conservação previstas no Código Florestal, totalizando 13.639 hectares, aproximadamente 7,98% da área total da Bacia do Rio Corumbataí segundo o IPEF (2002) foram incluídas no estudo citado as regiões com declividades superiores a 45° e faixas marginais dos rios de acordo com sua largura e extensão (Figura 23).

Além disto, segundo o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b), também são consideradas APPs, os 100 metros em projeções horizontais a partir da ruptura de relevo das Cuestas Basálticas no noroeste da bacia.

Existem também as Unidades de Conservação estaduais, são cinco no caso da Bacia do Rio Corumbataí, nas categorias de Área de Proteção Ambiental (APA), Floresta Estadual (FE), Estação Experimental e Estação Ecológica, detalhadas no Quadro 6. As áreas mais importantes são as APAs de Corumbataí – Botucatu - Tejupá e Piracicaba/Juqueri – Mirim Área I e o FE Edmundo Navarro de Andrade (Figura 23).

Figura 23 – Áreas de Preservação Permanentes (APP) e Unidades de Conservação (APAs e FE) da Bacia do Rio Corumbataí.



Fonte: Agência das Bacias PCJ (2020b).

Quadro 6 – Unidades de Conservação na Bacia do Rio Corumbataí.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO				
Tipologia	Identificação da categoria	Ato legal de criação	Área na bacia (ha)	Abrangência nos municípios
Unidade de Conservação de Proteção Integral	Estação Ecológica de Itirapina	Decreto Estadual nº 28.339/57	2.300	Itirapina
	Parque Municipal de Analândia	Lei Municipal nº 1.083/92	14,4	Analândia
Unidade de Conservação de Uso Sustentável	Área de Preservação Ambiental (Corumbataí-Botucatu-Tejupá)	Decreto Estadual nº 20.960/1983	115.035	Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Rio Claro e Charqueada
	Área de Preservação Ambiental (Piracicaba/Juqueri-Mirim Área I)	Decreto Estadual nº 26.882/87	107.596,15	Analândia, Charqueada, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina e Rio Claro
	Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade	Decreto Estadual nº 46.819/2002	2.330	Rio Claro e Santa Gertrudes
Unidade de Conservação sem previsão no SNUC	Estação Experimental de Itirapina	Decreto Estadual nº 28.239/57	3.212	Itirapina

Fonte: modificado de Braga (2005).

A APA Corumbataí – Botucatu – Tejupá possui 6.492 km² divididos em três perímetros, no caso, trata-se do Perímetro Corumbataí com 2.727 km², correspondendo a 67,36% da Bacia do Rio Corumbataí e ocupando totalmente (excluindo áreas urbanas) os municípios de

Analândia, Corumbataí e Itirapina e parcialmente Ipeúna, Rio Claro e Charqueada. Os objetivos da APA são conservar as *Cuestas* Basálticas, os recursos hídricos superficiais, o SAG, a vegetação nativa remanescente e o patrimônio arqueológico da região.

A APA de Piracicaba/Juqueri – Mirim Área I acaba se sobrepondo ao Perímetro Corumbataí da APA citada anteriormente dentro da Bacia do Rio Corumbataí, ambas com o intuito de preservação das *Cuestas* Basálticas, SAG, patrimônio arqueológico, vegetação nativa remanescente e da qualidade e quantidade dos recursos hídricos destinados ao abastecimento público de núcleos urbanos como Rio Claro e Piracicaba, por exemplo (BRAGA, 2005; IRRIGART, 2005).

A FE Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) ocupa regiões dos municípios de Rio Claro e Santa Gertrudes, foi tombado inicialmente um Horto Florestal em 1977, destacando sua importância técnica, científica e cultural para o estado de São Paulo, já que suas instalações carregam a história da época das grandes ferrovias quando eucaliptos foram usados como combustível e para a construção de postes e dormentes. Além disso, a FE possui cerca de 62 espécies dentre as 144 que foram trazidas pelo pesquisador Edmundo Navarro de Andrade da Oceania (BRAGA, 2005).

As estações ecológica e experimental de Itirapina foram criadas pelo mesmo decreto e protegem áreas adjacentes, somadas, resultam em 5.512 hectares de área. É previsto que no mínimo 90% da área de uma Estação Ecológica seja uma Zona de Preservação Integral e Primitiva, de alta proteção e os outros 10%, possuem uma proteção menos rígida, com as Zonas de Experimentação, Extensiva, de Recuperação e de Uso Especial. Já numa Estação Experimental as regras são menos severas, tendo apenas as Zonas de Experimentação e de Usos Intensivo e Especial (BRAGA, 2005). Ambas possuem uma Zona de Entorno de 10 quilômetros com o intuito de frear as pressões antrópicas dentro das estações, porém apenas cerca de 16,7% dela está coberta pela vegetação remanescente e aproximadamente 80% do restante é ocupado por atividades humanas (DUTRA – LUTGENS, 2000).

Uma área legalmente protegida com um menor destaque é o Parque Municipal de Analândia que está situado no perímetro urbano do município localizado no oeste da Bacia do Rio Corumbataí. Seu objetivo de proteção é o vale do Córrego do Retiro, onde é possível encontrar parte da vegetação nativa da região.

Porém, na prática, as áreas de proteção estão ameaçadas, já que apenas 25,84% das APPs ainda é coberta por mata nativa e 3,61% por floresta plantada para fins econômicos. Grande parte é ocupada por pastagens (56,49%), plantações de cana de açúcar (10,77%), fruticultura

(0,68%), área urbana (0,60%), cultura anual (0,43%), mineração (0,05%) e outros usos (1,54%) (IPEF, 2002), porém a área de pastagem vem diminuindo com o passar do tempo, tendo reduzido 21% de 1985 a 2011, enquanto aumentaram os números da cana de açúcar (5%), fruticultura (3%) e áreas urbanas (2%) segundo Muniz et al. (2016). No caso das APAs, a de Botucatu – Corumbataí – Tejupá não possui plano de manejo aprovado, apenas o do Perímetro Botucatu está em processo de aprovação pela Fundação Florestal, este estabelece o zoneamento da área e as normas que devem ser seguidas para exploração sustentável dos recursos naturais dentro de seus limites e as estruturas necessárias para a gestão da APA.

6.5 PROJETO GEOPARQUE CORUMBATAÍ COMO INSTRUMENTO DE GEOCONSERVAÇÃO

Segundo CPRM (2019), um geoparque deve preservar os patrimônios geológicos para as gerações seguintes (geoconservação), educar o público sobre a importância geológica e ambiental, dispor meios de pesquisa para as geociências, garantir um desenvolvimento sustentável através do geoturismo, dando maior identificação da população com seu local de origem, pregando respeito a natureza e gerando novas fontes de renda.

O geoparque é diferente das UC's, já que está em constante reformulação para se adaptar as realidades de cada local e o fato de não estar relacionado a nenhuma lei permite mais opções de gestão com possibilidade de participação de universidades, prefeituras, ONGs e empresas.

Além disso, as bases de sua criação são promover uma nova ordem de desenvolvimento econômico para a região por meio do aspecto geológico, proteção ambiental e resgate, valorização e preservação cultural. Não faria sentido, portanto, propor um geoparque em um local inabitado, já que ele beneficia não apenas o patrimônio geológico e a biodiversidade, mas também a comunidade.

Isto é feito através do geoturismo, que é sua atividade principal, com o aumento da visitação e a venda de produtos regionais, assim, procura-se obter o desenvolvimento sustentável da população local.

O Projeto Geoparque Corumbataí tem o intuito de auxiliar na proteção de locais com alta vulnerabilidade como regiões onde ocorre a recarga do SAG que fazem parte de APAs e APPs, por meio da educação ambiental da população, que passaria a compreender a importância da área em que vivem, a partir de programas de educação ambiental que favoreceriam o entendimento da população local quanto a importância não apenas dos patrimônios geológicos como também da água subterrânea em si.

A aplicação dos conceitos de geoconservação colaboraria com a conservação dos aquíferos que possuem grande papel no abastecimento público de cidades como Itirapina e Analândia. Além de possibilitarem estudos mais aprofundados sobre o tema de recursos hídricos subterrâneos e especificamente sobre um determinado sistema através da parceria com as universidades e outras instituições interessadas, o que pode contribuir com a estimativa das demandas verdadeiras de cada aquífero e permitiria o aprimoramento dos planos diretores da Bacia do Rio Corumbataí e políticas visando a preservação do meio ambiente.

Com a geoconservação, são preservados patrimônios geológicos de grande beleza como os morros testemunhos em Analândia que evidenciam a evolução das *Cuestas* Basálticas, as cachoeiras de Salto Major Levy na mesma cidade, Saltão em Itirapina e Salto do Altarugio na divisão entre Rio Claro e Ipeúna que contam a história do magmatismo que deu origem a Formação Serra Geral, além da última também abrigar o Sítio Arqueológico Aline Boer, outro local de interesse são as cavernas de arenito eólico da Formação Botucatu em Ipeúna (Gruta do Fazendão), em Itirapina (Boca de Sapo) e Analândia (Índio) que são representativas da área de recarga do aquífero do SAG, mirantes na Serra do Itaqueri de onde se pode observar a Depressão Periférica Paulista e locais com afloramentos geológicos importantes como a pedreira de calcário e folhelhos da Formação Irati e fósseis de Mesossaurídeos em Assistência e o Sítio Canhoni que possui coquinas da Formação Corumbataí, localizado na cidade homônima (GEOPARQUE COSTÕES E LAGUNAS, 2020).

Com a preservação destes locais, também serão os aquíferos da região e além disto, poderão ser criados roteiros de aventura e impulsionar a atividade turística, gerando um desenvolvimento sustentável na região e novas possíveis fontes de renda para a população local.

7. CONCLUSÕES

A sub-bacia do Rio Corumbataí, localizada no noroeste da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, é o território do projeto Geoparque Corumbataí, idealizado por conta dos geossítios localizados no seu interior que possuem grande interesse, seja científico/educacional, social ou turístico.

Na área do projeto existem os sistemas aquíferos Tubarão, Guaraní e Serra Geral, os aquíferos Diabásio, relacionado ao SASG, e o Cenozoico Indiferenciado e o Aquicludo Passa Dois. É importante ressaltar que a zona de recarga do SAG fica localizada no noroeste da Bacia do Rio Corumbataí, sendo de extrema importância sua proteção.

Não apenas para a conservação de regiões como esta, mas também para promover o consumo consciente, foram criados diversos mecanismos por meio de leis e decretos governamentais. Um exemplo disto são as APAs, que inclusive abrangem a zona de recarga do SAG presente na sub-bacia.

Outro sistema aquífero que deve ser alvo de extensa proteção é o Tubarão, já que as inúmeras intrusões da Formação Serra Geral e a descontinuidade de sua litologia fazem com que sua vazão disponível seja muito baixa, porém, por se encontrar próximo de cidades maiores que ainda estão em expansão, portanto exigem de maior volume de água, há muitas extrações, podendo, se não feitas de forma consciente, prejudicar a qualidade e quantidade disponível em seu sistema.

Diversas cidades são abastecidas parcial ou integralmente por água subterrânea, mostrando também como é importante serem feitos testes de qualidade constantes, já que contaminantes como nitratos e fluoretos, podem causar graves doenças devido a alta concentração.

Outro problema são números que podem não refletir a realidade tratando-se do volume que é extraído, o que pode ser prejudicial para o volume disponível nos aquíferos, principalmente no SAT que já é muito utilizado por diversos municípios grandes da região.

Sugestões que podem beneficiar os sistemas em termos de proteção e preservação são: estudos mais aprofundados sobre os aquíferos e seus locais de maior vulnerabilidade, podendo descobrir outras áreas que necessitam de proteção; estimar demandas mais próximas das reais, como já foi feito no sul das Bacias PCJ, onde se mostrou a grande diferença entre a estimativa e a demanda real; educação ambiental da população; monitoramento pela Cetesb e DAEE; e

estudos sobre as dinâmicas profundas e rasas dos aquíferos, o que pode ser aplicado em pesquisas sobre o volume de recarga e rastreamento de origem das águas.

Além das ações aqui descritas, o Projeto Geoparque Corumbataí contribuiria positivamente com região, já que proporcionará o desenvolvimento socioeconômico da região com o geoturismo, promoverá a educação ambiental e uma maior identificação da população com a área, grandes diferenciais entre ele e as APAs. Os locais de grande importância para as águas subterrâneas que abastecem algumas cidades como Itirapina e Analândia seriam alvo de maior proteção, principalmente por conta da educação ambiental da população e poderiam ser estudados por instituições interessadas, aumentando o conhecimento científico e os estudos sobre perdas de água, facilitando planos futuros para seu aproveitamento e preservação, que são indispensáveis para garantir que os sistemas aquíferos continuem sendo usados pelas comunidades, seja para o abastecimento público ou para as demais demandas.

8. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Estudo dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí**. Relatório final, volume I, tomo I. 2020a. Disponível em: <<http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/gestao/contrato-48-2018-estudo-v1-t1.pdf>>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.
- AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Estudo dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí**. Relatório final, volume I, tomo II. 2020b. Disponível em: <<http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/gestao/contrato-48-2018-estudo-v1-t2.pdf>>. Acesso em: 9 de outubro de 2020.
- ALMEIDA, F. F. M. de. **Geologia do Estado: Grupo São Bento**. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, v. 41, p. 85-101, 1964.
- ALMEIDA, F. F. M. de; BARBOSA, O. **Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, estado de São Paulo**. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, v. 143, p. 1-96, 1953.
- ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água subterrânea**. 2017. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>>. Acesso em: 23 de março de 2020.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas: Uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF, Brasil. 2007.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Memorial descritivo da estimativa de demanda de irrigação contida no documento “**Plano Nacional de Recursos Hídricos – Documento Base de Referência, Minuta**”. 40p. Nota técnica 007/2003.
- ARAB, P. B.; PERINOTTO, J. A. J.; ASSINE, M. L. **Grupo Itararé (P-C da bacia do Paraná) nas regiões de Limeira e Piracicaba-SP: contribuição ao estudo das litofácies**. Geociências, p. 501-521, 2009.
- ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. M.; CARNEIRO, C. D. R. **Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu**. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, Editora Beca, São Paulo, 2004.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. Á.; PERINOTTO, J. A. J. **Paleocorrentes, paleogeografia e seqüências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 1, p. 33-40, 2003.

AUSTRALIAN HERITAGE COMMISSION et al. Australian Natural Heritage. **Charter for the conservation of places of natural heritage significance.** 2002.

BARBOSA, M.; CARVALHO, A.; IKEMATSU, P.; FILHO, J.; CAVANI, A. **Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero guarani em sua área de afloramento no estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas.** Águas Subterrâneas. 2011.

BASILIO, T. C. C. **Estudo de águas subsuperficiais em áreas de contribuição de fontes naturais suportadas por Sedimentos Cenozóicos e da Formação Itaqueri, na região de São Carlos-SP.** 2019.

BÖHLKE, J. K. **Groundwater recharge and agricultural contamination.** Hydrogeology Journal, v. 10, n. 1, p. 153-179, 2002.

BRAGA, R. A. P. **Avaliação dos instrumentos de políticas públicas na conservação integrada de florestas e águas, com estudo de caso na bacia do Corumbataí-SP.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2005.

BRANDT NETO, M. **O Grupo Bauru na região centro-norte do Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1984.

BRASIL. **Decreto Federal nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934**, aprova o código florestal, Rio de Janeiro, 1934a, janeiro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

BRASIL. **Decreto Federal nº 25.643, de 10 de julho de 1934**, decreta o Código das Águas, Rio de Janeiro, 1934b, julho. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>. Acesso em: 12 de julho de 2020.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**, institui o novo Código Florestal, Brasília, DF, 1965, setembro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

BRASIL. **Lei nº 7.511, de 7 de julho de 1986**, altera Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal, Brasília, DF, 1986, julho. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7511.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%207.511%2C%20DE%207%20DE%20JULHO%20DE%201986.&text=Altera%20dispositivos%20da%20Lei%20n%C2%BA,Art%20.>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

BRASIL. **Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989**, altera Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal, Brasília, DF, 1989, julho. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm#:~:text=Altera%20a%20reda%C3%A7%C3%A3o%20da%20Lei,Art.>. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 1997, janeiro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, Brasília, DF, 2000, julho. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, Brasília, DF, 2012a, maio. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 18 de agosto de 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**, altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Brasília, DF, 2012b, outubro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm>. Acesso em: 18 de agosto de 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 004, de 18 de setembro de 1985**, dispõe sobre definições e conceitos de Reservas Ecológicas. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=21>>. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002**, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=299>>. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

BRIGHETTI, J.M.P. **Faciologia dos sedimentos da Formação Pirambóia na região de Rio Claro (SP)**. Rio Claro, SP. 124p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP. 1994.

BRILHA, J. B. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Palimage, 2005.

BUCKLEY, R. **Environmental inputs and outputs in ecotourism: Geotourism with a positive triple bottom line?**. Journal of Ecotourism, v. 2, n. 1, p. 76-82, 2003.

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. **Bacia do Paraná: Formações Pirambóia e Botucatu**. Sociedade Brasileira de Geologia, 1992.

CAMINHOS GEOLÓGICOS. **Projeto Caminhos Geológicos**. Página do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM/RJ). Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br>. Acesso em: janeiro de 2006.

CAMPOS, H. C. N. S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1993.

CARRILLO-RIVERA, J. J.; CARDONA, A.; EDMUNDS, W. M. **Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosi basin, Mexico**. Journal of hydrology, v. 261, n. 1-4, p. 24-47, 2002.

CEAPLA. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. 2009. Disponível em: www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv3/rede_hidrografica.php. Acesso em: 28 de janeiro de 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016 – 2018**. 2019. Disponível em: [Relatório-de-Qualidade-das-Águas-Subterrâneas-no-Estado-de-São-Paulo-2016-2018.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Relatorio-de-Qualidade-das-Aguas-Subterraneas-no-Estado-de-Sao-Paulo-2016-2018.pdf) (cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo: 2007-2009**. 2010.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relação de áreas contaminadas**. Dezembro. 2020. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/areas-](https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas)

contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2021/03/UGRHI.pdf >. Acesso em: 30 de março de 2021.

COBRAPE - COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. **Plano das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 – 2020, com propostas de atualização do enquadramento dos corpos d'água e de programa para efetivação do enquadramento dos corpos d'água até o ano 2035.** 2010.

COMITÊS PCJ. **Primeira Revisão do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 a 2020-Relatório Final -Plano de Ações.** 2018.

COMITÊS PCJ. **Relatório da Situação dos Recursos Hídricos.** Ano base – 2015. 2016.

COMITÊS PCJ. **Relatório da Situação dos Recursos Hídricos.** Ano base – 2018. 2019.

COMITÊS PCJ. **Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** 2000.

COSTA, C. **A conservação do patrimônio geológico.** In: Congresso de Áreas Protegidas. p. 827-833. 1987.

COTTAS, L. R.; BARCELOS, J. H. **Novas considerações sobre a região de Itaqueri da Serra, São Paulo.** Simpósio Regional de Geologia, v. 3, p. 70-76, 1981.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Aquíferos.** 2010. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Aquiferos-1377.html>>. Acesso em: 24 de março de 2020.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Saiba Mais – Geoparques.** 2019. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Saiba-Mais---Geoparques-5415.html>>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná.** 2012. Disponível em: <rimasweb.cprm.gov.br/layout/pdf/PDF_RIMAS/VOLUME14_Sistema_Aquifero_Bauru_Caiuá_SP_PR_MS.pdf>. Acesso em: 27 de março de 2021.

CRH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Deliberação CRH nº 052, de 15 de abril de 2005,** Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005, abril. Disponível

em: <<http://www.ceivap.org.br/legisp/DeliberacoesCRH/Deliberacao-CRH%20052.pdf>>.

Acesso em: 18 de agosto de 2020.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Estudo de Águas Subterrâneas – Região Administrativa 4**. Sorocaba. Vol. 2. 1982.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Elaboração do plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole paulista**. RA – 1. Versão preliminar. Vol. 2. 2008.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Pesquisa as captações subterrâneas do Estado de SP**. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/daeewebpoco5.html>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2021.

DA CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. **Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Geochimica Brasiliensis, v. 16, n. 1, p. 1, 2002.

DERBY, O. A. **Geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil**. Arch. Mus. Nac, Rio de Janeiro, v. 3, p. 89-96, 1878.

DOWLING, R. K.; NEWSOME, D. (Ed.). **Geotourism**. routledge, 2006.

DUTRA-LUTGENS, H. **Caracterização ambiental e subsídios para o manejo da zona de amortecimento da Estação Experimental e Ecológica de Itirapina–SP**. Rio Claro: Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, 2000.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.

FEJERSKOV, O. et al. **Posteruptive changes in human dental fluorosis--a histological and ultrastructural study**. Proceedings of the Finnish Dental Society. Suomen Hammaslaakariseuran toimituksia, v. 87, n. 4, p. 607-619, 1991.

FERREIRA, S. R. **Análise pedoestratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga, no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2005.

FERREIRA, S. R.; CHANG, M. R. C. **Datação das formações Rio Claro e Piraçununga por termoluminescência**. Rem: Revista Escola de Minas, v. 61, n. 2, p. 129-134, 2008.

FLORES, E. L. et al. **Utilização de Pirohidrólise para a determinação de flúor em fertilizantes e sal mineral**. In: Livro de resumos: 26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2003.

FRAGA, Carlos Gilberto. **Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1992.

FÚLFARO, V.J. et al. **Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, v. 12, n. 4, p. 590-611, 1984.

GARCIA, L. B. R. **Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí: séculos XVIII a XX-atlas ambiental da Bacia do rio Corumbataí**. Rio Claro: DEPLAN/IGCE/UNESP, 2000.

GEOECOTURISMO. **Programa de Geocoturismo do Brasil, cadastramento de sítios e monumentos naturais**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Serviço Geológico Brasileiro. Disponível em: <[http:// www.cprm.gov.br/gestao/ecotur/geosite.html](http://www.cprm.gov.br/gestao/ecotur/geosite.html)>. Acesso em janeiro de 2006.

GEOPARQUE COSTÕES E LAGUNAS. **Geoparque Corumbataí**. 2020. Disponível em: <<https://www.geoparquecostoeselagunas.com/geoparque-corumbatai/>>. Acesso em: 16 de novembro de 2020.

GOODLAND, R; FERRI, M. G. Ecologia do cerrado. Itatiaia; EDUSP, São Paulo/SP. 1979.

GORMLY, J. R.; SPALDING, R. F. **Sources and Concentrations of Nitrate-Nitrogen in Ground Water of the Central Platte Region, Nebraska a**. Groundwater, v. 17, n. 3, p. 291-301, 1979.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. John Wiley & Sons, 2004.

GRIMMEISEN, F. et al. **Isotopic constraints on water source mixing, network leakage and contamination in an urban groundwater system**. Science of the Total Environment, v. 583, p. 202-213, 2017.

HOSE, T. A. **Geotourism-selling the earth to Europe**. In: Engineering geology and the environment. 1997. p. 2949-2960.

IGBP. **Biospheric aspects of the hydrological cycle**. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change, Report n.27. Estocolmo, 103p. 1993.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo escala 1: 500.000**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes para a elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Pardo – Relatório Final**. Relatório nº 40.670, 367 p. 2000.

IRITANI M., EZAKI S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**, São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente. 2012.

IRRIGART - ENGENHARIA & CONSULTORIA RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE Ltda., **Relatório de Situação dos recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Piracicaba – 2002 a 2003**. Piracicaba. 2005. Disponível em: <https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=330:relatorio-de-situacao-2002-2003&catid=157:relatorios-de-situacao&Itemid=340>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

IRRIGART - ENGENHARIA & CONSULTORIA RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE Ltda., **Relatório de Situação dos recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Piracicaba – 2004 a 2006**. Piracicaba. 2007. Disponível em: <https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=329:relatorio-de-situacao-2004-2006&catid=157:relatorios-de-situacao&Itemid=340>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Plano diretor para conservação dos recursos hídricos por meio da recuperação e da conservação da cobertura florestal da Bacia do rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF-SEMAE, 2002.

KIM, K.; JEONG, G. Y. **Factors influencing natural occurrence of fluoride-rich groundwaters: a case study in the southeastern part of the Korean Peninsula**. Chemosphere, v. 58, n. 10, p. 1399-1408, 2005.

KÖFFLER, N. F. **Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990.** Geografia, v. 18, n. 1, p. 135-150, 1993.

KOLYA, A. de A. **Estratégias de geoconservação aplicadas ao patrimônio geológico da Formação Irati (Permiano) no município de Rio Claro (SP), distrito de Assistência.** 2015. 121 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/143991>>.

KOLYA, A. de A. **Inventário, quantificação e valorização do geopatrimônio na Bacia do Rio Corumbataí (SP): subsídios ao Projeto Geoparque Corumbataí.** 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/182275>>.

LOPES, M. F. C. et al. **Condições de ocorrência de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari.** 1994.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do sistema aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** 2005.

MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas.** Paco Editorial, 2015.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. **Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin: an introduction.** Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin, 1988.

MELO, M. S. de. **A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neoceno-zóica na Depressão Periférica Paulista.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1995.

MILANI, E. J. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná.** In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, p. 265-291, 2004.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 1 e 2, 1997. 235p. Tese de Doutorado. 1997.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. **Bacia do Paraná:** Bulletin Geociências do Petrobrás, v. 8. 1994.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido.** 2007.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água: um recurso cada vez mais ameaçado.** 2018.

MONTANHEIRO, F. **Contaminação por nitrato no Aquífero Adamantina: o caso do município de Monte Azul Paulista-SP.** 2014.

MUNIZ R. A. et al. **Dinâmica espaço-temporal da temperatura de superfície, da bacia do rio Corumbataí, SP utilizando imagens do sensor TM/Landsat.** 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1052205/dinamica-espaco-temporal-da-temperatura-de-superficie-da-bacia-do-rio-corumbatai-sp-utilizando-imagens-do-sensor-tmlandsat>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2021.

MUÑOZ, E. E. **Georrecursos culturales.** In: Geología ambiental. Instituto Tecnológico Geominero de España, 1988. p. 85-100.

NANNI, A. S. **O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico.** 2008.

NASCIMENTO, M. A. L. et al. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo.** 2008.

NISHIYAMA, L.; ZUQUETTE, L. V. **A importância da cartografia geotécnica para caracterização de áreas de vulnerabilidade de aquíferos livres: exemplo do aquífero Botucatu na quadrícula de São Carlos-SP.** Revista de Geociências (UNESP), São Paulo, v. 13, n. 01, p. 345-357, 1994.

OEA - Organização dos Estados Americanos. **Projeto Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani.** Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (Funpar). Curitiba: Global Environmental Facilitu; Banco Mundial, fev. 2001.

ODA, G. H. et al. **Geometria do Aquífero Tubarão entre os municípios de Indaiatuba e Capivari (SP).** Revista do Instituto Geológico, v. 33, n. 1, p. 23-40, 2012.

ODA, G. H. et al. **Proposta metodológica para exploração racional do Sistema Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo.** Águas Subterrâneas, n. 1, 2005.

OLIVEIRA, A. F. **Paleotemperaturas e paleofluidos da Formação Irati na borda leste da Bacia do Paraná: implicações para a geração e migração de hidrocarbonetos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2012.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. Universidade de S. Paulo, Instituto de Geografia, 1976.

PEREIRA, R. F.; BRILHA, J.; MARTINEZ, J. E. **Proposta de enquadramento da geoconservação na legislação ambiental brasileira**. Memórias e Notícias, v. 3, n. 1, p. 491-494, 2008.

PERINOTTO, J. A. J. **Geoturismo: uma nova forma de atração turística—estudo de caso na alta bacia do rio Corumbataí, São Paulo, Brasil**. Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, v. 2, n. 1, p. 27-39, 2009.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. **Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP**. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, v. 1, 2008.

PONÇANO, W. L. et al. **A Formação Itaqueri e depósitos correlatos no Estado de São Paulo**. In: Congresso Brasileiro de Geologia. p. 1339-1350. 1982.

PROJETO BIOTA. **Sub-bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. 2002. Disponível em: <<http://www.biotasp.org.br/biodiv/mapas/bacias>>. Acesso em 7/08/2006.

PROJETO CORUMBATAÍ. **Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na Bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba: IPEF, 118p. 2001. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/relatorios/relatorio_plano_diretor_corumbatai.pdf>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

RIBEIRO, W. C. **Aquífero Guarani: gestão compartilhada e soberania**. Estudos avançados, v. 22, n. 64, p. 227-238, 2008.

ROCHA, G. et al. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. Águas Subterrâneas, 2006.

ROCHA, G. **O grande manancial do Cone Sul**. Estudos Avançados, v. 11, n. 30, p. 191-212, 1997.

RUCHKYS, U. de A. **Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO**. Belo Horizonte, 2007.

SALATI, E. **Análise ambiental sintética e qualidade de água do rio Corumbataí (SP) como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia de drenagem do rio Corumbataí.** São Carlos, 1996.

SALVAN, H. M. **Un problème d'actualité: la sauvegarde du patrimoine géologique.** Quelques réflexions. Symposiu, Internationa Sur La Protection du Patrimoine Geologique, Digne Les Bains, 1994.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 61.430, de 17 de agosto de 2015.** Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 2015, agosto. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2015/decreto-61430-17.08.2015.html#:~:text=Aprova%20a%20fixa%20os%20valores,h%C3%ADricos%20Piracicaba%2C%20Capivari%20e%20Jundia%C3%AD>>. Acesso em: 16 de outubro de 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988.** Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 1988, junho. Disponível em: <<https://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/188567/lei-6134-88>>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991.** Governo do Estado de São Paulo, 1991, dezembro. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>>. Acesso em: 12 de junho de 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997.** Governo do Estado de São Paulo, 1997, novembro. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1997/original-lei-9866-28.11.1997.html>>. Acesso em: 29 de outubro de 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 16.337, de 14 de dezembro.** Governo do Estado de São Paulo, 2016, dezembro. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html>>. Acesso em: 12 de junho de 2020.

SCHNEIDER, R. L. et al. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: Congresso brasileiro de Geologia. p. 41-65. 1974.

SERHS/SMA – SECRETARIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO/SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conjunta nº 1, de 22 de dezembro de 2006.** Governo do Estado de São Paulo, 2006, dezembro. Disponível

em:https://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2006_Res_SMA_SERHS_1.pdf
>. Acesso em: 18 de agosto de 2020.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Tasmanian Parks & Wildlife Service, Hobart, 2002.

SINELLI, OSMAR et al. **Hidrogeologia da região de Ribeirão Preto (SP)**. Águas Subterrâneas, 1980.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SigRH. **Apresentação**. 2016. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpcj/apresentacao>>. Acesso em: 23 de abril de 2020.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SigRH. **Relatório de situação dos recursos hídricos do estado de São Paulo síntese**. 2000. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/arquivos/perh/r0estadual/sintese/sumario.htm>>. Acesso em: 08 de abril de 2020.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SigRH. **Relatório de Situação de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Tipos de reserva de água subterrânea**. 2001.

SMA/SERHS/SS – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE/SECRETARIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO/SECRETARIA DA SAÚDE. **Resolução Conjunta nº 3, de 21 de junho de 2006**. Governo do Estado de São Paulo, 2006, junho. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Resolucao_Conjunta_SMA_SERHS_SES_3_2006.pdf>. Acesso em: 18 de agosto de 2020.

SOARES, P. C. **Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.

SOARES, P. C. **Nota sobre a tectônica moderna na depressão periférica paulista**. Notícia Geomorfológica, v. 13, n. 25, p. 75-81, 1973.

SOARES, P. C. **O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 44, p. 333-342, 1972.

STANLEY, M. **Geodiversity**. Earth Heritage, v. 14, p. 15-18, 2000.

- SOUZA, K. I. S. de et al. **Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais.** Águas Subterrâneas, v. 33, n. 1, p. 76-86, 2019.
- SPALDING, R. F. et al. **Applicability of the dual isotopes $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ to identify nitrate in groundwater beneath irrigated cropland.** Journal of contaminant hydrology, v. 220, p. 128-135, 2019.
- STEVAUX, J. C.; SOUZA-FILHO, E. E.; FÚLFARO, V. J. **Trato deposicional da Formação Tatuí (P) na área aflorante do NE da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo.** SBG, Congr. Bras. Geol, v. 34, p. 219-229, 1986.
- STEWART, K. et al. **$^{3}\text{-D}$, ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province.** Earth and Planetary Science Letters, v. 143, n. 1-4, p. 95-109, 1996.
- STRADIOTO, M. R.; TERAMOTO, E. H.; CHANG, H. K. **Nitrato em águas subterrâneas do estado de São Paulo.** Revista do Instituto Geológico, v. 40, n. 3, p. 1-12, 2019.
- SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL – STF. **Ação Direta Inconstitucional nº 4.903, de 28 de fevereiro de 2018.** Relator Ministro Luiz Fux. Disponível em: <<http://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=TP&docID=750504464>>. Acesso em: 16 de setembro de 2020.
- TOLEDO FILHO, D. V. de et al. **Composição florística e estrutura fitossociológica da vegetação de cerrado no município de Luís Antônio (SP).** 1984.
- TROPPEMAIR, H.; MACHADO, M. L. A. **Variação da estrutura da mata galeria na bacia do Rio Corumbataí (SP) em relação a água do solo, do tipo de margem e do traçado do rio.** Embrapa Meio Ambiente-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 1993.
- TURNER, S. et al. **Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology.** Earth and Planetary Science Letters, v. 121, n. 3-4, p. 333-348, 1994.
- VALENTE, R. de O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP.** Piracicaba: USP, 2001.
- VYSTAVNA, Y. et al. **Nitrate contamination in a shallow urban aquifer in East Ukraine: evidence from hydrochemical, stable isotopes of nitrate and land use analysis.** Environmental Earth Sciences, v. 76, n. 13, p. 1-13, 2017.

WANG, L. et al. **The changing trend in nitrate concentrations in major aquifers due to historical nitrate loading from agricultural land across England and Wales from 1925 to 2150.** Science of the Total Environment, v. 542, p. 694-705, 2016.

WASHBURNE, C. W. **Petroleum Geology of the State of S. Paulo, Brazil.** Bol. Comiss. Geogr. e Geol. do Estado de S. Paulo, v. 22, p. 1-272, 1930.

WEITZBERG, E.; LUNDBERG, J. O. **Novel aspects of dietary nitrate and human health.** Annual review of nutrition, v. 33, p. 129-159, 2013.

What is a Unesco Global Geopark?. UNESCO. 2017. Disponível em: <www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/frequently-asked-questions/what-is-a-unesco-global-geopark/>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2020.

ZAINE, J. E. **Geologia da formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP).** 1994. 90 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1994. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/92931>>.

ZALÁN, P. V. et al. **Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná.** Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, v. 3, n. 1987, p. 441-473, 1987.

ZHANG, Q. et al. **Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China.** Journal of contaminant hydrology, v. 182, p. 221-230, 2015.