

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ - SP: ANÁLISE DOS ANOS DE
2013 E 2014**

Felipe Henrique Pires

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Coorientador: Me. Bruno Zanon Engelbrecht

Rio Claro (SP)

2022

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

FELIPE HENRIQUE PIRES

BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, SP:
ANÁLISE DOS ANOS DE 2013 e 2014

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.

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang
Co-orientador: Bruno Zanon Engelbrecht

Rio Claro – SP
2022

P667b Pires, Felipe Henrique
Balanço hídrico da bacia do rio Corumbataí - SP : Análise dos anos de 2013 e 2014 / Felipe Henrique Pires. -- Rio Claro, 2022
60 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Chang Hung Kiang
Coorientador: Bruno Zanon Engelbrecht

1. bacia hidrográfica. 2. balanço hídrico. 3. escoamento de base. 4. escoamento superficial. 5. 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.

FELIPE HENRIQUE PIRES

BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, SP:
ANÁLISE DOS ANOS DE 2013 e 2014

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. Chang Hung Kiang (orientador)

Dr. Elias Hideo Teramoto

Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro, 8 de dezembro de 2022.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Antes de dar início aos agradecimentos, uma coisa que temos que deixar claro é que, nada em nossas vidas conseguimos sozinhos, sempre existe alguém que nos puxa pra cima, nos incentiva e chama pra tomar uma.

Agradeço imensamente aos meus pais, Luiza e Antônio, que nunca mediram esforços pra me ajudar nestes anos de Unesp, alguns, inclusive, extremamente difíceis, mas que conseguimos superar e seguir em frente. Também agradeço a minha irmã Jaqueline que sempre me ajudou durante esses anos e agradeço a minha irmã Bianca por todo o carinho, a toda ajuda do meu cunhado Bruno e o amor incondicional da minha sobrinha perfeita Gabi. Tudo isso também não seria possível sem o dom da vida, desta forma, agradeço a Deus por me proporcionar esta experiência com saúde e muito desafio. Aos meus amigos de Limeira, que por mais que as vezes deixamos de nos falar por motivos de distância e rotina, mas que nunca deixaram de ser meus amigos, estou sendo o último a se formar desta leva de pessoas, então sei que vocês estendem: Kaio, Rodrigo, Elis, Monique, Fred, Marina, Gabriel, Jovino, Vinicius, Felicio e Larissa.

Aos amigos que fiz na universidade, em especial Carol (Bunda) e Gustavo (Hérnia), agradeço imensamente por esses anos todos, conseguimos uma amizade de irmãos, um grupo de campo muito bom (todos os campos da graduação) e vários momentos felizes que, muito provavelmente, gostaríamos que nunca acabasse. Ao Hérnia por sempre demonstrar interesse em discutir sobre geologia e sobre a vida, a Carol por sempre compartilhar conselhos e sempre estar ao meu lado pra não deixar a peteca cair.

Aos amigos Loló, Cardoso, Formiga, Formol, Isabela, Fischer, Daniboy, Thais, Sabrina, Gabi, Usina, Jeff, Nemesio, Vitória, Dmitry, Ruan e Bruno, agradeço, pois de alguma forma, todos fizeram parte da minha vida nestes anos de graduação.

Ao LEBAC, em especial ao Professor Chang, por me proporcionar um aprendizado mais técnico, ao Elias pelas discussões e tarefas, ao Bruno por toda a ajuda e paciência para que este trabalho pudesse sair e ao Pedro, por toda a amizade, companheirismo e confiança que tivemos um no outro.

Ao Roger, que me ajudou durante a pandemia, e a Fran por todos os conselhos e sabedoria compartilhada.

Agradeço a FUNDUNESP pela Bolsa, agradeço ao Grupo PET Geologia, agradeço ao IGCE pelos auxílios, as cozinheiras do RU que chamo carinhosamente de tias da merenda.

RESUMO

O Brasil possui uma das maiores disponibilidades hídricas do mundo e junto a isso exerce grande papel na gestão de recursos hídricos, sendo que no estado de São Paulo ocorre uma divisão na exploração de água. A bacia do Rio Corumbataí é objeto de estudo deste trabalho e possui cinco sub-bacias que alimentam o rio principal. Desta forma, a gestão de recursos hídricos é considerada superficial, pois orienta as ações para uso da água captada. O objetivo deste estudo é elaborar o balanço hídrico da bacia. O Balanço hídrico é um método que utiliza as componentes do ciclo hidrológico e obedece ao princípio da continuidade e da conservação de massa. Para tal levantamento foram utilizados dados de estações pluviométricas e fluviométricas do DAEE, imagens de radar dos sensores IMERG (precipitação) e MODIS 16A02 (evapotranspiração). Nas estações pluviométricas foi proposta a utilização do método de Thiessen. Para os dados de escoamento de base e superficial, foi utilizado o método dos mínimos locais. O contexto geológico da bacia do Rio Corumbataí é situado por rochas do Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico, com boa parte da bacia composta por rochas de maior porosidade e permeabilidade à rochas argilosas com porosidade baixa. Foram utilizadas onze estações pluviométricas para se calcular a média dos anos de 2013 a 2014, comparando os dados destas estações com os de radar. As vazões foram estudadas a partir de duas estações, a 4D-021 e 4D-023, gerando gráficos de escoamento superficial e de base, para depois estabelecer a curva de permanência com base nas vazões diárias. Na estação 4D-023 o Q95 foi 0.6 m³/s e a estação 4D-021 teve um Q95 de 5m³/s, calculando a produção específica de cada sub-bacia, respectivamente, 9.06 L/s/Km² e 3.14 L/s/Km². O balanço hídrico constatou que 68% e 110% representam a evapotranspiração dentro da bacia nos anos de 2013 e 2014. Com isso, os dados do sensor IMERG e a série histórica de pluviômetros são confiáveis para algumas avaliações de bacias hidrográficas, os filtros digitais foram satisfatórios para adquirir dados de escoamento de base e superficial. Também constatou-se que a alta produção específica está relacionado à geologia da bacia e que o ano de 2014 evidenciou um déficit hídrico por conta da diminuição do fluxo de base.

Palavra-chave: Bacia hidrográfica. Escoamento de base. Escoamento superficial. Balanço hídrico. Rio Corumbataí.

ABSTRACT

Brazil has one of the largest water availability in the world and, along with this, plays a great role in the management of water resources, and in the state of São Paulo there is a division in water exploration. The Corumbataí River basin is the object of this study and has five sub-basins that feed the main river. In this way, the management of water resources is considered superficial, as it guides the actions for the use of the water abstracted. The objective of this study is to prepare the water balance of the basin. The Water Balance is a method that uses the components of the hydrological cycle and obeys the principle of continuity and conservation of mass. For this survey, data from DAEE rainfall and fluviometric stations, radar images from IMERG (precipitation) and MODIS 16A02 (evapotranspiration) sensors were used. In rainfall stations it was proposed to use the Thiessen method. For the base and surface flow data, the local minimums method was used. The geological context of the Corumbataí River basin is situated by Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic rocks, with much of the basin composed of rocks of greater porosity and permeability to clay rocks with low porosity. Eleven rainfall stations were used to calculate the average of the years 2013 to 2014, comparing the data of these stations with those of radar. The flows were studied from two stations, 4D-021 and 4D-023, generating surface and base flow charts, and then establishing the permanence curve based on daily flows. In station 4D-023, Q95 was 0.6 m³/s and station 4D-021 had a Q95 of 5m³/s, calculating the specific production of each sub-basin, respectively, 9.06 L/s/Km² and 3.14 L/s/Km². The water balance found that 68% and 110% represent evapotranspiration within the basin in 2013 and 2014. With this, the data from the IMERG sensor and the historical series of rain gauges are reliable for some assessments of watersheds, the digital filters were satisfactory to acquire base and surface flow data. It was also found that the high specific production is related to the geology of the basin and that the year 2014 showed a water deficit due to the decrease in the base flow.

Keyword: Watershed. Base flow. Runoff. Water balance. Corumbataí River.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas na bacia hidrográfica com seus respectivos códigos de cadastro do DAEE. Os valores que exibem o número 0 não constam no banco de dados do órgão em questão.	38
Tabela 2 - Pluviometria referente ao sensor IMERG dos anos de 2013 à 2014.....	39
Tabela 3 - Relação dos parâmetros hidrológicos associados ao balanço hídrico da série histórica de 2013. Os parâmetros representam P = precipitação, Et = escoamento total, Ev = evapotranspiração, Es = escoamento superficial e Eb = escoamento de base.	51
Tabela 4 - Tabela 4 - Relação dos parâmetros hidrológicos associados ao balanço hídrico da série histórica de 2014. Todos os valores estão em Km ³ /mês. Os parâmetros representam P = precipitação, Et = escoamento total, Ev = evapotranspiração, Es = escoamento superficial e Eb = Escoamento de base.	51
Tabela 5 - Relação dos parâmetros hidrológicos do balanço hídrico em porcentagem (%) representando o ano de 2013.	52
Tabela 6 - Relação dos parâmetros hidrológicos do balanço hídrico em porcentagem (%) representando o ano de 2014.	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização dos municípios que compõem a Bacia do Rio Corumbataí.	12
Figura 2: (A) apresenta um exemplo do ciclo hidrológico, evidenciando as entradas e saídas do sistema e (B) apresenta a estrutura de uma bacia hidrográfica delimitada pelo seu divisor topográfico. Adaptado de Bernardi et al. (2012) e Iritani & Ezaki (2012).	13
Figura 3: Produto IMERG com cada pixel tendo resolução de 0.1°. Ao lado direito a escala de cores referente à precipitação mensal média.....	15
Figura 4: Exemplo da aplicação do método do Polígono de Thiessen, cada ponto indica uma estação pluviométrica. Fonte: ESRI.....	17
Figura 5: Gráfico que demonstra a intersecção do escoamento superficial com o fluxo de base com o método dos Mínimos Locais. Adaptado de Sloto & Crouse (1996).	18
Figura 6: Mapa de localização da área de estudo.	20
Figura 7: Mapa representando as supersequências presentes na Bacia Sedimentar do Paraná (MILANI, 2004).	21
Figura 8: Mapa geológico da Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: Adaptado do Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS).....	22
Figura 9: Mapa hipsométrico da Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: SRTM de resolução de 30 metros.	28
Figura 10: Representação das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: Adaptado de IBGE (1971) apud Kolya (2019).....	29
Figura 11: Perfil longitudinal do Rio Corumbataí. Do lado esquerdo encontra-se a nascente na cota de 800 m e ao lado direito encontra-se a sua foz com cota de 400m. A distância no eixo das abscissas demonstra sua extensão total. Fonte: CEAPLA apud Salati (1996).	30
Figura 12: Representação dos aquíferos e aquíclode aflorante na área da bacia do rio Corumbataí.	31
Figura 13: Mapa de localização das estações pluviométricas. Fonte: DAEE.	35
Figura 14: Mapa que demonstra o polígono de Thiessen na Bacia do Rio Corumbataí. Em negrito, abaixo das estações, encontram-se os valores das porcentagens de	

influência de cada área. Representa a área de influência (m ²) do polígono em relação à estação pluviométrica.	36
Figura 15: Gráfico de Vazão x Precipitação evidenciando a precipitação e vazão dos anos de 2013 à 2014.	37
Figura 16: Comparação das pluviometrias das estações do DAEE com o Sensor IMERG.	40
Figura 17: Mapa que exhibe a localização dos fluviômetros analisados.....	41
Figura 18: Representação gráfica das vazões medidas em cada estação.....	42
Figura 19: Localização da estação 4D-023 em comparação com o mapa geológico da bacia. Fonte: RIMAS.....	43
Figura 20: Gráfico que demonstra o Escoamento Superficial e Fluxo de base.....	44
Figura 21: Curva de permanência da estação 4D-023, referente ao município de Analândia.....	45
Figura 22: Mapa geológico da bacia destacando a estação fluviométrica 4D-021 e sua sub-bacia de influência, buscando relacionar a litologia presente nesta área.....	47
Figura 23: Gráfico do escoamento superficial da porção da área maior, representativo da estação 4D-021.	48
Figura 24: Curva de permanência referente à estação 4D-021, próximo ao município de Piracicaba.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS	12
2.1 BALANÇO HÍDRICO	13
2.1.1 OBTENÇÃO DE DADOS	14
2.1.2 PRODUTOS DE RADARES	14
2.1.3 MÉTODO DE THIESSEN	16
2.1.4 FLUXO DE BASE.....	17
2.1.5 CURVA DE PERMANÊNCIA.....	18
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	19
4. GEOLOGIA REGIONAL	20
4.1 BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ.....	20
4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORUMBATAÍ.....	21
4.2.1 GRUPO ITARARÉ	23
4.2.2 FORMAÇÃO TATUÍ	23
4.2.3 FORMAÇÃO IRATI.....	23
4.2.4 FORMAÇÃO CORUMBATAÍ	24
4.2.5 FORMAÇÃO PIRAMBOIA.....	24
4.2.6 FORMAÇÃO BOTUCATU	25
4.2.7 FORMAÇÃO SERRA GERAL	25
4.2.8 FORMAÇÃO ITAQUERI.....	26
4.2.9 FORMAÇÃO RIO CLARO	26
4.3 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	27
4.4 CONTEXTO HIDROLÓGICO	29
4.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	30
4.5.1 SISTEMA AQUIFERO GUARANI.....	32
4.5.2 SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL	32
4.5.3 SISTEMA AQUIFERO TUBARÃO	33
4.5.4 AQUICLUDE PASSA DOIS	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34

5.1 PRECIPITAÇÃO	34
5.2 VAZÃO DOS CURSOS D'ÁGUA.....	40
5.2.1 ESTAÇÃO 4D-023	42
5.2.2 ESTAÇÃO 4D-021	46
5.3 BALANÇO HÍDRICO	50
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, com cerca de 14% da água doce do planeta, é um dos países com maior disponibilidade hídrica do mundo possuindo, entretanto, uma distribuição desigual deste volume devido suas proporções continentais (TUNDISI, 2008). Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas) a gestão de recursos hídricos traz o conceito de disponibilidade hídrica superficial, baseado em uma vazão para orientar as ações para o uso daquela água.

A gestão dos recursos hídricos é dinâmica e no estado de São Paulo ocorre uma divisão na exploração de águas superficiais e subterrâneas devido à natureza geológica presente. A leste ocorrem rochas do embasamento cristalino, não favorecendo a ocorrência de aquíferos porosos e a oeste ocorrem rochas da Bacia Sedimentar do Paraná, formado por arenitos porosos, que contribuem para o armazenamento e transporte de água. Dos 646 municípios do Estado, 52% utilizam exclusivamente água subterrânea em seu abastecimento público, 19% utilizam sistema misto e 29% exclusivamente água superficial (LEBAC/DAEE, 2013).

Uma bacia hidrográfica é área de captação natural da água da precipitação formada por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem constituída pelos cursos de água, e que converge os escoamentos para um único ponto de saída, denominado de exutório (SILVEIRA, 2001, p.40). A Bacia do Rio Corumbataí, objeto de estudo deste trabalho, é composta por cinco sub-bacias: Ribeirão Claro, Passa Cinco, Alto Corumbataí, Médio Corumbataí e Baixo Corumbataí. O Rio Corumbataí é responsável pelo abastecimento das cidades de Rio Claro e Piracicaba, sendo um importante afluente do Rio Piracicaba.

A Bacia hidrográfica do Rio Corumbataí corresponde aos municípios (Figura 1) de Itirapina, Santa Gertrudes, Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro e Piracicaba (ABPCJ, 2020). Economicamente destacam-se a produção de cana-de-açúcar, indústria de base, turismo e mineração, devido à disponibilidade de matéria prima dos depósitos de argila da Formação Corumbataí (para indústria cerâmica) e os depósitos de areia das formações cenozoicas.

Na área da bacia ocorrem diversas paisagens naturais, como cachoeiras, cavernas e trilhas, que são responsáveis pelo turismo, destacadas nos estudos do Projeto do Geopark Corumbataí (KOLYA, 2019).

A fabricação de revestimentos cerâmicos possibilitou a instalação do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG), sendo o maior polo cerâmico da América Latina e o segundo maior do

mundo (ASPACER, 2016). No caso da extração da argila, todas as minerações utilizam cavas a céu aberto pelo método de bancadas (Loreti Junior *et al.*, 2014).

Ambas atividades econômicas citadas acima proporcionam boa parte do PIB da região, porém muitos lugares não possuem a devida manutenção, causando assoreamentos de algumas porções dos rios, erosão de margens e exploração indevida de água superficial. Tais problemas remetem ao mal funcionamento da dinâmica fluvial, o que sugere a utilização dos recursos hídricos para uma boa execução das atividades, por isso a importância de se realizar o balanço hídrico.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa é a realização e apresentação do Balanço Hídrico da Bacia do Rio Corumbataí, apresentando a interação dos fatores hidrológicos naturais, como o escoamento total, escoamento superficial e escoamento de base, em relação às entradas e saídas do sistema da bacia.

Como objetivos secundários, primeiro busca-se relacionar a litologia existente na bacia com o escoamento de base através da curva de permanência, evidenciando a importância da litologia na recarga do aquífero, apresentando sua produção específica em cada sub-bacia que seja influenciada pelas estações fluviométricas 4D-021 e 4D-023. O segundo objetivo é quantificar o volume de água da chuva existente na bacia, apontando as zonas de maior influência da precipitação e o quanto essa quantidade influencia no escoamento superficial.



Figura 1: Mapa de localização dos municípios que compõem a Bacia do Rio Corumbataí.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise do balanço hídrico da bacia do Rio Corumbataí, a bacia foi subdividida em duas sub-bacias hidrográficas, denominadas de 4D-023 (próximo ao município de Analândia) e 4D-021 (próximo ao município de Piracicaba), de acordo com as estações fluviométricas disponíveis na bacia. O procedimento metodológico adotado para elaboração deste trabalho consiste nas atividades descritas a seguir.

2.1 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico descreve os componentes do ciclo hidrológico e obedece ao princípio da continuidade e da conservação de massa, segundo o qual a diferença entre as entradas e saídas é igual à variação do armazenamento no sistema (FETTER, 1991).

Considerando a bacia hidrográfica um sistema fechado que atua como um reservatório de água (Figura 2), tem-se a transformação da precipitação em escoamento superficial e subterrâneo, perda de água por meio da evapotranspiração e captações e a variação de armazenamento de água do período analisado, conforme apresentado na Equação 1.

$$P = Es + Eb + Et + \Delta S \quad \text{Equação 1;}$$

Em que P é a precipitação; Es é o escoamento superficial; Eb é o escoamento de base; ΔS é o armazenamento de água na bacia (que não é escoada para fora e sim a água que faz parte da manutenção do aquífero); e ET é a evapotranspiração.

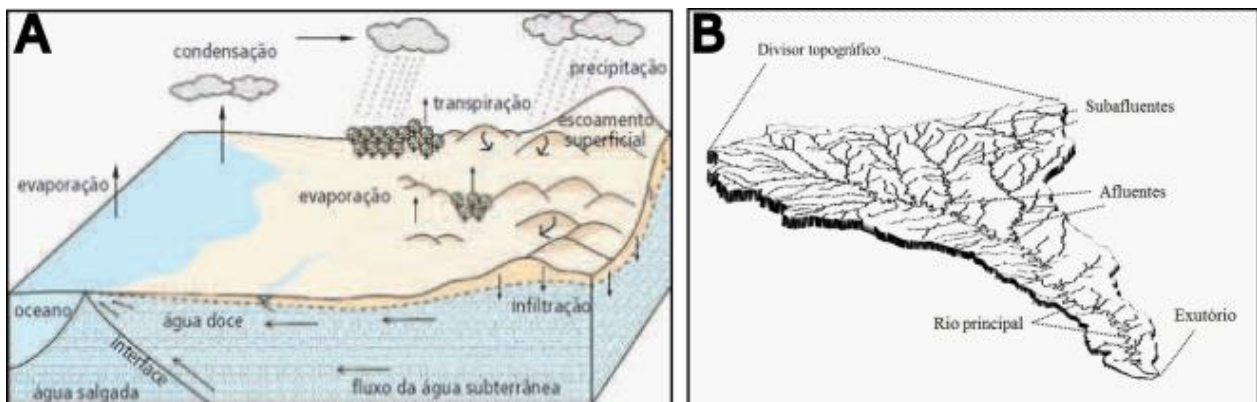


Figura 2: (A) apresenta um exemplo do ciclo hidrológico, evidenciando as entradas e saídas do sistema e (B) apresenta a estrutura de uma bacia hidrográfica delimitada pelo seu divisor topográfico. Adaptado de Bernardi et al. (2012) e Iritani & Ezaki (2012).

Neste trabalho o cálculo do balanço hídrico foi realizado para os anos de 2013 e 2014, período de estiagem prolongada no sudeste brasileiro, a partir da análise dos dados de vazão dos postos fluviométricos 4D-21 e 4D-23, no rio Corumbataí. Os valores de evapotranspiração foram calculados a partir dos resultados obtidos do sensor MODIS 16A2, enquanto a precipitação foi estimada a partir de estações pluviométricas da base de dados do DAEE e do sensor IMERG. O armazenamento hídrico da bacia foi estimado através do cálculo do balanço hídrico. Os valores de captações não foram considerados devido a disponibilidade e incertezas dos dados.

As médias calculadas nesta etapa foram retiradas dos valores do sensor IMERG (precipitação) e do sensor MODIS 16A2 (evapotranspiração). As médias do sensor de precipitação se dão em mm/mês, assim como as estações pluviométricas. Porém para se calcular o volume total do que entra na bacia, foi realizado um método manual no próprio software *ArcGis 10.8*, que consiste na transformação dos arquivos *TIFF* para *ShapeFile* e com isso fazendo o cálculo da área de cada um dos 15 *pixels*, passando os valores que estavam em mm/mês para metros e depois multiplicando pela área total da bacia, afim de encontrar o volume aproximado de precipitação.

O mesmo foi realizado para a evapotranspiração, que no total foram 1920 *pixels* dentro da bacia, cada valor em milímetros foi passado para metros e posteriormente feito a multiplicação da área total com a quantidade de evapotranspiração em metros para encontrar o volume total que sai do sistema.

2.1.1 OBTENÇÃO DE DADOS

Para as análises de disponibilidade hídrica de uma bacia, é necessário a utilização de séries históricas de dados de monitoramento hidrológico. Para tanto, foram utilizados os dados de estações fluviométricas e pluviométricas disponibilizados pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). A plataforma online pode ser acessada pelo link (<http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>) e permite o acesso e download das informações pertinentes.

Neste trabalho, foram selecionadas as estações fluviométricas 4D-021 e 4D-023 com disponibilidade de dados disponíveis nos anos de 2013 e 2014. A área de drenagem de cada estação fluviométrica foi delimitada por meio do software *ArcGIS 10.8* (ESRI™), utilizando imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial horizontal de 30 metros. Os registros fluviométricos contam com vazões média mensal e diária.

Determinadas as áreas de drenagem das estações fluviométricas, selecionou-se onze estações pluviométricas com influência na bacia. A influência exercida por cada estação pluviométrica foi ponderada a partir do método de Thiessen.

2.1.2 PRODUTOS DE RADARES

Para auxiliar na comparação da precipitação e facilitar o cálculo de balanço hídrico, foram utilizadas imagens de radar, as quais possuem dados de precipitação e evapotranspiração. As

imagens adquiridas que refletem a precipitação são de domínio público e podem ser obtidos na plataforma Earth Data – NASA.

A missão GPM (*Global Precipitation Measurement*) Program é uma rede internacional de satélites de última geração que captam dados relativos à precipitação e a neve em uma escala global e que tem como objetivo ajudar no reconhecimento do ciclo da água e ciclo energético da Terra, melhorando a capacidade de previsão para eventos extremos e disponibilizar informações precisas e úteis (SANTOS, 2019 *apud* NASA, GPM – *Global Precipitation Measurement*, 2018).

Existem diversos produtos na missão GPM e para este trabalho optou-se por utilizar o produto IMERG, por ser o mais utilizado e atual. O IMERG possui resolução temporal de 1 mês, resolução espacial de 0,1° e início de funcionamento em 01/06/2000 (NASA – Plataforma Giovanni).

A figura 3 apresenta um exemplo de como o sensor IMERG se comporta em escala regional, trazendo o Estado de São Paulo para auxiliar na compreensão das dimensões dos pixels do sensor, contendo as porções de maior e menor precipitação em mm/mês.

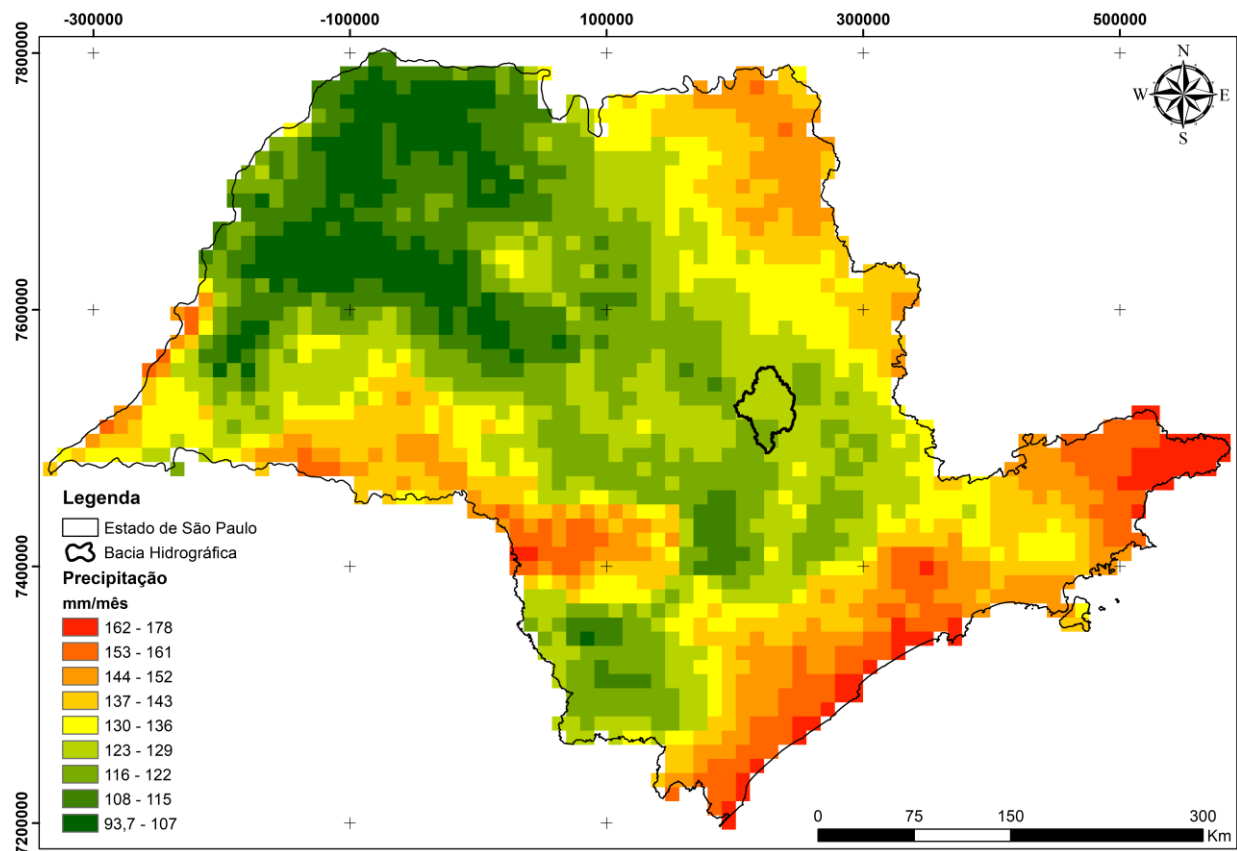


Figura 3: Produto IMERG com cada pixel tendo resolução de 0.1°. Ao lado direito a escala de cores referente à precipitação mensal média.

Devido a cada pixel do sensor IMERG ser de 0.1° , em escala continental, como é visto na figura 1, não demonstra que os pixels são grandes, porém em escala de bacia, dependendo o tamanho dela, cada pixel será extremamente grande, podendo induzir que não seja algo representativo para áreas menores.

Para estimativa da evapotranspiração na área de estudo, foram utilizadas as imagens do MODIS/MOD16A2, do radar MODIS, que contabiliza dados pertinentes à evapotranspiração. O MOD16A2 faz parte do sensor MODIS/Terra, que pode ser baixado em formato HDF e posteriormente convertido para TIFF, possui ainda uma resolução espacial de 1.2 Km. Foram utilizados os valores mensais de evapotranspiração.

Os dados foram baixados do banco de dados *Land Processes Distributed Active Center* (LPDAAC). O LP DAAC opera em parceria com o *US Geological Survey* (USGS) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), fazendo parte de um componente do *Earth Observing System Data and Information System* (EOSDIS) que também faz parte da NASA (LP DAAC, 2022).

Para conversão dos valores de evapotranspiração obtidos pelo satélite MOD16A2 em mm de lâmina d'água, foi utilizado o fator 0.1 com a ferramenta *Times*, no *software* ArcGIS 10.8 (ESRITM), e *SetNull* para limitar os valores máximos em 32760, que consiste no valor máximo do intervalo válido de medição do satélite.

2.1.3 MÉTODO DE THIESSEN

A partir das estações pluviométricas foi empregado o método de Thiessen para calcular a área de influência de cada estação, permitindo calcular o volume de chuva em cada área.

Como o método considera a não uniformidade da distribuição espacial das estações pluviométricas e não leva em conta o relevo da bacia (TUCCI, 2004), a metodologia consiste em ligar os pontos de forma retilínea, traçando linhas perpendiculares aos trechos retilíneos que passam pela mediatriz que ligam os dois pontos e posteriormente as linhas perpendiculares são prolongadas até encontrar outra linha (Figura 4).

Desta forma, os polígonos são gerados pela intersecção das linhas, o que culmina na construção das áreas de influência de cada estação. O método foi aplicado pelo *software* ArcGis 10.8, o qual foi utilizado a ferramenta *Thiessen Polygon* e constitui as áreas de influência de cada estação pluviométrica.

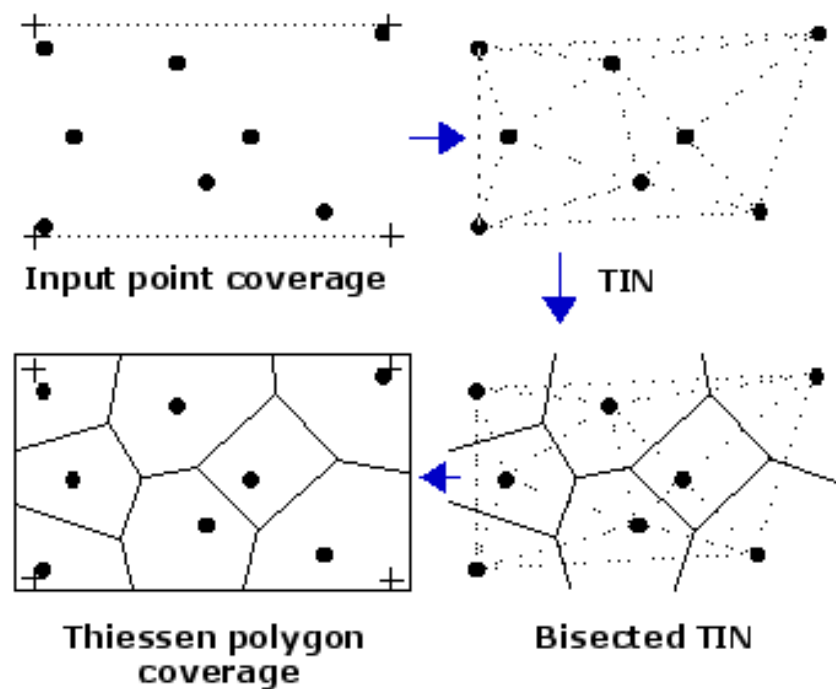


Figura 4: Exemplo da aplicação do método do Polígono de Thiessen, cada ponto indica uma estação pluviométrica.

Fonte: ESRI.

2.1.4 FLUXO DE BASE

O fluxo de base foi pautado no método de filtros digitais com a utilização do software *BFI* + 3.0, o qual utiliza os métodos desenvolvidos por Pettyjohn e Henning (1979) e apresenta a vantagem de ser padronizado e sistemático, possibilitando a criação de softwares computacionais para acelerar a rotina de cálculos e evitar inconsistências peculiares ao método manual (SLOTO e CROUSE, 1996).

Os filtros digitais tem por finalidade a identificação dos pontos de menor vazão de uma série pré definida através de um hidrograma e a curva do fluxo de base é dada pela união entre esses pontos. Gonçalves (2016) *apud* Pettyjohn e Henning (1979) estabelecem que o intervalo de tempo para análise do hidrograma é proporcional ao tempo de recessão (N), em que N representa o tempo, em dias, até que cesse a contribuição do escoamento superficial e a vazão seja mantida apenas pela componente do escoamento de base. Sendo calculado pela formula empírica (LINSLEY et al, 1975):

$$N = 0,827 * A^{0.2} \quad \text{Equação 2.}$$

Em que N representa o período de recessão, em dias e A representa a área da bacia, em Km².

O Software *BFI + 3.0* possui três métodos proposto por Pettyjohn e Henning (1979): o Intervalo Móvel, Intervalo Fixo e Mínimos Locais. Para este trabalho, foi utilizado o método de Mínimos locais (Figura 5) que identifica se o dia D apresenta a menor vazão observada ao longo do intervalo de 2N*. Se existir esta confirmação, o valor é atribuído ao ponto, caso contrário o valor não é considerado.

O intervalo 2N é movimentado dia a dia, analisando todo o hidrograma. Ao fim, une-se uma reta a todos os pontos de mínimos locais, separando os componentes do escoamento superficial e fluxo de base.

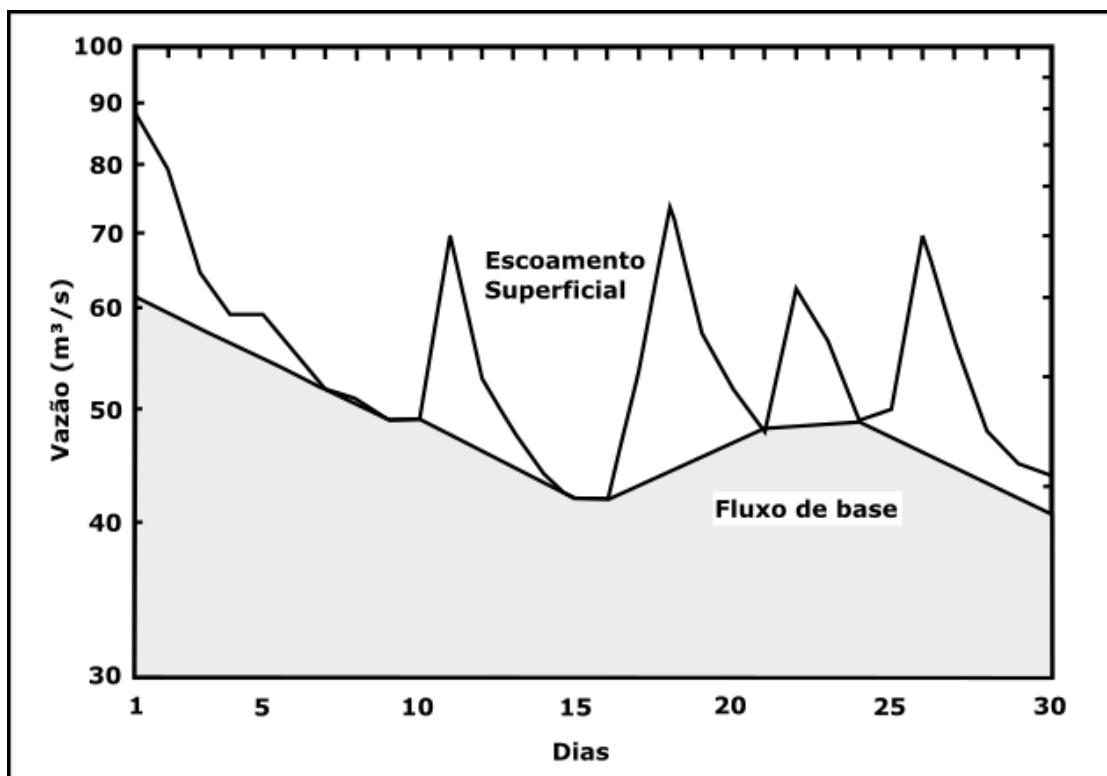


Figura 5: Gráfico que demonstra a intersecção do escoamento superficial com o fluxo de base com o método dos Mínimos Locais. Adaptado de Sloto & Crouse (1996).

2.1.5 CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência relaciona a vazão com a porcentagem do tempo em que esta é superada ou igualada durante o período avaliado. Usualmente, a disponibilidade hídrica da bacia está associada a vazões com permanência em 90% (Q90) e 95% (Q95) da série histórica em questão (ANA, 2005).

Para se estabelecer a curva de permanência neste trabalho, foi determinado o número de classes possíveis para o conjunto de 730 dias de vazão, totalizando 27 classes com a função *COUNT* no software *Microsoft Excel*. Posteriormente, foi utilizado a função *COUNT.SE* e a função *COUNT* para determinar o número de casos existentes para cada vazão, a qual foi chamada de classe, e a frequência acumulada em porcentagem, respectivamente, cujas funções necessitaram de três equações:

$$d = [\ln(Q_{mx}) - \ln(Q_{mi})]/n \quad \text{Equação 3;}$$

$$Q_j = \text{Exp}[\ln(Q_{mi}) + (j-1)d] \quad \text{Equação 4;}$$

$$P_i = (d_i/N_v) * 100 \quad \text{Equação 5.}$$

Em que, Q_{mx} é a vazão máxima e Q_{mi} é a vazão mínima da série histórica estudada. A variável ' Q_j ' representam as classes dentro da grandeza de vazão em m^3/s , estabelecendo, posteriormente o número de casos possíveis para cada vazão diária da série histórica. Por fim, a equação 7 representa exatamente a frequência acumulada, que é dada em porcentagem, relacionando o número de casos dentro da série histórica, em que o primeiro caso sempre dará 100% por ser a vazão mais baixa encontrada em todo o tempo analisado.

O gráfico da curva de permanência possui o eixo das abcissas com a probabilidade de ocorrer uma determinada vazão em porcentagem e no eixo das ordenadas a vazão propriamente dita em m^3/s , gerando uma curva descendente.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está localizada na porção central do Estado de São Paulo (Figura 6), abrangendo no contexto geomorfológico da Depressão Periférica Paulista na zona do Médio Tietê (IPT, 1981). A Depressão Periférica é definida por Penteado (1971) como um complexo de colinas tabuliformes.

A bacia é composta por nove municípios: Analândia, Cordeirópolis, Corumbataí, Charqueada, Ipeúna, Itirapina, Rio Claro, Piracicaba e Santa Gertrudes. Sendo uma bacia de suma importância, uma vez que o Rio Corumbataí é um importante afluente do rio Piracicaba, que compõe a maior área de influência do sistema PCJ.

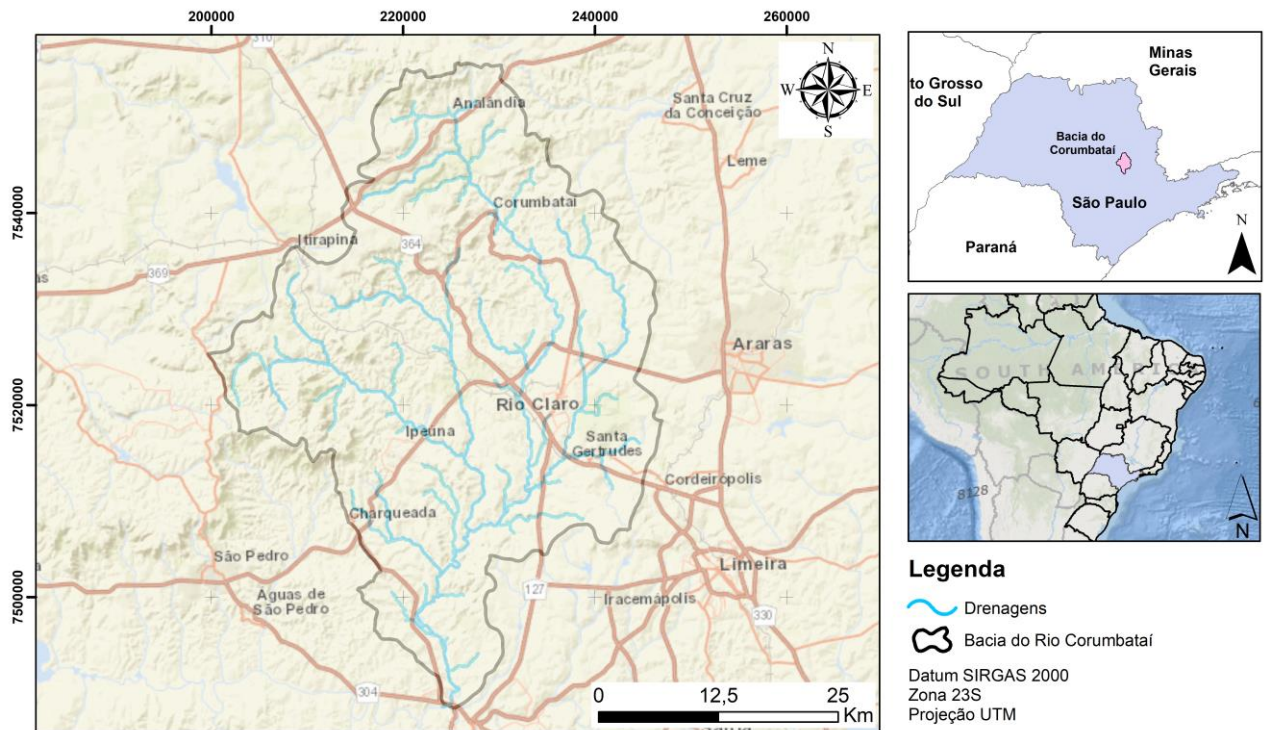


Figura 6: Mapa de localização da área de estudo.

4. GEOLOGIA REGIONAL

4.1 BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ

A Bacia Sedimentar do Paraná é uma bacia intracratônica e representa, em sua extensão, boa parte da plataforma Sul Americana. Sua origem está relacionada a vários acontecimentos ao longo do tempo, mas segundo Milani (1997) a bacia é compartimentada em seis super sequências: Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru (Figura 7).

Seu contexto estrutural está relacionado a um domínio crustal resistente a esforços gerados em margens ativas de placas, implicando em um embasamento consolidado e competente para suportar a sedimentação (Leighton & Kolata, 1990).

Em sua extensão, a Bacia do Paraná tem uma área aproximada de 1.700.000 Km², com cerca de 900 Km na direção leste/oeste e 1700 Km na direção nordeste/sudoeste, sobrepondo vários estados brasileiros: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso e também aborda algumas regiões da Argentina e Paraguai.

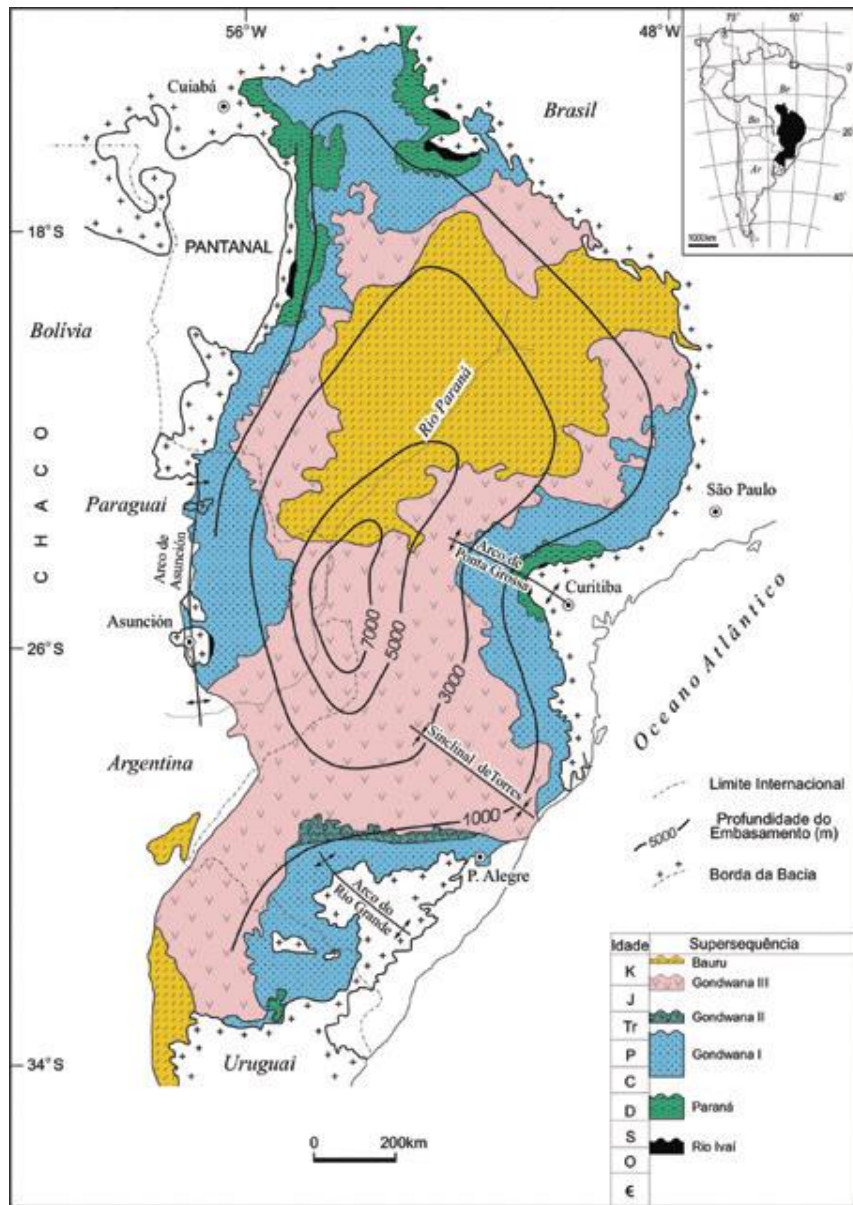


Figura 7: Mapa representando as superseqüências presentes na Bacia Sedimentar do Paraná (MILANI, 2004).

4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORUMBATAÍ

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, no flanco nordeste, sendo composta por rochas sedimentares e vulcânicas (Figura 8) das eras Paleozoica (Grupo Itararé; e Formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozoica (Formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozoica (Formações Itaqueri e Rio Claro) (ZAINÉ, 1994).

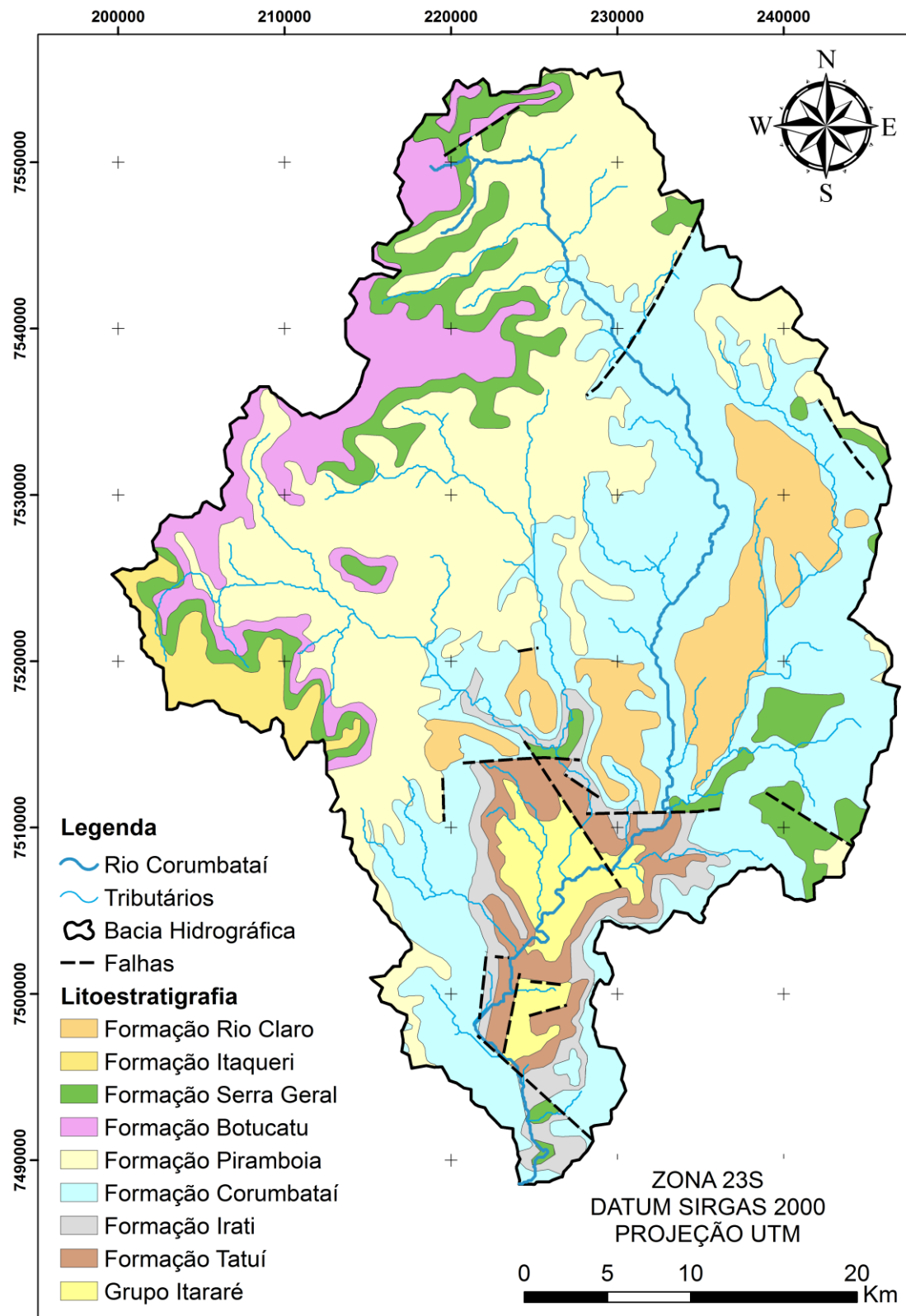


Figura 8: Mapa geológico da Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: Adaptado do Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS).

4.2.1 GRUPO ITARARÉ

O Grupo Itararé corresponde à unidade permo-carbonífera da bacia e no Estado de São Paulo, representada por uma única unidade litoestratigráfica heterogênea composta por diamictitos, as fácies conglomeráticas são características desta unidade, sendo comuns as feições de deformação sin-sedimentar. Ocorrem fácies arenosas, compostas por espessos pacotes de arenitos, cuja granulometria varia de fino a grosso, exibindo estratificações cruzadas acanaladas e estratificações plano paralelas. Além dessas fácies, são frequentes as ocorrências de tilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos.

Segundo Gandini *et al.* (2007), nos ritmitos do Grupo Itararé é comum a ocorrência de assembleia icnofossilífera, representada por registros de moluscos e trilhas de crustáceos pericarídeos ou sincarídeos e merostomados, preservadas como sub impressões.

4.2.2 FORMAÇÃO TATUÍ

Restrita ao Estado de São Paulo, a Formação Tatuí é composta por uma sucessão de siltitos e arenitos finos, bem selecionados, de idade eopermiana, possuindo espessuras que ultrapassam 100 metros (SOARES, 1972).

Soares (1972) subdivide esta formação em membro inferior, com cores esverdeadas e acinzentada, e níveis de siltitos pretos, que indicam condições redutoras para o topo, e o membro superior, de coloração marrom avermelhado. Segundo Perinotto (1987) a Formação Tatuí foi depositada em ambiente transicional de planície costeira e ambiente marinho raso plataformar. Posteriormente Assine *et al.* (2003) definiram esta formação como produto de um trato de sistemas de mar alto, caracterizado pela progradação de leques aluviais costeiros sobre uma plataforma marinha, no Centro-Leste de São Paulo.

A Formação Tatuí apresenta contato basal transicional com o Grupo Itararé (ASSINE *et al.*, 2003), e o contato de topo com a Formação Irati é representada por fácies que variam desde arenitos a conglomerados, com grânulos e seixos de sílex, e presença de restos de peixes, denominada camada Ibicatu (SOARES, 1972).

4.2.3 FORMAÇÃO IRATI

A Formação Irati é a unidade litoestratigráfica recorrente e persistente por toda a extensão da Bacia do Paraná, apresentando espessuras entre 40 a 70 metros (Caorsi e Goni, 1958). Devido a sua homogeneidade em toda a bacia, a Formação Irati é considerada por muitos autores como

sendo uma camada guia. A Formação Irati corresponde com o ápice de um evento transgressivo de idade permo-carbonífera da Bacia, sendo portanto, de ambiente marinho de águas calmas (na porção basal), e um ambiente marinho de águas rasas plataformais (na porção superior) (SCHNEIDER *et al.* 1974; PERINOTTO, 1992).

A Formação Irati pode ser dividida em dois membros: o primeiro, Membro Taquaral, correspondente à porção basal da unidade e é representado por folhelhos de coloração cinza escuro a cinza claro, e siltitos cinzas. O segundo, denominado Membro Assistência, corresponde à parte superior da formação e é composto por intercalações de folhelhos pretos, ora betuminosos, com calcários dolomíticos (BARBOSA E ALMEIDA, 1948).

Em termos de conteúdo fossilífero, o Membro Taquaral apresenta restos de peixes cartilaginosos e crustáceos, enquanto o Membro Assistência possui fósseis de mesossaurídeos, restos de peixes ósseos, fragmentos de vegetais e palinomorfs (SIMÕES & FITTIPALDI, 1992; CHAHUD, 2003).

4.2.4 FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

No sul do Estado de São Paulo, a Formação Corumbataí refere-se às Formações Serra Alta e Teresina, de ocorrência até Piracicaba, onde ao norte passa para a Formação Corumbataí.

A Formação Corumbataí dispõe ampla ocorrência no vale do rio Corumbataí, e de forma geral, possui espessura de 130 metros. É composta por siltitos, argilitos e folhelhos de coloração arroxeada à marrom avermelhado e esverdeado, com intercalações de arenitos finos (SCHNEIDER *et al.* 1974). Segundo Gama Jr. (1979), a formação é produto de um ambiente de deposição de planícies de maré, interpondo-se como depósitos *offshore*, já Schneider *et al.*, (1974), definem como um ambiente deposicional marinho, com gradativo raseamento e condições redutoras.

Os fósseis descritos para a Formação Corumbataí são bivalves, conchostráceos, ostracodes, escamas e dentes de peixes e restos vegetais (MENDES., 1952).

4.2.5 FORMAÇÃO PIRAMBOIA

Sobreposta a Formação Corumbataí, com contato discordante, encontra-se a Formação Piramboia, com espessura aproximada de 150 metros na região de Rio Claro, sendo formada por corpos areníticos, de coloração esbranquiçada, amarelada e avermelhada, de granulometria fina a média, com intercalações de siltitos e argilitos e localmente ocorrem níveis conglomeráticos,

além disso, são características da formação, estratificação cruzada de médio a grande porte (SCHNEIDER *et al.*, 1974). Soares (1973) define a Formação Piramboia como sendo produto de deposição fluvial, havendo influências eólicas em direção ao topo da unidade.

Em termos de conteúdo fossilífero, a presença de conchostráceos e ostracodes é relatada na literatura, entretanto sua posição estratigráfica é discutida por Massoli (2007) *apud* Mezzalira (1989), que os consideram pertencentes à Formação Botucatu. Além disso a presença de plantas encontradas por Massoli (2007) *apud* Souza *et al.* (1971) são típicas do Permiano, segundo o autor essas não devem ser contemporâneas à sedimentação dos arenitos mesozoicos, podendo ter sido transportadas provavelmente da Formação Corumbataí onde são características.

Sua idade, apesar da ocorrência fossilífera, é proposta com relações de contato, com provável idade de deposição entre o Triássico Médio a Jurássico Inferior (ZAINÉ, 1994 *apud* LANDIM *et al.*, 1980).

4.2.6 FORMAÇÃO BOTUCATU

A formação Botucatu, segundo Soares (1975), apresenta espessura média em torno de 50 a 70 m não ultrapassando 150 m em sua porção mais espessa, sendo composta por arenitos de granulação fina a muito fina, apresentando estratificação cruzada de grande a médio porte e presença de arenitos conglomeráticos e conglomerados em sua porção basal.

Ainda segundo Soares, as estratificações cruzadas em grandes cunhas são representativas da unidade, sendo produto de deposição eólica em ambiente desértico. Sua idade tem como ponto de referência fundamental as datações geocronológicas nos basaltos intrudidos da Formação Serra Geral. Segundo dados de Soares (1975) *apud* Cordani *et al* (1967), as idades radiométricas se situam entre 120 e 130 Ma sendo o intervalo das atividades vulcânicas entre 119 e 147 Ma. Tais idades correspondem ao Jurássico Superior e ao Cretáceo inferior.

4.2.7 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A formação Serra Geral, é considerada por Milani *et al.* (1974) como uma das maiores manifestações de caráter vulcânico básico continental do planeta, estando distribuída em 8 estados brasileiros. Possuindo idade Eojurássica à Neocretácea (MILANI, 1997).

Segundo Moreton (2001) *apud* White (1906), a Formação Serra Geral é composta por uma sucessão de derrames de lavas básicas intercaladas aos arenitos eólicos e fluviais da Formação Botucatu, diques, sills de diabásio e andesito. Ainda segundo Moreton (2001), os

derrames são compostos principalmente por basaltos toleíticos com coloração verde-escura a cinza-escura, podendo exibir vesículas e amígdalas preenchidas por quartzo, clorita e opacos.

Segundo o levantamento geológico realizado por Zaine (1994), a Folha Rio Claro (1:50000, ZAINE, 1994) apresenta somente intrusivas básicas associadas à Formação Serra Geral, sills e diques de diabásio, inseridos nos leitos dos rios Corumbataí e Passa Cinco.

4.2.8 FORMAÇÃO ITAQUERI

A atribuição da Formação Itaqueri se deu pelos depósitos areno-conglomeráticos que recobrem as serras de Itaqueri, Santana, São Carlos e Cuscuzeiro (ALMEIDA & BARBOSA, 1953).

Alguns autores propuseram o abandono do termo, por considerarem os depósitos da Formação Itaqueri descontínuos e de pequena expressão geográfica (FREITAS, 1955, 1964; MEZZALIRA, 1974 *apud* RICCOMINI, 1997), ao passo que outros autores expandiram sua área de ocorrência para a região de Franca e Pedregulho (SOARES *et al.*, 1980; BISTRICHI *et al.*, 1981; PONÇANO *et al.*, 1982; MELO & PONÇANO, 1983 *apud* RICCOMINI, 1997).

Segundo Riccomini (1997), em seus levantamentos pelas serras de Itaqueri, São Pedro, São Carlos e Cuscuzeiro correlaciona a formação com a evolução da Superfície de aplainamento Japi. Com a associação do hidrotermalismo resultante da colocação das rochas alcalinas ao longo do alinhamento Moji-Guaçu, a Formação Itaqueri é de idade paleocênica-eocênica.

4.2.9 FORMAÇÃO RIO CLARO

A Formação Rio Claro é representante dos depósitos Cenozoicos na Folha Rio Claro (1:50000, ZAINE, 1994), e sua ocorrência é restrita a ela, estendendo-se sobre um eixo de maior direção NE-SW por aproximadamente 30 Km, com espessuras de 30 metros (ZAINE, 1994).

Litologicamente, é composta por sedimentos arenosos esbranquiçados, amarelados e róseos, pouco consolidados, sendo comum intercalações com lentes de argila e níveis conglomeráticos (ZAINE, 1994).

Esta unidade assenta-se sobre três diferentes unidades da Bacia do Paraná de forma discordante, formações Corumbataí, Piramboia, Tatuí e Irati. Em termos de conteúdo fossilífero, Björnberd *et al.* (1964) descreve fósseis de restos de vegetais, que são comparados às atuais angiospermas.

4.3 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

O contexto geomorfológico do relevo do Estado de São Paulo é dividido e sintetizado no Mapa Geomorfológico do Relevo Paulista (IPT, 1981), através de diversos trabalhos realizados desde a década de 30, resultando em cinco grandes províncias: Província Costeira, Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental.

A Depressão Periférica ainda é subdividida em três subzonas próprias de cada grande bacia de drenagem que corta a depressão, Depressão de Moji-Guaçu, Depressão do Médio Tietê e Depressão do Paranapanema, definidas inicialmente por Deffontaines (1935) e preservadas por Almeida (1964) e pelo IPT (1981). A Depressão Periférica Paulista é um compartimento topográfico de origem predominantemente denudacional, esculpida em rochas sedimentares paleozoicas e mesozoicas e intrusivas básicas da Bacia Sedimentar do Paraná, entre as terras altas do Planalto Atlântico e as cristas igualmente elevadas das Cuestas Basálticas (AB'SABER, 1969).

Segundo Ross (1990), a Depressão periférica apresenta características de modelados diversos devido à influência tectônica e altitudes que variam entre 600 a 750 metros. Para Penteado (1976), a Depressão Periférica é recortada por densa rede de drenagem, salientando-se alguns rios principais com traçado para NW em direção ao eixo da Bacia do Paraná, composta por Colinas Tabuliformes e interflúvios extensos e aplainados sem divisor de águas bem definidos.

De acordo com o mapa hipsométrico (Figura 9), as porções mais altas são o relevo de Cuestas que circunda a parte norte e metade da porção oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, do centro para sul da bacia, predomina a Zona do Médio Tietê e mais para leste da bacia predomina a Zona do Mogi-Guaçu.

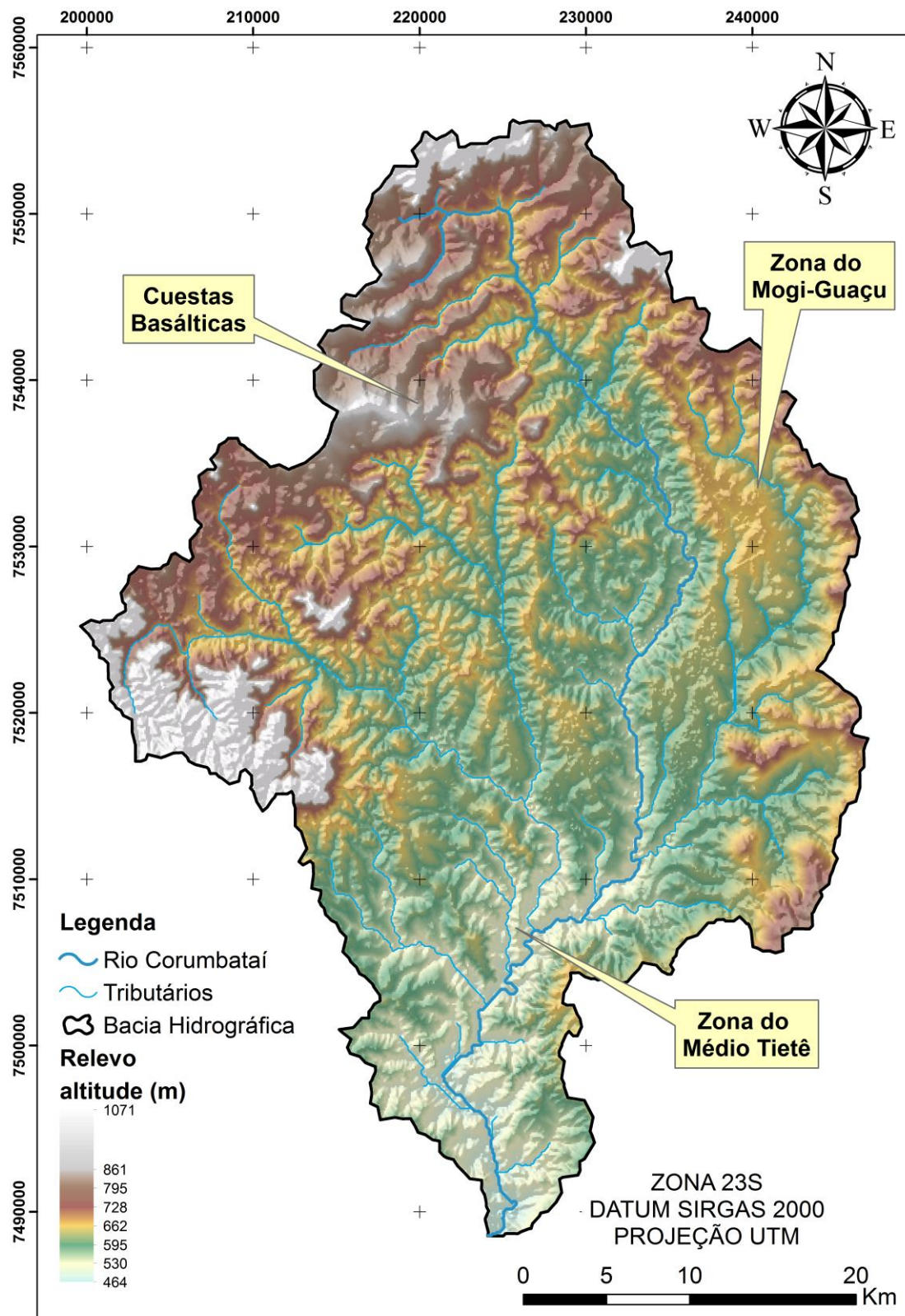


Figura 9: Mapa hipsométrico da Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: SRTM de resolução de 30 metros.

4.4 CONTEXTO HIDROLÓGICO

A Bacia do Rio Corumbataí faz parte do grupo das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 do Estado de São Paulo, composta pelas Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí, e conta com 3 afluentes principais: os rios Cabeça, Passa Cinco e Ribeirão Claro (Figura 10).

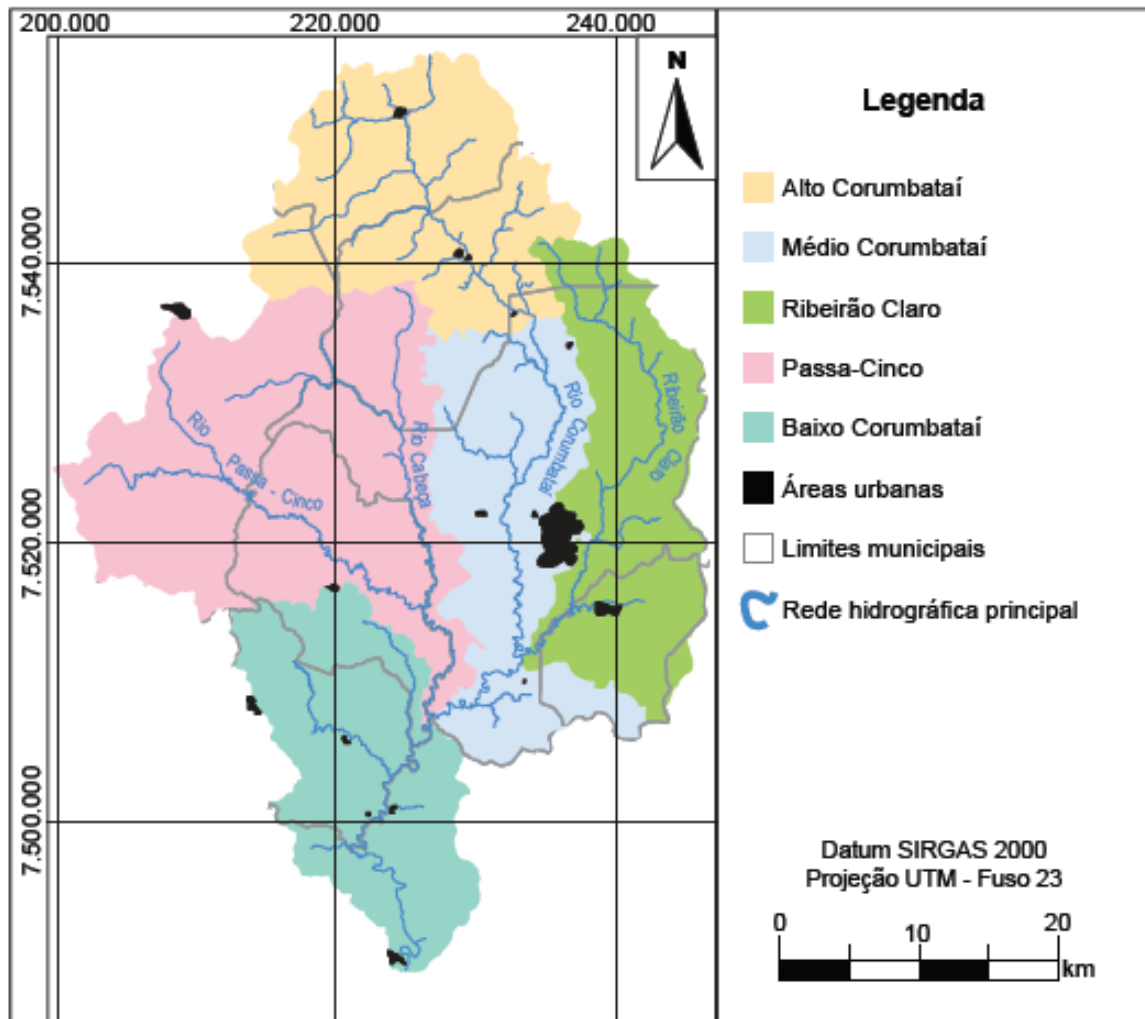


Figura 10: Representação das sub-bacias da Bacia do Rio Corumbataí. Fonte: Adaptado de IBGE (1971) apud Kolya (2019).

O Rio Corumbataí possui uma extensão aproximada de 120 Km (Figura 11), possui um desnível total de 330 m, desde a nascente na Serra de Santana (800 m) até a desembocadura no Rio Piracicaba (470 m). No alto curso do Rio Corumbataí, apresenta-se um forte declive e escoamento rápido intercalado por cachoeiras e corredeiras. No médio curso, o declive e a velocidade são menores devido as curvas criadas pela deposição de sedimentos trazidos do alto

curso. No baixo curso, o rio possui 45 Km com uma declividade de 0.01%, sendo a porção mais volumosa do mesmo (PALMA-SILVA, 1999).

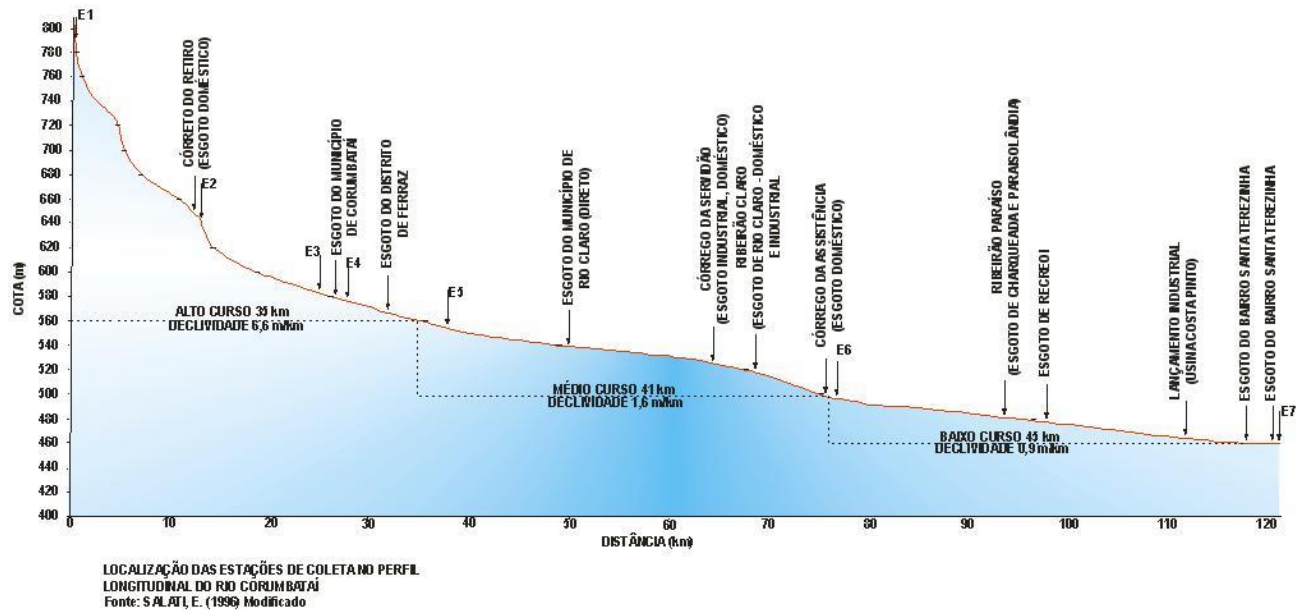


Figura 11: Perfil longitudinal do Rio Corumbataí. Do lado esquerdo encontra-se a nascente na cota de 800 m e ao lado direito encontra-se a sua foz com cota de 400m. A distância no eixo das abscissas demonstra sua extensão total.

Fonte: CEAPLA apud Salati (1996).

4.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Na área da Bacia do Rio Corumbataí, de acordo com o mapa geológico presente na figura 8, encontram-se rochas que compõem o Sistema Aquífero Guarani (SAG), o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), Aquicluda Passa Dois (APD) e o Sistema Aquífero Tubarão (SAT). Com isso, busca-se representar estas unidades aflorantes, de acordo com cada sistema, na figura 12. A delimitação foi retirada da plataforma da CPRM do RIMAS, mesma plataforma utilizada para construção do mapa geológico da bacia.

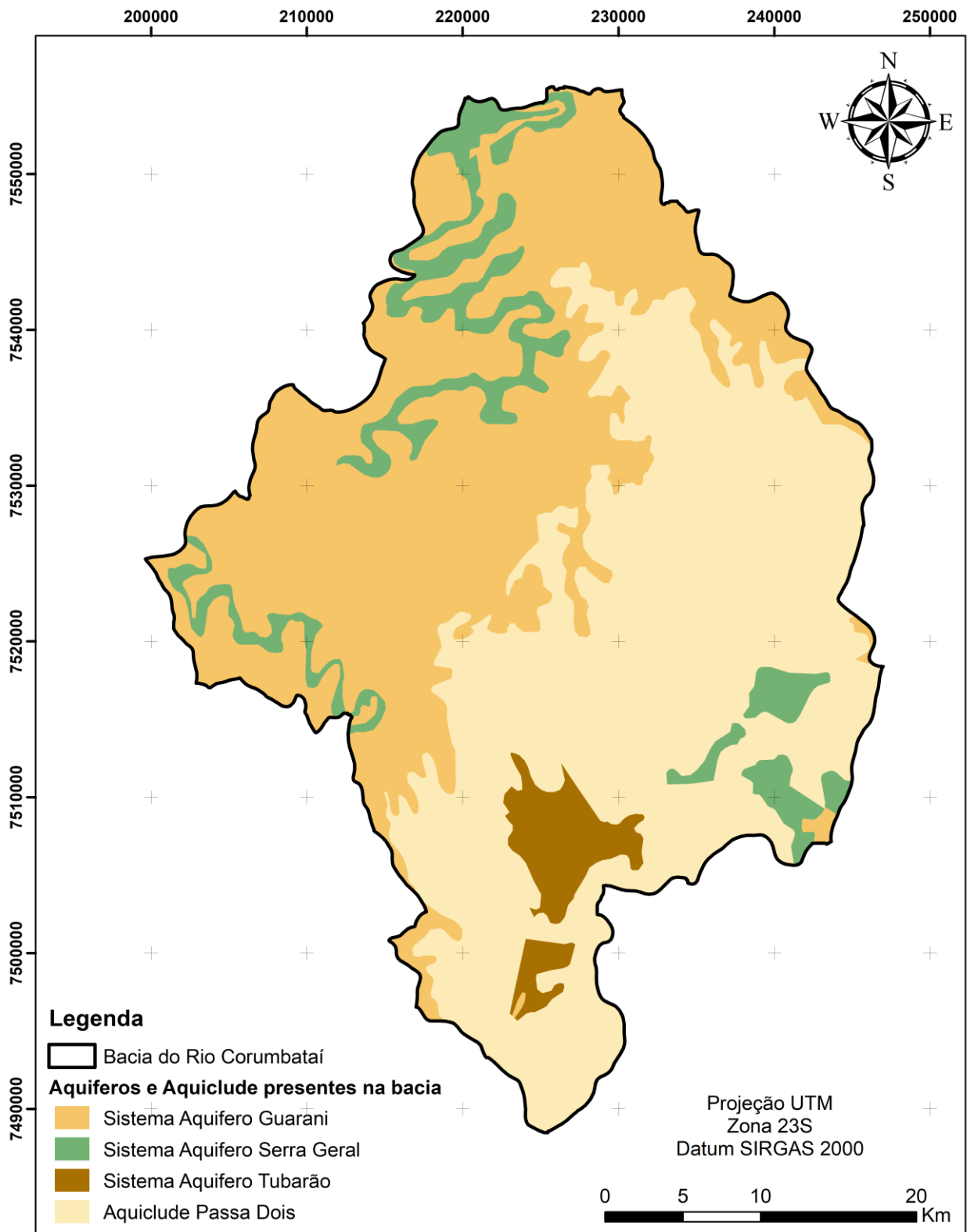


Figura 12: Representação dos aquíferos e aquíclides aflorantes na área da bacia do rio Corumbataí.

4.5.1 SISTEMA AQUIFERO GUARANI

As características hidrodinâmicas e hidroquímicas refletem o ambiente geológico presente neste sistema aquífero, o qual abrange toda a extensão da Bacia Sedimentar do Paraná e possui as rochas reservatório das formações Piramboia e Botucatu (GASTMANS, 2007), presentes na bacia do rio Corumbataí.

As áreas de recarga direta do SAG no Estado de São Paulo situam-se a leste, ao longo da faixa de afloramentos das formações Pirambóia e Botucatu, com padrão geral de fluxo subterrâneo de leste para oeste, em direção a calha do rio Paraná, acompanhando o mergulho regional daquelas unidades estratigráficas bacia adentro (SILVA, 1983).

A geometria do SAG, segundo Araújo *et al.* (1995), foi condicionado pelos seguintes fatores: depocentro da Formação Serra Geral, que provocou a subsidência do aquífero, ativação regional de sistemas de falhamentos, soerguimento das atuais bordas da bacia e a ativação dos arcos do Rio Grande e Ponta Grossa.

O seu gradiente hidráulico médio é de cerca de 1 m/Km, com valores de condutividade hidráulica (K) de 1.5×10^{-4} m/s e de transmissividade (T) de 3.9×10^{-3} m²/s (SILVA, 1983; SRACEK & HIRATA, 2002).

4.5.2 SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL

O SASG faz parte do derrame basáltico da Formação Serra Geral, o qual possui grande faturamento, característico de aquífero fraturado. Tais fraturas são originadas pelo resfriamento da lava basáltica e pelo movimento tectônico posterior a sua consolidação (ROCHA *et. al*, 2006). Como o aquífero é frequentemente sobreposto pelo Aquífero Bauru, as porções aflorantes se limitam nas regiões próximas aos rios Grande e Paranapanema, e pelas cuestas basálticas (IRRIGART, 2005).

Segundo o DAEE (2008) este sistema possui uma vazão média de 23m³/h por poço, podendo variar se estiver seco. Os basaltos ainda recobrem a Formação Botucatu nas sub-bacias dos rios Corumbataí e Piracicaba, representando apenas 2% de área, sendo delimitado pelas rochas que afloram nas cuestas já na bacia do rio Corumbataí, essa área representa cerca de 8.29%, percorrendo os municípios de Analândia, Corumbataí, Itirapina, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes (COMITÊ PCJ, 2018).

4.5.3 SISTEMA AQUIFERO TUBARÃO

Esta unidade hidrogeológica possui uma porosidade primária, heterogênea, apresentando condições de confinamento ou semi-confinamento, tendo a circulação e o armazenamento de água subterrânea associada aos poros existentes nas rochas, assim como nas discontinuidades estruturais, como juntas, falhas e fraturas (ODA *et al*, 2012).

Este sistema apresenta valores regionais de transmissividade (T) entre 0.30 a 0.40 m²/dia na região de Campinas e sua condutividade hidráulica (K) ocorre em duas principais classes na mesma região, entre 0.002 a 0.024 m/dia e 0.055 a 0.7 m/dia (DAEE, 1981a *apud* ODA, 2012).

Segundo Oda et al. (2012) o SAT possui uma espessura superior a 300 metros, sendo cortado por sills ou diques de diabásios e vazões de 18.46 m³/h e 10.5 m³/h. Seu fluxo de água subterrânea tem a tendência de migrar das porções topograficamente mais elevadas para as mais rebaixadas, compreendendo os rios de maior porte, como Tietê, Jundiaí, Capivari e Capivari-Mirim.

4.5.4 AQUICLUDE PASSA DOIS

O Grupo Passa Dois é composto pelas formações Irati e Corumbataí, ambas do Neopermiano. Segundo LEBAC (2008), o contato erosivo com as duas unidades superiores representa o limite inferior do SAG.

O APD é reconhecido por separar os aquíferos Guarani e Tubarão, pois a litologia composta por estas unidades dificultam a movimentação vertical da água, sendo considerado, em escala regional, um aquíclude. Aflorando de maneira longitudinal no Estado de São Paulo, percorre os municípios de Rio Claro, Porto Ferreira, Pirassununga, entre outros (MANZIONE, 2015).

Formado entre 250 e 230 milhões de anos, os sedimentos são basicamente, folhelhos, siltitos, argilitos e calcários dolomíticos, configurando em um caráter heterogêneo e devido a sua espessura variada, a capacidade de fornecer água é muito baixa, com uma produtividade insuficiente para o abastecimento público (IRITANI & EZAKI, 2009).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo encontram-se os resultados e discussões referentes à pesquisa realizada para o Trabalho de Conclusão de Curso, abordando em três subcapítulos os temas sobre precipitação, vazão dos cursos d'água, separado em duas estações fluviométricas importantes, e o balanço hídrico realizado a partir dos parâmetros hidrológicos naturais e o armazenamento ao final, parâmetro do balanço que foi apenas calculado com base na equação 1.

5.1 PRECIPITAÇÃO

A precipitação foi calculada a partir da base de dados do DAEE, utilizando os dados dos anos de 2013 a 2014. As estações pluviométricas utilizadas totalizam 11 postos ao longo da bacia do Rio Corumbataí, abrangendo a área de estudo (Figura 13). A plataforma de dados do DAEE possui uma ampla base de dados de pluviometria, mas boa parte das estações não possuem leituras atualizadas, o que acaba restringindo a escolha das estações.

O método do polígono de Thiessen (1911) foi aplicado a partir das onze estações pluviométricas, resultando a área de influência (Figura 14) de cada polígono, segundo a localização de cada estação pluviométrica. Com base na figura 14, observa-se que as estações D4-074 e D4-036 possuem as maiores influências, 16.6% e 16.5% respectivamente. As áreas de menor influência ($< 10\%$) dentro da bacia são referentes às estações D4-035, D4-016, D4-125, D4-124, D4-112 e D4-037, com valores variando entre 7.9% até 1.7%.

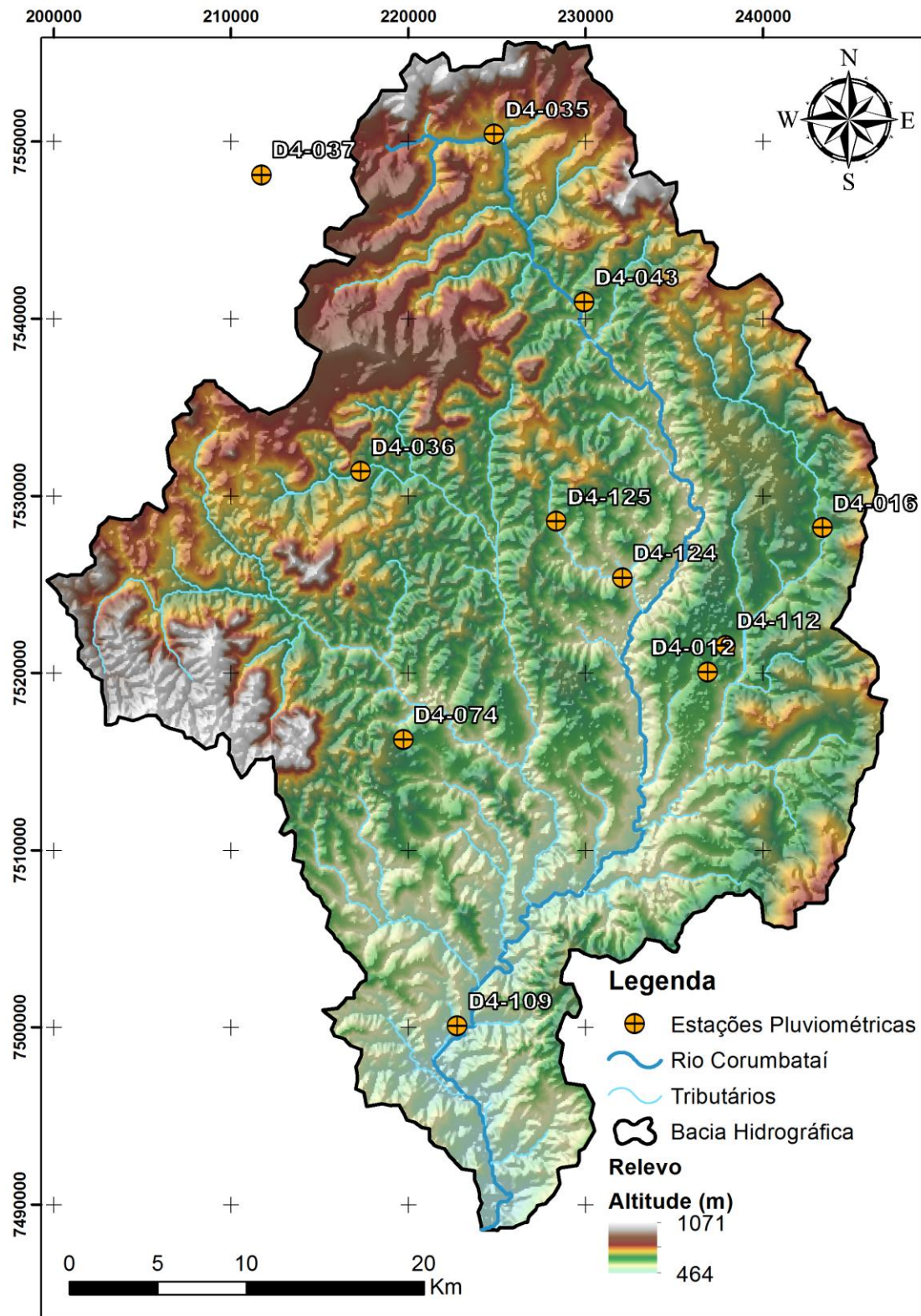


Figura 13: Mapa de localização das estações pluviométricas. Fonte: DAEE.

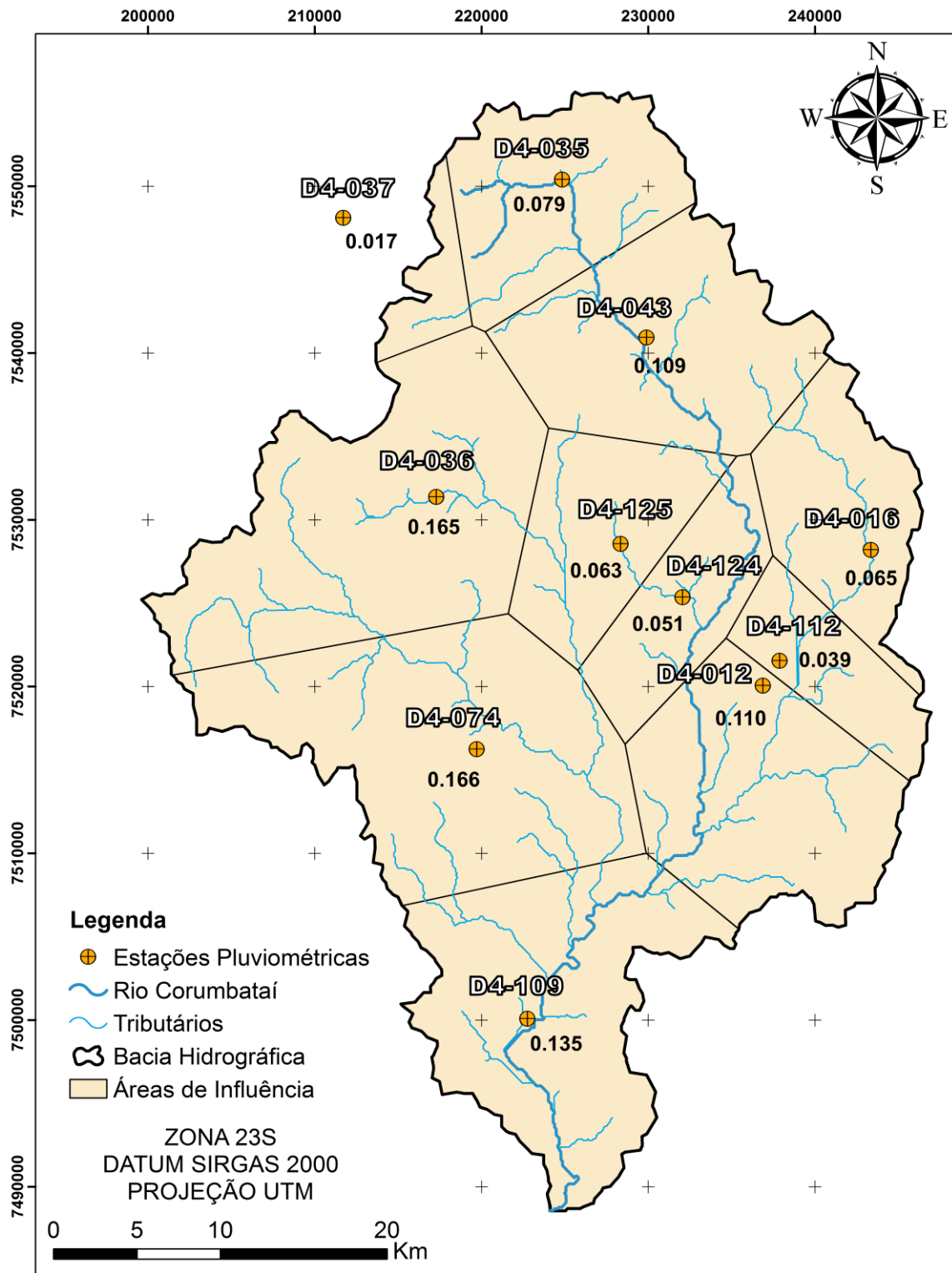


Figura 14: Mapa que demonstra o polígono de Thiessen na Bacia do Rio Corumbataí. Em negrito, abaixo das estações, encontram-se os valores das porcentagens de influência de cada área. Representa a área de influência (m²) do polígono em relação à estação pluviométrica.

As precipitações coletadas das estações do DAEE foram compilados em um banco de dados em uma planilha (Tabela 1), calculando os valores para $\text{m}^3/\text{mês}$ utilizando a área de influência dos polígonos de Thiessen. Com isso, para cada estação, foi calculada a sua média mensal nestes dois anos de análise (Figura 15).

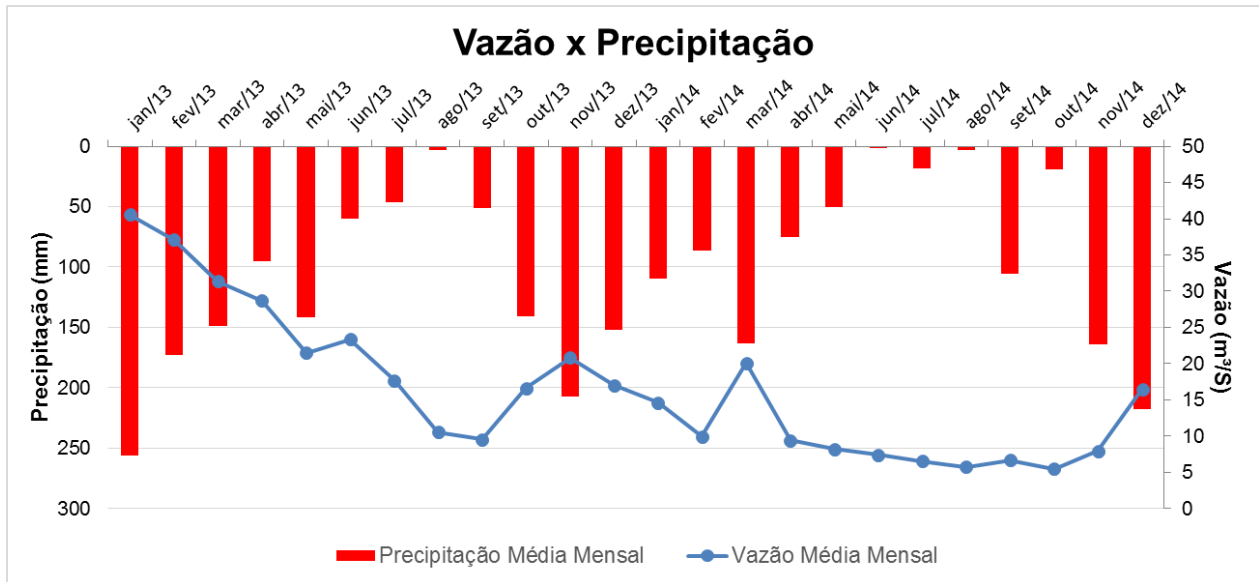


Figura 15: Gráfico de Vazão x Precipitação evidenciando a precipitação e vazão dos anos de 2013 à 2014.

Com base na figura do gráfico 9 é possível identificar a influência da chuva sobre a vazão do rio, em que os períodos de maior precipitação são condizentes com o aumento na vazão do curso d'água. Apesar dos baixos índices pluviométricos obtidos nos anos de 2013 e 2014, os meses mais chuvosos concentraram-se no período historicamente úmido na região, que compreende de janeiro/13 a maio/13, novembro/13 a abril/2014 e novembro e dezembro/2014.

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas na bacia hidrográfica com seus respectivos códigos de cadastro do DAEE. Os valores que exibem o número 0 não constam no banco de dados do órgão em questão.

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (mm/mês)												
Data	D4-012	D4-016	D4_035	D4_036	D4_037	D4_043	D4_074	D4109	D4_112	D4_124	D4_125	
jan/13	161.1	224.9	243.6	218	261.3	167.5	268.2	398.7	256.2	380	257.5	
fev/13	224.3	184.5	173.1	137.7	346.6	194.5	120.6	83.3	192.6	140	165	
mar/13	106.2	212.8	149.1	121.7	148.8	193.6	115.2	146	124.6	214	200	
abr/13	84.8	58.3	83.7	95	7	73.9	123.2	139.7	142.6	160.5	132.5	
mai/13	147.7	158.4	136	140	172.7	145.7	141.9	107.5	139.5	155	122.5	
jun/13	59.3	56	67.4	36.4	60.2	55.5	63.7	148.3	63.6	60	72.5	
jul/13	29.5	56.8	46.4	32.7	52	61.1	54.7	36	49.7	35	42.5	
ago/13	3.3	4.5	12	0	9	4.3	0.5	3.1	4.3	0	0	
set/13	36.6	51	52.9	15.7	89.5	56.2	44.5	44.3	42.1	76	60	
out/13	259.5	144.6	233.7	152	173	140.5	106.3	96.3	121.6	140	112.5	
nov/13	183.1	214.5	235.2	180.9	207.3	163.8	117.5	160	291.6	280	282.5	
dez/13	153	107.5	136.6	151.7	102.3	198.5	115	198	155.4	152	145	
jan/14	104.9	105.6	57	91.9	53.8	135.1	110.5	140	110	120	130	
fev/14	85.9	77.4	100.2	49.8	104.5	86.4	67.5	108	69.5	155	122.5	
mar/14	127	58.1	188.1	143.7	202.9	163.3	143.6	169.7	131.9	280	170	
abr/14	54.4	43	61.4	114	26.7	86.1	81	95.2	47.9	75	107.5	
mai/14	51.7	49	50.1	54.7	40.6	37.5	56.1	68.4	44.4	67	50	
jun/14	2.6	3	1.3	1.6	0	1.8	0	0	2.1	10	5	
jul/14	14	18	43.1	24.7	11	35.6	16.5	16.8	18.7	5	20	
ago/14	4	7.6	1.3	3.4	0	1.7	3.5	4.9	4.2	0	12.5	
set/14	109	118	91.4	115.9	95.2	99	98	105.5	96.9	127	132.5	
out/14	18	40.2	9.7	26	28.8	7.1	19	35.4	25.7	17	15.5	
nov/14	169	164.2	174.9	127.7	190.6	122.4	132.1	191.3	150.9	190	137.5	
dez/14	182	206	241.9	220.1	201.2	207.5	217.5	240	186.6	217.5	282.5	
Média Mensal 2013 (mm/mês)	126.95	126.05	136.3	129.7	125.55	143.1	115.1	123.6	132.05	146	127.5	
Média Mensal 2014 (mm/mês)	70.15	53.55	59.2	73.3	47.2	86.25	74.25	100.35	58.7	97.5	115	
Área Thiessen (m²)	187466222.9	110390956.4	135482604.2	282090583.4	29210718.43	186184716	283345440.8	229332443.5	66888214.68	86673951.6	107688220.4	
Área de Influência (%)	0.110	0.065	0.079	0.165	0.017	0.109	0.166	0.135	0.039	0.051	0.063	
Volume Mensal 2013 (%)	13.96	8.162	10.832	21.462	2.151	15.629	19.131	16.627	5.181	7.423	8.054	
Volume Mensal 2014 (%)	7.714	3.468	4.705	12.129	0.809	9.420	12.341	13.500	2.303	4.957	7.264	

Fonte: DAEE.

A Tabela 1 representa o volume de água que está entrando no sistema se considerar que uma bacia hidrográfica atua como um sistema fechado. Os valores zerados na tabela 1 correspondem a falta de leitura ou erros no processamento e consolidação dos dados do sistema do DAEE. Para comparação dos dados pluviométricos obtidos com os dados do DAEE, foi realizada a comparação dos resultados obtidos com o sensor IMERG da NASA, cujos resultados são apresentados em mm/mês na Tabela 2. A figura 11 apresenta a comparação dos resultados obtidos nas diferentes bases de dados.

Tabela 2 - Pluviometria referente ao sensor IMERG dos anos de 2013 à 2014.

Data	Precipitação (mm/mês)
jan/13	264,81
fev/13	227,01
mar/13	212,24
abr/13	87,71
mai/13	134,3
jun/13	79,98
jul/13	46,53
ago/13	11,8
set/13	40,54
out/13	116,07
nov/13	153,74
dez/13	104,94
jan/14	124,21
fev/14	108,25
mar/14	154,64
abr/14	94,57
mai/14	35,41
jun/14	3,01
jul/14	30,1
ago/14	14,37
set/14	86,97
out/14	28,17
nov/14	172,07
dez/14	213,11

Fonte: NASA.

A figura 16 evidencia a pequena diferença entre os valores obtidos pelo sensor IMERG e as estações pluviométricas do DAEE, exibindo comportamentos semelhantes e resultados próximos.

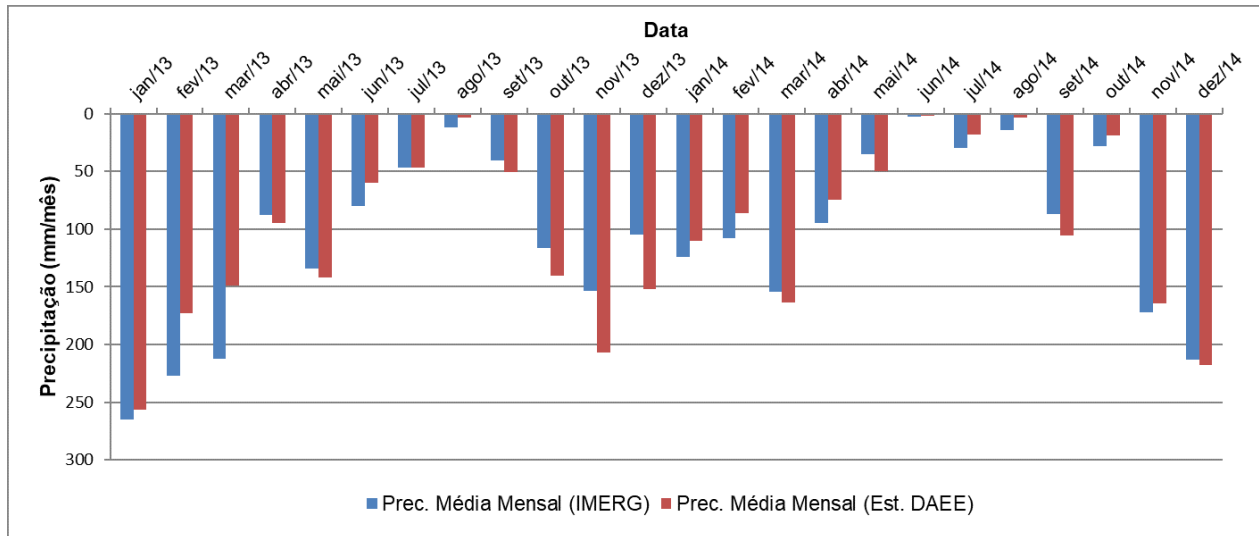


Figura 16: Comparação das pluviometrias das estações do DAEE com o Sensor IMERG.

5.2 VAZÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

Para estimativa dos fluxos de base e superficial, foram analisados os hidrogramas de três estações fluviométricas, as quais possuem os dados referentes aos anos de 2013 e 2014. Cada estação encontra-se em uma porção do curso do rio Corumbataí (Figura 17) desde o município de Analândia, passando por Rio Claro e indo até próximo de Piracicaba.

As localizações diferem em relação ao relevo, principalmente, e quais tributários estão desaguando no rio Corumbataí, o que acarreta numa maior ou menor vazão do mesmo. Com isso, foi feito um gráfico para elucidar a diferença da medida de vazão em cada ponto (Figura 18), e ao final escolheu-se duas estações para realizar o cálculo do escoamento superficial e o fluxo de base.

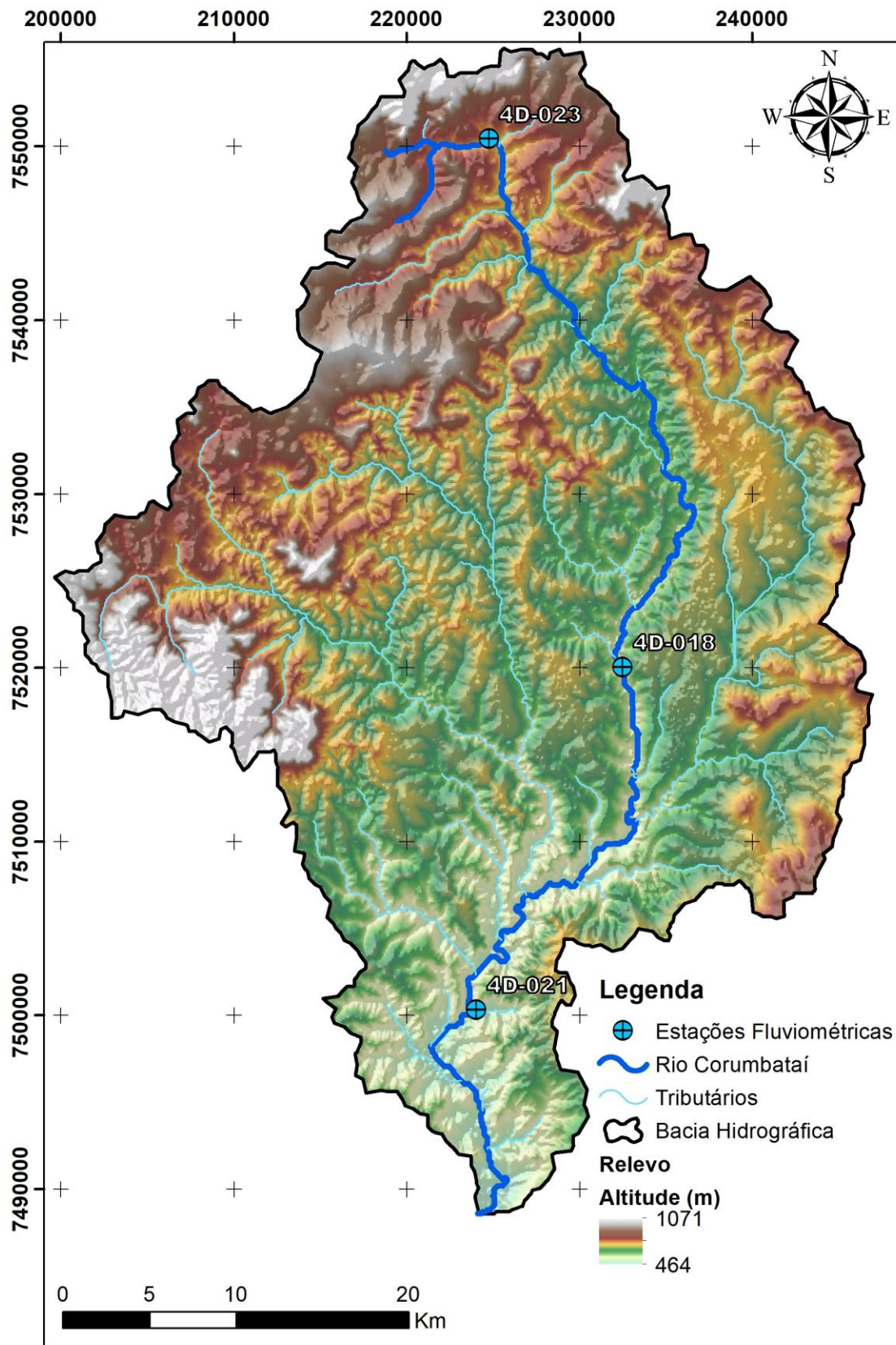


Figura 17: Mapa que exibe a localização dos fluviômetros analisados.

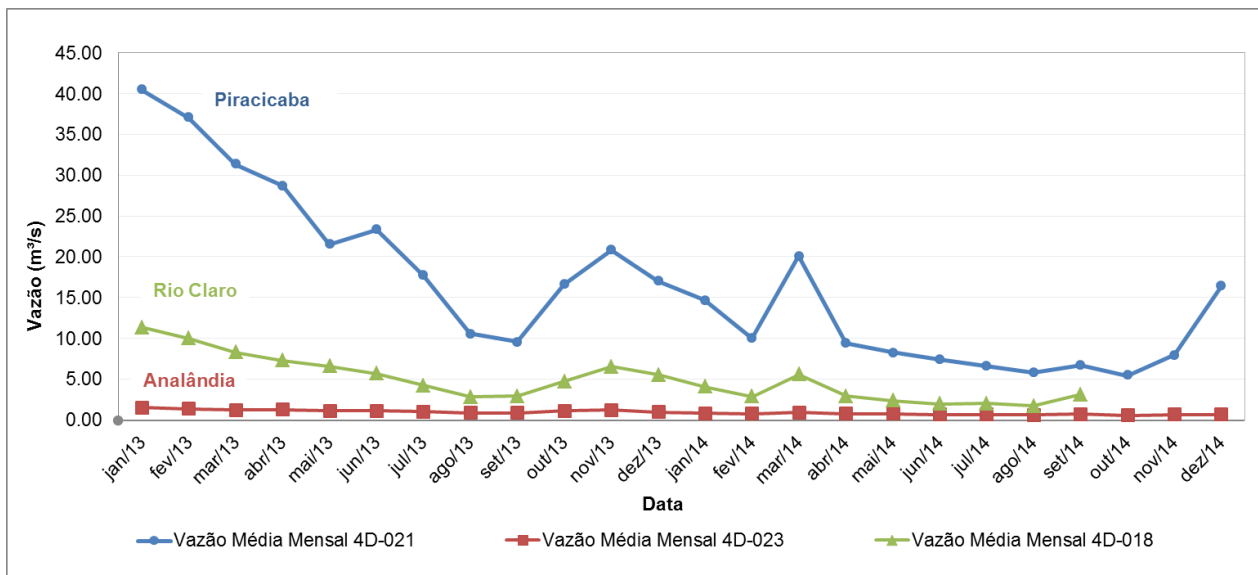


Figura 18: Representação gráfica das vazões medidas em cada estação.

5.2.1 ESTAÇÃO 4D-023

A estação 4D-023 permanece próxima do município de Analândia, abrange, principalmente, as unidades geológicas das Formações Piramboia e Botucatu. Ambas as formações fazem parte do Aquífero Guarani, que aflora acima das cuestas nesta região, por este motivo, o Guarani possui influência na produção da bacia hidrográfica do rio Corumbataí. Como a litologia é predominantemente arenosa fina a siltosa e quartzo arenítica principalmente na Formação Piramboia, entende-se que ocorre maior infiltração de água nestas porções, configurando em um solo mais saturado em épocas chuvosas.

Calculando a área da sub-bacia do trecho que perfaz a estação 4D-023, tem-se que a mesma possui uma área de 66.16 Km², estando praticamente na cabeceira do rio e sob unidades geológicas arenosas e sobre parte do Aquífero Serra Geral, com parte dos diabásios que afloram no topo do relevo de cuestas. (Figura 19).

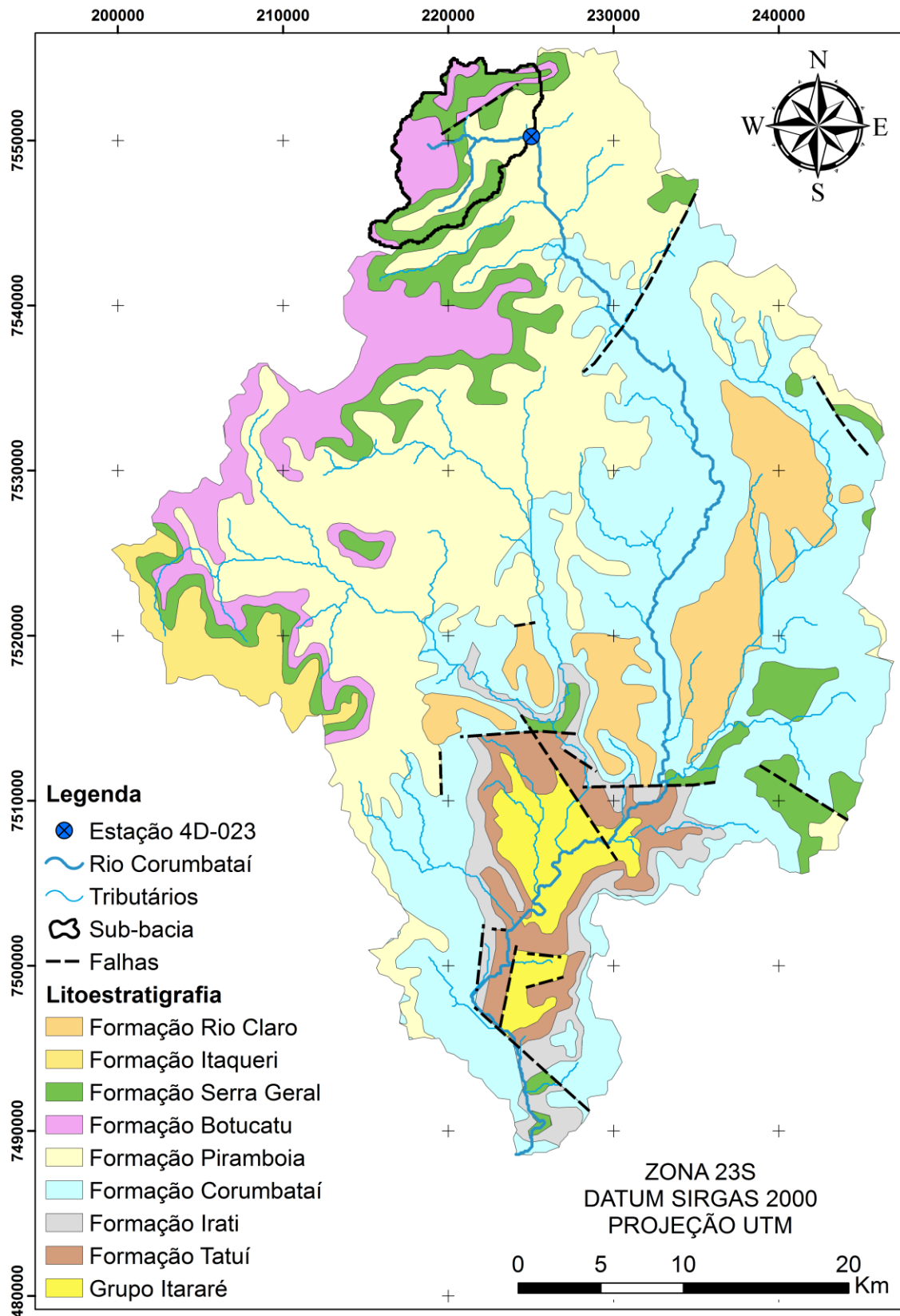


Figura 19: Localização da estação 4D-023 em comparação com o mapa geológico da bacia. Fonte: RIMAS.

A partir da área de drenagem da estação 4D-23 e da análise de vazão diária referente aos anos em destaque, as componentes de escoamento de base superficial e subterrâneo foram estimados por filtros digitais com o auxílio do software BFI + 3.0, aplicando o método de mínimos locais (Figura 20).

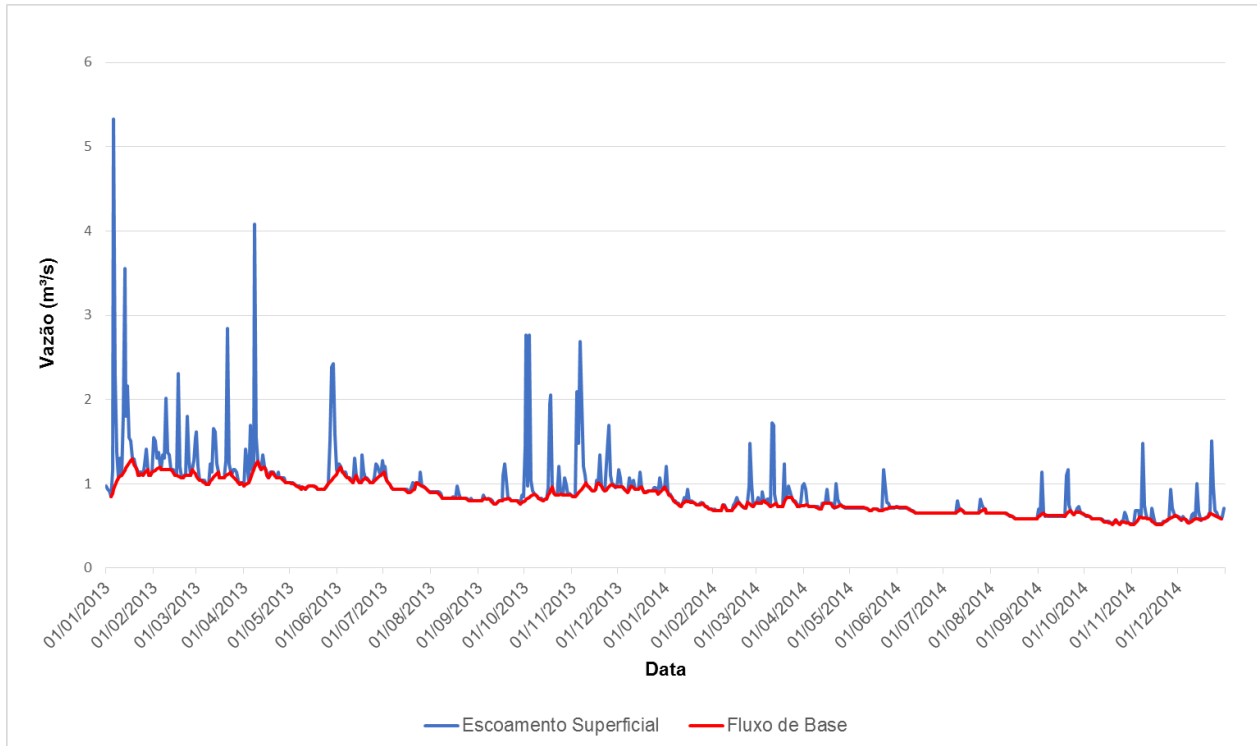


Figura 20: Gráfico que demonstra o Escoamento Superficial e Fluxo de base.

O gráfico da figura 20 demonstra a separação dos escoamentos de base e superficial, permitindo identificar a intensa contribuição do fluxo de base no período analisado para manutenção da vazão do rio. Além disso, observa-se no período analisado um declínio considerável na vazão do rio, e consequentemente no fluxo de base.

Os maiores valores de escoamento superficial estão relacionados ao aumento de precipitação e as vazões chegam a números que variam de 5.3 m³/s à 1.2 m³/s até o final do mês de setembro. A partir de outubro à dezembro do mesmo ano, tem-se um aumento significativo do escoamento novamente, porém com uma linha descendente quando está próxima ao ano de 2014, que marca a segunda pior estiagem dentro da bacia. No decorrer do ano de 2014 observa-se que os valores do escoamento superficial não ultrapassam 1.7 m³/s dentro desta área da estação 4D-023 e que do mês de junho à outubro deste ano, o que demanda é o fluxo de base, não tendo praticamente uma influência do escoamento superficial, diferentemente do ano de 2013.

Com isso, pode-se levantar a hipótese de que, devido à posição geográfica em que se encontra a estação analisada, por estar mais próximo da cabeceira do rio, apresenta valores consideráveis de fluxo de base, podendo constatar que nas áreas mais elevadas da bacia o armazenamento de água em subsuperfície é fundamental para a manutenção da vazão do rio Corumbataí.

A partir da curva de permanência, apresentada na figura 21, foi possível estimar o Q95 dessa sub-bacia. A partir desta curva e o cálculo da vazão, que ocorre em 95% do tempo da bacia, pode-se estimar, de forma prática, a produção específica desta porção, o qual possui um valor de 9.06 L/s/Km² em uma área que representa apenas 4.16 % de toda a bacia do rio Corumbataí. Com isso, entende-se que sua participação para a recarga do aquífero é positiva devido ao volume e área envolvidos, não ocorrendo a dominância do escoamento de base nos meses de menor precipitação, o que sugere que o escoamento superficial estava acima da vazão de referência calculado na figura 21.

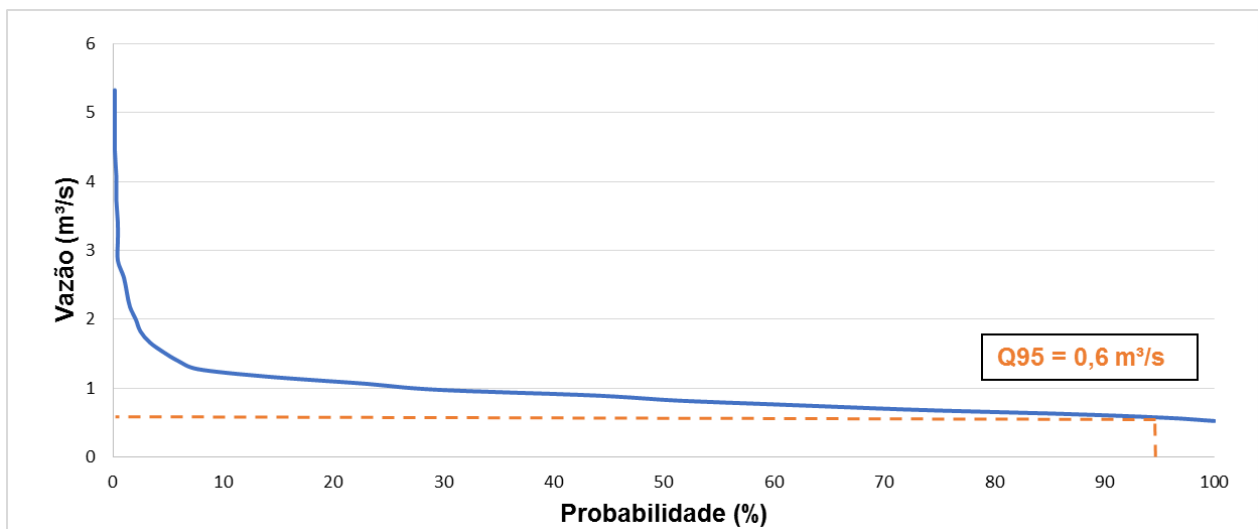


Figura 21: Curva de permanência da estação 4D-023, referente ao município de Analândia.

Com isso, pode-se dizer que o aquífero controla a vazão do rio, o que já foi comentado anteriormente na página 40 e a curva acentuada da figura 21 representa as maiores vazões em decorrência da precipitação em um período de tempo menor, correspondendo aos trechos de maior umidade da área estudada, o que responde a curva ser mais inclinada em relação a outra sub-bacia.

5.2.2 ESTAÇÃO 4D-021

Esta estação se localiza na porção sul da bacia, estando entre os municípios de Rio Claro e Piracicaba, a mesma recebe água de praticamente todos os tributários da bacia do Rio Corumbataí. Segundo o mapa geológico da figura 22, o que predomina no curso d'água do rio Corumbataí, próximo do município de Rio Claro até as redondezas do município de Piracicaba, é a Formação Corumbataí, que predomina argilito, folhelho e algumas fácies siltico arenosas, perfazendo uma formação que contém um grau de porosidade muito baixo.

Esta unidade geológica faz parte do Aquíclode Passa Dois, que também acaba sendo importante para a manutenção da vazão do Rio Corumbataí, estando em boa parte desta sub-bacia da estação 4D-021, mas em uma área um pouco menor em relação à Formação Pirambóia, que diz respeito ao Aquífero Guarani.

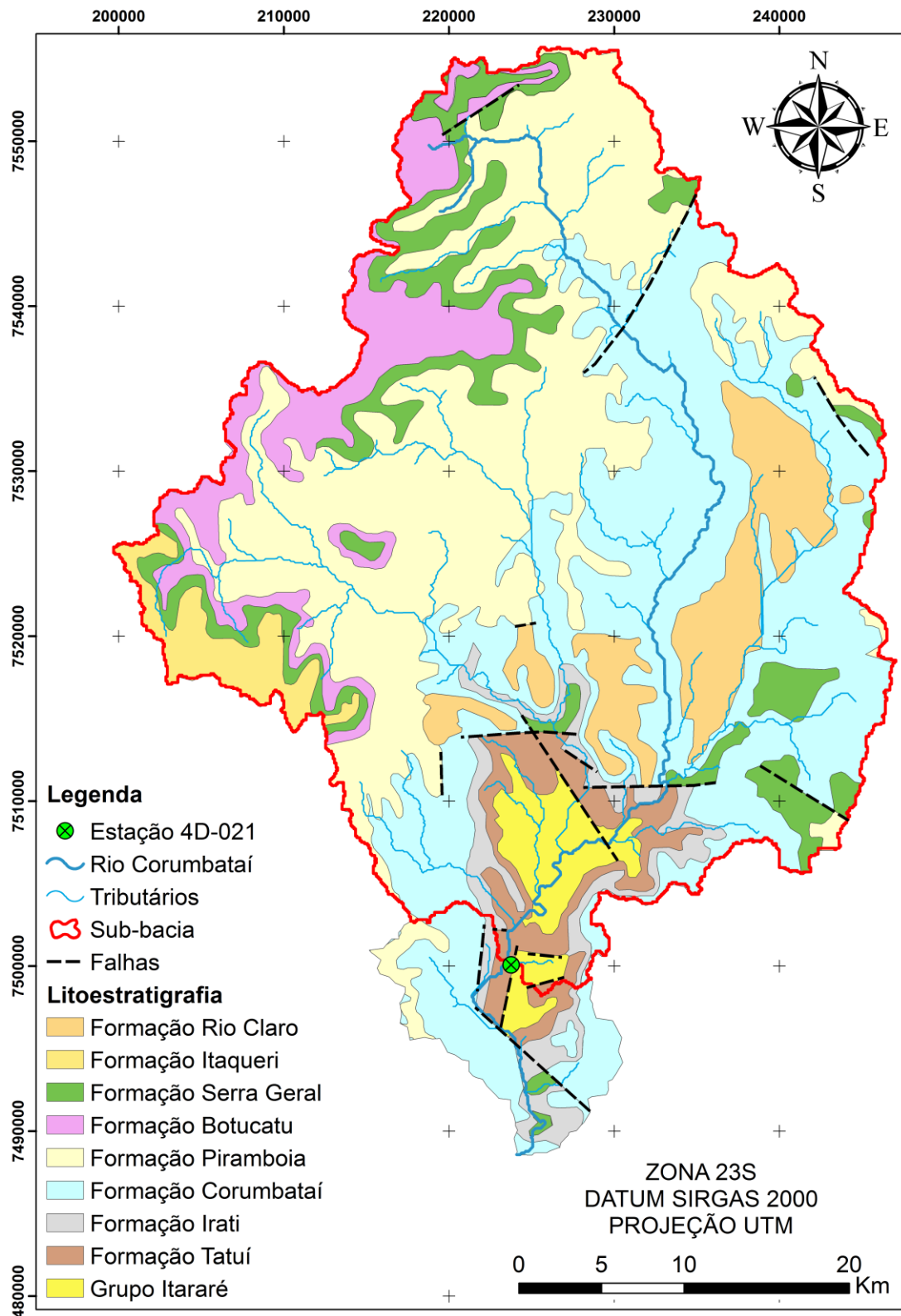


Figura 22: Mapa geológico da bacia destacando a estação fluviométrica 4D-021 e sua sub-bacia de influência, buscando relacionar a litologia presente nesta área.

Com o mapa acima, é possível ter uma percepção, de modo geral, de todas as formações que o curso do rio abrange e que se encontra dentro do polígono da sub-bacia na figura 22, o que corrobora com a explicação e a hipótese de que a vazão presente após a Formação Piramboia, é decorrente do aspecto da geologia do que o próprio relevo.

Desta maneira, utilizou-se novamente o gráfico de escoamento superficial (Figura 23) para demonstrar o que acontece nos anos avaliados, levando em consideração a vazão do rio principal. Porém, já é esperado que as vazões sejam maiores, devido ao gráfico representativo, mostrado na figura 18 do capítulo 5.2 Vazão dos cursos d'água, o qual busca demonstrar de forma comparativa as vazões das três estações que estão no curso principal do rio Corumbataí.

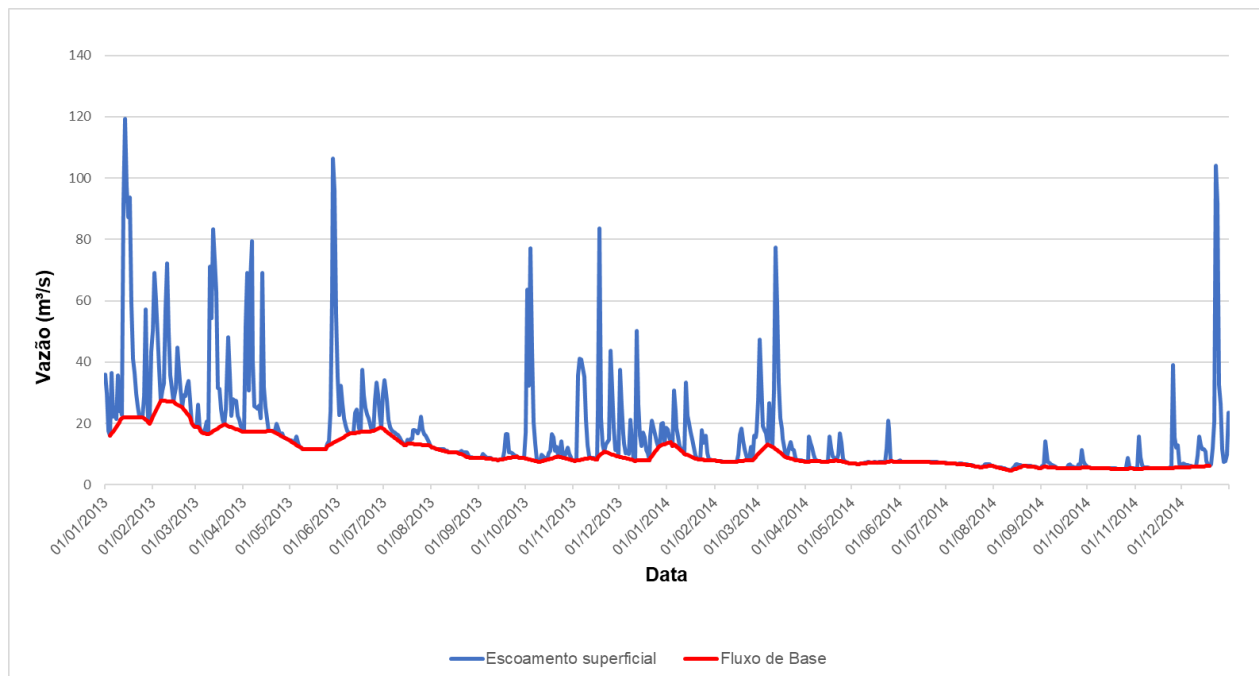


Figura 23: Gráfico do escoamento superficial da porção da área maior, representativo da estação 4D-021.

Nas épocas de chuva espera-se que a vazão do rio acompanhe a precipitação, devido à grande entrada de água no sistema, com isso os meses de janeiro até final de abril de 2013 tem-se um maior escoamento superficial, que ultrapassa os 110 m³/s no mês de janeiro, tendo a menor vazão no mês de fevereiro, o qual corresponde a mais ou menos 73 m³/s. O fluxo de base ultrapassa a margem dos 20 m³/s até março de 2013, condizente com período de elevada precipitação. No período de estiagem, que ocorre entre o mês de maio e agosto, o fluxo de base corresponde à quase totalidade da vazão principal do rio.

O escoamento superficial volta a aumentar, com picos que aproximam-se dos 80 m³/s no ano de 2014. No início de março, tem-se outro pico do escoamento, o qual pode ter recarregado o sistema até a entrada do período de seca.

O escoamento superficial começa a perder energia logo no mês de abril, caindo a ponto de se ter apenas o fluxo de base como principal vazão do rio, demonstrando também que o relevo nesta porção tem uma influência mínima sobre a mesma. De junho até setembro tem-se somente o escoamento de base predominante na bacia, lembrando que 2014 foi um ano atípico por conta de uma estiagem que atingiu o país todo.

Tal escoamento permanece relativamente constante, com cerca de mais ou menos 7 m³/s, chegando a uma vazão preocupante, principalmente se levar em consideração o escoamento superficial mais acentuado nos outros meses. A curva de permanência dessa estação (Figura 24) demonstrou uma vazão de referência maior do que a sua antecessora, porém com uma produção hídrica da bacia inferior à 4D-23.

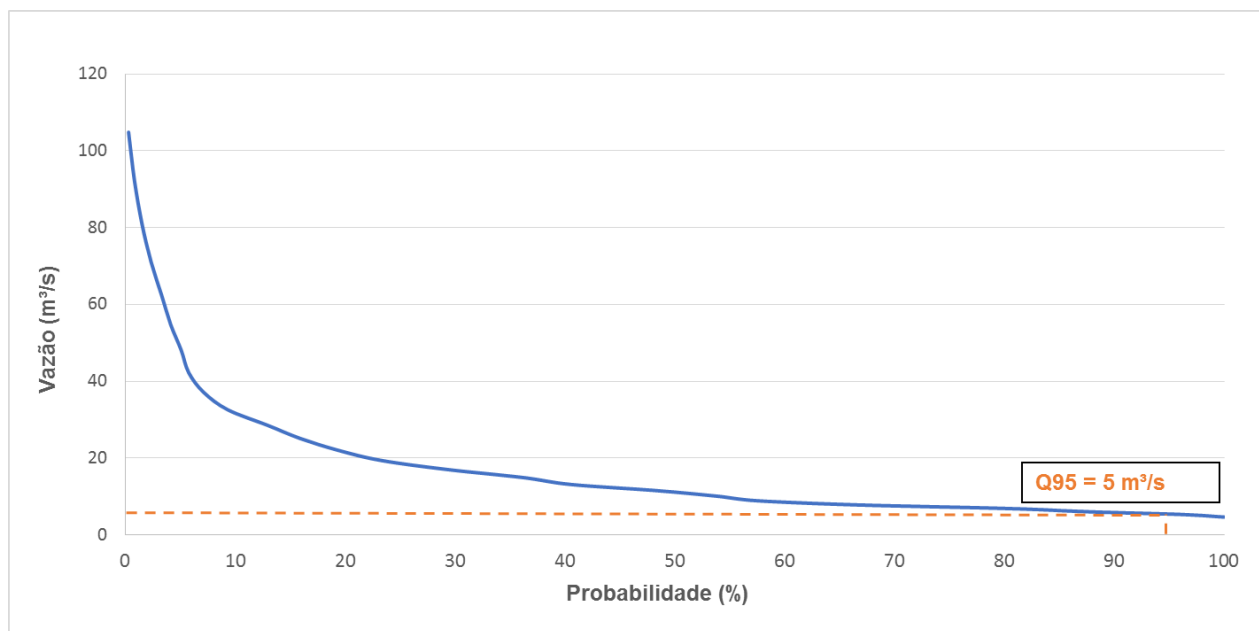


Figura 24: Curva de permanência referente à estação 4D-021, próximo ao município de Piracicaba.

A área da estação 4D-021 representada no mapa da figura 21, representa cerca de 95.84 % da área em relação à área da estação 4D-023, representativo da figura 18, e corresponde cerca de 93.36% da área total da bacia do Corumbataí. Com isso, calculou-se a produção específica de toda esta porção, chegando a um valor de 3.14 L/s/Km².

Comparando os resultados dos escoamentos das estações, pode-se observar a abrupta diferença entre a produção específica de cada área de drenagem na bacia hidrográfica. Os valores de produção específica das estações 4D-021 e 4D-023, 3.14 L/s/Km^2 e 9.06 L/s/Km^2 respectivamente, refletem as diferentes características das unidades geológicas que compõe cada sub-bacia, principalmente em relação à área de cada uma delas. Logo, pode-se ressaltar que a contribuição para a recarga do aquífero acaba sendo maior mais a norte, devido a presença das litologias mais arenosas do que mais ao centro e sul da bacia, que corresponde mais as litologias finas, como siltito e argilito.

5.3 BALANÇO HÍDRICO

O ciclo hidrológico tem suas entradas e suas perdas no sistema, por isso utiliza-se a equação do balanço hídrico, pois considera a bacia hidrográfica como um reservatório de água, a qual possui seus ganhos e suas perdas. Por exemplo, quando a água escoar superficialmente e é levada pelo curso d'água (rios) presentes na bacia, considera-se que está havendo perda. Outro parâmetro que entra no balanço hídrico é a captação de água por municípios e propriedades rurais, porém, neste trabalho, não será realizado o cálculo avaliando a captação de água referente aos municípios. Desta forma, foram considerados somente as variações naturais na bacia hidrográfica.

De posse das estimativas de precipitação, evapotranspiração, o escoamento total, escoamento superficial e escoamento de base, foi realizado o cálculo do balanço hídrico para estimar o armazenamento hídrico da bacia. A precipitação utilizada foi da série de dados do sensor IMERG, devido a sua boa representação em comparação com os dados pluviométricos e abrangência contínua durante todo período. O escoamento total considerado foi do fluviômetro 4D-021, que permanece próximo ao município de Piracicaba e remete a maior área de vazão da bacia hidrográfica, recebendo de todos os rios de segunda e terceira ordem. No caso do escoamento superficial e de base, foi realizada uma média com os valores diários retirados do software BFI + 3.0, o qual foi utilizado para gerar os gráficos de fluxo de base. Todos os valores relacionados foram postos em volume, a fim de determinar exatamente o que entra e o que sai da bacia hidrográfica.

Tabela 3 - Relação dos parâmetros hidrológicos associados ao balanço hídrico da série histórica de 2013. Os parâmetros representam P = precipitação, Et = escoamento total, Ev = evapotranspiração, Es = escoamento superficial e Eb = escoamento de base.

Data	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13	Média Anual
P (mm/mês)	256,2	173,1	148,8	95,0	141,9	60,2	46,4	3,3	51,0	140,5	207,3	151,7	1475,4
Et (mm/mês)	108,6	89,75	83,99	74,416	57,64	62,487	45,85	28,28	24,7	44,54	53,91	45,51	719,7
Ev (mm/mês)	109,5	99,6	107,4	85,5	68,0	53,6	45,2	39,4	38,6	66,1	81,5	97,4	891,8
Es (mm/mês)	19,0	13,5	13,1	9,6	0,0	13,7	4,3	0,0	0,0	5,4	9,2	15,3	103,2
Eb (mm/mês)	58,2	62,2	48,7	44,7	30,9	45,9	34,6	28,3	22,4	22,3	22,5	23,1	443,9
ΔS (calculado)	69,5	-2,2	-20,4	-44,8	43,0	-53,0	-37,8	-64,4	-10,0	46,7	94,1	15,9	36,6

Fonte: Dados de evapotranspiração do sensor MODIS MOD 16A02; Dados de precipitação do sensor IMERG,

Escoamento total com base na estação 4D-021.

Tabela 4 - Tabela 4 - Relação dos parâmetros hidrológicos associados ao balanço hídrico da série histórica de 2014. Os parâmetros representam P = precipitação, Et = escoamento total, Ev = evapotranspiração, Es = escoamento superficial e Eb = Escoamento de base.

Data	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/14	nov/14	dez/14	Média Anual
P (mm/mês)	110,0	86,4	163,3	75,0	50,1	1,8	18,0	3,5	105,5	19,0	164,2	217,5	1014,3
Et (mm/mês)	39,2	24,1	53,8	24,4	22,0	19,9	17,0	15,5	17,3	14,7	20,6	44,1	312,6
Ev (mm/mês)	100,7	86,3	101,3	89,4	60,4	40,9	37,3	31,2	30,0	33,8	71,6	95,6	778,5
Es (mm/mês)	6,2	0,1	10,7	0,7	0,3	0,1	0,2	0,3	1,3	0,1	0,4	14,7	35,0
Eb (mm/mês)	24,8	18,6	26,9	19,7	19,4	62,0	16,6	14,9	14,2	14,1	13,9	15,8	261,1
ΔS (calculado)	-21,7	-18,7	24,4	-34,8	-30,0	-101,2	-36,2	-42,9	60,0	-28,9	78,3	91,4	-60,3

Fonte: Dados de evapotranspiração do sensor MODIS MOD 16A02; Dados de precipitação do sensor IMERG,

Escoamento total com base na estação 4D-021.

Segundo as tabelas acima, pode-se identificar um alto valor de evapotranspiração nos anos de 2013 e 2014, principalmente no ano de 2013, devido ao extenso período de estiagem no ano seguinte. Segundo as imagens feitas com o sensor MODIS, ocorre mais evapotranspiração a norte, oeste e nas localidades da Floresta Estadual Navarro de Andrade (FENA), com picos que, nos meses de maior precipitação chegam à mais 200 mm/mês e nos meses de estiagem com máxima de 118 mm/mês.

Comparando com a geologia, nas partes mais altas do relevo é onde ocorrem maiores precipitações se relacionadas com outras localidades, o relevo de cuevas mantém-se exatamente a oeste e a noroeste da bacia, onde algumas localidades apresentam porções convexas, as quais acumulam água e acabam tendo maior evaporação concomitante com a transpiração das plantas que existem nestas regiões.

O armazenamento calculado mostrou-se positivo para o ano de 2013, apresentando 36,6 mm de água armazenada no aquífero, o que corrobora a hipótese de que as sub-bacias tem influência na recarga do aquífero. Já para o ano de 2014 o valor se mostrou negativo, evidenciando que, por conta da baixa precipitação, o ano mencionado não teve influência na recarga, evidenciando que somente teve-se a intervenção do escoamento de base, principalmente no período de estiagem.

Com o balanço hídrico já calculado e definido os parâmetros, foram calculadas as relações hidrológicas mensais (Tabelas 5 e 6), as quais são destacadas em porcentagem (%) e busca-se associar a precipitação com a evapotranspiração (Ev/P), o escoamento total com a precipitação (Et/P), o escoamento de base pelo escoamento total (Eb/Et), o escoamento de base pela precipitação (Eb/P), escoamento superficial pela precipitação (Es/P) e o escoamento superficial pelo escoamento total (Es/Et).

Tabela 5 - Relação dos parâmetros hidrológicos do balanço hídrico em porcentagem (%) representando o ano de 2013.

Data	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13	Média Anual
Et/P	42%	52%	56%	78%	41%	104%	99%	857%	48%	32%	26%	30%	50%
Ev/P	43%	58%	72%	90%	48%	89%	97%	1194%	76%	47%	39%	64%	68%
Eb/Et	54%	69%	58%	60%	54%	74%	76%	100%	91%	50%	42%	51%	59%
Eb/P	23%	36%	33%	47%	22%	76%	75%	859%	44%	16%	11%	15%	34%
Es/P	7%	8%	9%	10%	0%	23%	9%	0%	0%	4%	4%	10%	8%
Es/Et	17%	15%	16%	13%	0%	22%	9%	0%	0%	12%	17%	34%	14%

Tabela 6 - Relação dos parâmetros hidrológicos do balanço hídrico em porcentagem (%) representando o ano de 2014.

Data	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/14	nov/14	dez/14	Média Anual
Et/P	36%	28%	33%	33%	44%	1104%	94%	442%	16%	77%	13%	20%	34%
Ev/P	92%	100%	62%	119%	121%	2271%	207%	892%	28%	178%	44%	44%	110%
Eb/Et	63%	77%	50%	81%	88%	312%	98%	96%	82%	96%	67%	36%	82%
Eb/P	23%	22%	17%	26%	39%	3446%	92%	426%	14%	74%	8%	7%	24%
Es/P	6%	0%	7%	1%	1%	5%	1%	8%	1%	0%	0%	7%	1%
Es/Et	16%	1%	20%	3%	1%	0%	1%	2%	7%	0%	2%	33%	2%

Com base nos dados, no ano de 2013 o escoamento superficial corresponde a 8% da precipitação em toda a bacia, diferente da evapotranspiração que teve uma correspondência de 68%, já o escoamento total corresponde a 50% da precipitação e o escoamento de base a 34%. Em 2014, ano em que houve uma forte estiagem no país e em toda a região da bacia do rio Corumbataí, a evapotranspiração correspondeu a 110% da precipitação, representando os 460 mm a menos de precipitação não atuante no sistema.

O escoamento total no ano de 2014 representou 34% de toda a precipitação e o superficial representou somente 1%, diferentemente do escoamento de base que representou 24%. Com isso pode-se afirmar que devido a baixa precipitação, o escoamento de base permaneceu como fator atuante na bacia nos períodos de seca, principalmente, mas o principal fator ainda se mantém a evapotranspiração.

Com isso, tem-se que o escoamento total corresponde a 19% da precipitação e o escoamento de base com 54% de correspondência, possibilitando uma comparação com o hidrograma do fluxo de base referente ao mesmo ano, no qual nos meses de estiagem predomina apenas o fluxo de base dentro da bacia, não havendo entradas no sistema para que se tenha recuperação ou uma recarga mínima se comparado com o ano anterior.

6. CONCLUSÃO

A partir da metodologia empregada nesse trabalho é possível tecer os seguintes comentários e conclusões:

- 1) Os dados de precipitação calculados através do sensor IMERG e da série histórica das estações pluviométricas evidenciam grande paridade, não demonstrando diferenças consideráveis nos valores de precipitação mensal e a média anual, representando dados confiáveis para algumas avaliações de bacias hidrográficas;
- 2) A análise dos dados fluviométricos obtidos na plataforma de hidrologia do DAEE permitiu a separação do escoamento total, através da análise de filtros digitais, e permitiram estimativas fidedignas do fluxo de base e escoamento superficial;
- 3) A análise da curva de permanência para as diferentes estações fluviométricas evidenciou diferentes comportamentos hidrológicos de acordo com as variações geológicas de cada sub-bacia; sendo que as unidades geológicas mais arenosas apresentam melhores condições de infiltração e permeabilidade;
- 4) Por fim, o balanço hídrico do período de 2013 e 2014 evidenciou o déficit hídrico do período, condizente com o intenso período de estiagem da época, o que resultou em diminuição dos escoamentos superficiais dos rios e queda dos níveis d'água subterrânea;
- 5) Para a análise da disponibilidade hídrica da bacia, recomenda-se a elaboração de trabalhos com séries históricas de longos períodos, pelo menos 10 anos, e considerando as captações que ocorrem ao longo do rio Corumbataí.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica da Bacia do Paraná. Instituto de Geografia – USP. Geomorfologia, n. 15, p. 1 – 15, 1969.
- ALMEIDA, F.F.M. & BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. BoI. DNPM/DGM, n.143, p. 96, 1953.
- ALMEIDA, F. F. M. de - Fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. Inst. Geogr. e Geol. n.41, São Paulo, 1964.
- ANA. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Relatório técnico, 134 p, 2005.
- ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO). Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/quantitativo-qualitativo>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- ARAUJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTER, P.E. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Missiones e Tacuarembó. Mapas, Curitiba: UFPR-Petrobras, 1995. 4 mapas, colorido. Escala 1:5.000.000. Texto Explicativo, 16p.
- ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. Á.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. Brazilian Journal of Geology, v.33(1), p.33-40, 2003.
- BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão Ambiental. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159 - 168, 2012.
- BISTRICHI, C. A. *et al.* Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500000. São Paulo: SICCT, v. 1, p. 126, 1981.
- BJÖRNBERG, A.J.S.; MACIEL, A.C.; GANDOLFI, N. Notas sobre os depósitos modernos da região de Rio Claro - São Paulo. Boletim Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Geologia 11: 21-36, 1964.
- CAORSI, J. H., GONI, J. Geologia Uruguaya: Inst. Geol. del Uruguay, Bol. 37, Montivideo, 1958.
- CEAPLA. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. Disponível em: http://www1.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv3/rede_hidrografica.php. Acesso em: 15 jul. 2022.
- Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia: Ciência e aplicação. Organizado por TUCCI, C. E. M. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS: ABRH, 2001.

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

CPRM (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS). Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica. Relatório Final, São Paulo, SP, 1986.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA.. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 5. Campinas. DAEE, São Paulo, v. 2, 1981a.

DAEE. Hidrologia - Banco de Dados Hidrológicos. São Paulo: DAEE e CTH (Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos), 2022. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 7 mar. 2022.

DEGANO, M.F. Calibración del producto de evapotranspiración potencial “MOD16A2” para la Región Pampeana Argentina. Boletín Geológico y Minero, 132 (1-2): 167-174, 2021.

ESRI. How Thiessen (Coverage) works. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/coverage-toolbox/how-thiessen-works.htm>. Acesso em: 06 dez. 2022.

FETTER, C.W. Applied Hydrogeology (second edition). Merrill Publishing Company, A Bell and Howell Information Company: Melbourne, 1991.

FREITAS, R. O. Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru. Bol. Fac. Fil. Ci. e Letras, n.194, p.1-185, 1955.

FREITAS, R. O. Grupo Bauru. Bol. IGG, n. 41, p. 126-147, 1964.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Estudo do Uso dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí visando estabelecer cenários e planejamento das alternativas de abastecimento de água para os municípios pertencentes a esta bacia. Relatório Final. Piracicaba, 2020.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. SSD - Sistema de Suporte a Decisão. Monitoramento - Série Temporal. Piracicaba: Agência das Bacias PCJ, 2022. Disponível em: <https://ssd.baciaspcj.org.br/Monitoramento/SerieTemporal#>. Acesso em: 8 mar. 2022.

GANDINI, R. et al. Paleoicnologia e a palinologia dos ritmitos do Grupo Itararé na pedreira de Águas Claras (Santa Catarina, Brasil). Gaea, v. 3, n. 2, p. 47-59, 2007.

GASTMANS, D. Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná. Tese (doutorado), UNESP, p. 194, 2007.

HUFFMAN, G. J. *et al.* Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2 NASA - NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2. IMERG Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), IMERG Algo (February), 1–31, 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - escala 1:1.000.000. São Paulo. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. 2v. (IPT, Série Monografias, 6), 1981.

IRITANI, M.A; EZAKI, S. As águas subterrâneas do estado de São Paulo. 2ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2009.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, p. 104, 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: 15 dez. 2022.

KOLYA, A. A. Inventário, Quantificação e Valorização do Geopatrimônio na Bacia do Rio Corumbataí (SP): Subsídios ao Projeto Geoparque Corumbataí. Dissertação (Mestrado), UNESP, p. 134, 2019.

LEBAC. Mapa Hidrogeológico do Sistema Aquífero Guarani. Rio Claro, p. 54, 2008.

LEIGHTON, M.W.; KOLATA, D.R. Selected interior cratonic basins and their place in the scheme of global tectonics: a synthesis. In Cratonic basins. Memoir, 51. American Association Petroleum Geologists, 729–797, 1990.

LPDAAC. MODIS/MOD16A2. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v061/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

MANZIONE, R.L. Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. 1 ed. Jundiaí: Paco Editorial, p. 388, 2015.

MASSOLI, M. Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, no município de Ribeirão Preto (SP), e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - IGCE - Campus de Rio Claro, 2007.

MELO, M. S.; PONÇANO, W. L. Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., Monografia n. 9, p. 74, 1983.

MENDES, J. C. A Formação Corumbataí na região do rio Corumbataí. (Estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). *Boletim Da Faculdade De Filosofia Ciências E Letras, Universidade De São Paulo. Geologia*, (8), 5-127, 1952.

MEZZALIRA, S. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru. *Bol. IGG*, n.51, p. 1-163, 1974.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Porto Alegre. 225p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

MILANI, Edison José. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, p. 265-291, 2004.

MIRANDA, A. C. R., Direct runoff from baseflow separation methods: case study for the Rio das Velhas watershed. Dissertação de Mestrado em Construções rurais e ambiência; Energia na agricultura; Mecanização agrícola; Processamento de produção – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MORETON, Luis Carlos (Org.). Iporá: folha SE.22-V-B: estado de Goiás. Brasília: CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB, 2001.

NASA – EARTH DATA. GIOVANNI. Disponível em: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvMp&starttime=2013-01-01T00:00:00Z&endtime=2013-01-31T23:59:59Z&shape=state_dept_countries_2017/shp_32&. Acesso em: 15 jul. 2022.

NASA. Global Precipitation Measurement. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html. Acesso em: 15 jul. 2022.

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

OLIVA, A. KIANG, C. H. SEIXAS, V. Cálculo de Reservas Hídricas Subterrâneas do Aquífero Rio Claro Utilizando Simulação Monte Carlo. *Águas Subterrâneas*, v.24, n.01, p.13-30, 2010.

PALMA-SILVA, G.M. Diagnóstico Ambiental, Qualidade de Água e Índice de Depuração do Rio Corumbataí – SP. Dissertação (Mestrado) – Centro de Estudos Ambientais – CEA, UNESP, p. 155, 1999.

PENTEADO, M. M.; RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal. *Geographica*, v. 25, p. 42-61, 1971.

PENTEADO, M. M. - Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista. *IGCEOG/USP, Série Teses e Monografias* n.22, São Paulo, 1976.

PERINOTTO, José Alexandre de Jesus. Análise estratigráfica da sequência portadora de carvão na região de Cerquilho (SP). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1987.

- PONÇANO, W. L. *et al.* A Formação Itaqueri e depósitos correlatos no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Anais...Salvador: SBG, v. 4, p. 1339-1350, Salvador, 1982.
- RICCOMINI, C. Consideração sobre a posição Estratigráfica e Tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro-leste do Estado de São Paulo. Ver. IG São Paulo, v.1, n.1/2, p. 41-48, 1997.
- ROCHA, G. *et al.* Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Águas Subterrâneas, 2006.
- ROSS, J. L. S. - Geomorfologia, Ambiente e Planejamento. Ed. Contexto, São Paulo, 1990.
- SANTOS, A. J. B. A. Validação Regional de Estimativas de Precipitação obtidas por satélite (IMERG) na Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade de Coimbra, 2019.
- SCHNEIDER, R. *et al.* Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso brasileiro de Geologia. p. 41-65, 1974.
- SILVA, R. B. G. Estudo Hidroquímico e Isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. São Paulo, IG – USP, Tese (doutorado), p. 133, 1983.
- SLOTO, R. A.; CROUSE, M. Y. HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. U. S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report, 96-4040, Lemoyne, Pennsylvania, p. 46, 1996.
- SOARES, PAULO CESAR. 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.
- SOARES, P. C. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação de gênese. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: SBG, v. 1, p. 107-121. 1974.
- SOARES, P. C., LANDIM, P. M. B., FULFARO, V. J. & SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização do Cretáceo no Estado de São Paulo. Rev. Brasileira de Geociências, v. 10, p. 177-185, 1980.
- SIMÕES, M. G. & FITIPALDI, F. C. Fósseis da região de Rio Claro, SP. Arquivo do Município, Rio Claro, p. 77, 1992.
- SRACEK, O.; HIRATA, R. Geochemical and Stable Isotopic Evolution of the Guarani Aquifer System in the State of São Paulo, Brazil. Hydrogeology Journal, v. 10, p. 643-655, 2002.
- THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. Monthly Weather Review, v. 39, n. 7, p. 1082 – 1089, 1911.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 104p. Publications in Climatology, vol. VIII, n.1, 104p, 1955.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no futuro: problemas e soluções. Estudos Avançados. v. 22, n. 63, 2008.

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.