



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA

**TEORES DE NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG):
ANÁLISE NA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO
DO PARANÁ**

Londrina
2021

SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA

**TEORES DE NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG):
ANÁLISE NA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO
DO PARANÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. André Celligoi

Londrina
2021

SÉRGIO AUGUSTO PEREIRA

**TEORES DE NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA
AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG):
ANÁLISE NA REGIÃO DO NORTE PIONEIRO DO ESTADO DO
PARANÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Estadual de Londrina, como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre
em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. André Celligoi
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Gilson Burigo Guimarães
Universidade Estadual de Ponta Grossa -
UEPG

Londrina, 01 de Fevereiro de 2021.

Ao meu Pai Toninho, à minha Mãe Sueli e à minha Filha Catarina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde, força e motivação para superar as dificuldades destes dois anos no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina.

Ao meu orientador, Professor Doutor André Celligoi, que sempre atendeu prontamente às minhas solicitações e dúvidas. Agradeço também pela amizade, ensinamentos e pelas contribuições em minha vida acadêmica, profissional e pessoal. Com certeza, levarei isso tudo para o resto de minha vida.

Agradeço à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – por ter me proporcionado a bolsa, pois sem a bolsa, não seria possível a realização desta pesquisa.

À minha companheira Vanessa Maria Ludka, que em nenhum momento me deixou sozinho nesta etapa, não medindo esforços para que eu pudesse concluir este trabalho. Durante estes anos, suportou meu mau humor e ansiedade, entretanto, me motivou e me animou a terminar este ciclo. Também agradeço à minha filha Cati, minha principal fonte de motivação.

Às minhas irmãs Fabielly e Samara, minhas incentivadoras, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me encorajando a passar por esse processo árduo.

Aos meus pais e todos meus irmãos, Seu Toninho, Dona Sueli, Fabiano, Fabiana, Gueco, Biula, Tião, Fagner, Fernando, além dos meus queridos sobrinhos Matheus, Marcelinho e Valentina, que são a minha base e meu porto seguro, e também ao meu cunhado Eduardo Matheus.

À banca examinadora, ao Professor Doutor Maurício Moreira dos Santos e ao Professor Doutor Gilson Burigo Guimarães, bem como os membros suplentes, ao Professor Doutor José Paulo Peccinini Pinese e ao Professor Doutor Emerson Galvani, além do meu orientador mais uma vez, Professor Doutor André Celligoi, pela grande contribuição que deram ao meu trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina e a todos os Professores do Programa de Pós-graduação em Geografia pela contribuição na minha formação acadêmica e profissional, proporcionando o desenvolvimento dos meus conhecimentos em relação à ciência geográfica.

Gratidão a todos Vocês!!!

PEREIRA, Sérgio Augusto. **Teores de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG): análise na região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná**. 2021. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

O íon nitrato (NO_3^-), quando em altas concentrações, é um dos principais contaminantes da água subterrânea e as suas principais fontes de contaminação são fertilizantes nitrogenados, esgotos domésticos e industriais, cemitérios, fossas sépticas, entre outros. Doenças como a meta-hemoglobinemia e o câncer gástrico estão associadas à ingestão de alimentos ou água com concentrações elevadas de NO_3^- , além disso, altas concentrações de compostos nitrogenados em ambientes aquáticos podem torná-los eutrofizados. A Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, estabelece, para fins de potabilidade, o limite de 10 mg/L de NO_3^- nas águas para o consumo humano. Sendo assim, o objetivo principal desta pesquisa é analisar a distribuição espacial da concentração de nitrato (NO_3^-) no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) em vinte municípios que se localizam na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. Metodologicamente, esta pesquisa foi elaborada de acordo com as seguintes etapas: pesquisas bibliográficas e pesquisas em órgãos governamentais para a elaboração da fundamentação teórica e da caracterização da área; elaboração da cartografia para a caracterização da área; coleta de dados dos poços do SASG para a elaboração da interpolação, por meio do método *krigagem*, dos parâmetros de NO_3^- , pH, SDT, condutividade elétrica e turbidez, além da utilização de dados para a elaboração de mapas potenciométricos e para a caracterização hidroquímica do SASG na área de estudo por meio do diagrama de Piper; trabalho de campo. Elaborou-se também um plano de monitoramento e gestão pública das águas subterrâneas do SASG. Os resultados obtidos nesta pesquisa apresentaram que as águas do SASG na área de estudo são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, calco-magnesianas e sódicas. As águas de três poços apresentam concentrações de NO_3^- acima do estabelecido pela legislação brasileira para fins de potabilidade. O poço P93 está localizado no município de Bandeirantes e os poços P244 e P249 no município de Uraí, tendo como possíveis fontes de contaminação fossas, fertilizantes agrícolas e cemitério municipal. Por fim, propôs-se encaminhamentos para a implantação de um plano de monitoramento das águas subterrâneas do SASG na área de estudo, bem como ações para que o poder público e a sociedade civil possam, de maneira conjunta, criar estratégias em relação à gestão dos recursos hídricos, proporcionando assim, que toda a população tenha água de qualidade e em quantidade suficiente para atender as suas necessidades.

Palavras-chave: Qualidade da água. SASG. Hidroquímica.

PEREIRA, Sérgio Augusto. **Nitrate contents in groundwater of Sistema Aquífero Serra Geral (SASG):** analysis in the region of Pioneer North of Paraná State. 2021. 157 p. Dissertation (Master's in Geography) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The nitrate ion, found in high concentrations, is one of the main groundwater contaminants and its main sources of contamination are nitrogen fertilizers, domestic and industrial sewers, cemeteries, septic pits and others. Diseases like methemoglobinemia and gastric cancer are associated to water and food ingestion with high concentrations of NO_3^- , also, as high concentrations of nitrogen compounds in aquatic environments may become eutrophic. The Consolidation Ordinance n. 5 of September, 28th, 2017, of the Ministry of Health, establishes, for drinking purposes, the limit of 10 mg/L of NO_3^- in the human consumption water. This way, the main aim of this research is to analyse the spatial distribution of nitrate concentrations (NO_3^-) at *Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)* in twenty cities located at the region of Pioneer North of Paraná state. Methodologically, this research was elaborated according to the following steps: bibliographical researches and researches in government agencies to the theoretical foundation elaboration and the area description; cartography elaboration for the area description, wells data collection of SASG for the interpolation elaboration, through the kriging method, of NO_3^- parameters, pH, SDT, electrical conduction and turbidity, in addition to data use to the elaboration of potentiometric maps and to the hydrochemical description of SASG in the study area through Piper diagram; field work. It was also elaborated a monitoring plan and public groundwater management of SASG. The obtained results in this research presented that the SASG water in the study area are classified as calcium bicarbonates, calco-magnesian and sodium. The water of three wells present concentrations of NO_3^- above the established by the Brazilian legislation for drinking purposes. Well P93 is located in Bandeirantes and wells P244 and P249 in Uraí, with possible contamination sources in pits, agricultural fertilizers and the local cemetery. Finally, proposals were made for the implementation of a groundwater monitoring plan for the SASG in the study area, as well as actions for the government and civil society to jointly create strategies in relation to the management of water resources, thus providing the entire population to have water of sufficient quality and quantity to meet their needs.

Key-words: Water Quality. SASG. Hydrochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo do Nitrogênio.....	29
Figura 2	Limites da área de estudo: Grupo Serra Geral, tendo como limites os rios Tibagi a oeste, Cinzas a leste e Paranapanema a norte.....	40
Figura 3	Localização da área de estudo composta por vinte municípios da Região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná.	41
Figura 4	Mapa da localização do Grupo Serra Geral na área de estudo.	43
Figura 5	Unidades Geológicas do Grupo Serra Geral da área de estudo (2018).....	46
Figura 6	Mapa da Geomorfologia do recorte espacial da área de estudo....	48
Figura 7	Hipsometria do recorte espacial da área de estudo.	50
Figura 8	Mapa pedológico da área de estudo.	52
Figura 9	Mapa climático da área de estudo, baseado no modelo de Köppen.....	58
Figura 10	Hidrografia da área de estudo.....	60
Figura 11	Circulação da água no SASG.	62
Figura 12	Mapa da localização do SASG no recorte espacial desta pesquisa.....	64
Figura 13	Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	69
Figura 14	Localização dos poços do SASG nos 20 municípios que compõem a área de estudo desta pesquisa.....	73
Figura 15	Diagrama de Piper.	75
Figura 16	Diagrama de Piper: classificação das águas do SASG na área de estudo.	80
Figura 17	Mapa da distribuição espacial dos valores de pH das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.....	86
Figura 18	Mapa da distribuição espacial dos valores de SDT (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.....	90
Figura 19	Mapa da distribuição espacial dos valores de Condutividade Elétrica Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	93

Figura 20	Mapa da distribuição espacial dos valores de Turbidez (NTU) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	97
Figura 21	Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	101
Figura 22	Mapa dos valores de nitrato (mg/L), em círculos proporcionais, das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	102
Figura 23	Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG no município de Bandeirantes.	105
Figura 24	Poço P93, localizado no município de Bandeirantes - PR.	106
Figura 25	Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG no município de Uraí.	107
Figura 26	Poço P244, localizado no município de Uraí - PR.	108
Figura 27	Poço P249, localizado no município de Uraí - PR.	108
Figura 28	Potenciometria do SASG na área de estudo.	110
Figura 29	Potenciometria do SASG no município de Bandeirantes - PR.	112
Figura 30	Paisagem que circunda o P93, na área rural do município de Bandeirantes - PR.	113
Figura 31	Potenciometria do SASG no município de Uraí - PR.	115
Figura 32	Paisagens que circundam os poços P244 e P249, nas áreas urbana e rural do município de Uraí - PR.	117
Figura 33	Cemitério Municipal de Uraí - PR.	118
Figura 34	Número de poços que captam água do SASG por município.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados demográficos, territoriais e econômicos dos municípios que compõem o recorte espacial da área de estudo.	66
Tabela 2	Parâmetros pesquisados e valores de referência segundo à Portaria de Consolidação no 5 de 28 de setembro de 2017.	72
Tabela 3	Classificação das águas do SASG.....	81
Tabela 4	Classificação hidroquímica do SASG.....	82
Tabela 5	Número de poços e das amostras dos parâmetros analisados do SASG de cada município que compõem a área de estudo desta pesquisa.	84
Tabela 6	Estatística dos valores de pH dos poços do SASG na área de estudo.	88
Tabela 7	Estatística dos valores de SDT (mg/L) dos poços do SASG na área de estudo.	92
Tabela 8	Estatística dos valores de Condutividade Elétrica dos poços do SASG na área de estudo.	95
Tabela 9	Estatística dos valores de turbidez dos poços do SASG na área de estudo.	99
Tabela 10	Estatística dos valores de nitrato (mg/L) dos poços do SASG na área de estudo.	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Usos da água no mundo, 2018.	25
Gráfico 2	Usos da água no Brasil, 2017.	26
Gráfico 3	Teores de pH das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	87
Gráfico 4	Teores de SDT (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	91
Gráfico 5	Parâmetros de Condutividade Elétrica Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	94
Gráfico 6	Correlação linear entre os parâmetros de Condutividade Elétrica e SDT do SASG na área de estudo.	95
Gráfico 7	Parâmetros de Turbidez (NTU) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	98
Gráfico 8	Parâmetros de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.	103
Gráfico 9	Dispersão do parâmetro nitrato da área de estudo.	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS E SEUS USOS	19
3.2	O CICLO DO NITROGÊNIO	27
3.2.1	Amonificação	30
3.2.2	Nitrificação	32
3.2.3	Desnitrificação	32
3.3	O NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	34
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	39
4.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	39
4.2	ASPECTOS GEOLÓGICOS	42
4.2.1	Grupo Serra Geral	42
4.3	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	47
4.4	ASPECTOS PEDOLÓGICOS	51
4.4.1	Argissolo	51
4.4.2	Gleissolo	53
4.4.3	Latossolo	53
4.4.4	Neossolo	54
4.4.5	Nitossolo	55
4.5	ASPECTOS CLIMÁTICOS	56
4.6	ASPECTOS HIDROLÓGICOS	59
4.6.1	Sistema Aquífero Serra Geral - SASG	61
4.7	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	65
5	MATERIAIS E MÉTODOS	69
5.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	70

5.1.1	Pesquisa em Órgãos Governamentais Para a Caracterização da Área de Estudo: Aspectos Físico-geográficos e Socioeconômicos	71
5.2	COLETA DE DADOS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	71
5.3	COLETA DE DADOS	71
5.4	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	75
5.5	TRABALHO DE CAMPO	78
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
6.1	CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DO SASG.....	80
6.2	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS DE PH, SDT, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E TURBIDEZ DO SASG.....	83
6.2.1	Parâmetros de pH do SASG.....	85
6.2.2	Parâmetros de SDT do SASG	88
6.2.3	Parâmetros de Condutividade Elétrica do SASG.....	92
6.2.4	Parâmetros de Turbidez do SASG	96
6.3	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO PARÂMETRO NITRATO NO SASG...99	
6.3.1	Potenciometria das Áreas com Concentrações de Nitrato acima de 10 mg/L.....	109
6.3.1.1	Potenciometria do município de Bandeirantes - PR	111
6.3.1.2	Potenciometria do município de Uraí - PR.....	114
6.4	PLANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SASG E GESTÃO PÚBLICA.....	119
7	CONCLUSÕES	124
	REFERÊNCIAS	126
	APÊNDICES.....	134
APÊNDICE A	Dados dos poços do sasg para a elaboração das interpolações.	134
APÊNDICE B	Dados para a elaboração da potenciometria da área de estudo.....	144

APÊNDICE C	Dados dos parâmetros de ânions e cátions do sasg para a classificação hidroquímica.	153
------------	---	-----

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a manutenção da vida na Terra, especialmente para os seres humanos. Ainda não se descobriu alguma outra substância ou recurso natural capaz de substituí-la, e provavelmente isso nem aconteça, devido às suas características e propriedades singulares.

Há vários usos para a água. Ela é utilizada para atividades domésticas, agrícolas, industriais, atividades de lazer e recreação, atividade pesqueira, navegação, produção de energia, entre outras, e todas essas atividades demandam muita água (RIBEIRO, 2008). Entretanto, apesar de seus diversos usos, e cada um tendo sua importância para a sociedade, a utilização para a sustentação da vida, principalmente para a sobrevivência humana, é a mais nobre (AJARILLA, 2013).

Diante disso, percebe-se que o estudo desse recurso natural é importante e se faz necessário na contemporaneidade, dado ao fato que a demanda por água para o consumo humano, produção de bens e serviços e produção de alimentos está aumentando. Em contrapartida, os recursos hídricos estão sendo seriamente impactados, contaminados e/ou alterados pelas atividades antrópicas, como uso de agrotóxicos e fertilizantes que são lixiviados ou contaminam os recursos hídricos por escoamento superficial, redes de esgoto doméstico e industrial, dentre outras fontes contaminantes.

Investigar a ocorrência da contaminação da água, bem como seus contaminantes, é essencial para caracterizar a sua qualidade para os mais diversos usos, principalmente para o consumo humano. Dessa forma, estudos químicos são necessários para que a água possa ser examinada, auxiliando na sua caracterização hidroquímica, bem como identificar poluentes que podem influenciar na sua qualidade. No caso deste estudo, discutiu-se sobre a qualidade da água subterrânea.

A caracterização e a previsão desses processos (químicos) são alguns dos problemas mais desafiadores na ciência das águas subterrâneas. A química de águas subterrâneas é relevante a todos os usuários de recursos hídricos, seja para o consumo (potabilidade), irrigação, uso industrial ou para outras finalidades de uso. A química também é fundamental para se entender o destino da contaminação de águas subterrâneas e como remediá-las (FITTS, 2015, p. 364).

Nesta pesquisa, investigou-se a concentração do parâmetro nitrato (NO_3^-) nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Conforme dissertaram Resende (2002) e Varnier *et al.* (2010), entre outros, o NO_3^- , quando em alta concentração, é um dos principais contaminantes das águas subterrâneas no mundo, bem como um dos mais recorrentes. São várias as fontes de contaminação por NO_3^- : fertilizantes nitrogenados, esgotos domésticos e industriais, cemitérios, fossas sépticas, entre outros, ou seja, essa contaminação tem influência antrópica (ALABURDA; NISHIHARA, 1998; RESENDE, 2002; FRANÇA *et al.*, 2006; VARNIER *et al.*, 2010; FREDDO, 2018).

Os dados utilizados nesta pesquisa, que são referentes às análises hidroquímicas do SASG, foram extraídos do banco de dados do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT. Esses dados foram discutidos e analisados com base na legislação vigente que diz respeito à potabilidade da água, comparando os valores dos parâmetros examinados com os limites permitidos pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (Portaria de Consolidação MS 5/2017), que trata do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017). Os parâmetros analisados neste estudo foram o Nitrato (NO_3^-), o Potencial Hidrogeniônico (pH), os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), a Condutividade Elétrica e a Turbidez.

A pesquisa tem como recorte espacial vinte municípios que se localizam na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, e todos os poços, de onde os dados foram extraídos e analisados, se encontram no SASG. Os municípios que compõem a área de estudo são Abatiá, Assaí, Bandeirantes, Congonhinhas, Cornélio Procopio, Leópolis, Jataizinho, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, Rancho Alegre, Ribeirão do Pinhal, Santa Amélia, Santa Cecília do Pavão, Santa Mariana, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São Sebastião da Amoreira, Sertaneja e Uraí.

Esta pesquisa está dividida em sete capítulos mais referências e apêndices. No primeiro capítulo, dissertou-se sobre a introdução. No segundo, apresentaram-se os objetivos. No terceiro, realizou-se a fundamentação teórica da pesquisa. No quarto, elaborou-se a caracterização da área delimitada para este estudo. No quinto capítulo, discutiu-se sobre os procedimentos metodológicos, ou seja, o passo a

passo desta pesquisa. No sexto, explanou-se sobre a análise e discussão dos resultados. O sétimo capítulo tratou das conclusões da pesquisa.

O primeiro capítulo que trata sobre a introdução da pesquisa trouxe alguns aspectos gerais deste estudo. No segundo capítulo que diz respeito aos objetivos, apresentou-se os objetivos principal e específicos desta pesquisa.

O terceiro capítulo, responsável pela discussão da fundamentação teórica, foi dividido em três momentos. No primeiro momento, dissertou-se sobre as águas subterrâneas, superficiais e seus usos no Brasil e no mundo, explicitando a porcentagem de cada uso. Neste tópico da pesquisa, deu-se atenção maior às águas subterrâneas, pois ela, junto com o NO_3^- , é objeto de estudo desta pesquisa. No segundo momento deste capítulo, discorreu-se sobre o ciclo do nitrogênio, abordando os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. No terceiro e último tópico, abordou-se as concentrações de NO_3^- em águas subterrâneas, bem como estudos que contemplam a contaminação por NO_3^- , a sua ocorrência e quais os possíveis danos que o elevado teor de NO_3^- nas águas pode causar aos seres humanos e ao meio ambiente.

No quarto capítulo, elaborou-se tópicos sobre a área de estudo, bem como a sua delimitação territorial. Os tópicos abordados são pautados nos aspectos físico-geográficos e socioeconômicos do recorte delimitado para esta pesquisa. Abordou-se neste capítulo, a localização da área de estudo, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, o clima, a hidrografia e os aspectos socioeconômicos.

No quinto capítulo, discorreu-se sobre a metodologia da pesquisa, a qual foi dividida em cinco seções. Na primeira, dissertou-se sobre a pesquisa bibliográfica, abordando sobre a sua importância e os principais autores utilizados nesta pesquisa. Na segunda seção, discorreu-se sobre os dados para a caracterização da área de estudo. No terceiro momento, foi discutido sobre a coleta de dados. Na quarta seção, apresentou-se a metodologia aplicada para a distribuição espacial do teor de NO_3^- dos poços tubulares do SASG. Na quinta e última seção, dissertou-se sobre o trabalho de campo realizado.

No sexto capítulo, referente à análise e à discussão dos resultados, apresentou-se a classificação hidroquímica das águas do SASG na área de estudo, foi realizado a análise e discussão da distribuição espacial dos parâmetros aqui discutidos, bem como a potenciometria da área de estudo. Por fim, elaborou-se

encaminhamentos para a implantação de um plano de monitoramento das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.

No sétimo e último capítulo, explanou-se as conclusões deste estudo, ou seja, apresentou-se os resultados obtidos a partir da análise e discussão dos dados referentes aos parâmetros hidroquímicos dos poços do SASG extraídos do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – IAT.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- O objetivo principal desta pesquisa é analisar a distribuição espacial da concentração de nitrato (NO_3^-) no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) em vinte municípios que se localizam na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná;

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a distribuição espacial dos parâmetros de Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Condutividade Elétrica e Turbidez no SASG em vinte municípios que se localizam na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná;
- Elaborar representações cartográficas de distribuição espacial dos parâmetros analisados das águas subterrâneas dos poços do SASG;
- Apresentar os possíveis efeitos nocivos da alta concentração de NO_3^- dissolvido em águas subterrâneas à saúde humana e ao meio ambiente, quando encontrado em concentrações maiores que a permitida pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017;
- Realizar a classificação hidroquímica, por meio do diagrama de Piper, do SASG na área de estudo;
- Identificar possíveis pontos de contaminação das águas subterrâneas dos poços da área da pesquisa com relação aos teores de NO_3^- acima do permitido pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017;
- Propor diretrizes para a elaboração de um plano de monitoramento e gestão dos recursos hídricos das águas subterrâneas do SASG na área de estudo;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, foi realizado o levantamento bibliográfico para a elaboração da fundamentação teórica da pesquisa, sendo dividido em três tópicos, tendo como foco principal a discussão sobre as águas subterrâneas e o NO_3^- . No primeiro tópico, explanou-se sobre as águas subterrâneas e superficiais, bem como os seus usos. No segundo, realizou-se discussão acerca do ciclo do nitrogênio, abordando os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, ou seja, a transformação do nitrogênio em NO_3^- e depois a sua dissipação para a atmosfera de novo como nitrogênio. No terceiro e último tópico, foi dissertado sobre o NO_3^- em águas subterrâneas e suas consequências para a saúde humana e meio ambiente.

3.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS E SEUS USOS

Neste tópico, dissertou-se sobre as águas subterrâneas, descrevendo sobre a sua quantidade no planeta, sua formação e ocorrência, e as águas superficiais, discorrendo sobre sua quantidade e importância, e sobre os mais diversos usos da água no Brasil e no mundo.

Conforme Shiklomanov (1998), as águas subterrâneas correspondem a 29,9% de toda a água “doce” disponível no planeta Terra. Entretanto, o seu uso é dificultado por causa do acesso a essas águas, que muitas vezes são muito profundas e os custos financeiros para a captação são altos, limitando a sua utilização.

Rebouças (2015) afirmou que as unidades rochosas que possuem porosidade e permeabilidade para armazenar água são chamadas de aquíferos, independentemente de estarem ou não saturada. Dessa forma, as águas subterrâneas, segundo Aldo Rebouças (2015) e David Todd (1967), ocorrem em formações geológicas onde a rocha é permeável, recebendo o nome de aquífero. Ou seja, essas formações possuem aspectos estruturais e texturais que dão condições para que uma boa quantidade de água possa se movimentar por meio delas.

Fitts (2015) dissertou que um aquífero significa uma área ou uma camada geológica permeável que se encontra na zona saturada e que, dessa forma, armazena e distribui a água subterrânea. Todd (1967, p. 23) afirmou que “definiu-se como aquífero uma formação ou material rochoso que poderá fornecer quantidades

significativas de água”. Dessa forma, percebe-se que as duas definições sobre o que é um aquífero são análogas.

Segundo Fitts (2015), os aquíferos podem ser caracterizados como livres/não confinados ou confinados. “A água que percola através da superfície do solo forma aquíferos não confinados” (TUNDISI; TUNDISI, 2011, p. 38). O aquífero livre ou não confinado é chamado de lençol freático ou lençol aquífero, que “é tecnicamente definido como a superfície porosa sobre a qual a pressão de água é igual a atmosférica” (FITTS, 2015, p. 6). Os aquíferos confinados são aqueles que toda sua camada é saturada por água e há uma camada de rocha impermeável ou com baixa permeabilidade sobreposta e outra sotoposta à rocha saturada, onde as pressões da água são maiores do que a atmosférica, confinando assim, esse volume de água entre os estratos rochosos (FITTS, 2015).

A distribuição dessas águas, assim como nas águas superficiais, é muito variável, pois elas se inter-relacionam no ciclo hidrológico, além de depender de condições climáticas. Porém, estima-se que as ocorrências das águas subterrâneas são 100 vezes maiores ($10.360.230 \text{ km}^3$) que as águas dos rios e lagos (92.168 km^3) (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011).

A contaminação das águas subterrâneas ocorre quando substâncias dissolvidas na água em determinadas concentrações podem torná-la imprópria para o consumo ou prejudicial ao ecossistema onde essa água se localiza. A maioria das águas naturais possui pelo menos alguma concentração de substâncias dissolvidas, que são chamadas de potenciais contaminantes. Provavelmente, a água que bebemos contém um pequeno teor de chumbo e arsênio, ou até NO_3^- , entretanto, a baixíssima quantidade dessas substâncias presente na água, não causa danos à saúde. Dessa forma, para que alguma substância tenha o potencial de causar algum problema, precisa estar presente em uma determinada concentração que possa causar risco à saúde humana ou ambiental (FITTS, 2015).

Dessa forma, percebe-se a importância de se analisar os compostos orgânicos e inorgânicos que compõem a água, para que assim, possa se medir a qualidade da água que é consumida pelos seres humanos, bem como para a vitalidade dos ecossistemas.

Fitts (2015) argumentou que as origens da contaminação das águas subterrâneas podem ter diversos tamanhos e formas, incluindo fontes pontuais e não pontuais. As fontes pontuais seriam exemplos relativamente pequenos como um

vazamento de tanque subterrâneo ou uma lagoa de receptação de esgoto. As fontes não pontuais são fontes maiores e mais distribuídas como precipitação de chuvas poluídas ou uso de pesticidas aplicados em extensas lavouras.

Charles Fitts (2015) e Freeze e Cherry (2017) afirmaram que existem muitas fontes de contaminação da água subterrânea, entretanto as mais comuns são vazamentos de tanques de armazenamento; sistemas sépticos; resíduos industriais; descartes de resíduos sólidos; resíduos orgânicos de fabricação de alimentos e de processamento de madeira; aterros sanitários; poços de injeção; pesticidas, herbicidas e fertilizantes; resíduos de animais; atividades de mineração, deposição de resíduos radioativos; e sal nas estradas.

Em relação à porosidade dos aquíferos, bem como a sua condição hidráulica e de armazenamento, existem três tipos: o granular, o cárstico (Karst) e o fissural (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011). Compreender esse último é de suma importância para esta pesquisa, pois os poços pesquisados nesta dissertação estão localizados no SASG, aquífero fraturado/fissural, unidade composta por basaltos, ou seja, rochas magmáticas extrusivas. Dessa forma, realizou-se uma discussão mais abrangente sobre esse tipo de aquífero.

Assim, antes de dissertar sobre os aquíferos fissurais, descreveu-se sobre os aquíferos granular e cárstico. Os aquíferos granulares ou sedimentares são formados por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a acomodação da água se dá em seus poros, ou seja, nos espaços vazios entre as partículas, preferencialmente com dimensões superiores à argila. Um aquífero é mais eficiente quando a sua granulometria é uniforme, propriedade conhecida como isotropia, pois isso facilita a fluidez da água entre os poros. Quando o aquífero apresenta partículas de tamanhos diferentes, os vazios deixados pelas maiores são ocupados pelas menores (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011).

Os aquíferos cársticos (Karst) são formados, comumente, por rochas carbonáticas como calcários, dolomitos e mármore. A circulação da água nesses aquíferos se dá por meio das fraturas e outras descontinuidades originadas da dissolução do carbonato pela água (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011).

Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2011) dissertaram que os aquíferos fraturados ou fissurais são formados por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas,

duras e maciças. Fitts (2015) argumentou que, em rochas ígneas e metamórficas, é muito difícil prever o movimento das águas subterrâneas, uma vez que essas rochas possuem uma porosidade muito baixa e sua permeabilidade é composta por uma rede irregular de pequenas fraturas. De modo geral, a permeabilidade da rocha e a densidade das fraturas diminuem conforme a profundidade, pois quanto mais profunda estiver a rocha, o peso da rocha que está acima é muito maior, fazendo a abertura média da fratura diminuir.

Todd (1967) expôs que as rochas ígneas são capazes de formar aquíferos permeáveis, sendo as rochas basálticas bastante permeáveis nos locais onde possuem fraturas. As zonas porosas das rochas vulcânicas são “brechas vulcânicas, zonas porosas entre leitos de lava, colunas de lava, fendas de contração e juntas” (TODD, 1967, p. 24-25).

Em terrenos compostos por rochas ígneas plutônicas e rochas metamórficas cristalinas, a permeabilidade por fraturas geralmente ocorre dentro de dezenas de metros e, em alguns casos, a poucas centenas de metros da superfície. As fraturas são causadas por mudanças nas condições de estresse que ocorreram durante vários episódios na história geológica das rochas (FREEZE; CHERRY, 2017, p. 180).

A capacidade de reabastecimento de água dos aquíferos nessas rochas está relacionada à quantidade de fraturas, bem como suas aberturas e intercomunicações, permitindo assim, que ocorram as infiltrações e o fluxo de água (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011). O basalto é um tipo rocha magmática extrusiva. A lava solidificada em basalto é muito fraturada por causa de seu rápido resfriamento, pois quando, na extrusão da lava, o magma sobe para superfície, formam-se fluxos de lava. Esses fluxos criam uma fina camada superficial sólida, e na medida que o magma derretido sobrejacente a essa camada se move, ela racha, se curva e se quebra. Dessa forma, essas fraturas, onde as águas subterrâneas ficarão armazenadas, podem ser tanto verticais quanto horizontais (FITTS, 2015).

Para concluir sobre as águas subterrâneas e comentar brevemente sobre as águas superficiais, é importante ressaltar que elas fazem parte do sistema circulatório do ciclo hidrológico. Como foi dito, as formações geológicas que contêm água atuam como reservatórios para o seu armazenamento. A capacidade de

armazenamento desses reservatórios permite que se originem grandes e importantes fontes de água, extensamente distribuídas entre os territórios para o abastecimento da população. As águas subterrâneas, emergindo pelas nascentes, auxiliam na manutenção dos cursos de águas superficiais quando essas são escassas ou inexistentes. Muitas vezes, a água bombeada dos poços é a única fonte de água de diversas regiões do planeta, por um extenso período do ano (TODD, 1967; GUSMÃO, 2002; FITTS, 2015; FREEZE; CHERRY, 2017).

Em relação às águas superficiais, elas são alimentadas, normalmente, por fluxos de águas que emergem do subsolo, por meio das nascentes e por escoamento superficial oriundo da água das chuvas. As águas superficiais que podem ser utilizadas para o consumo humano, segundo Shiklomanov (1998), correspondem a 0,26% de toda a água “doce” do mundo. Esses recursos estão nos rios e lagos. Os custos para a utilização das águas superficiais são bem menores do que os custos, em média, para a utilização das águas subterrâneas.

As águas superficiais, como rios, lagos, represas e açudes, podem, principalmente em regiões onde o solo não tem cobertura vegetal, receber muitos materiais como resíduos, sedimentos, nutrientes, entre outros. Esses materiais presentes na superfície do solo são arrastados pelo escoamento superficial da água ou por processos erosivos e, conseqüentemente, dependendo da sua concentração, podem atuar como contaminantes dos recursos hídricos próximos, causando, muitas vezes, conseqüências negativas à saúde animal e humana e ao meio ambiente (RESENDE, 2002).

Segundo Resende (2002), no Brasil, a maior parte do território do país é cortada por cursos de água que servem como fonte de abastecimento de fazendas, comunidades, vilas e até de metrópoles. Ainda conforme o autor, as águas superficiais são a principal fonte de abastecimento de água para o consumo doméstico e para outras finalidades no país (RESENDE, 2002). Assim, percebe-se o quão importante é a conservação e o uso sustentável desse recurso.

Os usos dos recursos hídricos são classificados como uso consuntivo e não consuntivo. O primeiro se refere à retirada de água de algum manancial para a utilização em diversas áreas e o segundo não envolve o consumo direto da água. “Um uso é considerado consuntivo quando a água retirada é consumida, parcial ou totalmente, no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d’água” (ANA, 2019, p. 9). Os principais usos consuntivos são para o abastecimento

humano, uso industrial, uso animal e para irrigação (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001). A água para o uso consuntivo pode ser extraída tanto da superfície quanto do subsolo.

Entretanto, os usos não consuntivos da água dependem exclusivamente da água superficial, como por exemplo, para a produção de energia por meio de hidrelétricas, navegação, entre outros (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001). Os “usos da água como a navegação, a pesca, o turismo e o lazer não afetam diretamente a quantidade de água local, embora dela dependam, sendo considerados usos não consuntivos” (ANA, 2019, p. 9).

Em relação ao uso da água, Alexandre Duarte Gusmão (2002, p. 23) afirmou que “a água subterrânea é a fonte de água potável para muitas pessoas em todo o mundo, especialmente nas áreas rurais” (GUSMÃO, 2002, p. 23), assim como a água superficial é de extrema relevância para o abastecimento de regiões onde não se têm acesso às águas subterrâneas.

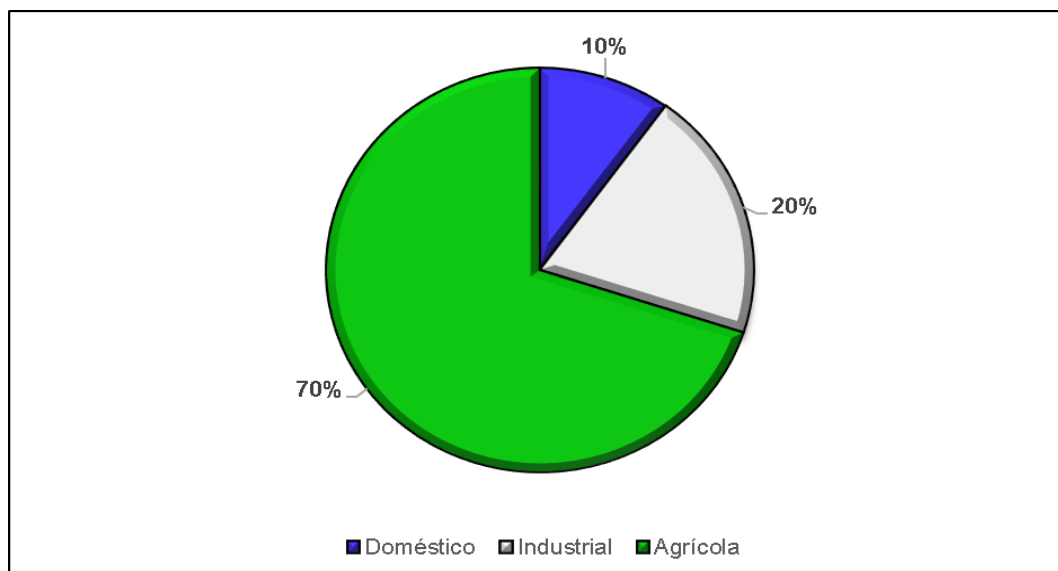
Fitts (2015) descreveu que as maiores taxas de uso da água advêm do consumo de bens e serviços, além do uso para a agricultura. As pessoas podem tentar economizar água que usam no seu dia a dia, como banho, lavar louça, entre outros, entretanto, isso só surtirá efeito se houver uma atenção especial de políticas públicas ao uso consciente e planejado da água para irrigação, produção de energia e indústria.

Ana Primavesi (1997) dissertou que, por mais que a água jorre pela torneira, fazendo o seu uso abundante nas duchas e descargas, nas cozinhas, entre outros, calcula-se que o uso doméstico não ultrapassa 6 a 8% do consumo total. Por mais que o consumo de água das fábricas seja enorme, o uso da água pelo setor industrial, para a refrigeração e veiculação de seus dejetos, é em torno de 21% do total da água consumida. A atividade que consome mais água é a agropecuária, tendo cerca de 71 a 72% de toda a água consumida, com seus confinamentos de bois, frangos e porcos, bem como irrigação na produção de alimentos.

Segundo a FAO (2018), com dados mais recentes, em todo o mundo, o uso doméstico de água responde por 10% de toda a água consumida. A indústria e a geração de energia correspondem 20%. Essa água é utilizada de diversas formas, desde esfriar turbinas e refinar petróleo a produzir eletricidade. Entretanto, é na agricultura, onde inclui-se pecuária, cultivos e silviculturas, que se utiliza a maior

quantidade de água, com o uso de 70%. Em alguns países menos desenvolvidos, esse número pode chegar a 90% (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Usos da água no mundo, 2018.



Fonte: FAO, 2018. Elaborado por Pereira, 2020.

Mesmo o uso da água para fins econômicos, como o uso agrícola e industrial, respondendo por cerca de 90% de toda a água consumida no mundo, e o uso doméstico, apenas por 10%, um terço da população do planeta ainda não dispõe de água de qualidade a um preço acessível, e 50% da população mundial não possui os serviços de saneamento de água, segundo dados da OMS (ZIEGLER, 2013). Mazoyer e Roudart (2010) declararam que mais de um bilhão de pessoas não possuem acesso à água potável e de qualidade.

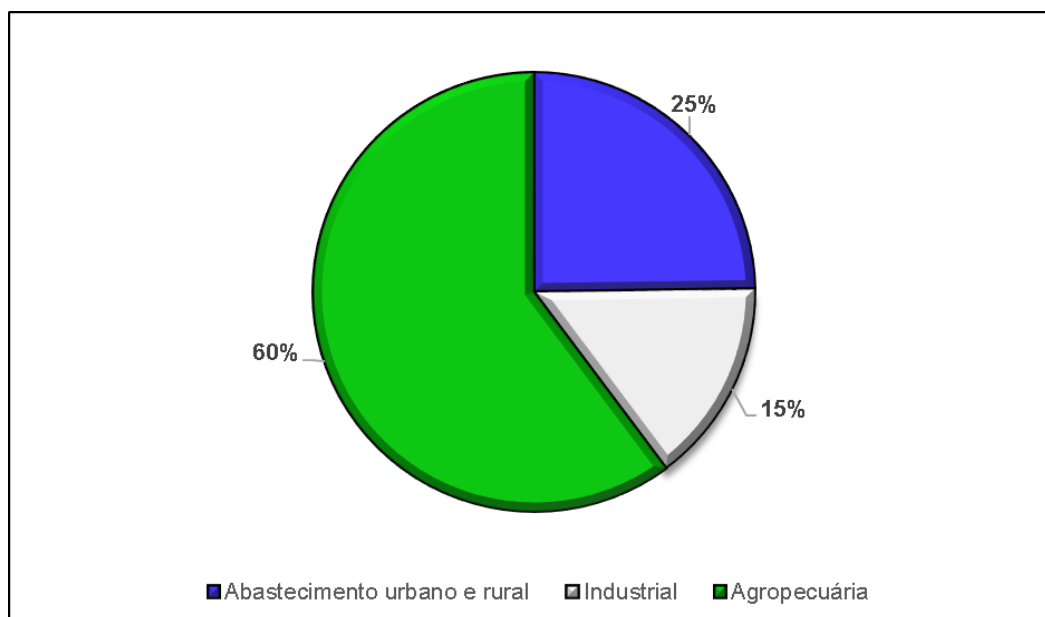
Cerca de 285 milhões de pessoas vivem na África Subsaariana sem acesso regular a uma água não poluída; na mesma situação encontram-se 248 milhões no Sul da Ásia, 398 milhões no Leste da Ásia, 180 milhões no Sudeste da Ásia e no Pacífico, 92 milhões na América Latina e no Caribe e 67 milhões nos países árabes (ZIEGLER, 2013, p. 247).

Dessa forma, é possível perceber que a população do continente asiático é a que mais sofre por falta de acesso a uma água de qualidade para o consumo humano. Jean Ziegler (2013, p. 247) afirmou que “não é preciso dizer que são os mais carentes aqueles que sofrem com maior rigor a falta de água”.

Em relação ao uso da água no Brasil, o país é privilegiado em relação aos recursos hídricos, pois possui, aproximadamente, cerca de 12% de toda a água doce disponível no mundo (MMA/ANA, 2007), entretanto, a sua distribuição ocorre de maneira desigual no espaço geográfico (TUNDISI; TUNDISI, 2011). A distribuição do uso da água no país, em relação à média nacional, indicou, em 2007, que um pouco menos de 1/3 da água utilizada era para o consumo humano (urbano e rural), enquanto que para o uso de irrigação, industrial e criação animal, ou seja, atividades produtivas, respondiam pelo restante do consumo. Dessa forma, o maior consumo de água no Brasil estava na irrigação, correspondendo 46% do total da água utilizada. Em segundo lugar estava o consumo humano urbano, respondendo por 27%, e em terceiro o uso industrial, com o consumo de 18% do total (MMA/ANA, 2007).

Em 2017, a irrigação passou a ser responsável por 52% das águas retiradas, desconsiderando a evaporação líquida em reservatórios artificiais. O abastecimento urbano correspondeu 23,8% do uso total, a indústria de transformação respondeu por 9,1%, enquanto que o abastecimento animal correspondeu a 8%. É importante destacar o uso de água para a geração termelétrica, que vem se tornando cada vez mais expressivo na contemporaneidade (ANA, 2019). Desta forma, no Brasil, o uso doméstico de água responde por 25% de toda a água consumida, o uso industrial corresponde por 15% e a agropecuária corresponde por 60% (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Usos da água no Brasil, 2017.



Fonte: ANA, 2019. Elaborado por Pereira, 2020.

De acordo com os dados apresentados sobre os usos da água no Brasil, percebe-se que o aumento do uso da água na irrigação passou, em 10 anos, de 46% para 52%, o uso para o abastecimento urbano passou de 27%, em 2007, para 23,8%, em 2017, e no setor industrial, esse número diminuiu de 18% para 15%. Assim, constata-se que o aumento do uso da água no setor agropecuário, correspondeu com a expansão do agronegócio no Brasil durante esse período.

“O Brasil encontra-se em situação bastante favorável em relação ao seu patrimônio hídrico, que poderá se tornar uma grande vantagem competitiva internacional caso venha a ser bem gerenciado” (AMA/ANA, 2007, p. 27). Dessa forma, o país pode tirar proveito disso no cenário internacional, relacionado às questões econômicas, políticas sociais e ambientais, uma vez que a demanda por água de qualidade está aumentando no mundo. Nesse sentido, o gerenciamento dos recursos hídricos é de fundamental importância para que o país possa fazer uso de seus recursos de maneira sustentável e assim poder exportar água ou produtos de bens e consumo que utilizam muita água na sua produção. Entretanto, segundo Tundisi e Tundisi (2011), a disponibilidade dos recursos hídricos do Brasil está distribuída de forma desigual em relação à densidade demográfica do país.

Por isso a importância de levantamentos, estudos e pesquisas relacionadas aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, para que os órgãos competentes possam elaborar e gerir políticas que atendam a demanda da população em relação ao acesso a uma água de qualidade, e também em relação à economia dos países os quais possuem o controle desses recursos. Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2019), até 2030, é previsto, no Brasil, que ocorra um acréscimo de 24% na demanda do consumo da água.

3.2 O CICLO DO NITROGÊNIO

Neste tópico, destaca-se como ocorre o ciclo do nitrogênio, abordando os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, ou seja, a transformação do nitrogênio em amônia, nitrito (NO_2^-), NO_3^- e depois a dissipação desses compostos na forma de nitrogênio, completando assim, o seu ciclo.

Na litosfera, o nitrogênio (N) está distribuído nas rochas, no fundo dos oceanos, nos sedimentos e na atmosfera, sendo que a crosta terrestre contém 98% do nitrogênio existente no planeta Terra. Na atmosfera, onde esse elemento existe

como gás (N_2), sua quantidade é cerca de um milhão de vezes maior do que o encontrado nos organismos vivos (VIEIRA, 2017).

No solo, as principais fontes de nitrogênio são materiais vegetais (adubos verdes, restos de cultura), de natureza animal, fertilizantes industriais, sais de amônio e NO_3^- transportados pela precipitação e também pela fixação biológica do nitrogênio por microrganismos, sendo os fertilizantes industriais e a fixação biológica os mais importantes (VICTORIA; PICCOLO; VARGAS, 1992).

Esse componente é um nutriente mineral encontrado nas plantas, frequentemente em pouca quantidade para sua nutrição e o quarto elemento comumente encontrado na sua composição, ficando atrás do carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). Os átomos de nitrogênio encontram-se em diferentes estados de oxidação e físicos. Esses diferentes estados se alteram devido à interação entre os organismos presentes no solo com as moléculas de nitrogênio (NICOLAI, 2001).

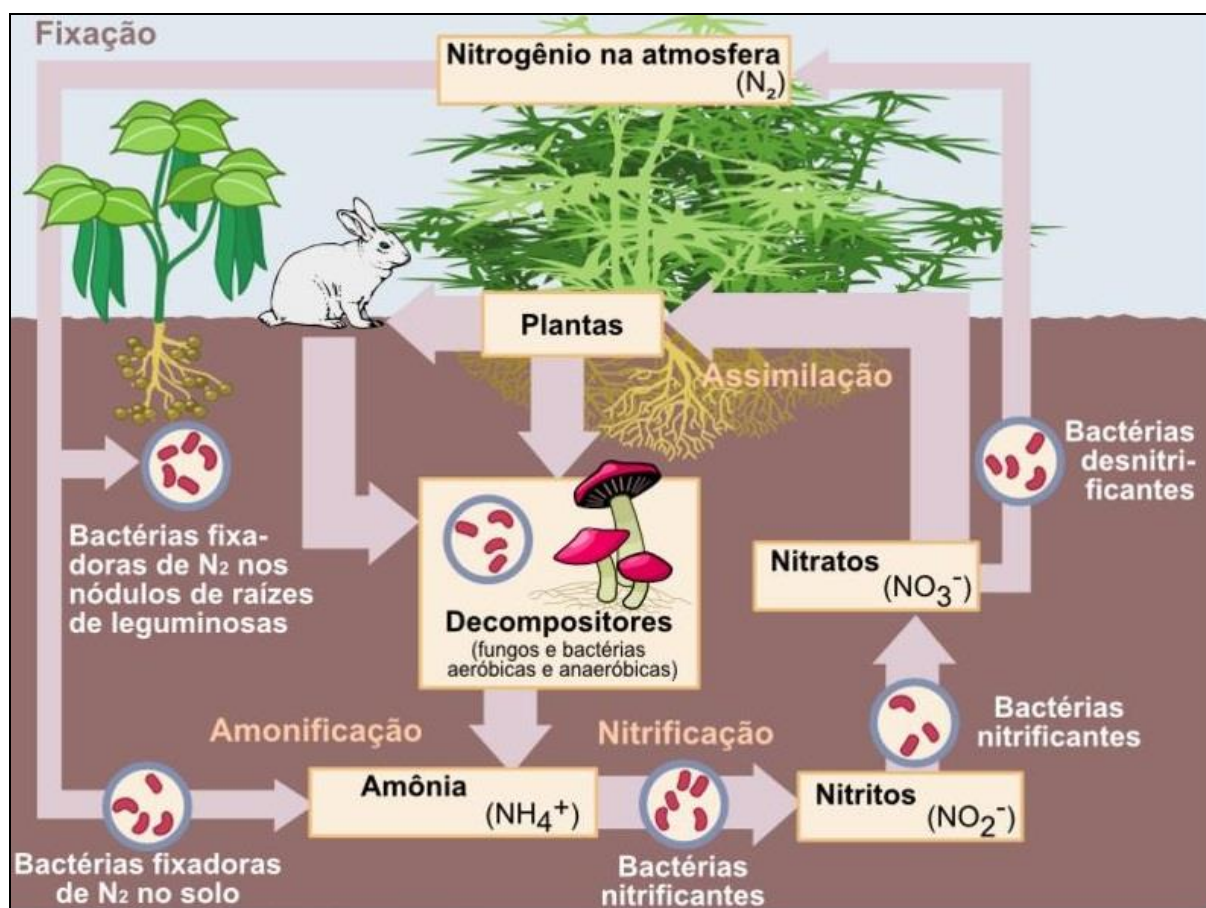
Segundo Vieira (2017), cerca de 95% do nitrogênio que se encontra no solo está em forma orgânica e somente metade desses componentes foram identificados. Existem também formas inorgânicas minerais nitrogenadas encontradas no solo (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) sendo bem caracterizadas, pois podem ser separadas e quantificadas. Mesmo estando em menores quantidades no solo, as formas inorgânicas têm grande importância em relação à nutrição das plantas, bem como em vários processos relativos ao ciclo do nitrogênio.

Ainda segundo a autora supracitada, essas duas classes de nitrogênio encontradas no solo, a orgânica e a inorgânica, apresentam-se das mais diversas maneiras, podendo ser solúveis e outras relativamente insolúveis, móveis e imóveis, podendo também estar disponíveis para a absorção pelas plantas e outras não. Esse elemento é extremamente mutável, variando de acordo com seu estado de oxidação.

Este elemento está sendo continuamente transformado nestas várias formas, por meio de uma complexa rede de reações físicas, químicas e biológicas. O N possui valências estáveis que vão desde -3, como no amônio (NH_4^+) onde ele está na forma mais reduzida, a +5, como no nitrato (NO_3^-) onde ele está na forma mais oxidada. Este elemento é, portanto, extremamente versátil, existindo em muitos estados de oxidação (VIEIRA, 2017, p. 9).

Essas alterações dos estados e movimentação dos compostos nitrogenados integram ciclo biológico do nitrogênio (Figura 1). Dessa forma, esse ciclo apresenta, essencialmente, as transformações que o nitrogênio passa neste planeta por meio da ação dos seres vivos (NICOLAI, 2001).

Figura 1 - Ciclo do Nitrogênio.



Fonte: QIEDUCAÇÃO, 2020.

Mysen (2019) explicou que além do ciclo biológico do nitrogênio, há o ciclo geológico no nitrogênio. O ciclo geológico do nitrogênio descreve como o nitrogênio pode ser transportado através do interior da Terra como um componente secundário em minerais ou em solução em líquidos e fluidos magmáticos.

No ciclo biológico, o nitrogênio é extraído da atmosfera e usado por bactérias fixadoras de nitrogênio para produção de energia. Os resíduos de nitrogênio dessas bactérias são liberados como NH_4^+ , alguns dos quais são oxidados em NO_3^- e, posteriormente, podem ser transformados em N_2 e devolvidos aos oceanos e à atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BERNICE, 2010; VIEIRA, 2017; MYSEN, 2019).

O nitrogênio, mesmo que em pouca quantidade, ainda permanece como NH_4^+ dissolvido em minerais de argila e carbonatos. A partir daí, esse nitrogênio começa a fazer parte do ciclo geológico. Esse ciclo tem início com a sedimentação e diagênese e termina com a liberação de fluidos ou com a fusão félsica em grandes profundidades na crosta ou até mesmo no manto superior. Assim, o NH_4^+ dissolvido em minerais pode ir para o manto e o restante pode ser liberado como gás N_2 , retornando à atmosfera e aos oceanos (MYSEN, 2019).

Mysen (2019) argumentou que a entrada de nitrogênio para o interior da terra excede a massa de saída em duas ou até três vezes. Dessa forma, o autor escreve que uma parte do nitrogênio, em forma de NH_4^+ , levado para interior do manto da terra pode não retornar para a superfície do planeta.

Dissertando sobre o ciclo biológico do nitrogênio, ele se passa, em sua grande parte, especialmente na camada superficial do solo, possuindo diversos meios de entrada e saída de nitrogênio do sistema, que de modo muito complexo, acaba formando uma sucessão de reações, principalmente bioquímicas. O homem consegue influenciar praticamente todos os processos do ciclo do nitrogênio, por meio de técnicas agrícolas modernas (VICTÓRIA; PICCOLO; VARGAS, 1992).

O nitrogênio e seus diversos estados de oxidação se movimentam pelo sistema por meio da “precipitação, sedimentação em sistemas aquáticos, vento, movimento das águas subterrâneas e superficiais e volatilização” (BERNICE, 2010, p. 4). Esses mecanismos que fazem o transporte e que são primariamente responsáveis pela movimentação do nitrogênio “são controlados pela temperatura, pH, flora, microbiologia, potencial de oxidação e redução, e a disponibilidade no substrato de nutrientes e oxigênio” (BERNICE, 2010, p. 4). As alterações desses compostos nitrogenados incluem, principalmente, os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação (BERNICE, 2010).

3.2.1 Amonificação

A amonificação, também chamada de mineralização do nitrogênio orgânico (MNO_r), dá-se por meio de um processo enzimático resultado da conversão de formas orgânicas do nitrogênio para formas inorgânicas, as quais ficam disponíveis para as plantas. Esse processo enzimático é feito por microrganismos heterotróficos,

aeróbios e anaeróbios, utilizando os resíduos vegetais como fonte de carbono, nitrogênio e energia (VIEIRA, 2017).

Segundo Bernice (2010), os compostos nitrogenados são decompostos rapidamente por organismos vivos que vivem nos solos em substâncias mais simples, sendo as bactérias saprófitas e diversas espécies de fungos as principais responsáveis por realizar a decomposição desses materiais orgânicos. Dessa forma, esses microrganismos, durante o processo de decomposição dos materiais orgânicos, faz o uso das proteínas e dos aminoácidos como fonte para suas próprias proteínas e liberam o nitrogênio em forma de amônio.

Os compostos resultantes desse processo podem ser absorvidos ou mineralizados para a forma amoniacal [NH_3 , amônia (forma gasosa); NH_4^+ , amônio]. A amônia tem uma reação rápida com a água, formando íons amônio (VIEIRA, 2017). De acordo com Bernice (2010), a amônia originada do processo de amonificação, dissolve-se na água do solo, formando íon amônio. Quando esse composto químico está em condições de pH elevado, ele predomina e pode ser perdido para a atmosfera (VIEIRA, 2017).

Ainda segundo Vieira (2017), essas interações que ocorrem entre as enzimas extracelulares, os materiais nitrogenados orgânicos e os minerais dos solos são complexas. Todos esses materiais, enzimas, o nitrogênio orgânico e os minerais, podem ser adsorvidos às argilas, estabilizando-se e ficando protegidos da degradação.

As atividades dos microrganismos no solo são, em grande parte, um dos principais fatores que afetam a mineralização do nitrogênio orgânico. Entretanto, a umidade do solo também contribui para a mineralização, bem como o pH do solo, sendo esse um importante condicionante desse processo. A faixa de pH em torno de 6 a 7, via de regra, fornece as condições mais propícias à atividade dos microrganismos, constituindo assim, uma situação adequada à mineralização do nitrogênio orgânico (VIEIRA, 2017).

Diante disso, a amônia pode, naturalmente, estar presente na água, tanto na superfície quanto subterrânea, de modo que sua concentração, comumente, é muito baixa, por causa de sua facilidade de adsorção por partículas dos solos ou então a sua oxidação em NO_2^- e NO_3^- (ALABURDA; NISHIHARA, 1998), resultante do processo de nitrificação.

3.2.2 Nitrificação

A amônia (NH_3) produzida e liberada pelos microrganismos, que entra em equilíbrio formando o amônio (NH_4) no solo, continua passando por transformações, convertendo-se em NO_2^- , que posteriormente, converte-se NO_3^- . Esse processo chama-se nitrificação (MOREIRA; SIQUEIRA (2006). Dessa forma, “a nitrificação é a conversão de amônia a nitrato através da ação de microrganismos” (NICOLAI, 2001, p. 16).

O processo de oxidação do amoníaco, que produz NO_3^- a partir desse íon, é realizado por bactérias e isso ocorre em duas fases. A primeira é quando o amoníaco se converte em NO_2^- , a segunda é quando o NO_2^- , originado a partir do amônio, converte-se em NO_3^- , podendo assim, ser assimilado pela planta (BERNICE, 2010).

Segundo Moreira e Siqueira (2006), a nitrificação microbiana do amônio a NO_3^- é feita por bactérias quimiautotróficas, que utilizam esse processo como fonte de energia para a fixação do CO_2 . Esse processo ocorre em duas etapas denominadas de nitritação e nitratação. A nitritação se dá na transformação do amônio em NO_2^- por meio de bactérias do gênero *Nitrosomonas*. A nitratação ocorre quando o NO_2^- se converte em NO_3^- , por meio das atividades das bactérias do gênero *Nitrobacter* (NICOLAI, 2001; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Além da nitrificação por microrganismo do Domínio Bactéria, há também a nitrificação por microrganismos do Domínio Arqueia. Existem ainda diversos fatores que afetam o processo de nitrificação pelas bactérias e arqueias oxidantes da amônia como os fertilizantes hidrogenados, o pH do solo, a umidade do solo e os metais pesados (VIEIRA, 2017).

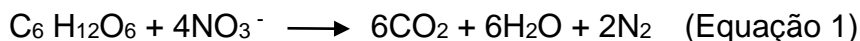
Moreira e Siqueira (2006) também descrevem os diversos fatores que influenciam na nitrificação. Além dos fatores citados anteriormente, adiciona-se aeração, matéria orgânica e relação C:N. É importante ressaltar que a principal nitrificação do solo ocorre por meio da nitrificação bacteriana.

3.2.3 Desnitrificação

A desnitrificação é um processo em que o nitrogênio volta à atmosfera em forma de gás. Isso se dá pela redução microbiológica de NO_3^- para o óxido nitroso

(N₂O) ou nitrogênio molecular (N₂). Diante disso, grande parte dos microbiologistas afirmam que a desnitrificação é um processo de redução respiratória do NO₃⁻ e/ou NO₂⁻ para as formas gasosas de NO, N₂O ou N₂, ligada à fosforilação no momento do transporte dos elétrons (VIEIRA, 2017). Esse processo tem uma grande importância geoquímica e ambiental, sendo realizado pelas bactérias anaeróbicas facultativas, que representam entre 0,1 a 5% de todas as bactérias que vivem no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Vieira (2017) afirmou que os microrganismos usam o NO₃⁻ comoceptor terminal de elétrons, no caso da falta de oxigênio para a respiração aeróbica normal, realizando dessa forma, a respiração anaeróbica. Bernice (2010) relatou que esse processo se dá por meio de algumas bactérias em ambiente anaeróbico, sendo que, essas bactérias fazem o uso do NO₃⁻, como forma alternativa ao oxigênio, respirando e liberando o N₂. Assim, na respiração anaeróbica ocorre a seguinte reação, segundo Vieira (2017) (Equação 1):



Observando a equação acima, “verifica-se que para conduzir o processo de desnitrificação, os microrganismos também necessitam de matéria orgânica oxidável, que atuará como fonte de carbono e de elétrons” (VIEIRA, 2017, p. 31).

Para que ocorra a desnitrificação, o primeiro passo se dá pela redução do NO₃⁻ para o NO₂⁻, que em seguida, é catalisado pela enzima redutase do NO₃⁻, e sua síntese e as atividades são impossibilitadas pelo oxigênio. Dessa forma, a redutase do NO₂⁻ catalisa a sua transformação do para o óxido nítrico (VIEIRA, 2017).

Esta enzima é encontrada no periplasma e existe em duas formas, uma contendo Cu e outra na forma heme. A redutase do óxido nítrico, uma proteína ligada à membrana, catalisa a conversão do óxido nítrico (NO) para óxido nitroso (N₂O) e também tem a sua síntese inibida pelo oxigênio e induzida por várias formas de óxidos de nitrogênio. A redutase do óxido nitroso, uma proteína encontrada no periplasma, contém Cu e converte óxido nitroso para N₂ (VIEIRA, 2017, p. 32).

Portanto, a desnitrificação é um processo biológico muito importante, pelo qual o N reativo retorna à atmosfera na forma de N₂ (VIEIRA, 2017). Ao encontro disso, Gilberto Nicolai (2001) expôs que a ocorrência desse processo de forma

biológica se dá por meio dos microrganismos que convertem o NO_3^- em nitrogênio gasoso, removendo, desta maneira, o nitrogênio presente no solo.

Esse processo é de suma importância para o ciclo geoquímico do nitrogênio, e os fatores edafoclimáticos que o regulam são a umidade, a aeração do solo, o oxigênio, o pH, a temperatura, o teor de NO_3^- e de carbono e os metais pesados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; VIEIRA, 2017).

3.3 O NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Neste tópico, foi discorrido sobre o NO_3^- e como esse íon pode contaminar as águas subterrâneas. Além disso, discutiu-se também as consequências negativas que a ingestão de altas concentrações de NO_3^- , via água ou alimento, pode causar aos seres humanos, bem como os impactos ao meio ambiente.

O NO_3^- tem sua origem a partir dos processos químicos e microbiológicos que acontecem no ar, no solo, na planta e na água. No mundo, esse íon “é o contaminante inorgânico de maior ocorrência em aquíferos [...] devido à alta mobilidade e persistência” (CRH/CTAS, 2019, p. 2). Dessa forma, sua ocorrência causou e causa preocupação entre os gestores dos recursos hídricos por causa do aumento do número de casos de contaminação das águas subterrâneas, tanto no Brasil quanto em vários países (CRH/CTAS, 2019).

Oliveira *et al.* (1987) dissertaram que o NO_3^- , bem como os óxidos de nitrogênio, são reconhecidos como poluentes em água e ar. O NO_3^- pode estar presente, naturalmente, no solo, plantas, carnes, entre outros, contendo em sua composição uma quantidade menor que 10 $\mu\text{g/l}$. Entretanto, os teores de NO_3^- podem ser aumentados por causa de proteínas em decomposição originadas de plantas, animais e excrementos, pelo uso de fertilizantes nitrogenados, além de resíduos e dejetos oriundos de indústrias.

Resende (2002) dissertou que o ânion aqui discutido, entre os compostos nitrogenados, é o principal contaminante da água pelas atividades agrícolas. Isso se dá pelo motivo de que o NO_3^- tem propensão a manter-se em solução, sobretudo nas camadas superiores do solo, por causa de sua fragilidade em se ligar nas cargas positivas dos coloides. A matéria orgânica repele o NO_3^- e os fosfatos utilizados na adubação acabam ocupando as cargas positivas que estão disponíveis.

Segundo Alaburda e Nishihara (1998), o NO_3^- é comumente encontrado em águas naturais, sendo que, geralmente, nas águas superficiais apresenta baixos teores, entretanto, apresenta altas concentrações em águas profundas. Conforme Varnier *et al.* (2010), ele é um indicador de contaminação das águas subterrâneas, pois atinge grandes áreas por causa da sua alta mobilidade, sendo o contaminante de maior frequência no mundo.

Com o NO_3^- na solução do solo, cria-se uma condição favorável para que se tenha um processo de lixiviação desse íon, e dessa forma, ao longo do tempo, as concentrações de NO_3^- nas águas subterrâneas podem ter um aumento considerável (RESENDE, 2002).

A contaminação por NO_3^- pode se dar de diversas maneiras. O NO_3^- pode chegar aos aquíferos por meio do sistema de saneamento, tendo principalmente como fontes as fossas sépticas e negras, além de vazamentos das redes que coletam o esgoto (VARNIER *et al.*, 2010). França *et al.* (2006) explanaram que o NO_3^- pode chegar aos aquíferos por meio da lixiviação de áreas agrícolas e também de esgotos domésticos e industriais. Valmor Freddo (2018) afirmou que as principais fontes diretas de NO_3^- que é encontrado nas águas subterrâneas são dos fertilizantes minerais, dos resíduos de plantas que ficam na superfície do solo e no próprio solo, em zonas subsuperficiais, além dos dejetos de esgotos.

Nicolai (2001) descreveu em sua pesquisa que os dejetos suínos, o saneamento *in situ*, os cemitérios e os fertilizantes agrícolas são fontes potenciais de contaminação por NO_3^- em águas subterrâneas. “O excesso de nitrogênio acrescentado às culturas agrícolas via fertilização também pode ser fonte de contaminação de água superficial e subterrânea, resultado da perda de NO_3^- por lixiviação em solos” (FREDDO, 2018, p. 80).

O NO_3^- , além do nitrogênio amoniacal e albuminoide e do NO_2^- , ou seja, os compostos de nitrogênio em seus estados de oxidação, estão entre as substâncias que podem causar risco à saúde humana, dependendo da sua concentração (ALABURDA E NISHIHARA, 1998).

Esse íon é um indicador de contaminação e poluição das águas subterrâneas pela ação antrópica, sendo um parâmetro de suma importância. Dessa forma, a ocorrência de NO_3^- em altas concentrações nas águas subterrâneas tem sido associada ao risco de doenças graves (FREDDO, 2018). “Diversas doenças

como o câncer e problemas respiratórios têm sido associadas ao consumo de água contaminada com NO_3^- ” (VIEIRA, 2017, p. 128).

Muitos autores, como Alaburda e Nishihara (1998), Moreira e Siqueira (2006), França *et al.* (2006), Vieira (2017), Freddo (2018), entre outros, explanaram que o consumo de água contaminada por NO_3^- , pode causar inúmeros efeitos adversos à saúde. Dentre esses efeitos estão a indução à meta-hemoglobinemia, principalmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA E NISHIHARA, 1998). “Concentrações elevadas podem causar meta-hemoglobinemia em crianças” (FRANÇA *et al.*, 2006, p. 96).

Concentrações de nitratos e nitritos em alimento e água constituem um risco para a saúde dos adultos; porém, em crianças até 3 meses, o teor é crítico uma vez que o sistema enzimático do trato gastrointestinal não está totalmente desenvolvido e, nestas condições, a formação de meta-hemoglobina aumenta, resultando em condição clínica característica (meta-hemoglobinemia) (OLIVEIRA *et al.*, 1987, p. 25).

A ingestão de NO_3^- em altas concentrações pode causar problemas de saúde aos seres humanos e animais. Como foi dito, a meta-hemoglobinemia é um desses problemas. Nesse caso, quando o NO_3^- é consumido, sofre a redução para NO_2^- , oxidando o Fe_2^+ para Fe_3^+ da fração hemo da hemoglobina, transformando a hemoglobina em meta-hemoglobina, reduzindo assim, a capacidade do transporte do O_2 por meio do sangue para todo o corpo. Nesses casos, pode levar à morte por asfixia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Fernícola e Azevedo (1981) descreveram que a hemoglobina tem a função biológica de transportar o oxigênio aos tecidos. Sua composição é formada por quatro átomos de ferro em estado de oxidação 2^+ . Quando a hemoglobina sofre oxidação (Fe_3^+), tem-se a meta-hemoglobina, que tem a cor marrom-esverdeado, fazendo com que não ocorra o transporte de oxigênio. Desta forma, elevado teor de meta-hemoglobina pode comprometer a saúde, causando risco de morte.

As crianças pequenas são mais susceptíveis que os adultos à formação de meta-hemoglobina, devido a fatores como: (a) sua ingestão total de líquidos por kg de peso corporal é cerca de 3 vezes maior que a do adulto; (b) a secreção gástrica ácida é incompleta e faz com que o pH estomacal fique entre 5 e 7, o que permite a adaptação de bactérias redutoras de NO_3^- à parte alta do trato gastrointestinal e assim o nitrito resultante é absorvido; (c) a

hemoglobina fetal (hemoglobina F) é mais facilmente convertida à meta-hemoglobina do que a adulta (hemoglobina A) e as crianças pequenas têm consideráveis quantidades da hemoglobina F; (d) as crianças menores, por deficiência de algumas enzimas, têm maior dificuldade para reduzir a meta-hemoglobina (FERNÍCOLA; AZEVEDO, 1981, p. 242-243).

Além do NO_3^- , existem diversas substâncias que podem produzir a meta-hemoglobina, como por exemplo NO_2^- , fenacetina, acetanilida, sulfanilamida, cloratos, nitrobenzeno, entre outros. Já foram constatados vários casos de óbitos por meta-hemoglobinemia em crianças de menos de 6 meses por terem bebido água de poço com alto teor de NO_3^- (FERNÍCOLA; AZEVEDO, 1981).

Além da meta-hemoglobina, a ingestão de água contaminada por NO_3^- pode estar relacionada à ocorrência de cânceres, como por exemplo o gástrico e o linfático. As reações que ocorrem entre as aminas e amidas, duas substâncias presentes no corpo humano, com o NO_2^- e o NO_3^- , podem fazer com que ocorra a formação de nitrosaminas e nitrosamidas, sendo que essas duas substâncias são conhecidas por serem cancerígenas (CRH/CTAS, 2019).

“O pH ótimo para a reação de nitrosaminação é entre 2,5 a 3,5, faixa semelhante à encontrada no estômago humano após a ingestão de alimentos” (ALABURDA; NISHIHARA, 1998, p. 162). Segundo as autoras, as nitrosaminas e as nitrosamidas estão associadas ao aparecimento de tumores em animais de laboratório. No corpo humano, essas substâncias podem ter origem na reação entre o NO_2^- ingerido, ou pela redução bacteriana do NO_3^- , com as aminas secundárias ou terciárias e amidas contidas nos alimentos consumidos pelo ser humano.

Além dessas doenças, o NO_3^- em excesso, pode ser prejudicial ao meio ambiente. Resende (2002) dissertou que, assim como o fósforo, a alta concentração de NO_3^- em águas superficiais pode causar a eutrofização dos mananciais. A eutrofização é o “excesso do crescimento das plantas no solo e algas nos corpos d’água” (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Resende (2002) e Tundisi e Tundisi (2011) explicaram que concentrações elevadas de NO_3^- nas águas favorecem a proliferação de plantas e algas aquáticas, reduzindo a penetração de luz na água, e desta forma, modificam o ambiente subaquático. Outro problema é a redução de oxigênio na água provocada pela própria respiração das plantas que se proliferam e pelos restos das plantas e algas

mortas que, com a eutrofização, aumentam exageradamente, culminando na morte de peixes e outros organismos, desequilibrando assim, o ecossistema aquático.

Dessa forma, as pesquisas relativas às concentrações de NO_3^- em águas subterrâneas são de suma relevância, uma vez que esse íon pode ocasionar diversos impactos negativos à sociedade. É uma das substâncias mais utilizadas na produção agrícola e, que segundo Freddo (2018), é essencial para o cultivo das plantas, apesar de ser considerada nociva à saúde dos indivíduos quando em altas concentrações.

A contaminação das águas por NO_3^- , bem como por compostos nitrogenados, tem se tornado um problema mundial, dado ao fato de que sua origem é ampla e diversa, e dessa forma, vem merecendo atenção (ALABURDA E NISHIHARA, 1998). Assim, pesquisas devem ser feitas para comprovar ou refutar os males causados pelo NO_3^- , identificar outros malefícios causado por ele, bem como espacializar a sua concentração em águas superficiais e subterrâneas.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A delimitação do recorte espacial para esta pesquisa foi proposta com intuito de analisar a distribuição espacial e a concentração de NO_3^- dos poços tubulares do SASG que se localizam em vinte municípios da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná. Desta forma, é necessário que se apresente, mesmo que brevemente, as características físico-geográficas e socioeconômicas do recorte delimitado, pois, de certa forma, essas características também influenciam ou podem influenciar na concentração de NO_3^- das águas subterrâneas do SASG. Os tópicos abordados neste capítulo foram: localização da área de estudo, geologia, geomorfologia, pedologia, clima, hidrografia e dados socioeconômicos.

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O recorte espacial desta pesquisa, como mencionado, é composto por vinte municípios que estão localizados na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, encontrando-se geologicamente no Grupo Serra Geral, antes denominado de Formação Serra Geral (LICHT; ARIOLI, 2018), tendo como limites o rio Tibagi a oeste, o rio das Cinzas a leste e o rio Paranapanema a norte¹. (Figura 2). Para a delimitação da área deste estudo, também se levou em consideração o território dos municípios.

Os municípios selecionados para o recorte espacial deste estudo são: Abatiá, Assaí, Bandeirantes, Congonhinhas, Cornélio Procopio, Leópolis, Jataizinho, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, Rancho Alegre, Ribeirão do Pinhal, Santa Amélia, Santa Cecília do Pavão, Santa Mariana, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São Sebastião da Amoreira, Sertaneja e Uraí (Figura 3).

¹ Ver subcapítulos 4.2 e 4.3. Nesses tópicos foram realizadas as discussões sobre os aspectos geológicos e geomorfológicos da área de estudo.

Figura 2 - Limites da área de estudo: Grupo Serra Geral, tendo como limites os rios Tibagi a oeste, Cinzas a leste e Paranapanema a norte.

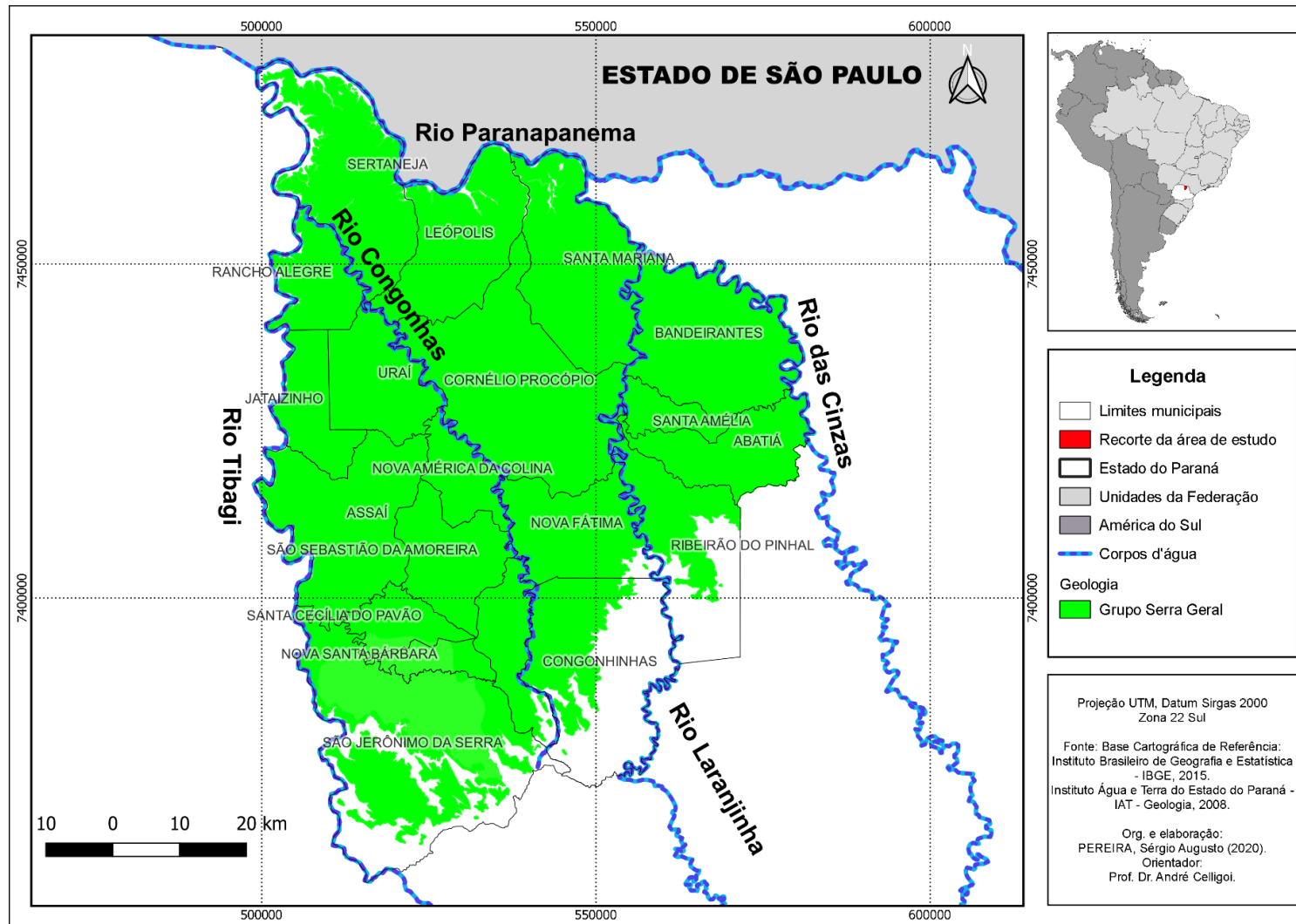
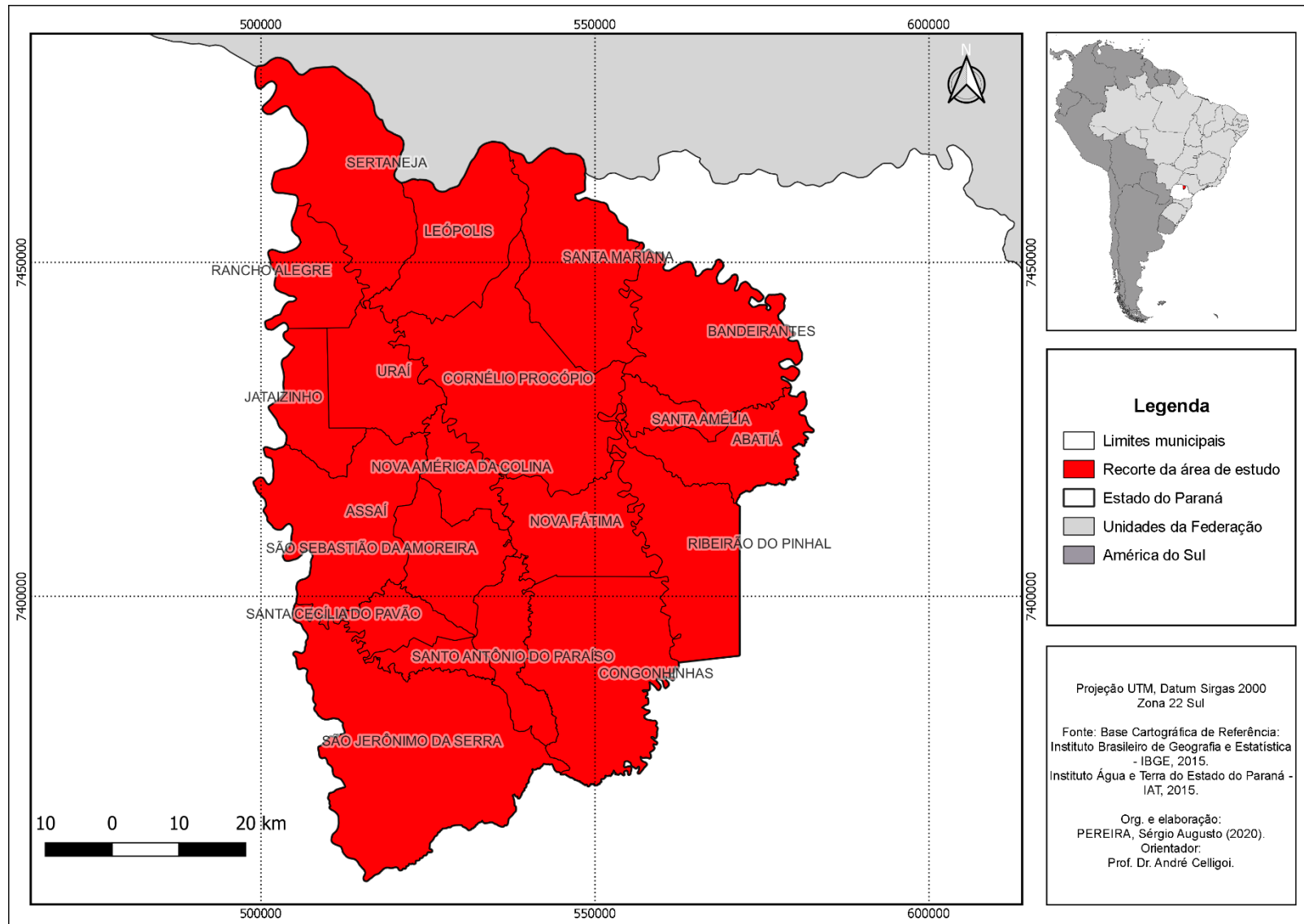


Figura 3 - Localização da área de estudo composta por vinte municípios da Região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná.



4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Caracterizar a geologia do recorte espacial deste estudo é importante para a pesquisa, pois os poços tubulares pesquisados se encontram no Grupo Serra Geral (Figura 4), que é constituído, comumente, por rochas ígneas (basalto) intercaladas com arenitos com as características pertencentes à Formação Botucatu da Era Mesozoica (252 a 66 milhões de anos) (PINESE, 2002; SCORTEGAGNA, 2005).

4.2.1 Grupo Serra Geral

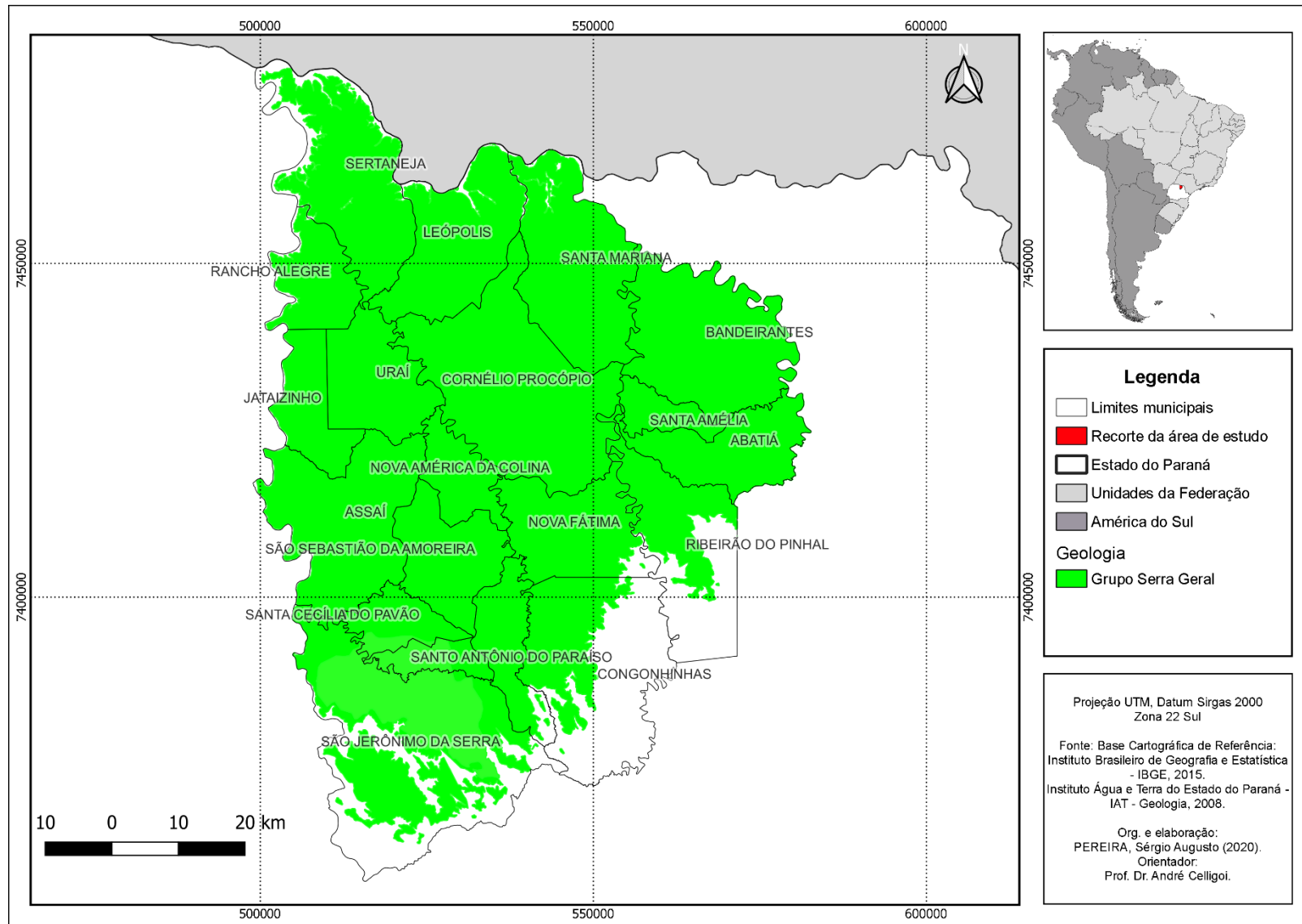
O vulcanismo do Grupo Serra Geral foi um dos maiores do mundo (PINESE; STIPP; OLIVEIRA, 2000). O Grupo Serra Geral faz parte do Supergrupo São Bento, antes denominados de Formação Serra Geral e Grupo São Bento, respectivamente (LICHT; ARIOLI, 2018). “Ele aflora nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná (vide regiões de Londrina, Sertanópolis e Jataizinho), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais” (PINESE, 2002, p. 34).

As rochas desse grupo se originaram a partir dos derrames magmáticos há cerca de 115 a 135 milhões de anos, tendo sua origem associada à ruptura da Gondwana (FRAGA, 1986). Existem fortes evidências que o vulcanismo no Paraná tenha iniciado há 135 milhões de anos, e um enorme volume da província se formou nos primeiros 1 milhão de anos após o início dos derrames (BAKSI, 2018).

A sequência de derrames é composta por uma série de unidades superpostas, oriundos de um vulcanismo fissural de condições não explosivas, originando extensos platôs, que atualmente estão dissecados pelos processos erosivos de outrora (FRAGA, 1986; PICCIRILLO; MELFI, 1988). Quanto mais a oeste, as rochas basálticas são mais profundas e espessas, com 1.000 metros de espessura, sendo que no Paraná a espessura máxima das rochas basálticas é de 1400 metros, na região do Alto Piquiri (ARAÚJO; FRANÇA; POTTER, 1995; MAACK, 2002).

O Grupo Serra Geral é constituído por uma sucessão de derrames de rochas magmáticas, predominantemente basaltos (MINEROPAR, 2001; LICHT; ARIOLI, 2018). Esses basaltos se encontram, geralmente, bastante fraturados, com fraturas conchoidais características, sendo consequência de um intenso magmatismo fissural (FILHO; KREBS; GIFFONI, 2006).

Figura 4 - Mapa da localização do Grupo Serra Geral na área de estudo.



Conforme dissertou Celligoi (1993), as rochas basálticas apresentam, comumente, estruturas microcristalina, maciça e vesicular e/ou amigdaloidal, além de fraturas. Uma característica marcante nas rochas basálticas são as esfoliações esferoidais, presentes em rochas com estruturas maciças e em estruturas, apesar de serem mais raras, vesico-amigdaloidais

Nos derrames mais espessos a zona central é maciça, microcristalina, fraturada por juntas subverticais de contração dividindo a rocha em colunas. A parte superior dos derrames, numa espessura que pode alcançar 20 m, toma aspecto melafírico, aparecendo vesículas e amígdalas, com frequência alongadas horizontalmente, e sendo aí maior a porcentagem de matéria vítrea na rocha. As amígdalas são parciais ou inteiramente preenchidas por calcedônia e zeólitas (PINESE, 2002, p. 34).

Piccirilo e Melfi (1988) descrevem que os derrames basálticos no Brasil afetaram uma área de cerca de 1.200.000 km², correspondendo a uma área de 75% da Bacia Sedimentar do Paraná, solidificando-se diretamente em contato com a Formação Botucatu.

O Grupo Serra Geral limita-se a leste, no estado do Paraná, pela borda do Terceiro Planalto, também chamado de Serra da Boa Esperança (LICHT; ARIOLI, 2018). “Pelo fato do estado do Paraná situar-se numa posição central na Província Ígnea do Paraná, as rochas vulcânicas aflorantes representam cerca de 90.000 km² de seu território” (LICHT; ARIOLI, 2018, p. 107). Se considerar a área que está sobreposta pela sequência sedimentar das Formações Bauru e Caiuá, a área representa, no estado do Paraná, cerca de 120.000 km², ou seja, em torno de 60% do território paranaense (LICHT; ARIOLI, 2018).

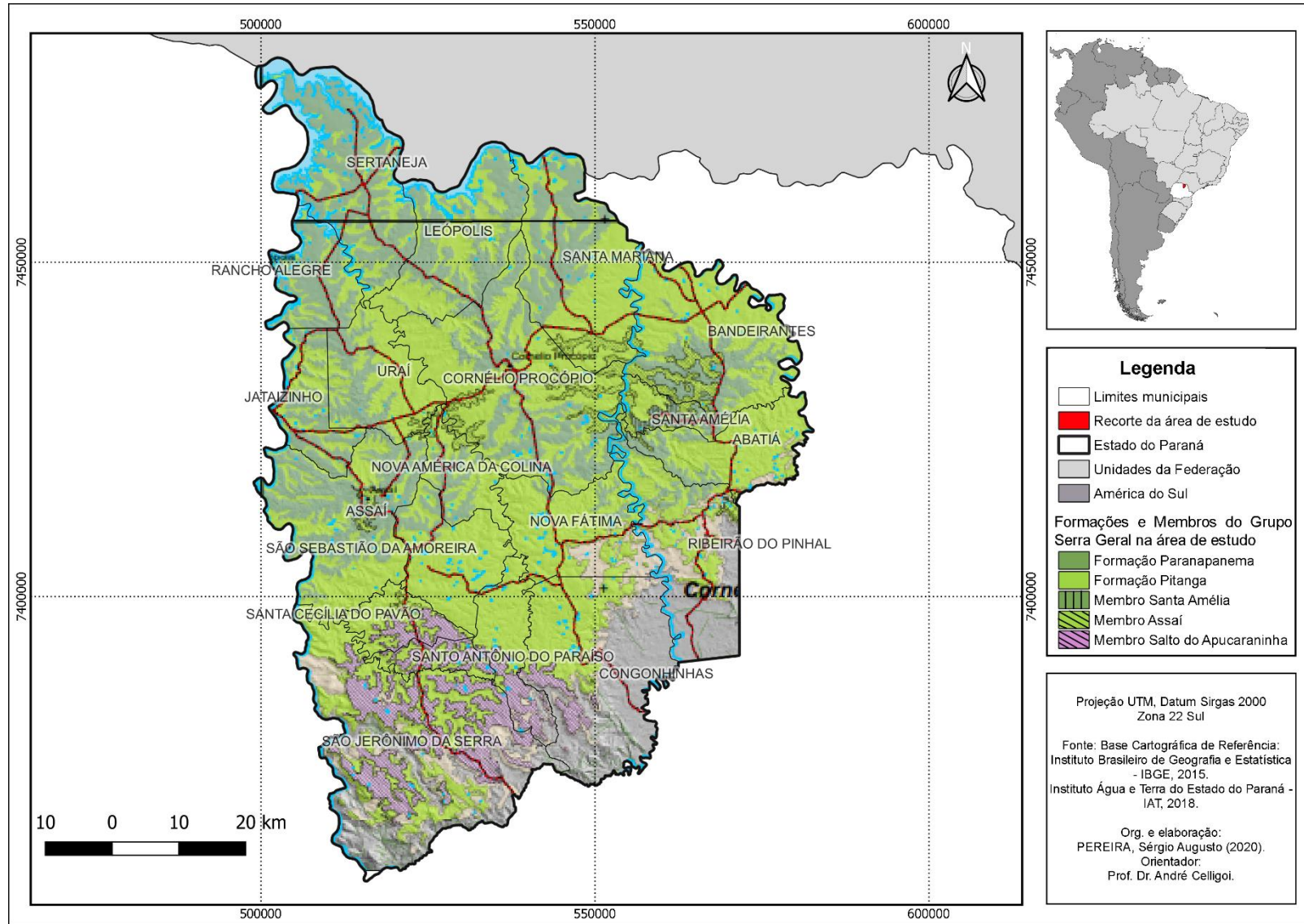
Durante a Era Mesozoica, os processos tectono-magmáticos que ocorreram reativaram o Arco de Ponta Grossa e afetaram os demais compartimentos geológicos, originando densos enxames de diques de diabásio, diorito, diorito pórfiro e quartzo diorito (MINEROPAR, 2001).

Licht e Arioli (2018) explanaram que o Grupo Serra Geral é subdividido em dois subgrupos, sendo o Subgrupo Serra Geral Sul e o Subgrupo Serra Geral Centro-Norte. O recorte deste estudo se localiza no Subgrupo Serra Geral Centro-Norte. Esse Subgrupo foi dividido em duas formações: a Formação Paranapanema e a Formação Pitanga. Na área de estudo, na Formação Paranapanema, apresenta-se

o Membro Santa Amélia. Na Formação Pitanga, apresentam-se os Membros Assaí e Salto do Apucarantina (LICHT; ARIOLI, 2018).

Na figura 5, a cor verde-escura representa a Formação Paranapanema e a cor verde, a Formação Pitanga. Na área central da área de estudo apresentam-se os membros Santa Amélia, em verde escuro com listras verticais, e Assaí, em verde com listras diagonais à esquerda. A cor roxa com listras diagonais à esquerda representa o Membro Salto do Apucarantina. A área em cor cinza na figura 5 corresponde ao Segundo Planalto Paranaense (Figura 5).

Figura 5 - Unidades Geológicas do Grupo Serra Geral da área de estudo (2018).



4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

O recorte espacial delimitado para este estudo se localiza no Terceiro Planalto Paranaense, chamado também de Planalto de Guarapuava. “A designação de planalto de Guarapuava é o nome antigo de uma época em que ainda não existiam as grandes cidades novas no Norte do Paraná, como Londrina, Apucarana e Maringá” (MAACK, 2002, p. 419).

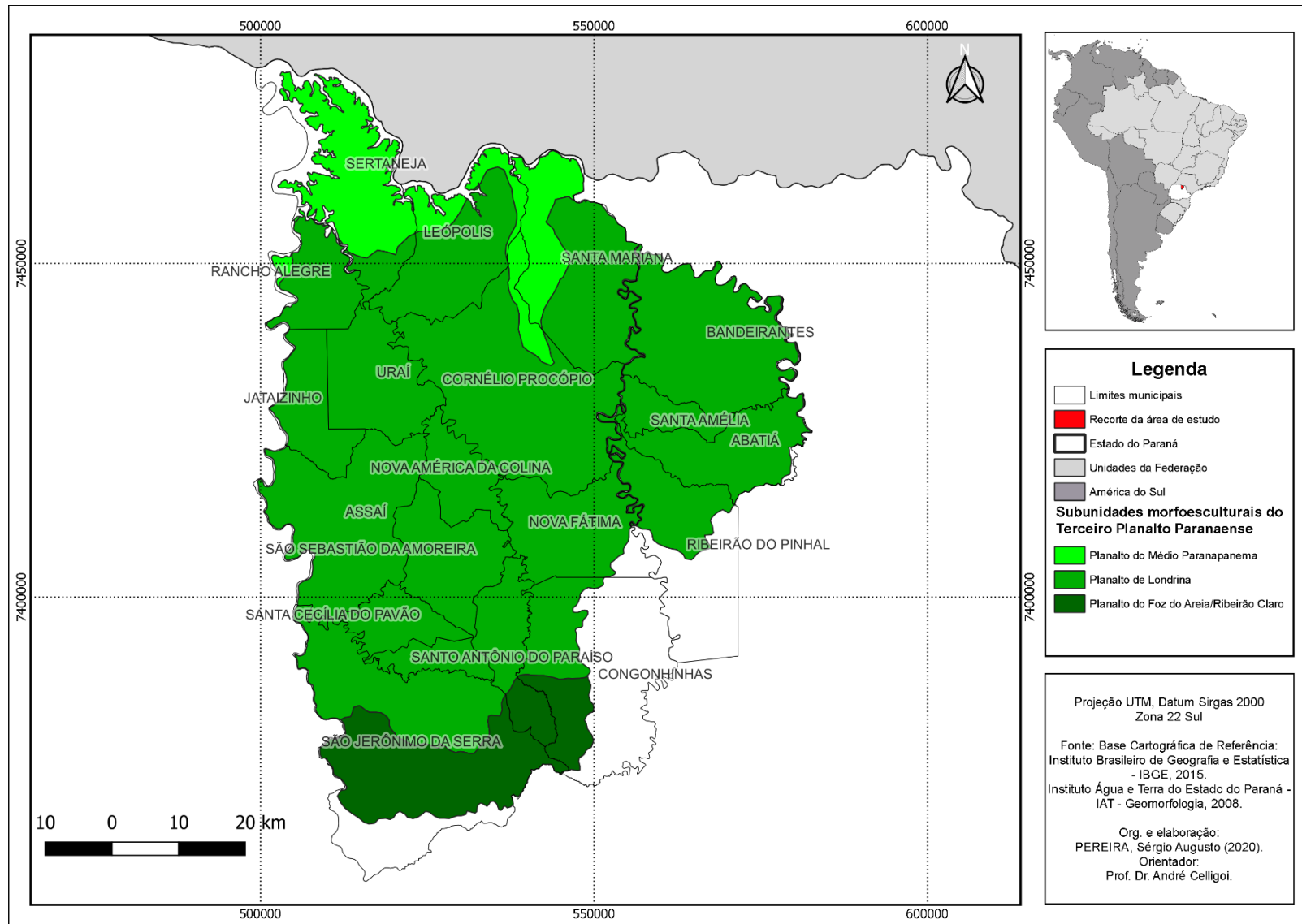
Segundo Scortegagna (2005), o Terceiro Planalto é a maior das cinco regiões geomorfológicas paranaense, sendo limitada pela serra da Boa Esperança a leste, e no sentido oeste, estende-se até o rio Paraná. As rochas predominantes no Terceiro Planalto são basaltos e arenitos da Era Mesozoica, rochas vulcânicas e sedimentares, respectivamente.

Maack (2002) dissertou que o Terceiro Planalto Paranaense representa o plano de declive que forma reverso da escarpa Mesozoica. Esta escarpa é composta por estratos do Arenito Botucatu e por espessos derrames de lavas basálticas comprimidas, sendo que na parte frontal da escarpa, mostram-se desníveis de 50 a 200 metros.

O Terceiro Planalto faz divisa com o Segundo Planalto, limitado pela Serra Geral. “O segundo planalto limita-se com o terceiro planalto pela escarpa mesozoica, com os extensos e espessos derrames de *trapp*” (MAACK, 2002, p. 419). Entretanto, esta pesquisa não se aterá em tratar das características do Segundo Planalto Paranaense, uma vez que os poços pesquisados se encontram no SASG, ou seja, no Grupo Serra Geral (LICHT; ARIOLI, 2018).

Segundo o Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná, o recorte espacial delimitado para esta pesquisa, dentro do Unidade Morfoescultural Terceiro Planalto Paranaense, está localizado nas subunidades morfoesculturais denominadas de Planalto do Médio Paranapanema, Planalto de Londrina e Planalto do Foz do Areia/Ribeirão Claro (Figura 6) (OKA-FIORI; SANTOS, 2006).

Figura 6 - Mapa da Geomorfologia do recorte espacial da área de estudo.



A subunidade morfoescultural Planalto do Médio Paranapanema possui dissecação baixa e uma área de 585,19 km², tendo, em uma área de 334,52 km², a classe de declividade predominante inferior a 6%. Apresenta, em relação ao relevo, um gradiente de 260 metros, com altitude mínima de 340 metros e altitude máxima de 600 metros, tendo como formas predominantes topos aplainados, vales em “V” e vertentes convexas (OKA-FIORI; SANTOS, 2006).

A subunidade morfoescultural Planalto de Londrina apresenta dissecação média e ocupa uma área de 5.560,76 km². A declividade predominante é inferior a 12% numa área de 4.370,03 km². O relevo apresenta um gradiente de 640 metros com altitude mínima de 340 e máxima de 980. As formas de relevo predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”, modeladas em rochas do Grupo Serra Geral (OKA-FIORI; SANTOS, 2006; LICHT; ARIOLI, 2018).

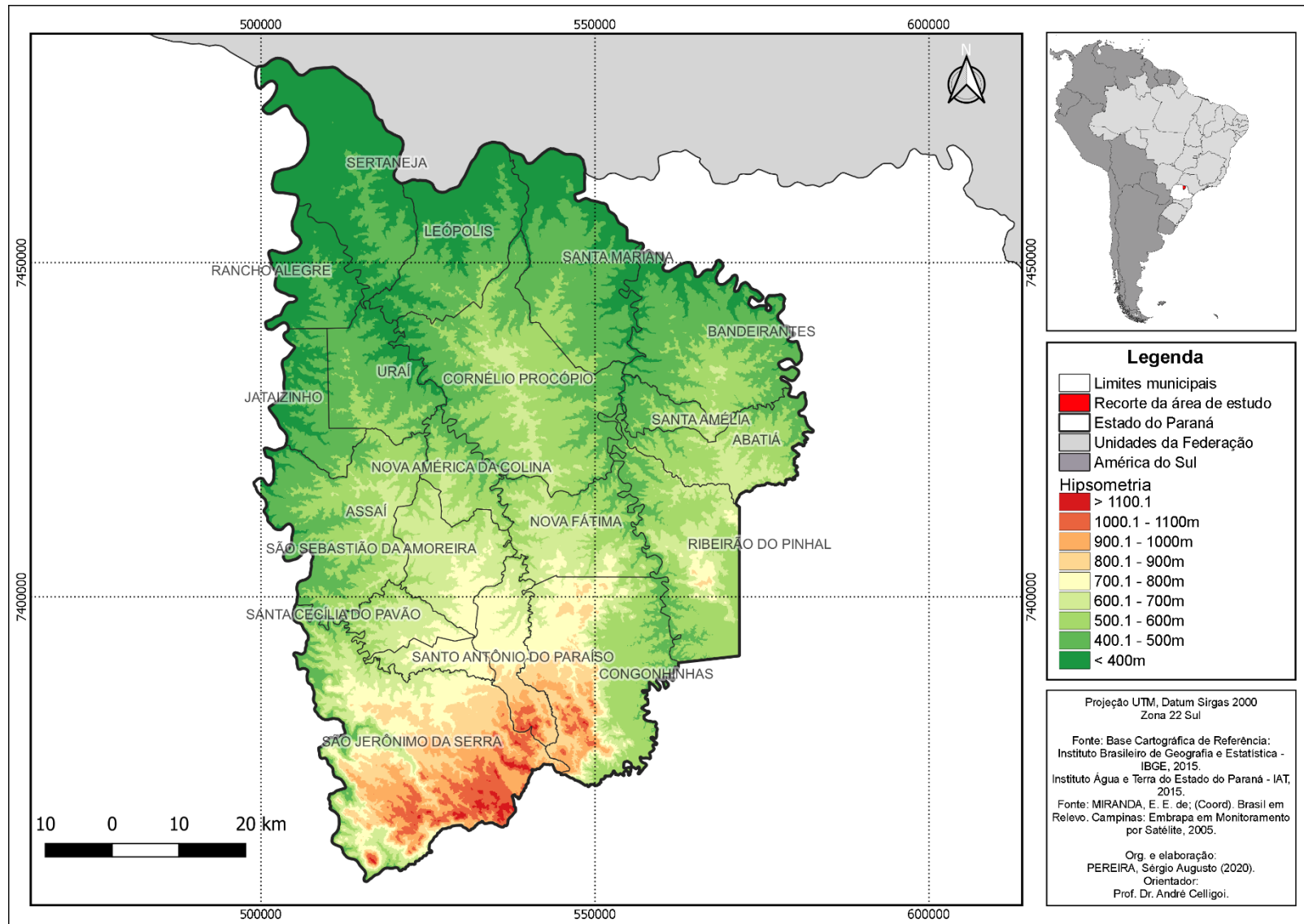
Ainda segundo Oka-Fiori e Santos (2006) em relação à subunidade morfoescultural Planalto do Foz do Areia/Ribeirão Claro, a dissecação dessa subunidade é alta e tem uma área de 903,22 km². A sua altitude mínima é de 400 metros às margens do rio Tibagi e a máxima é de 1.180 metros a sul da área de estudo, tendo gradiente, em relação ao relevo, de 780 metros. “A classe de declividade predominante está entre 12-30% em uma área de 343,82 km². [...] As formas predominantes são topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas e vales em degraus” (OKA-FIORI; SANTOS, 2006, p. 30).

Dessa forma, a área delimitada para esta pesquisa é:

[...] relativamente baixa e cortada em platôs isolados e mesetas pelos rios das Cinzas, Laranjinha e Congonhas. A parte mais elevada do platô revela um declive de 1.150 a 300 metros para o rio Paranapanema desde a serra Boa Esperança [...]. A leste do rio Congonhas, como também entre os rios Laranjinha e das Cinzas, ocorrem algumas elevações e mesetas isoladas com altitudes de 800 metros situadas na proximidade da escarpa; entretanto, de um modo geral, as altitudes desta paisagem de platôs e mesetas oscilam de 300 a 650 metros (MAACK, 2002, p. 420).

Desta forma, observa-se, com a afirmação do autor supracitado e com a observação da figura 7, que a área desta pesquisa possui altitudes em torno de 1150 metros e 300 metros, desde o seu ponto mais alto, que é a Serra Geral até o rio Paranapanema. A leste do rio Congonhas e entre os rios Laranjinha e Cinzas ocorrem elevações que chegam a 800 metros, entretanto, no geral a altitude oscila entre 300 e 650 metros (MAACK, 2002) (Figura 7).

Figura 7 - Hipsometria do recorte espacial da área de estudo.



4.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

No recorte da área de estudo, há a presença de cinco classes de solos, segundo os dados coletados do Instituto de Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, bem como sua base cartográfica de 2008. As classes de solos presentes são: Argissolo, Gleissolo, Latossolo, Neossolo e Nitossolo (Figura 8). A classificação foi elaborada pela Embrapa e Emater.

4.4.1 Argissolo

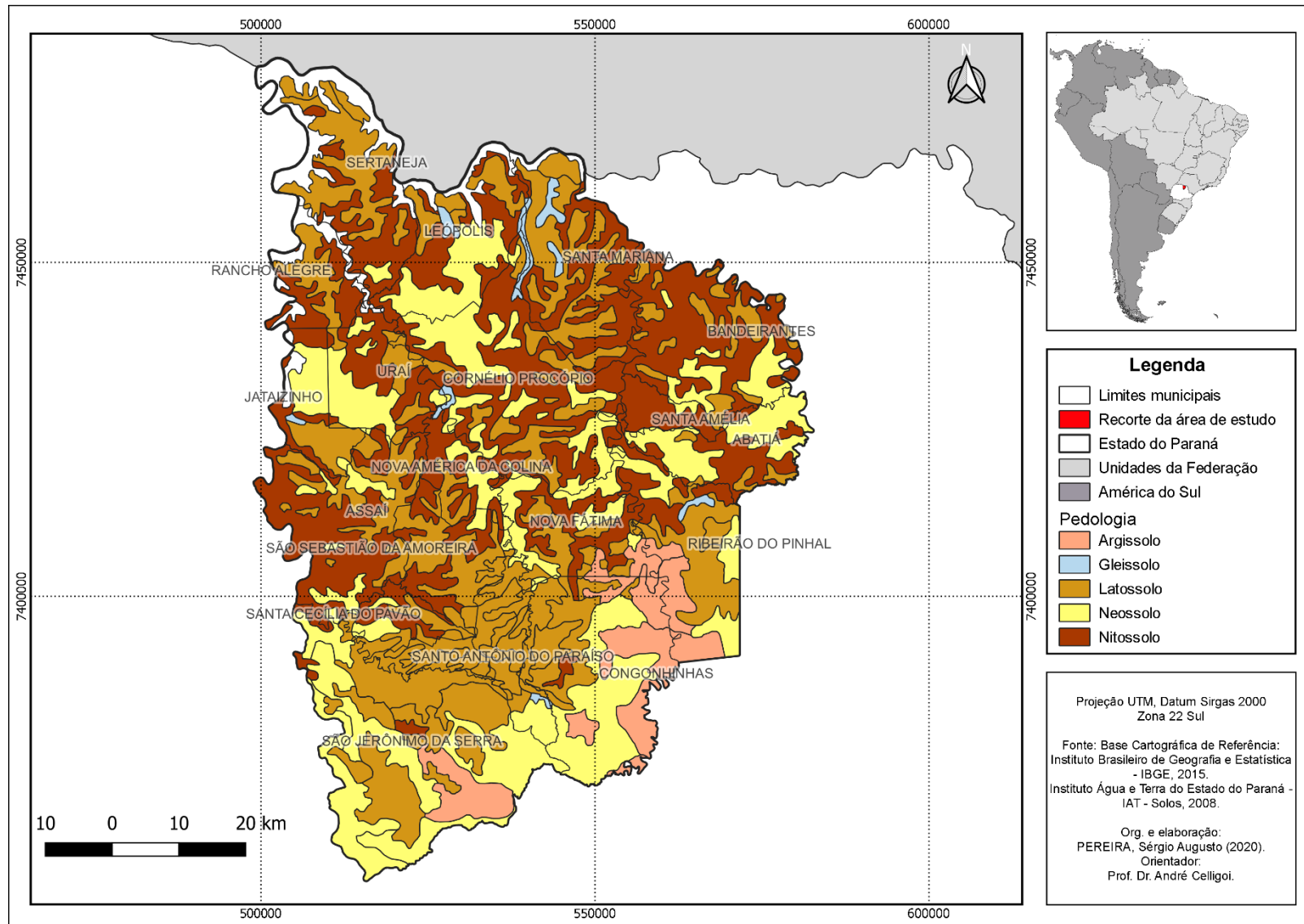
Os Argissolos são solos que têm como característica a presença do horizonte diagnóstico B textural (Bt), onde ocorre o aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B (IBGE, 2015), apresentando argila de atividade baixa ou atividade igual ou superior a 20 cmolc/kg de argila conjugada (OLIVEIRA, 2011). Geralmente, é perceptível a diferenciação de cores entre os horizontes, além de outras características, sendo que as cores do horizonte B textural variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A são sempre mais escurecidas (IBGE, 2015).

Segundo Oliveira (2011), os Argissolos apresentam no horizonte A, comumente, textura arenosa ou média, facilitando o uso do solo para o plantio. Nos solos com o horizonte A mais argiloso, especialmente nos de argila de alta atividade, ou seja, que corresponde maior adesão, pegajosidade, coesão e plasticidade, o preparo do solo para o plantio fica mais difícil.

Os Argissolos que têm mudanças texturais abruptas entre os horizontes são mais suscetíveis à erosão (OLIVEIRA, 2011). A sua profundidade é variável, entretanto, são normalmente pouco profundos. Essa classe de solo é encontrada em todas as regiões do território brasileiro e é, junto com os Latossolos, o grupo de solos com a maior ocorrências no Brasil (IBGE, 2015).

No recorte espacial desta pesquisa, esses solos são encontrados nas áreas dos municípios de Ribeirão do Pinhal, Nova Fátima, Congonhinhas e São Jerônimo da Serra.

Figura 8 - Mapa pedológico da área de estudo.



4.4.2 Gleissolo

Os Gleissolos são solos característicos de áreas que se encontram às margens de rios e grandes planícies, pois são áreas alagadas ou que estão sujeitas a alagamentos. As cores desses solos são, geralmente, acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, iniciando-se nos primeiros 50 centímetros da superfície do solo. A fertilidade desses solos pode ser alta ou baixa. O seu uso para a agricultura é dificultado por suas condições de má drenagem (IBGE, 2015). “A fertilidade natural dos Gleissolos é bastante variada. Boa parte deles presta-se muito bem a agricultura, depois que o excesso de água for devidamente eliminado com canais de drenagem e a acidez for corrigida com calcários” (LEPSCH, 2002, p. 113).

Segundo Lepsch (2002), os Gleissolos são originados pela ocorrência de alagamentos prolongados. Essas condições são ocasionadas, geralmente, pelo aumento do lençol freático próximo à superfície, pelo menos em alguns meses do ano. Isso faz com que os poros fiquem saturados com água por um longo período. Desta forma, com a presença de matéria orgânica, diminui o oxigênio dissolvido, provocando a redução química, dissolvendo os óxidos de ferro, removendo-os parcialmente, fazendo surgir as cores acinzentadas no horizonte subsuperficial.

Os Gleissolos ocorrem praticamente em todas as regiões do Brasil, se encontrando principalmente nas planícies de inundação de rios e córregos (IBGE, 2015). No recorte espacial desta pesquisa, esses solos podem ser encontrados nos municípios de Ribeirão do Pinhal, Congonhinhas, Santo Antônio do Paraíso, Jataizinho, Nova América da Colina, Cornélio Procopio, Santa Mariana e Leopólis.

4.4.3 Latossolo

Os Latossolos são solos que se caracterizam pela sua homogeneidade ao longo do perfil, sendo bastante intemperizados, profundos e com boa drenagem. Esses solos são predominantemente cauliniticos ou caulinico-oxidicos na sua mineralogia, com ausência de minerais primários de fácil intemperização (IBGE, 2015). É o solo mais abundante do Brasil e no Paraná (IBGE, 2015), além de ser o solo predominante da área de estudo, ao lado do Nitossolo, encontrando-se em todos os municípios.

Nesse tipo de solo, predomina as argilas do tipo caulinítica, em que suas partículas são revestidas de óxido de ferro, dando assim, a coloração avermelhada ao solo. Essa classe possui o horizonte diagnóstico B latossólico logo abaixo de qualquer horizonte A (LEPSCH, 2002).

O Latossolo, por ser o mais abundante no Brasil, é encontrado praticamente em todas as regiões do território nacional, distinguindo-se entre si pela coloração e quantidade de óxido de ferro. Esse solo foi dividido em quatro classes distintas ao nível de subordem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS: Latossolos Brunos, Latossolos Vermelhos, Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos (IBGE, 2015).

A textura dos Latossolos, ou seja, sua granulometria, é uniforme. Ele possui uma boa drenagem, uma vez que sua estrutura é composta por agregados arredondados e muito pequenos, os quais são acomodados e deixam uma grande quantidade de macroporos entre eles, facilitando assim a permeabilidade da água. Desta forma, esse solo possui uma textura média ou argilosa. Sendo assim, não se inclui a essa classe os solos que contêm quantidades elevadas de areia (mais de 85%) e silte (LEPSCH, 2002).

São comumente encontrados da região Sul do Brasil em áreas de altitudes maiores que 800 metros, em condição subtropical, mas também em área de altitudes menores. Sua fertilidade natural pode ser baixa, tendo teores de alumínio trocável relativamente elevados, assim como podem amplamente ser utilizados na agricultura, por, em algumas áreas, serem naturalmente férteis. Sendo assim, suas características variam de região para região (IBGE, 2015).

4.4.4 Neossolo

Os Neossolos são solos que não possuem horizonte B por serem jovens e estarem na fase inicial de sua formação, localizados, quase sempre, em relevos acidentados com encostas íngremes em que a velocidade da erosão é igual ou maior do que a capacidade da rocha em se transformar em solo. Outras vezes, a resistência da rocha é maior, fazendo com que a formação do solo aconteça de forma mais lenta, não permitindo o aprofundamento do perfil (LEPSCH, 2002). Essa classe de solos pode ser encontrada na maioria dos municípios que compõem a área de estudo delimitada para esta pesquisa.

Os Neossolos são solos compostos por material mineral ou orgânico pouco espesso, com menos de 30 cm de espessura (IBGE, 2015). Entre os horizontes A e R, pode existir um horizonte C de poucos centímetros. Esses solos podem ser encontrados em rampas muito inclinadas, em relevos montanhosos, bem como ao lado de afloramentos rochosos (LEPSCH, 2002).

Segundo o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2015), os Neossolos ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras e suas características variam em quatro tipos de Neossolos, congregando solos rasos, chamados de Neossolos Litólicos, que são os que ocorrem na área de estudo desta pesquisa, e se apresentam nos relevos acidentados de morrarias e serras; ou solos profundos e arenosos, chamados de Neossolos Quartzarênicos, comuns na região litorânea, em alguns estados da região Nordeste e também em grandes áreas em alguns estados do Centro-Oeste e Norte como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins; ou com a presença de materiais primários de fácil intemperização, nomeados de Neossolos Regolíticos, que são encontrados na região serrana do Sudeste, zonas do semiárido e Mato Grosso do Sul; e/ou ainda, solos que são originados por sucessão de camadas de natureza aluvionar, sem relação pedogenética entre si, alcunhados de Neossolos Flúvicos, que ocorrem em ambientes específicos como em planícies às margens de rios e córregos.

4.4.5 Nitossolo

Conforme o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2015), essa classe de solos é caracterizada pela presença de um horizonte B nítico, ou seja, um horizonte subsuperficial com uma estrutura desenvolvida, moderada ou forte, em forma de prisma ou blocos, com a superfície dos agregados reluzentes relacionada à cerosidade. Em geral, esses solos possuem uma textura argilosa ou muito argilosa, além de moderadamente ácidos a ácidos com saturação de bases baixa a alta, com mineralogia caulinítica-oxídica. “Em sua maioria com argila de atividade baixa, ou com atividade alta ($>20\text{cmolc. kg}^{-1}$) associado a caráter alumínico” (IBGE, 2015, p. 308).

Encontram-se os Nitossolos Vermelhos praticamente em todo o país, como na Bacia Platina que se estende do Rio Grande do Sul a Goiás, como no norte de Goiás e Tocantins, sul do Maranhão e em algumas áreas do Mato Grosso e Pará,

entre outros. Os Nitossolos Brunos são encontrados, mais restritamente nas áreas mais altas da região Sul do Brasil, com uma pequena ocorrência em Poços de Caldas, em Minas Gerais (IBGE, 2015). Essa classe de solos ocorre praticamente em todos os municípios que compõem a área delimitada para essa pesquisa, exceto no município de Santo Antônio do Paraíso.

4.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Para a classificação climática do recorte espacial da pesquisa, foi utilizado o padrão do modelo climático elaborado por Köppen, desenvolvido entre os anos de 1900 e 1936. A base cartográfica utilizada para a classificação do clima dessa região, extraída do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, trouxe essa classificação climática. Esse modelo é amplamente utilizado em trabalhos científicos, como por exemplo Fabres (2009), Santos (2019), Medeiros, Cavalcanti e Duarte (2020), entre outros.

Segundo Marques (2005), o modelo climático elaborado por Köppen é um dos mais populares, sendo utilizado na maioria dos livros e textos sobre a geografia regional e a climatologia, entretanto, nem por isso se trata de um modelo climático perfeito. Essa representação possui uma abordagem quantitativa, objetiva, além de ser um instrumento de organização didática. Ainda segundo a autora, esse modelo climático recebe críticas por não conter a categoria subúmida, apresentando-se mais empírica do que genérica, e também por não apresentar alguns critérios numéricos.

Apesar das críticas ao modelo de Köppen, esse sistema é o mais utilizado para a classificação climática, seja em sua forma original ou com adaptações, sendo que esse modelo se fundamenta, principalmente, na dinâmica entre clima e vegetação em que os critérios numéricos são usados para a definição e classificação dos tipos climáticos (AYOADE, 1996).

Ayoade (1996) dissertou que há cinco grupos climáticos principais no modelo de Köppen, utilizando como critério para as definições desses grupos, principalmente, a temperatura. Além disso, “esses cinco grupos são subdivididos com base na distribuição sazonal da precipitação e nas características adicionais de temperatura” (AYOADE, 1996, p. 231), fornecendo assim, um total de 24 tipos climáticos (AYOADE, 1996).

O modelo climático posposto por Köppen possui, como foi dito, cinco tipos climáticos, tomando por base a temperatura e sendo representados por letras maiúsculas da seguinte forma:

A – Climas tropicais chuvosos; **B** – Climas secos; **C** – Climas temperados chuvosos e moderadamente quentes; **D** – Climas frios com neve-floresta; e **E** – Climas polares. A eles acrescenta-se um grupo de climas de terras altas, não diferenciados e representados pelo símbolo **H** (MAACK, 2002, p. 201).

De acordo com a figura 9, que apresenta o clima do recorte espacial desta pesquisa, baseado no modelo climático de Köppen, a área de estudo se apresenta no tipo climático principal representado pela letra **C**, ou seja, é classificado como clima temperado chuvoso e moderadamente quente. Os tipos climáticos observados na figura que trata do clima da área de estudo são: **Cfa**, **Cfb** e **Cwa**. Maack (2002), também havia realizado a mesma definição: “segundo Köppen, Cfa, Cfb e Cwa para o litoral e planaltos” (MAACK, 2002, p. 203) (Figura 9).

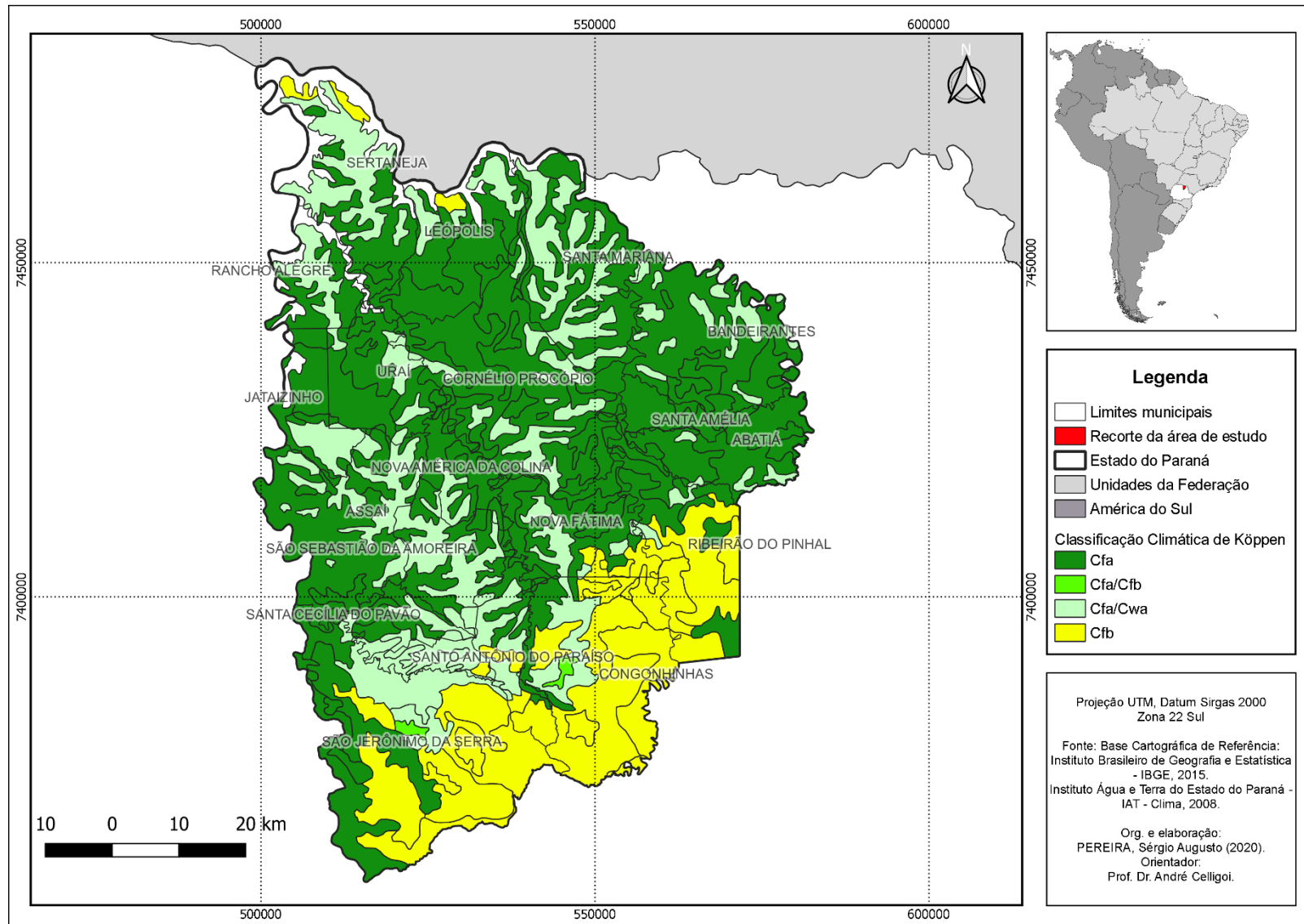
Segundo Ayoade (1996), as subdivisões do principal tipo climático **C**, referente à segunda letra minúscula, relativo à distribuição sazonal da precipitação na área de estudo são representados pela letra **f**, que significa que não há nenhuma estação seca, e a área é úmida o ano todo, e **w**, que quer dizer que há chuva de verão. A terceira letra minúscula, que compreende às características adicionais de temperatura, são representados pela letra **a**, que representa verão quente e o mês mais quente tem temperatura média maior do que 22° C, e pela letra **b**, que significa que o verão é moderadamente quente e o mês mais quente tem temperatura média inferior a 22° C.

Desta forma, tem-se na área de estudo:

Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estação seca e com poucas geadas. A média das temperaturas do mês mais quente é superior a 22° C, e a do mês mais frio é inferior a 18° C. Encontra-se nas regiões Norte, Oeste e Sudoeste, no oeste da serra do Mar e do Vale do Ribeira (MARQUES, 2005, p. 41-42).

Ayoade (1996) dissertou que os tipos climáticos que estão presentes na área de estudo, são definidos como: “**Cfa** - úmido em todas as estações e verões quentes; **Cfb** - úmido em todas as estações, verão moderadamente quente; e **Cwa** - chuva de verão com verão quente” (AYOADE, 1996, p. 232) (Figura 9).

Figura 9 - Mapa climático da área de estudo, baseado no modelo de Köppen.



4.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Os aspectos hidrológicos foram, junto com a geologia, os principais elementos físico-naturais utilizados para a delimitação do recorte espacial desta pesquisa. Os rios que delimitam a região construída para este estudo são: rio Paranapanema a norte, rio Tibagi a oeste e rio das Cinzas a leste. Além desses três rios, outros dois importantes rios cortam a área de estudo: rio Congonhas, afluente do rio Tibagi e rio Laranjinha, afluente do rio das Cinzas (Figura 10). As águas subterrâneas da área de estudo se encontram no SASG, nos estratos geológicos do Grupo Serra Geral.

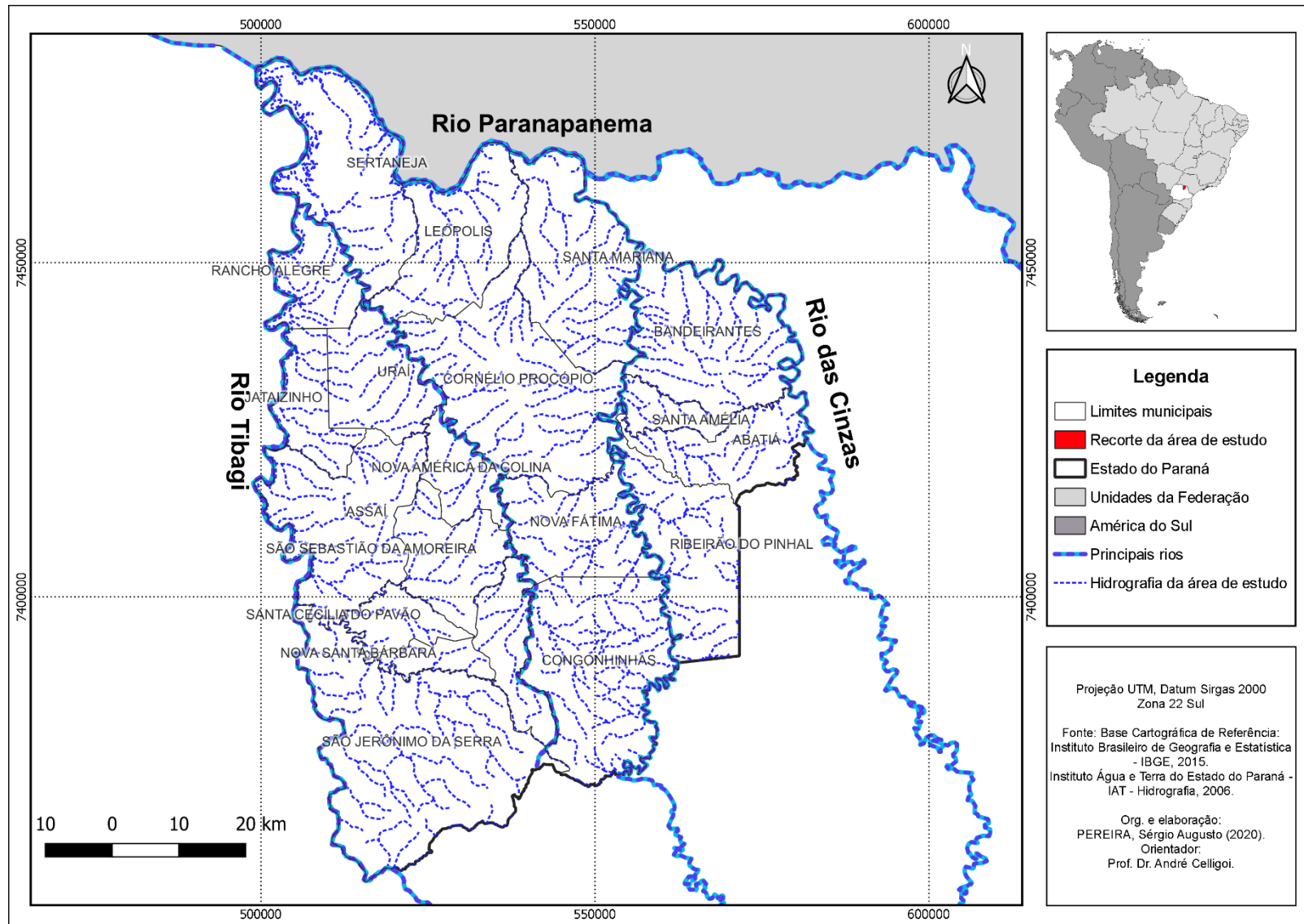
O comprimento do rio Paranapanema, desde sua nascente, a cerca de 100 quilômetros da costa atlântica, na Serra de Agudos Grandes até a sua foz no rio Paraná, é de cerca de 900 quilômetros de extensão. A Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema está localizada entre os estados do Paraná e São Paulo, com uma área de drenagem de 105.921 km², abrangendo 247 municípios entre os dois estados, tendo 51% de sua área no estado do Paraná e 49% no estado de São Paulo (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA, 2020).

Estima-se que mais de 4.680.000 habitantes vivem na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, com um percentual de 87,5% da população que reside na área urbana e 12,5% na área rural, sendo que 62,9% dessa população é paranaense e 37,1% é paulista (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA, 2020).

Segundo Marques (2005), o rio Paranapanema, desde a embocadura com o rio Itararé até a sua foz com o rio Paraná, tem uma extensão de 392 quilômetros. Esse rio abrange, com seus afluentes a margem sul que corresponde ao estado do Paraná - entre eles estão os rios Tibagi e das Cinzas -, cerca de 55.530 km².

Maack (2002) dissertou que os rios Tibagi e das Cinzas são afluentes do rio Paranapanema e estão localizados à margem sul do rio. O rio Tibagi abrange uma bacia hidrográfica de 25.239 km². O rio das Cinzas abrange uma área de drenagem de 9.799 km².

Figura 10 - Hidrografia da área de estudo.



Maack (2002) explanou que o rio Tibagi é o principal afluente do rio Paranapanema. Ainda segundo o levantamento cartográfico do autor, que fez longas caminhadas, bem como viagens de canoas por todo percurso do rio Tibagi, desde as suas nascentes nos Campos Gerais até sua confluência com rio Paranapanema, o rio Tibagi possui um percurso aproximadamente de 550 quilômetros. “A altitude da barra do rio Tibagi no Paranapanema é de 298 metros. A queda total do rio Tibagi desde as suas nascentes a 1.060 metros até a barra no Paranapanema, 298 metros, é de 792 metros em 531 quilômetros” (MAACK, 2002, p. 329).

O rio Tibagi é o principal afluente do rio Paranapanema. Seu curso fluvial, em alguns pontos, é calmo e equilibrado, sem corredeiras e com margens íngremes, mas, a partir da cidade de Tibagi, apresenta cerca de 68 corredeiras, contadas por Reinhard Maack. Seu principal afluente é o rio Iapó, rio que se destaca em seu percurso no qual passa pelo Cânion Guartelá, hoje importante atrativo turístico entre os municípios de Castro e Tibagi (MARQUES, 2005, p. 54).

A poucos quilômetros de sua foz, o rio Tibagi recebe o rio Congonhas, o qual tem sua origem no Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2002).

Conforme Maack (2002), o rio das Cinzas, que delimita o recorte espacial desta pesquisa a leste, tem sua nascente na Serra das Furnas, localizada a oeste da Escarpa Devoniana. Esse rio rompe o Terceiro Planalto Paranaense (Serra Geral) após um percurso de 175 quilômetros. Após 240 quilômetros, quase chegando à sua confluência com o rio Paranapanema, o rio das Cinzas recebe as águas do rio Laranjinha. O rio Laranjinha também tem sua origem no Segundo Planalto, rompendo a serra da Boa Esperança depois de um trajeto de 122 quilômetros. Dos oitenta e sete pequenos tributários, riachos e córregos do rio das Cinzas, os mais importantes são o rio Jacarezinho, situado na sua margem direita, tendo um percurso de 78 quilômetros de extensão, e o rio Arrozal ou Caxambu, localizado na sua margem esquerda superior.

4.6.1 Sistema Aquífero Serra Geral - SASG

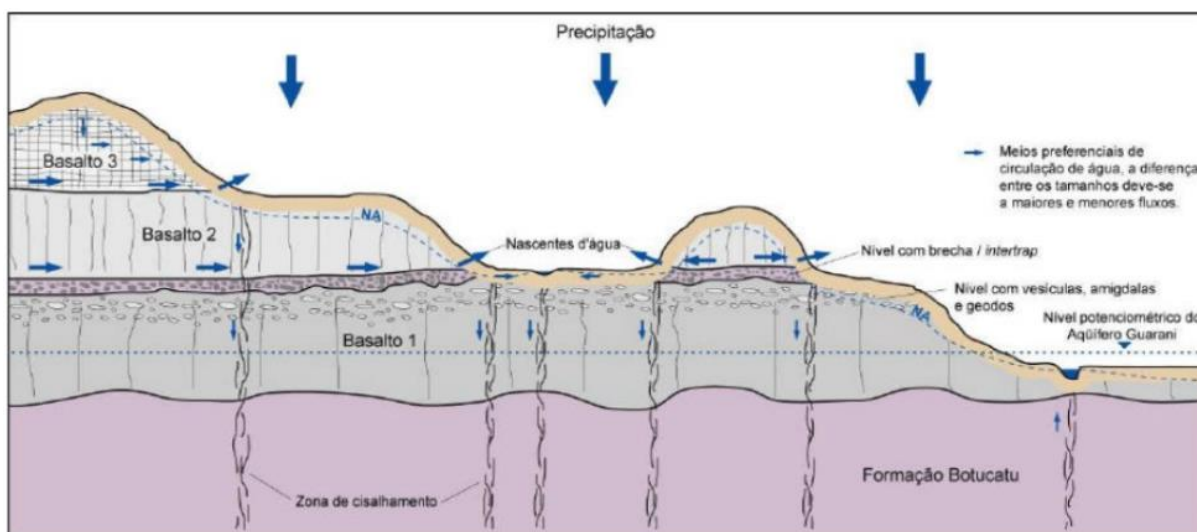
O SASG se localiza nas rochas basálticas do Grupo Serra Geral, tendo sua condição hidráulica e de armazenamento restritas às zonas de descontinuidade física das rochas. Dessa forma, pelas características litológicas, apresenta-se como um aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (CELLIGOI,

1993). A circulação e o acúmulo das águas subterrâneas do SASG ocorrem pelas zonas de fraturamentos e falhamentos, pelas descontinuidades entre os derrames, bem como pelas zonas vesículo-amigdaloidais (CELLIGOI 1993; MOURÃO, 2009).

[...] o aquífero denominado Serra Geral corresponde a basaltos da Formação Serra Geral, onde além das fraturas tectônicas ocorrem outros tipos de descontinuidades, importantes para a circulação e armazenamento da água, representadas por fraturas de resfriamento que podem ser verticais (disjunções colunares) ou sub-horizontais. Desta forma a maior parte do fluxo fica limitado às fraturas sub-horizontais e a algumas estruturas tectônicas sub verticais (ATHAYDE, 2008, p. 25).

O SASG se refere às fraturas, falhas, brechas, entre outras, originadas a partir da sequência de derrames de lavas que deu origem às rochas básicas e ácidas e formou o Terceiro Planalto Paranaense (SUDERHSA, 2010). É importante ressaltar que a rocha basáltica em si, não é um aquífero, estando a sua porosidade e permeabilidade relacionadas aos vazios oriundos das falhas e fraturas (PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, 2014). As rochas dos SASG, “apesar de ígneas, são capazes de fornecer volumes de água dez vezes maiores do que a maioria das rochas ígneas e metamórficas” (PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, 2014, p. 18). A figura 11 apresenta como a água se movimenta no SASG.

Figura 11 - Circulação da água no SASG.



Fonte: FERNANDES *et al.*, 2006 apud ATHAYDE, 2008.

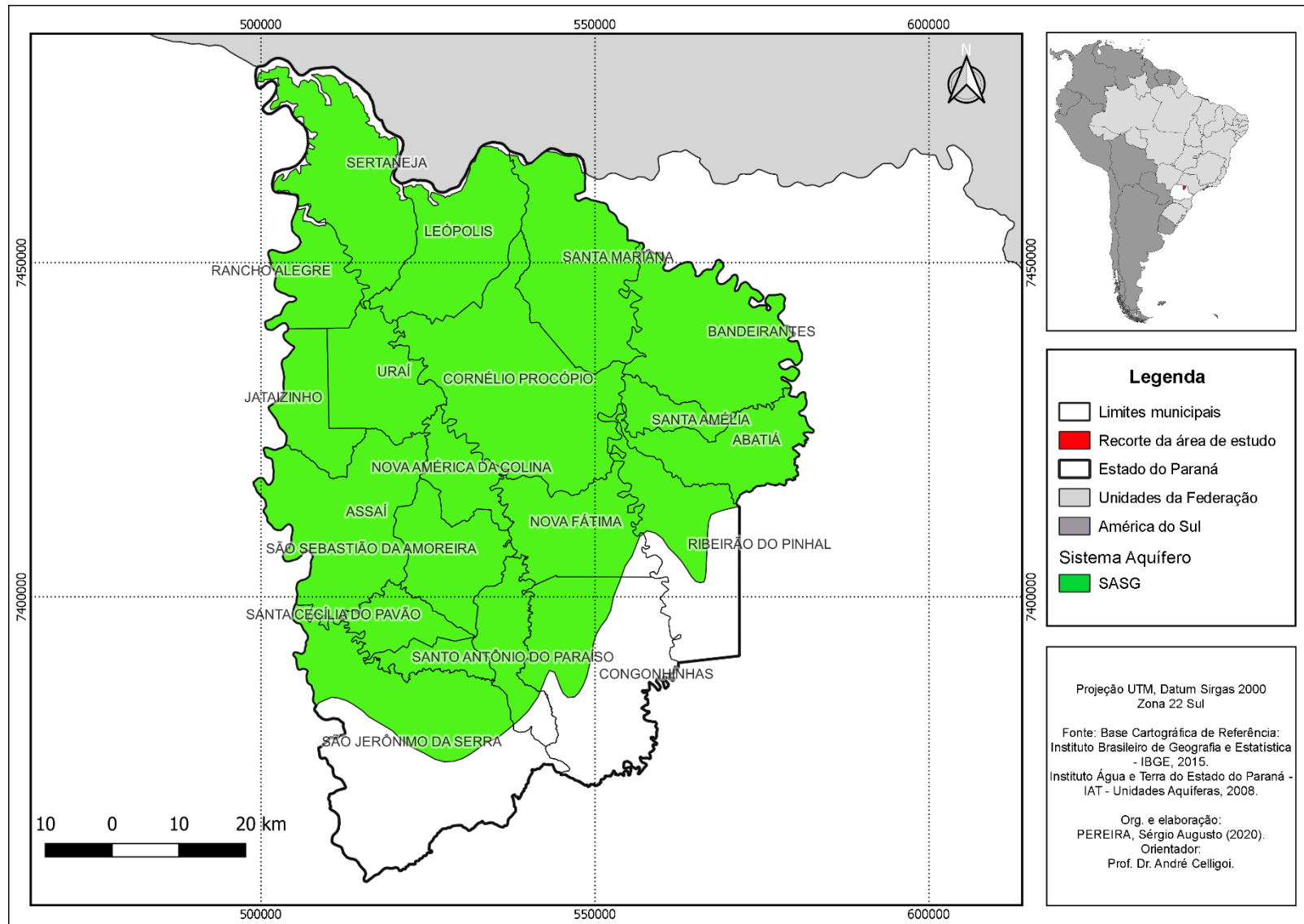
A figura 11 mostra que a circulação e o armazenamento da água ocorrem pelas fraturas tectônicas e outros tipos de descontinuidades que são retratados por fraturas de resfriamento tanto verticais - disjunções colunares - como sub-horizontais. Há interconexão das fraturas horizontais e parte das verticais, de origem tectônicas (ATHAYDE, 2008).

As rochas do Grupo Serra Geral têm sua área de afloramento no estado de Paraná a abrangência de 101.959,63 km², subdividida, no Paraná, em Unidade Serra Geral Norte e Unidade Serra Geral Sul, devido às características geomorfológicas e hidrológicas de cada subdivisão (SUDERHSA, 2010).

A Unidade Serra Geral Sul compreende a área da Bacia do rio Iguaçu no Terceiro Planalto, correspondendo a uma área de 40.864,30 km². A Unidade Serra Geral Norte é composta pelas demais Bacias hidrográficas que se encontram no Terceiro Planalto, como as bacias do Ivaí, Itararé, Piquiri, Paraná 3, Pirapó, Tibagi, Cinzas e Paranapanema 1, 2 e 3, correspondendo a uma área de 61.095,33 km² (SUDERHSA, 2010). É nessa segunda Unidade que esta pesquisa irá se debruçar, bem como na área onde se encontram os rios Paranapanema, Tibagi e Cinzas.

A profundidade dos poços no SASG varia de 80 a 200 metros, com vazões que podem atingir acima de 30m³/hora (PINESE; STIPP; OLIVEIRA, 2000). A média de vazão dos poços do SASG na região de Londrina é de 17,5 m³/hora (CELLIGOI, 1993). Os poços situados nas bacias do Paranapanema 1, 2 e 3 apresentam vazões médias de 16,7, 14,2 e 18,8 m³/h, respectivamente. Os níveis de contribuição foram encontrados até 130 metros, com predominância entre os intervalos de 30 a 70 metros de profundidade. Nas bacias dos rios Tibagi e Cinzas, as vazões médias dos poços são de 13,9 e 17,2 m³/h. Nessas duas bacias, as entradas de água acontecem a uma profundidade média de 70 metros. Nas profundidades superiores a 90 metros, a capacidade de produção se restringe a 20 m³/h/poço (SUDERHSA, 2010).

Figura 12 - Mapa da localização do SASG no recorte espacial desta pesquisa.



As águas do SASG são classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, possuindo concentrações variáveis de sódio, carbonatos, bicarbonatos, condutividade elétrica, com valores de condutividade elétrica menores que 200 uS/cm e valores de pH inferiores a 7,5 (CELLIGOI; CORCÓVIA; PINESE, 2019). Celligoi (1993) identificou que as águas do SASG, na região de Londrina, são classificadas como bicarbonatadas cálcicas. Athayde, Athayde, Rosa Filho e Licht (2014) afirmaram que as classes das águas do SASG são, predominantemente, bicarbonatadas cálcicas.

Entretanto, há a ocorrência no SASG de águas classificadas como bicarbonatadas sódicas e sulfatadas cálcicas ou magnesianas, em que o aumento dos teores de sódio, potássio, carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, pH e condutividade elétrica podem estar associados ao maior tempo de residência da água no SASG, estando relacionado à evolução natural geoquímica da água ou até mesmo à existência da conexão entre o SASG e o Sistema Aquífero Guarani - SAG em áreas que a espessura das rochas magmáticas sejam menores e as entradas de águas são próximas ao SAG (REGINATO; AHLERT; SCHNEIDER, 2013).

A exploração do SASG por meio de poços tubulares tem sido intensamente utilizada por toda a extensão do aquífero, atingindo milhares de poços atualmente. (CELLIGOI, 1993). Existe mais de 5.900 poços cadastrados no banco de dados de Outorgas da SUDERHSA que captam água do SASG, sendo 1.144 poços na Unidade Serra Geral Sul e 4.762 na Unidade Serra Geral Norte, sendo que 617 desses poços são outorgados pela SANEPAR (SUDERHSA, 2010).

4.7 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Os vinte municípios selecionados para comporem a área de estudo se encontram dentro da região do Norte Pioneiro do estado do Paraná (IPARDES, 2020), delimitados pelos rios Tibagi e Cinzas. A tabela 1 traz dados de população de 2010 e a estimativa de 2019, bem como o território e o PIB de cada município que compõe o recorte espacial deste estudo.

Os municípios com os maiores números de habitantes, dados de 2010, são Cornélio Procopio com 46.928 e Bandeirantes com 32.184 (IBGE, 2020), sendo esses dois municípios os principais centros de atração em relação aos outros, no sentido econômico, mais especificamente o de serviços, tendo como principais

características o comércio, saúde e educação. Desta forma, essas duas cidades atraem os habitantes dos municípios vizinhos que procuram esses serviços citados anteriormente, sendo classificados pelo REGIC (2007) como Centro de Zona A (IBGE, 2008). Cornélio Procópio teve uma estimativa de crescimento de sua população, mesmo que pouco significativa para nove anos, de 917 habitantes, enquanto Bandeirantes teve uma estimativa de decréscimo demográfico de 817 habitantes, conforme os dados de estimativa populacional de 2019 (IBGE, 2020).

Tabela 1 - Dados demográficos, territoriais e econômicos dos municípios que compõem o recorte espacial da área de estudo.

Município	População (2010)	População estimada (2019)	Área territorial	PIB a preços correntes (x1000) R\$ (2017)
Abatiá	7.764	7.457	228,717 km ²	177.219,06
Assaí	16.354	15.119	440,347 km ²	395.255,90
Bandeirantes	32.184	31.367	445,192 km ²	727.354,60
Congonhinhas	8.279	8.818	535,963 km ²	190.895,04
Cornélio Procópio	46.928	47.845	635,100 km ²	1.447.867,12
Leópolis	4.145	3.954	344,918 km ²	123.816,26
Jataizinho	11.875	12.588	159,178 km ²	186.455,32
Nova América da Colina	3.478	3.445	129,476 km ²	84.451,87
Nova Fátima	8.147	8.153	283,423 km ²	298.659,26
Nova Santa Bárbara	3.908	4.249	71,764 km ²	77.827,28
Rancho Alegre	3.955	3.808	167,646 km ²	100.518,68
Ribeirão do Pinhal	13.524	13.029	374,732 km ²	236.864,50
Santa Amélia	3.803	3.324	78,045 km ²	77.855,55
Santa Cecília do Pavão	3.646	3.334	110,199 km ²	103.969,11
Santa Mariana	12.435	11.724	427,193 km ²	341.299,83
Santo Antônio do Paraíso	2.408	2.106	165,904 km ²	72.698,49
São Jerônimo da Serra	11.337	11.170	823,774 km ²	217.296,52
São Sebastião da Amoreira	8.626	8.853	227,982 km ²	191.529,95
Sertaneja	5.817	5.284	444,492 km ²	253.245,90
Uraí	11.472	11.314	237,810 km ²	260.511,25
Recorte da área de estudo	220.085	216.941	6.331, 855 km²	5.565.591,49

Fonte: IBGE, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

O município com a menor demografia do recorte espacial da pesquisa é Santo Antônio do Paraíso com 2.408 habitantes, e a sua estimativa para 2019 ficou em 2.106, ou seja, há a expectativa de diminuição de sua população em 302 habitantes.

Num contexto geral, em relação aos municípios, a maioria perdeu população, sendo que em quatorze municípios, dos vinte, houve decréscimo demográfico, enquanto apenas em seis houve um aumento populacional. Dessa forma, isso influencia no número total de habitantes do recorte espacial da área de estudo. Em 2010, o recorte em questão contava com uma população de 220.085 habitantes. De acordo com as estimativas para o ano de 2019, a área de estudo teria 216.941 habitantes. Sendo assim, percebe-se que há a estimativa de decréscimo da população que vive nesses municípios, totalizando a perda de 3.144 habitantes.

Ainda de acordo com a tabela 1, os municípios que contêm os maiores territórios são São Jerônimo da Serra, com 823,774 km², Cornélio Procopio com 635,100 km² e Congonhinhas com 535,963 km². Os outros municípios possuem menos de 500 km². Os menores municípios são Nova Santa Bárbara e Santa Amélia, sendo que seus territórios são menores que 100 km², sendo 71,764 km² e 78,045 km², respectivamente. A área total do recorte delimitado para a pesquisa é de 6.331, 855 km².

Em relação ao PIB a preços correntes dos municípios da região delimitada, conforme os dados do IBGE (2020), dados esses referentes ao ano de 2017, Cornélio Procopio é o município que possui o maior PIB, sendo de R\$ 1.447.867.120,00. O segundo maior PIB é do município de Bandeirantes, cujo valor é de R\$ 727.354.600,00. Analisando a tabela, percebe-se que os dois municípios com os maiores números demográficos são os que têm os maiores PIBs. O município com o menor PIB, referente ao ano de 2017, é Santo Antônio do Paraíso, com um valor de R\$ 72.698.490,00. O PIB de todos os municípios que compõem a região elaborada para a pesquisa somados tem um valor de R\$ 5.565.591.490,00.

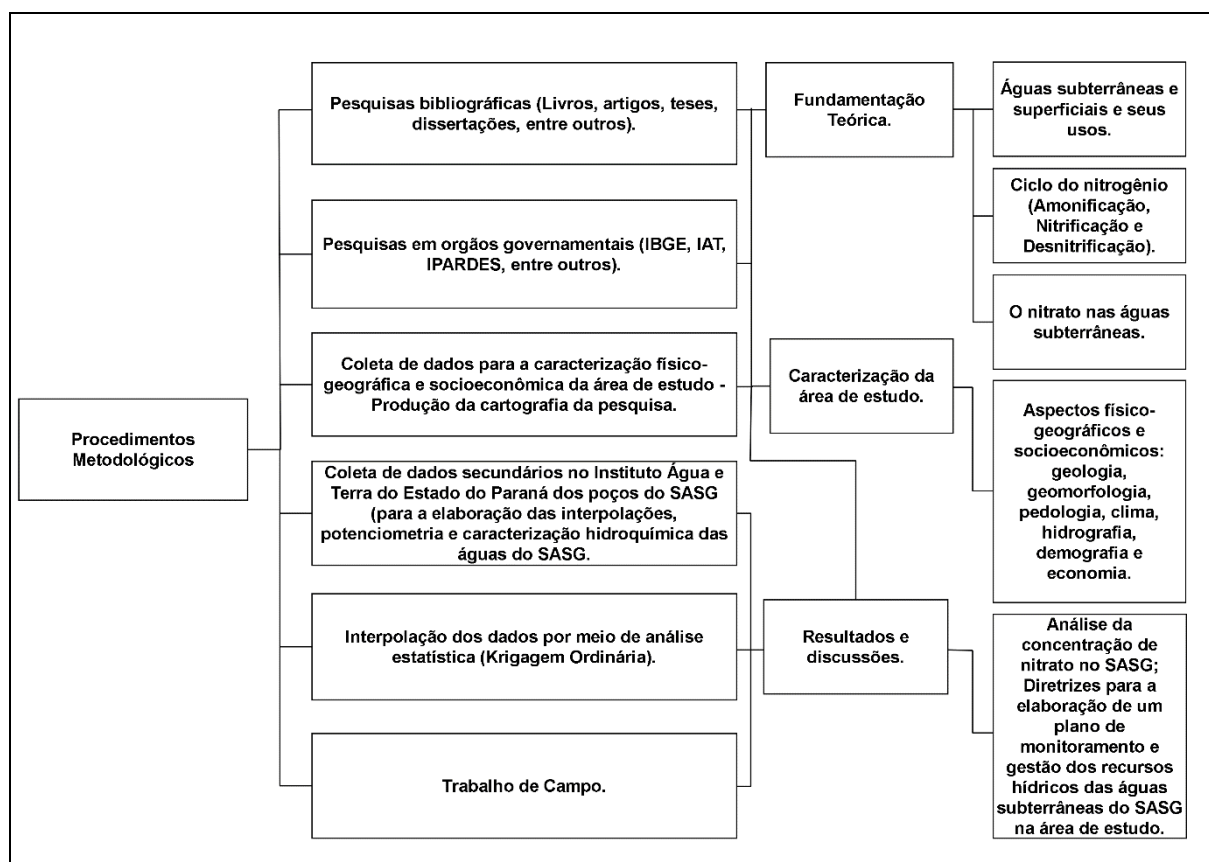
O estado do Paraná possui um território de 199.879,505 km², com uma população de 10.444.526 habitantes (2010), com estimativa para 2019 de 11.433.957 habitantes e um PIB no valor de R\$ 421.374.934.000,00 (IBGE, 2020). Com esses números apresentados, tanto dos municípios da área de estudo

quanto do estado do Paraná, percebe-se que os municípios que compõem a região de estudo, quando agrupados, formam uma importante e estratégica área para o estado do Paraná, pois esse recorte geográfico faz divisa com o estado de São Paulo, abrange um território expressivo em relação ao estado, equivalendo 3,1% do território do Paraná, com uma população também expressiva, representando cerca de 2,1% da população total do estado no ano de 2010 e 1,9% em relação a estimativa demográfica para o ano de 2019, além da contribuição econômica no contexto geral do estado do Paraná, representando 1,3% do PIB do Paraná.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas da presente pesquisa são as seguintes: pesquisas bibliográficas, pesquisas em órgãos governamentais, coleta de dados para a elaboração cartográfica da caracterização da área de estudo com programa SIG QGIS 3.6.3, coleta de dados secundários no Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, dos poços tubulares do SASG no estado do Paraná, utilização do método de interpolação - Krigagem -, para processar os dados coletados no QGIS 3.6.3, bem como a elaboração de mapas potenciométricos, classificação hidroquímica do SASG e trabalho de campo nos poços onde as concentrações de NO_3^- são maiores do que a permitida pela Portaria de Consolidação MS 5/2017, além de propor diretrizes para a elaboração de um plano de monitoramento e gestão pública do SASG. Para compreender os procedimentos metodológicos desta pesquisa, elaborou-se um fluxograma, como pode ser observado da figura 13.

Figura 13 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.



Fonte: PEREIRA, 2020.

5.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Na primeira etapa da pesquisa, foi realizado o levantamento bibliográfico, para que assim fosse possível elaborar uma base teórica fundamentada para respaldar a pesquisa, a metodologia e também os resultados obtidos.

Ferrarezi Júnior (2013) dissertou que o referencial teórico é a parte de fundamentação do projeto ou da pesquisa. Ele será mais ou menos extenso dependendo da complexidade da investigação proposta. É nessa parte do trabalho que irá aparecer o maior número de citações e considerações a respeito da teoria proposta, sendo que é nela que o autor irá demonstrar a sua capacidade de articular suas próprias ideias e objetivos com outras já consolidadas por outros autores.

Para Cajueiro (2013), a pesquisa bibliográfica refere-se à análise e discussão apenas do referencial bibliográfico de autores e literaturas, bem como artigos e monografias relacionadas ao tema da pesquisa. A sua finalidade é levar para a discussão as diferentes formas de contribuição científica que foram realizadas sobre determinado assunto. As fontes bibliográficas são diversas: livros, revistas, jornais, monografias, dissertações, teses, entre outros.

Para a pesquisa em questão, foram realizadas pesquisas bibliográficas pautadas em livros, artigos científicos, dissertações e teses que discutem temas relacionados às águas superficiais, águas subterrâneas e seus usos, o ciclo do nitrogênio e o NO_3^- , além da caracterização da área de estudo. Na discussão teórica, deu-se maior importância às águas subterrâneas e ao NO_3^- , para que assim se pudesse chegar ao objetivo principal desta pesquisa. Utilizou-se também pesquisa em sites de órgãos governamentais para a coleta de dados e informações.

Os principais autores utilizados para essa pesquisa foram: David Todd (1967), Igor Shiklomanovi (1998), Reinhard Maack (2002), Álvaro Vilela de Resende (2002), Fátima Moreira e José Oswaldo Siqueira (2006), Nadia Rita Boscardin Borghetti, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho (2011), Charles Fitts (2015), Rosana Faria Vieira (2017), Freeze e Cherry (2017), entre outros.

5.1.1 Pesquisa em Órgãos Governamentais Para a Caracterização da Área de Estudo: Aspectos Físico-geográficos e Socioeconômicos

Para caracterizar os aspectos socioeconômicos da área de estudo foram coletados dados e informações em órgãos governamentais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES. Para a caracterização físico-geográfica, foram coletados dados e informações em órgãos governamentais como Agência Nacional de Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Parapanema, Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, Mineropar, entre outros.

O próximo passo da pesquisa foi a coleta de dados para elaboração da cartografia da pesquisa, a fim de caracterizar os aspectos físico-geográficos da área de estudo.

5.2 COLETA DE DADOS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

Após a elaboração do referencial teórico e da caracterização da área de estudo, foram elaborados mapas caracterizando os aspectos físico-geográficos da área de estudo. Os mapas produzidos representam cartograficamente a geologia, a geomorfologia, o solo, o clima e a hidrografia da área deste estudo. As bases cartográficas utilizadas para a elaboração desses *layouts* cartográficos foram extraídas do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, e processadas pelo Sistema de Informações Geográficas QGIS 3.6.3. A próxima etapa da pesquisa foi a coleta de dados secundários junto ao Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT.

5.3 COLETA DE DADOS

Os dados utilizados para essa pesquisa foram coletados junto ao Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – IAT. Esses dados são denominados de dados secundários, uma vez que foram coletados pelo IAT e estão disponibilizados para que os interessados possam consultá-los e, conseqüentemente, utilizá-los em pesquisas.

Os dados secundários são dados que já foram coletados, tabulados e ordenados. Esses dados podem até ter sido analisados, estando catalogados e à disposição dos interessados (MATTAR, 1996). Os dados secundários podem ser “obtidos de fontes como o IBGE, e outros, inclusive livros, revistas, etc.” (MARCONI; LAKATOS, 2003, 170). Dessa forma, os dados desta pesquisa são dos poços tubulares que captam água do SASG. Foi necessário tabular esses dados em uma planilha de Excel para, posteriormente, utilizá-los na elaboração das interpolações.

A tabulação foi realizada com o objetivo de organizar os dados para a confecção da cartografia dos parâmetros analisados das águas subterrâneas do SASG da área de estudo, ou seja, a distribuição espacial dos parâmetros de NO_3^- , pH, SDT, Condutividade Elétrica e Turbidez, uma vez que os dados enviados pelo IAT continham informações dos poços de todo Paraná e de todas as unidades aquíferas.

Os valores dos parâmetros discutidos nesta pesquisa foram analisados com base na valores de referência segundo à Portaria de Consolidação MS 5/2017 (Tabela 2).

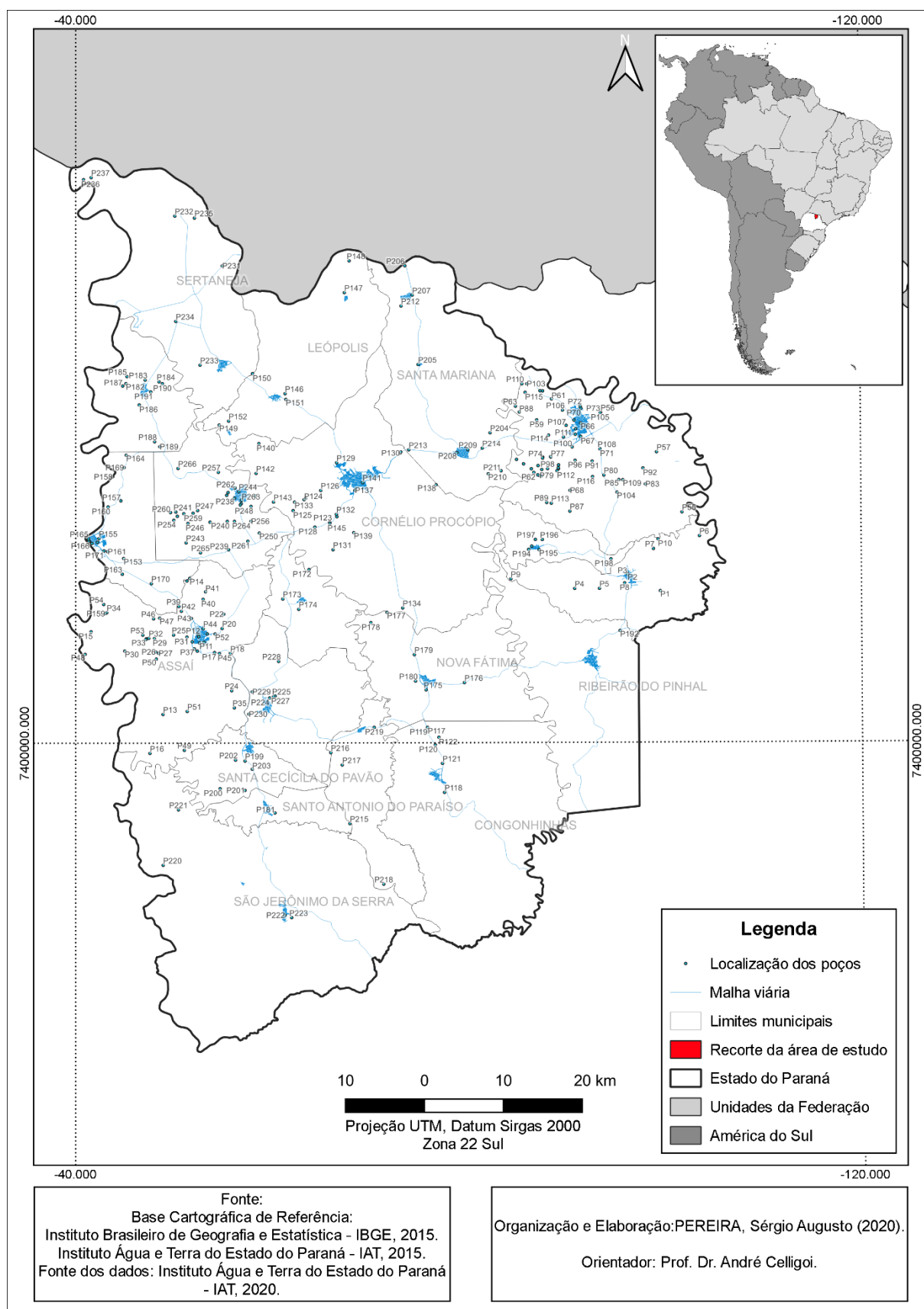
Tabela 2 - Parâmetros pesquisados e valores de referência segundo à Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017.

Parâmetros analisados	Valores de referência segundo à Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017
Nitrato	10 mg/L
Potencial Hidrogeniônico	6,0 a 9,5
Sólidos Dissolvidos Totais	1000 mg/L
Condutividade Elétrica	N/D
Turbidez	5,0 NTU

Fonte: BRASIL, 2017. Organizado pelo autor, 2020.

Os dados foram tabulados da seguinte forma, como se pode observar no apêndice: a numeração dos poços; o código da captação; o município; latitude; longitude; NO_3^- ; pH; SDT; Condutividade Elétrica; Turbidez; data de coleta; e aquífero (Apêndice A). A figura 14 apresenta a numeração e a localização de todos os poços que captam água do SASG investigados nesta pesquisa (Figura 14).

Figura 14 - Localização dos poços do SASG nos 20 municípios que compõem a área de estudo desta pesquisa.



Foram contabilizados 266 poços que contêm pelo menos um dos parâmetros discutidos nesta pesquisa. As análises físico-químicas desses poços foram realizadas por empresas para a outorga, e esses dados estão cadastrados no banco de dados do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT. Os poços podem ser de propriedades de pessoa física ou pessoa jurídica. As análises químicas foram realizadas entre os anos de 1980 a 2020, sendo que cada poço possui uma data específica. A partir da organização desses dados, elaborou-se mapas de distribuição espacial dos parâmetros analisados, utilizando a interpolação pautada no método Krigagem.

Foram utilizados outros dados dos poços para a produção de mapas potenciométricos do SASG do recorte espacial desta pesquisa (Apêndice B) e para a caracterização hidroquímica das águas desse aquífero no recorte deste estudo por meio do diagrama de Piper (Apêndice C).

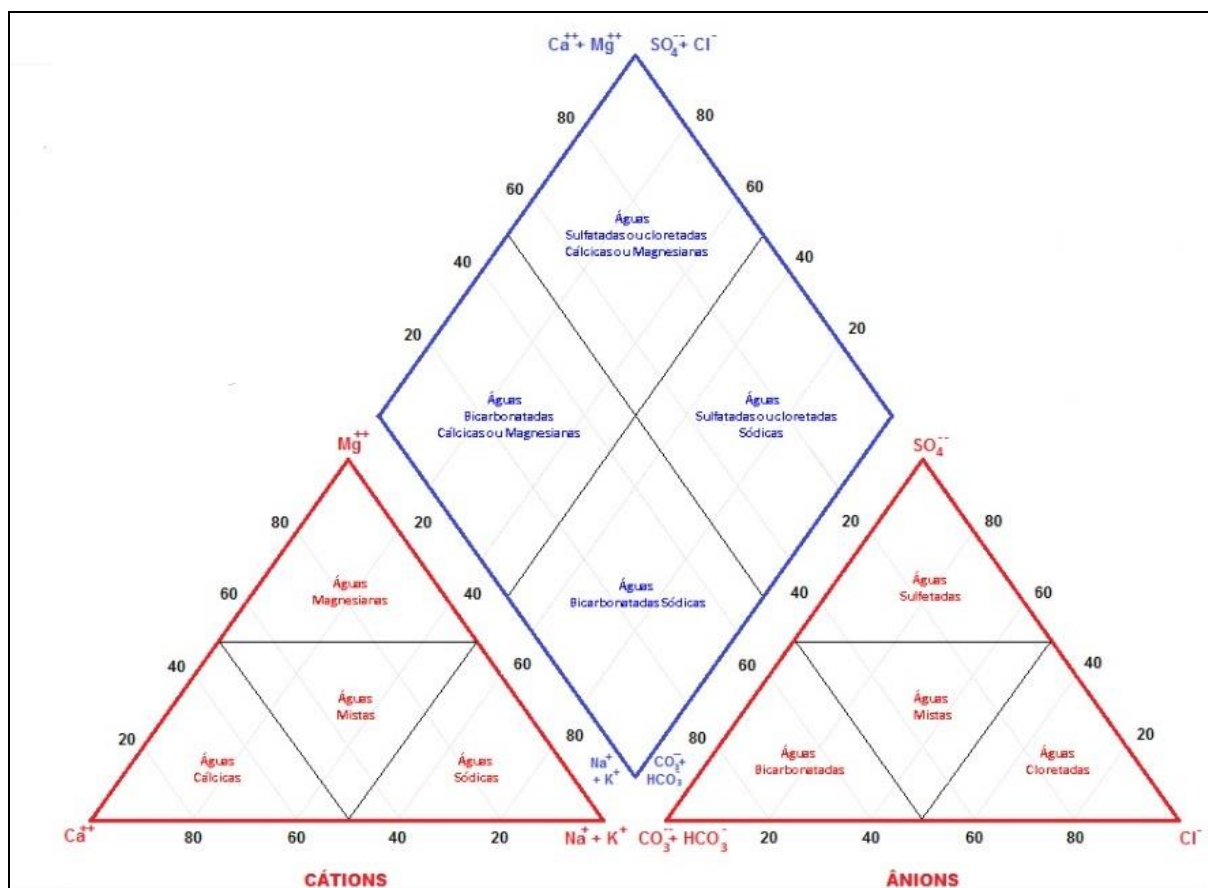
A potencimetria foi elaborada a partir do cruzamento dos dados coletados no IAT dos níveis estáticos dos poços e das cotas altimétricas do relevo do recorte espacial desta pesquisa coletadas da imagem SRTM extraída do site da Embrapa. Os dados dessa imagem estão em formato raster, com resolução radiométrica de 16 bits, com resolução espacial de 90 metros. Esses dados são distribuídos pelo EROS Data Center e controlados pelo United States Geological Survey (USGS) (EMBRAPA, 2020). A partir desses dados, obteve-se a cota potenciométrica do SASG na área de estudo.

Para a classificação hidroquímica das águas do SASG, foram utilizados os seguintes parâmetros: sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), carbonato (CO_3), bicarbonato (HCO_3) e sulfato (SO_4). Essa classificação foi feita com o diagrama de Piper, utilizando o programa Qualigraf.

Segundo Piper (1944), o diagrama combina três campos distintos para plotagem, sendo dois campos triangulares na parte inferior esquerda e inferior direita, e um campo intermediário em forma de diamante. No campo triangular inferior esquerdo são plotados os cátions (Na, K, Ca, Mg) com valores que vão até 50. Os ânions (HCO_3 , CO_3 , SO_4 , Cl) são plotados da mesma forma no campo triangular na parte inferior direita. Os dois pontos plotados no diagrama mostram as concentrações relativas dos vários constituintes dissolvidos em água natural. A partir da intersecção dos pontos dos campos triangulares de ânions e cátions, é possível

determinar a classificação química geral da água por um terceiro campo em forma de diamante de ponto único (Figura 15) (PIPER, 1944).

Figura 15 - Diagrama de Piper.



Fonte: QUALIGRAF, 2020.

5.4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Após a elaboração do referencial teórico e da caracterização da área, e a coleta dos dados junto ao Instituto de Água e Terra do Paraná - IAT, foram elaborados mapas com a distribuição espacial da concentração do parâmetro de NO_3^- , bem como os parâmetros de pH, de SDT, de Condutividade Elétrica e de Turbidez. Para a elaboração dos *layouts* cartográficos, utilizou-se do geoprocessamento, para que assim se pudesse especializar esses dados no recorte delimitado para esta pesquisa.

Moura (2003, p. 8) afirmou que “o geoprocessamento, [...], engloba processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas informativos geográficos, ou sistemas de informação geográfica, ou mesmo sistema geográfico

de informações”. Ou seja, o geoprocessamento nada mais é do que o processamento de dados espaciais por meio de programas de computadores. “O geoprocessamento se resume no armazenamento e na análise de dados” (MOURA, 2003, p. 11).

Para processar os dados coletados nesta pesquisa, precisou-se de um sistema de informações geográficas - SIG. Pode-se definir um sistema de informação geográfica - SIG:

“[...] como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos, e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, transformar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido (FITZ, 2008, p. 23).

Para processar os dados dos poços do SASG coletados do IAT, utilizou-se o programa QGIS 3.6.3. para fazer a interpolação dos pontos, utilizando a metodologia Krigagem Ordinária. O método de interpolação Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW) também foi testado, entretanto os resultados da Krigagem se mostraram mais satisfatórios para a pesquisa.

Segundo Fitz (2008), a interpolação é um método que utiliza de funções matemáticas para que se possa encontrar valores de dados em áreas de valores desconhecidos que estão entre dois pontos com valores de dados conhecidos. “Os dados interpolados representam, portanto, uma aproximação da realidade. Assim, quanto mais dados conhecidos existirem, tanto mais fiel será a modelagem realizada” (FITZ, 2008, p. 76).

“Interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado” (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002, p. 3). Fitz (2008) dissertou que a interpolação em imagens digitais pode ser elaborada a partir de arquivos matriciais ou vetoriais, sendo que no primeiro, a interpolação é feita pixel a pixel, e no segundo, ponto a ponto.

Dessa forma, utilizou-se da geoestatística para a interpolação dos dados. Segundo Fernandes (2014) a geoestatística é uma subárea da estatística, que por sua vez, estuda as variáveis regionalizadas. Os métodos geoestatísticos são capazes de fornecer um conjunto de técnicas para que se possa entender dados que estão aparentemente aleatórios, mas possuem condições de serem

estruturados espacialmente, e dessa forma, podem estabelecer uma função de correlação espacial.

Marcuzzo, Andrade e Melo (2011, p. 796) explanaram que a “krigagem é um método geoestatístico que se baseia na Teoria das Variáveis Regionalizadas, que supõe que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área”. Landim, Monteiro e Corsi (2002) afirmaram que a krigagem é um método que apresenta resultados satisfatórios.

Landim (2006) explicou que com a krigagem pode-se estimar valores de pontos desconhecidos de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, a partir de valores de pontos conhecidos. “Trata-se, em último caso, de um método de estimativa por médias móveis” (LANDIM, 2006, p. 27).

[...] A krigagem pode ser usada, como algoritmo estimador, para: a) previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um determinado local dentro do campo geométrico; é um procedimento de interpolação exato que leva em consideração todos os valores observados, o qual pode ser a base para cartografia automática por computador quando se dispõe de valores de uma variável regionalizada dispostos por uma determinada área; b) cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior que o suporte geométrico como, por exemplo, no cálculo do teor médio de uma jazida a partir de informações obtidas de testemunhas de sondagens; (LANDIM, 2006, p. 27).

Para que se possa calcular a interpolação do valor de um ponto por meio da krigagem, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (\text{Equação 2})$$

“em que, $Z(x)$ - é o valor do ponto que se deseja interpolar; n - é a quantidade de pontos amostrados cujos valores serão usados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ - é o valor do ponto amostrado; e ω_i é o valor do peso do valor de $Z(x_i)$ sobre o ponto x ” (MARCUZZO, ANDRADE E MELO, 2011, p. 797).

Ainda na krigagem, para se determinar os pesos ω_i , é necessário resolver a seguinte equação matemática:

$$\sum_{i=1}^N \omega_i \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_j),$$

$$\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$$

(Equação 3)

“em que, ω_i - é o peso para cada ponto; μ - é uma variável temporária; $\gamma(h)$ - é o valor de semivariância para pontos separados por uma distância h ; h_{ij} - é a distância entre os pontos x_i e x_j ; h_j - é a distância entre o ponto que se deseja calcular o valor x e o ponto x_j ” (MARCUIZZO, ANDRADE E MELO, 2011, p. 797).

Com a resolução dessas equações, é possível realizar a interpolação utilizando o método krigagem. Dessa forma, a partir das coordenadas dos pontos e das concentrações dos parâmetros analisados presentes em cada ponto, obteve-se mapas da distribuição espacial dos parâmetros de NO_3^- , pH, SDT, Condutividade Elétrica e Turbidez. É importante ressaltar que as interpolações não abrangem todo o recorte espacial da pesquisa, pois, devido às características do método utilizado, a área interpolada limita-se à localização dos poços formando um polígono. Sendo assim, o extremo sul da área deste estudo não foi coberta pelas interpolações².

Para a elaboração dos mapas de interpolação, foram utilizadas as bases cartográficas do estado do Paraná e dos municípios que compõem a área de estudo, extraídas do site do Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – IAT e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

5.5 TRABALHO DE CAMPO

A pesquisa de campo foi realizada para o reconhecimento dos locais onde os poços do SASG possuem concentrações de NO_3^- acima de 10 mg/L, a fim de encontrar possíveis fontes contaminantes dessas águas subterrâneas, com o auxílio dos mapas potenciométricos elaborados a partir dos dados obtidos desses poços. Desta forma, o trabalho de campo foi fundamental para o diagnóstico em relação às influências das questões sociais e naturais como potenciais contaminantes das águas subterrâneas.

O último passo da pesquisa foi a elaboração de diretrizes para a implementação de um plano de monitoramento e gestão pública do SASG. Após

² (Figuras 17, 18, 19, 20 e 21).

todas as etapas do encaminhamento metodológico foi necessário realizar a sistematização de todas as informações colhidas e de todos os dados coletados durante as fases propostas na metodologia. Dessa forma, a análise, discussão e interpretação dos dados foram realizadas para que os resultados obtidos pudessem ser sólidos e representar a realidade da área estudada.

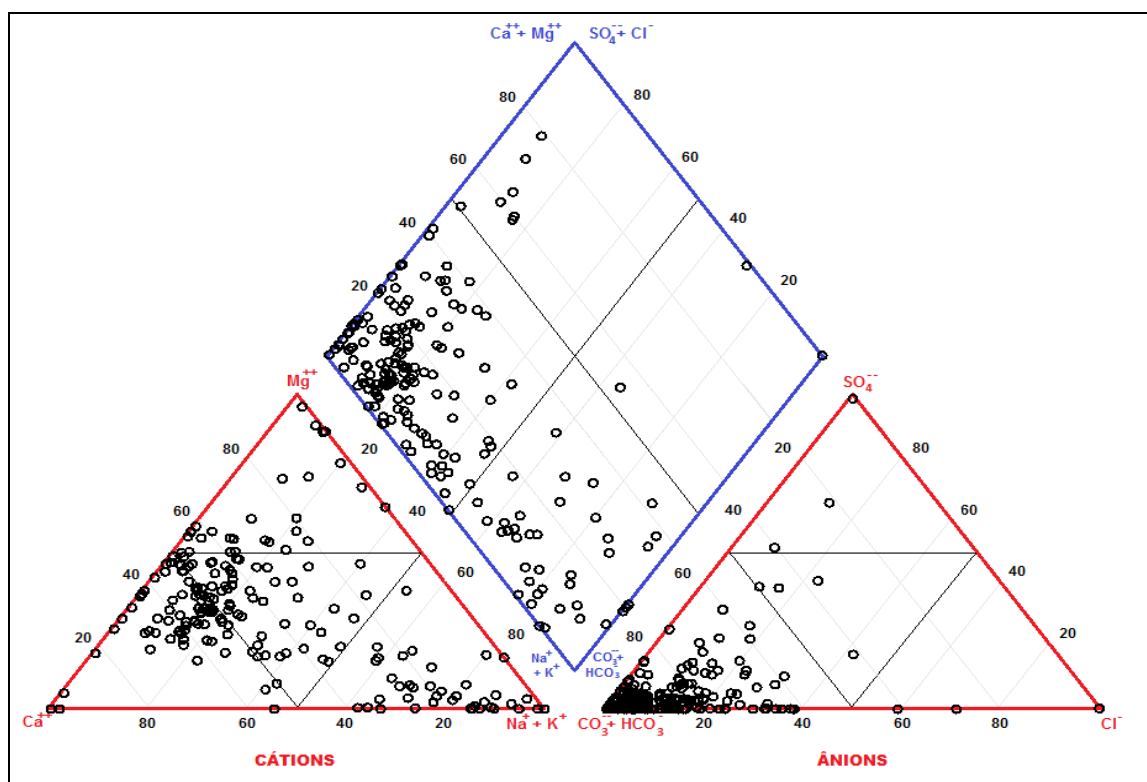
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, analisaram-se os dados dos poços das águas subterrâneas do SASG, na área delimitada para esta pesquisa, coletados no Instituto Água e Terra do Estado do Paraná. Primeiro, foi feita a classificação hidroquímica das águas do SASG. Em seguida, foram realizadas as análises da distribuição espacial dos parâmetros estudados, a potenciometria das áreas onde há poços com concentrações de NO_3^- maiores do que os permitidos pela legislação vigente e a sugestão da elaboração de um plano de monitoramento e gestão pública no SASG.

6.1 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DO SASG

Para a elaboração do diagrama de Piper, foram analisadas 200 amostras de água do SASG. A maioria das amostras na área de estudo, com base no diagrama de Piper, é classificada como bicarbonatadas cálcicas, calco-magnesianas, bicarbonatadas sódicas e magnesianas (Figura 16).

Figura 16 - Diagrama de Piper: classificação das águas do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020.

A distribuição dos ânions no diagrama de Piper apresenta quase uma homogeneidade, em que 190 amostras, cerca de 95%, são classificadas como bicarbonatadas. As águas cloretadas se apresentam em 3 amostras, assim como as sulfatadas. Os cátions estão mais distribuídos no diagrama de Piper, sendo que 81 amostras, que se referem a 40%, são classificadas como cálcicas, 50 amostras são calco-magnesianas, correspondendo 25%, 42 amostras, cerca de 21%, são classificadas como sódicas e 27 amostras, cerca de 14%, são classificadas como magnesianas (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação das águas do SASG.

Classes das águas	Número	%	Classes das águas	Número	%
Cálcicas	81	40	Cloretadas	3	2
Calco-magnesianas	50	25	Bicarbonatadas	190	95
Sódicas	42	21	Sulfatadas	3	2
Magnesianas	27	14	Mistas (ânions)	4	2

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Dessa forma, tem-se como classificação das águas na área de estudo, as águas bicarbonatadas cálcicas com 79 amostras, correspondendo a 39,5%, as águas bicarbonatadas calco-magnesianas com 49 amostras, cerca de 24,5%, as bicarbonatadas sódicas, com 39 amostras, correspondendo a 19,5% e as águas bicarbonatadas magnesianas, com 23 amostras, representando 11,5%. Há outras classes, entretanto, não ultrapassam 5% em relação a todas as amostras (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação hidroquímica do SASG.

Classificação das águas do SASG	Número	Percentual
Bicarbonatadas Cálcicas	79	39,5%
Sulfatadas Cálcicas	1	0,5%
Cálcicas Mistas	1	0,5%
Cloretadas Sódicas	1	0,5%
Bicarbonatadas Sódicas	39	19,5%
Sulfatadas Sódicas	1	0,5%
Sódicas Mistas	1	0,5%
Cloretadas Magnesianas	2	1%
Bicarbonatadas Magnesianas	23	11,5%
Magnesianas Mistas	2	1%
Bicarbonatadas Calco-magnesianas	49	24,5 %
Sulfatadas Mistas	1	0,5%

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Athayde *et al.* (2014) explanaram que as águas do SASG são predominantemente bicarbonatas cálcicas. Celligoi, Corcória e Pinese (2019) afirmaram que as águas do SASG são classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, tendo concentrações variadas de sódio.

Manassés *et al.* (2011) e Reginato, Ahlert e Schneider (2013) identificaram águas bicarbonatadas sódicas no SASG. Os autores, respectivamente, sugeriram que as altas concentrações de sódio no SASG na região sudoeste do estado do Paraná e na região nordeste do Rio Grande do Sul podem ocorrer por duas maneiras: pelo grau de confinamento das águas do SASG ou pela interação do SASG com o SAG. No recorte espacial desta pesquisa, os estudos relacionados às altas concentrações de sódio do SASG devem aprofundados, entretanto, esse tema não é o objeto desta pesquisa.

Fraga (1986) identificou três classes de água do SASG no seu estudo: águas bicarbonatadas cálcicas, águas bicarbonatadas calco-magnesianas e águas bicarbonatadas sódicas. Fraga explicou que as duas primeiras classes - bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas calco-magnesianas - se devem à natureza

das estruturas litológicas onde a água está armazenada, e a terceira classe - bicarbonatadas sódicas - se deve a fatores externos ao SASG, como a interação da água do SASG com o SAG.

Dessa forma, observando os dados, apesar das águas do SASG na área de estudo serem majoritariamente bicarbonatadas, as concentrações de cátions se apresentam de forma heterogênea, indicando que algumas dinâmicas hidrogeológicas podem estar interferindo nas concentrações dos íons Na, K, Ca e Mg.

6.2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS DE PH, SDT, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E TURBIDEZ DO SASG

Para realizar a análise espacial dos parâmetros estudados, é importante que se observe a tabela 5. Nesta tabela, apresenta-se os municípios e os dados referentes aos poços do SASG que foram analisados nesta pesquisa. Observa-se que há 266 poços que foram analisados, sendo que desses, têm 241 poços que apresentam concentrações de NO_3^- , 262 contêm valores de pH, 235 poços têm valores de SDT, 185 de Condutividade Elétrica e 214 poços apresentam as concentrações de Turbidez (Tabela 5).

Os municípios com o maior número de poços e que contêm o maior número dos parâmetros analisados são Bandeirantes e Assaí, sendo que o município de Bandeirantes tem 62 poços contendo 54 parâmetros de NO_3^- , 60 parâmetros de pH, 53 poços contendo as amostras de SDT, 43 de Condutividade Elétrica e 50 de Turbidez, e o município de Assaí tem 44 poços contendo 44 parâmetros de NO_3^- , 43 poços contendo amostras de pH, 42 poços com as amostras de SDT, 39 de Condutividade Elétrica e 31 de Turbidez.

Dois municípios têm apenas 1 poço que apresenta os parâmetros analisados nesta pesquisa, sendo os municípios de Nova Santa Bárbara e Ribeirão do Pinhal. O poço que se encontra no município de Nova Santa Bárbara não apresenta os parâmetros de Condutividade Elétrica e Turbidez, e o poço que se encontra em Ribeirão do Pinhal não contém os parâmetros de NO_3^- e Condutividade Elétrica.

Tabela 5 - Número de poços e das amostras dos parâmetros analisados do SASG de cada município que compõem a área de estudo desta pesquisa.

Município	Número de poços	Amostra de nitrato	Amostra de pH	Amostra de SDT	Amostra de Cond. Elétrica.	Amostra de Turbidez
Abatiá	10	10	10	10	6	7
Assaí	44	44	43	42	39	31
Bandeirantes	62	54	60	53	43	50
Congonhinhas	6	6	6	5	4	6
Cornélio Procópio	23	21	23	22	18	19
Leópolis	7	7	7	6	5	6
Jataizinho	19	14	19	14	12	17
Nova América da Colina	3	3	3	2	1	2
Nova Fátima	6	6	6	6	6	4
Nova Santa Bárbara	1	1	1	1	0	0
Rancho Alegre	10	8	10	10	6	9
Ribeirão do Pinhal	1	0	1	1	0	1
Santa Amélia	6	5	6	6	1	5
Santa Cecília do Pavão	5	4	5	4	4	4
Santa Mariana	11	10	11	10	7	9
Santo Antônio do Paraíso	5	4	5	4	3	4
São Jerônimo da Serra	4	4	3	3	1	3
São Sebastião da Amoreira	7	7	7	6	3	6
Sertaneja	7	5	7	4	4	6
Uraí	29	28	29	26	22	25
Recorte da área de estudo	266	241	262	235	185	214

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT. Organizado pelo autor, 2020.

6.2.1 Parâmetros de pH do SASG

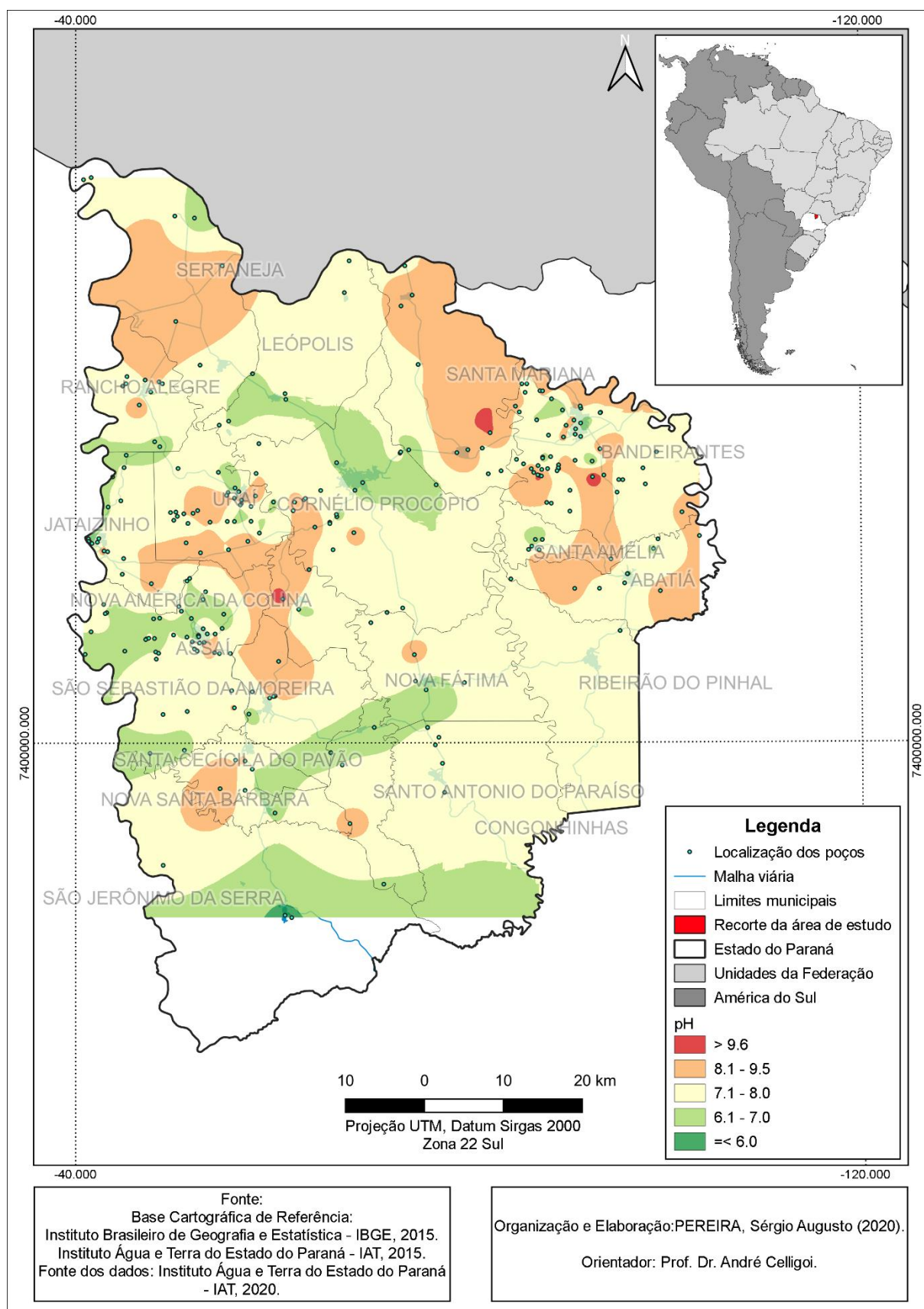
As águas para o abastecimento doméstico devem ter o pH situado na faixa de 6,5 a 9,5, pois valores baixos podem contribuir para a corrosão das redes de distribuição, enquanto que valores altos, facilitam as incrustações. O pH, para a manutenção da vida aquática, deve se situar na faixa de 6 a 9 (BRASIL, 2014).

Os dois principais fatores que definem o pH são a alcalinidade e o gás carbônico (SANTOS, 2019). O pH possui valores de 0 a 14, sendo que abaixo de 7, ele reflete condições ácidas, o valor de 7 reflete condições neutras e superior a 7, condições alcalinas (BRASIL, 2014). A concentração hidrogeniônica da água ou solução é controlada pelas reações químicas, bem como equilíbrio entre os íons presentes (FREDDO, 2018). “As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais)” (BRASIL, 2014, p. 20).

Freddo (2018) dissertou que a Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde, estabeleceu para os valores de pH, como padrão para fins de potabilidade, uma faixa que vai de 6,0 a 9,5. “Para a Organização Mundial de Saúde essa faixa é alterada para 6,5 a 8,5. A maioria das águas subterrâneas, em seu estado natural, possui pH entre 5,5 e 8,5” (FREDDO, 2018, p. 49). De acordo com a Portaria de Consolidação MS 5/2017, recomenda-se, para fins de potabilidade da água, que os valores de pH sejam mantidos nas faixas de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2017).

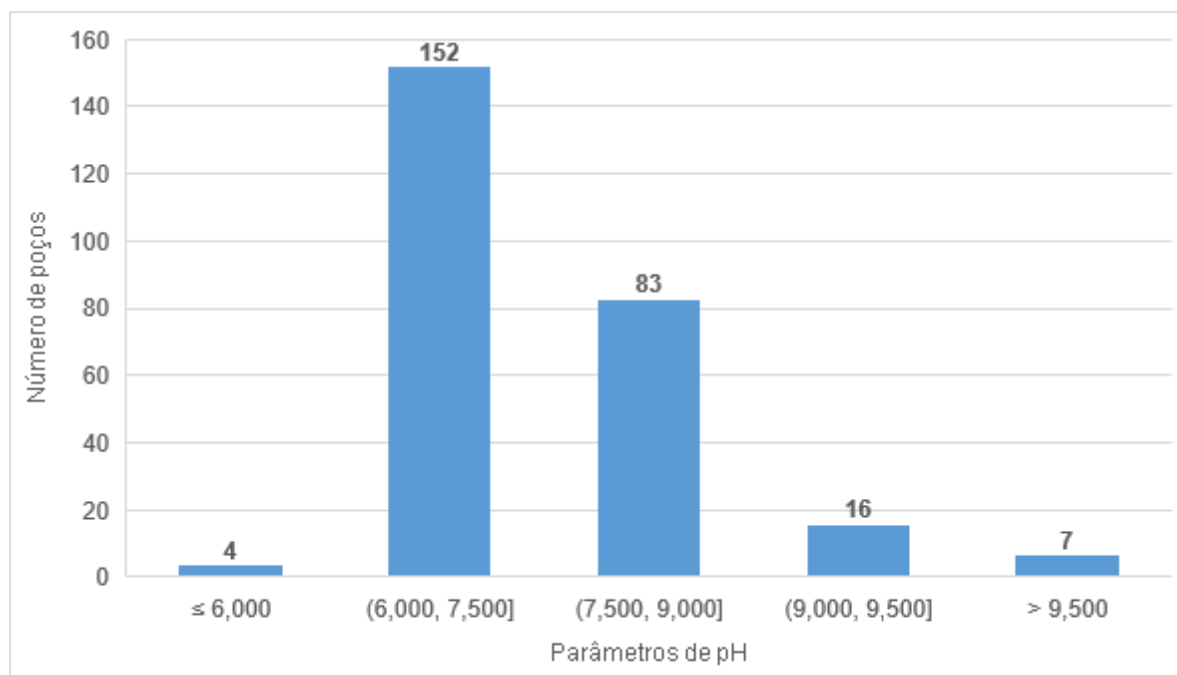
De acordo com a figura 17, referente à distribuição espacial do parâmetro de pH na área de estudo, observa-se que a maioria dos poços, especificamente 251, possui valores de pH que estão dentro dos limites de referência estabelecido pela Portaria. Há sete poços com valores de pH acima do estabelecido pela Portaria de Consolidação e quatro poços com valores abaixo. Dos sete poços com valores acima dos valores de referência, cinco estão localizados na porção norte e nordeste da área de estudo, com dois poços na área central. Esses poços são os P63, P78, P79 e P116, localizados no município de Bandeirantes, o P204 no município de Santa Mariana, o P173 no município de Nova América da Colina e o P200 em Santa Cecília do Pavão.

Figura 17 - Mapa da distribuição espacial dos valores de pH das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Os poços com valores abaixo da referência são os P91, localizado no município de Bandeirantes, P165 em Jataizinho e os poços P222 e P223 localizados em São Jerônimo da Serra. Das 262 amostras de pH, 251 estão dentro dos padrões de potabilidade recomendados pela Portaria de Consolidação MS 5/2017 (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Teores de pH das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Conforme pode ser observado na tabela 6, o valor mínimo do pH encontrado nas águas subterrâneas do SASG na área de estudo é de 5,710, e o valor máximo é de 10,570, com a média, levando em conta todos os poços, de 7,554 e a mediana de 7,335. Dessa forma, com base no gráfico 3 e na tabela 6, percebe-se que a maioria dos poços possuem pH neutro ou próximo disso, sendo que 186 amostras possuem pH entre os valores de 6,5 a 8,0.

Tabela 6 - Estatística dos valores de pH dos poços do SASG na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do parâmetro de pH em 262 poços da área de estudo.
Mínimo	5,710
Máximo	10,570
Média	7,554
Mediana	7,335

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Manasses, Rosa Filho, Hindi e Bittencourt (2011) em seus estudos, encontraram valores de pH no SASG que variam de 6,69 a 9,95, com uma média de 8,11, e Reginato, Ahlert e Schneider (2013), encontraram valores de pH com valores mínimos de 5,8 e valores máximos 9,9. Observa-se que esses valores são similares aos das amostras do SASG desta pesquisa.

6.2.2 Parâmetros de SDT do SASG

A água subterrânea possui diversos constituintes químicos inorgânicos dissolvidos em diferentes concentrações. Isso ocorre por causa das interações químicas e bioquímicas entre a água e os materiais geológicos por onde a água flui. Dessa forma, as concentrações de SDT na água subterrânea podem variar em muitas ordens de grandeza (FREZZE; CHERRY, 2017).

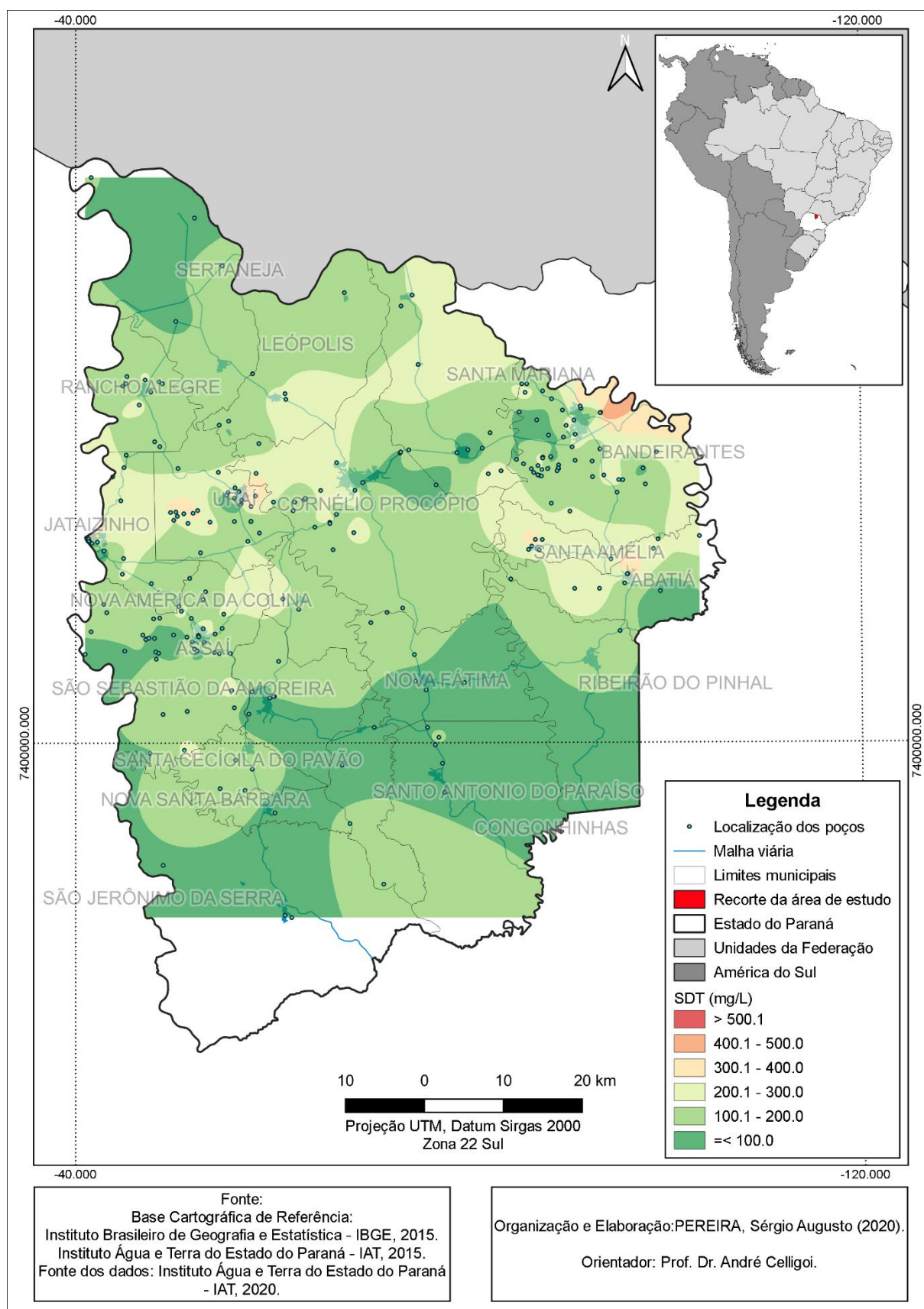
Segundo Rebouças (2015), de acordo com a classificação mundial das águas, a água, com base nas suas características naturais, é própria para o uso quando apresenta teores de SDT inferiores a 1.000 mg/L. São classificadas como salobras, as águas que apresentam teores de SDT entre 1.000 e 10.000 mg/L. As águas que apresentam mais de 10.000 mg/L de SDT, são classificadas como salgadas (REBOUÇAS, 2015). “Os SDTs da água do mar correspondem a cerca de 35.000 mg/L” (FREZZE; CHERRY, 2017, p. 96).

Conforme Frezze e Cherry (2017), a concentração de SDT na água subterrânea é determinada pela pesagem do resíduo sólido resultante da evaporação da água, em que esse volume é medido pela secagem da amostra

filtrada. Os resíduos sólidos consistem em partes inorgânicas e pequenas partes de matéria orgânica.

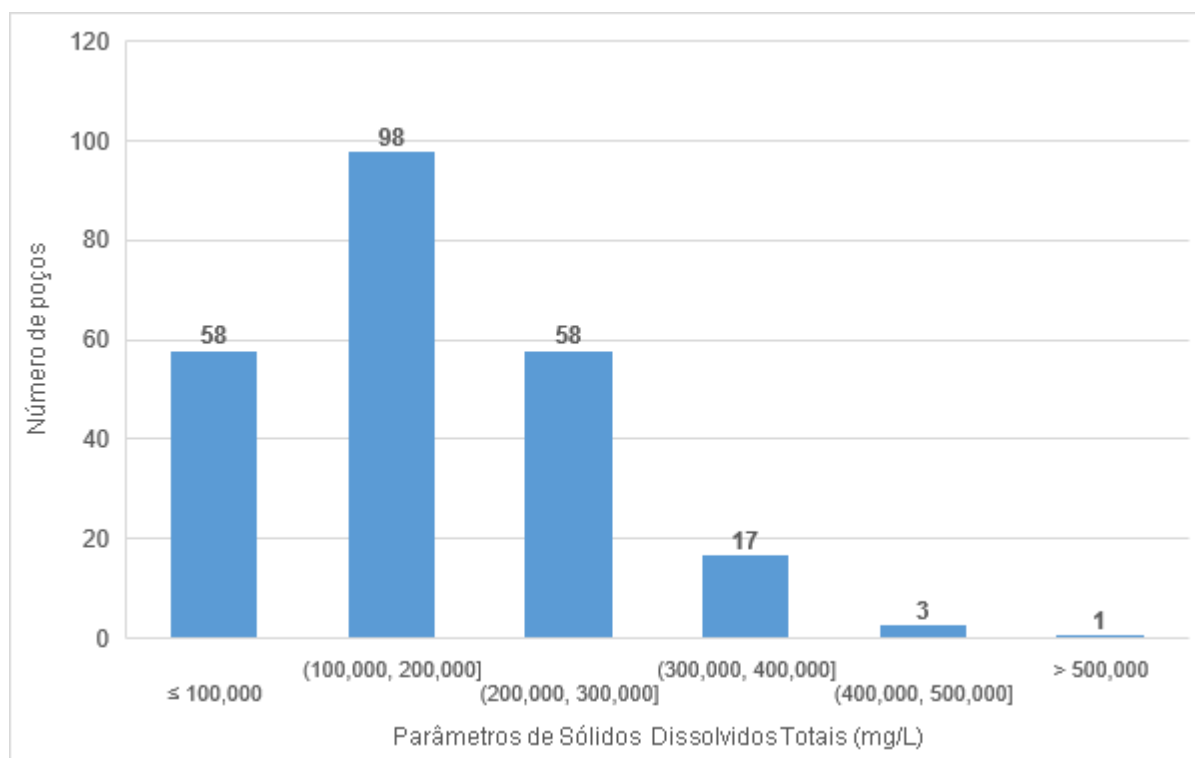
Para fins de potabilidade, de acordo com a Portaria de Consolidação MS 5/2017, que estabelece concentrações de 1000 mg/L de SDT, todas as amostras da água subterrânea do SASG, na área de estudo, estão com valores de SDT abaixo dos limites sugeridos pela legislação. Conforme observa-se na figura 18 e no gráfico 4, a maior parte da área do recorte de estudo possui concentrações inferiores a 200 mg/L de SDT, especificamente, 156 poços.

Figura 18 - Mapa da distribuição espacial dos valores de SDT (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Apenas 1 amostra possui concentrações acima de 500 mg/L de SDT, com o valor de 548,800 mg/L. O poço onde foi coletado essa amostra é o P73 e está localizado no município de Bandeirantes.

Gráfico 4 - Teores de SDT (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

A tabela 7 apresenta os dados estatísticos das concentrações de SDT para o SASG na área de estudo. A média para os 235 poços ficou em 170,279 mg/L e a mediana ficou em 159,000 mg/L, em que as menores concentrações foram 0 mg/L e a maior foi 548,8 mg/L. Três poços apresentaram amostras com concentrações de 0 mg/L, sendo os poços P176, localizado no município de Nova Fátima, o P209, localizado em Santa Mariana, e o P235, em Sertaneja. Provavelmente, o parâmetro de SDT não foi analisado nesses três poços e por isso as concentrações apresentam 0 mg/L.

Tabela 7 - Estatística dos valores de SDT (mg/L) dos poços do SASG na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do parâmetro de SDT em 235 poços da área de estudo.
Mínimo	0,000 mg/L
Máximo	548,800 mg/L
Média	170,279 mg/L
Mediana	159,000 mg/L

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

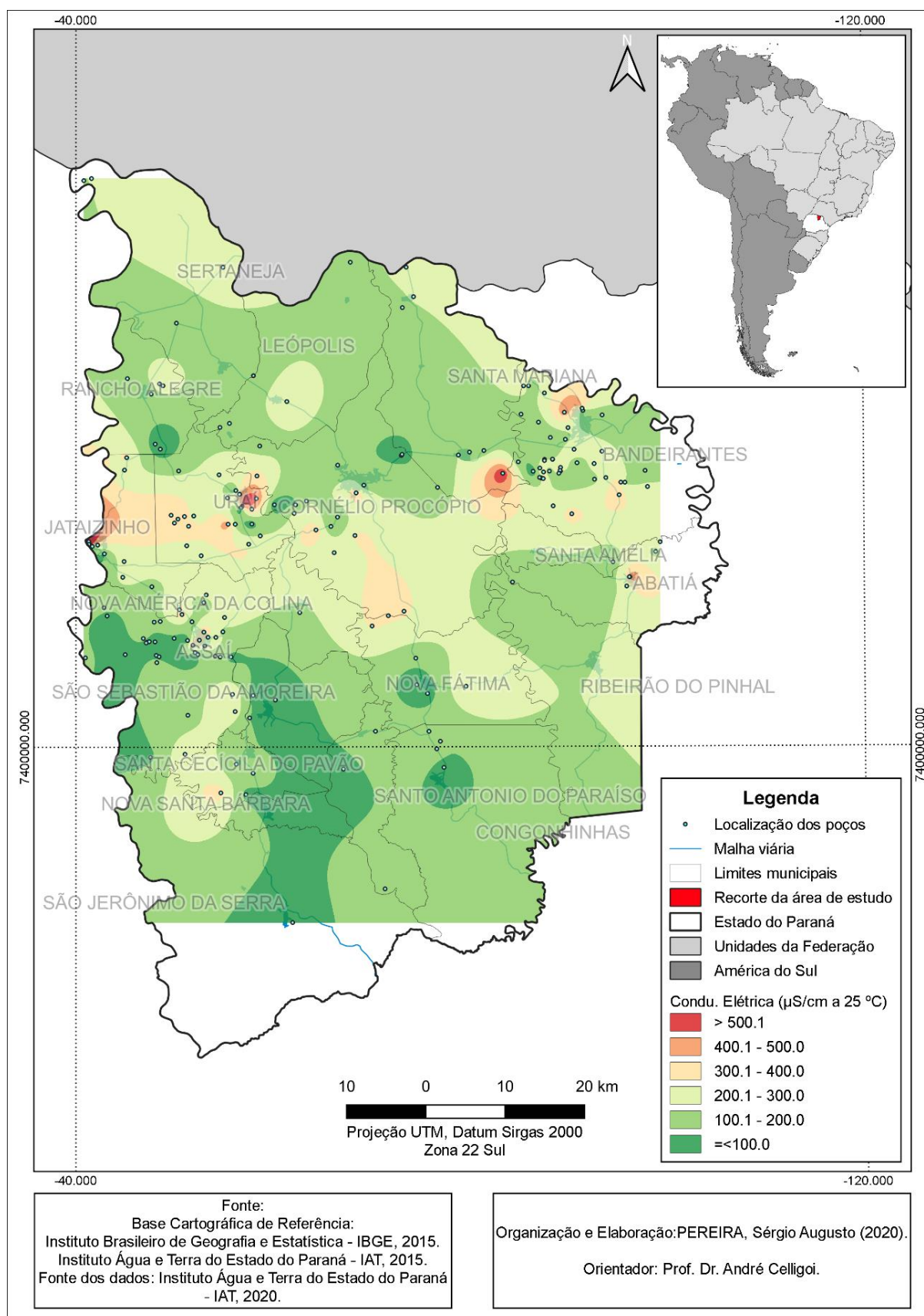
6.2.3 Parâmetros de Condutividade Elétrica do SASG

Praticamente quase todos os principais e menores constituintes dissolvidos na água se apresentam na forma iônica, e por isso, a água pode ser considerada como uma solução eletrolítica. Dessa forma, uma indicação desses constituintes iônicos dissolvidos pode ser identificada por meio da determinação da capacidade da água conduzir corrente elétrica (FREZZE; CHERRY, 2017).

Conforme Santos (2019) explanou, a água, por possuir em sua composição íons e sais em solução, tem a capacidade de conduzir energia, e a sua proporção de concentração e dissolução pode ser medida pela Condutividade Elétrica em águas subterrâneas, em que seus valores podem ser mensurados em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

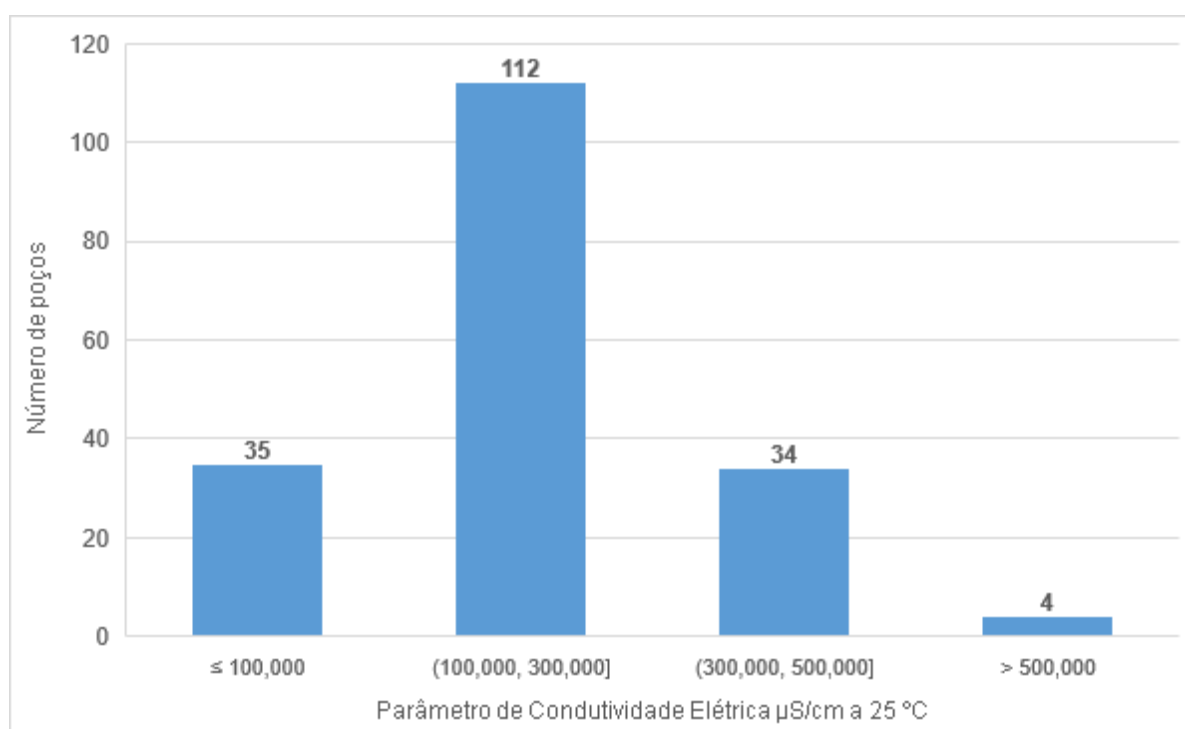
Na distribuição espacial do parâmetro de Condutividade Elétrica apresentada na figura 19, observa-se que os maiores valores de Condutividade Elétrica se apresentam nos municípios de Jataizinho, Uraí, Bandeirantes, Santa Mariana, Abatiá e Assaí. Dentre os 185 poços estudados, 38 poços apresentam Condutividade Elétrica acima de $300 \mu\text{S}/\text{cm}$. Entretanto, os valores estão bem distribuídos na área de estudo.

Figura 19 - Mapa da distribuição espacial dos valores de Condutividade Elétrica Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Apenas quatro poços apresentam valores de Condutividade Elétrica maiores de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que são os poços P165 e P166 localizados no municípios de Jataizinho, com valores de 594,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 752,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, o P211, localizado em Santa Mariana com valor de 603,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o P251 em Uraí com o valor de Condutividade Elétrica de 537,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 137 poços apresentam valores baixos de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Parâmetros de Condutividade Elétrica Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Levando em consideração os valores de Condutividade Elétrica de todos os poços que apresentam esse parâmetro, a média ficou em 208,733 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a mediana ficou em 175,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tendo como valor mínimo 17,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o valor máximo 752,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C (Tabela 8). Os estudos de Reginato, Ahlert e Schneider (2013) referentes ao SASG apresentaram valores de Condutividade Elétrica entre 44 e 498 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo esses resultados análogos aos apresentados nesta pesquisa.

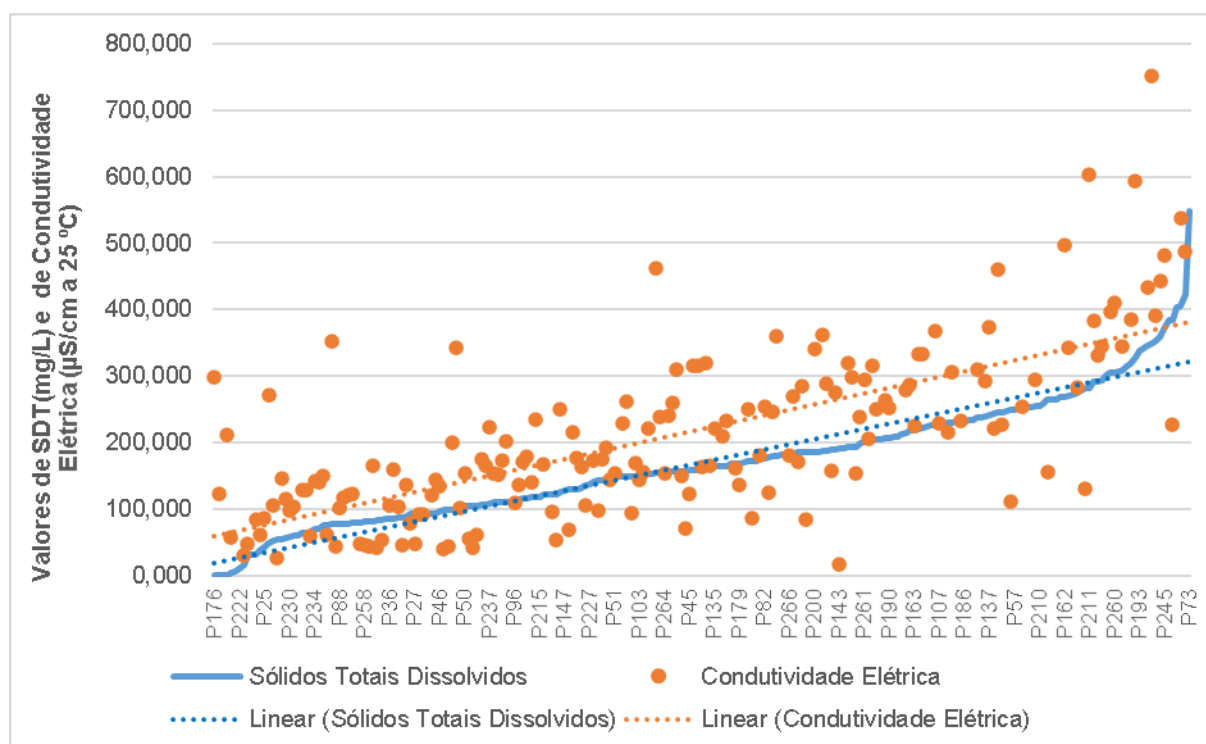
Tabela 8 - Estatística dos valores de Condutividade Elétrica dos poços do SASG na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do parâmetro de Condutividade Elétrica em 185 poços da área de estudo.
Mínimo	17,400 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C
Máximo	752,000 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C
Média	208,733 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C
Mediana	175,200 $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Fazendo uma comparação entre os parâmetros de Condutividade Elétrica e SDT, observa-se no gráfico 6 que há uma correlação positiva entre esses dois parâmetros. A linha azul, que representa os valores de SDT, converge em direção aos dados de Condutividade Elétrica, representados pela dispersão do parâmetro no gráfico na cor amarelo escuro.

Gráfico 6 - Correlação linear entre os parâmetros de Condutividade Elétrica e SDT do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

As linhas de tendência do parâmetro de SDT, na cor azul, e Condutividade Elétrica, na cor amarelo escuro, apresentam direções parecidas, evidenciando mais uma vez a correlação positiva entre esses dois parâmetros encontrados nos poços do SASG.

6.2.4 Parâmetros de Turbidez do SASG

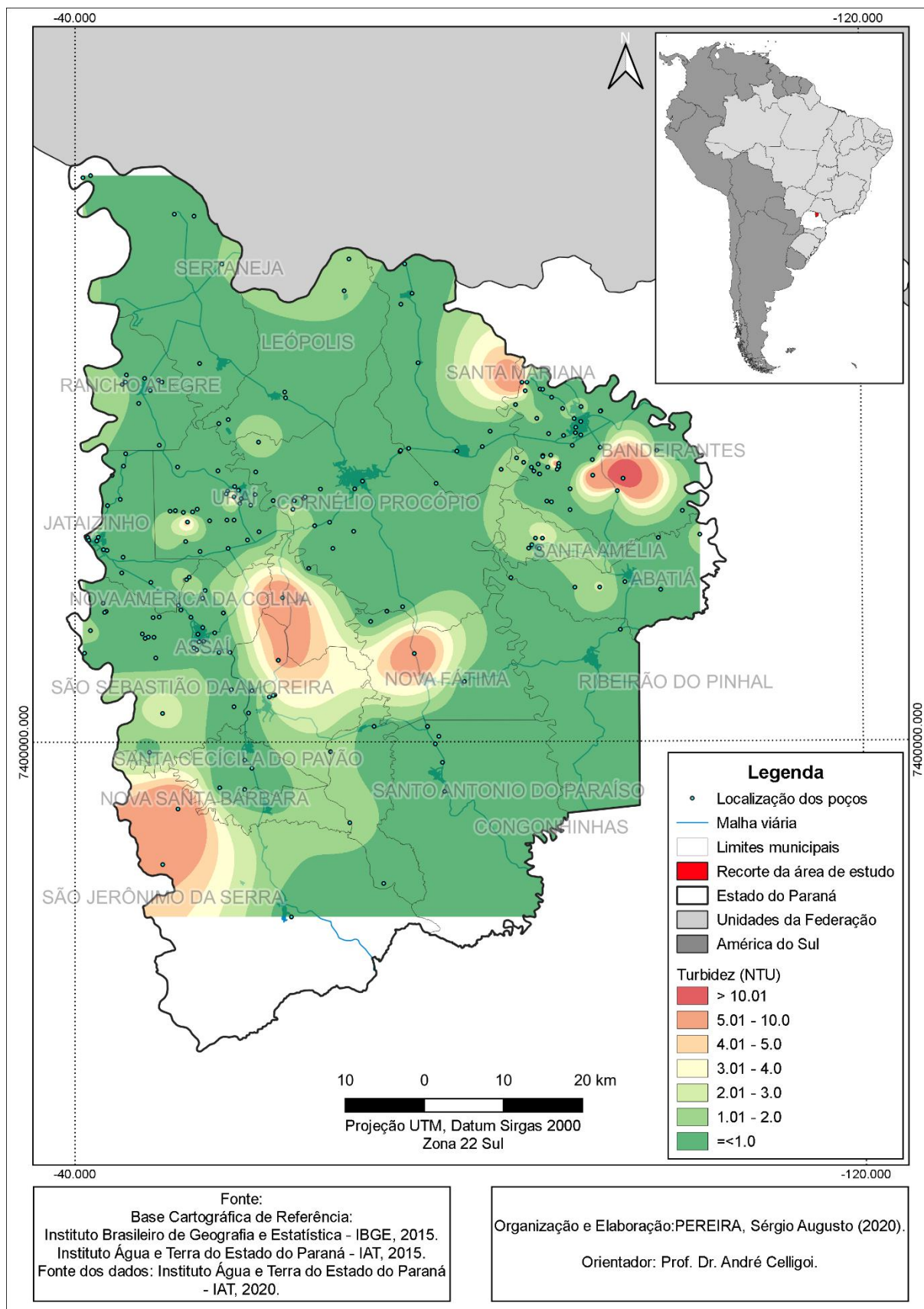
A turbidez da água caracteriza-se pela presença de materiais sólidos orgânicos ou inorgânicos em suspensão que reduzem a transparência da água. Ela pode ser provocada pela presença de matéria orgânica, algas, plâncton, coloides, argilas, dejetos domésticos e industriais, entre outros. É um indicador de qualidade da água para fins de potabilidade e consumo humano. A turbidez é determinada pelo método nefelométrico, com unidades de medidas expressas em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (FUNASA, 2009).

A turbidez é uma medida da matéria em suspensão ou coloidal da água, tal como argila, o silte, matéria orgânica e organismos microscópicos. As medidas baseiam-se no comprimento de um feixe de luz através da água que faz exatamente com que desapareça a imagem de uma chama de uma vela padrão. A filtragem natural produzida por aquíferos não consolidados elimina bastante a turbidez, mas outros tipos de aquíferos podem produzir águas subterrâneas turvas (TODD, 1967, p. 175).

A Portaria de Consolidação MS 5/2017 estabelece que o valor máximo de Turbidez para fins de potabilidade da água é de 5,0 NTU, sendo que esse valor se estende para toda extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) (BRASIL, 2017).

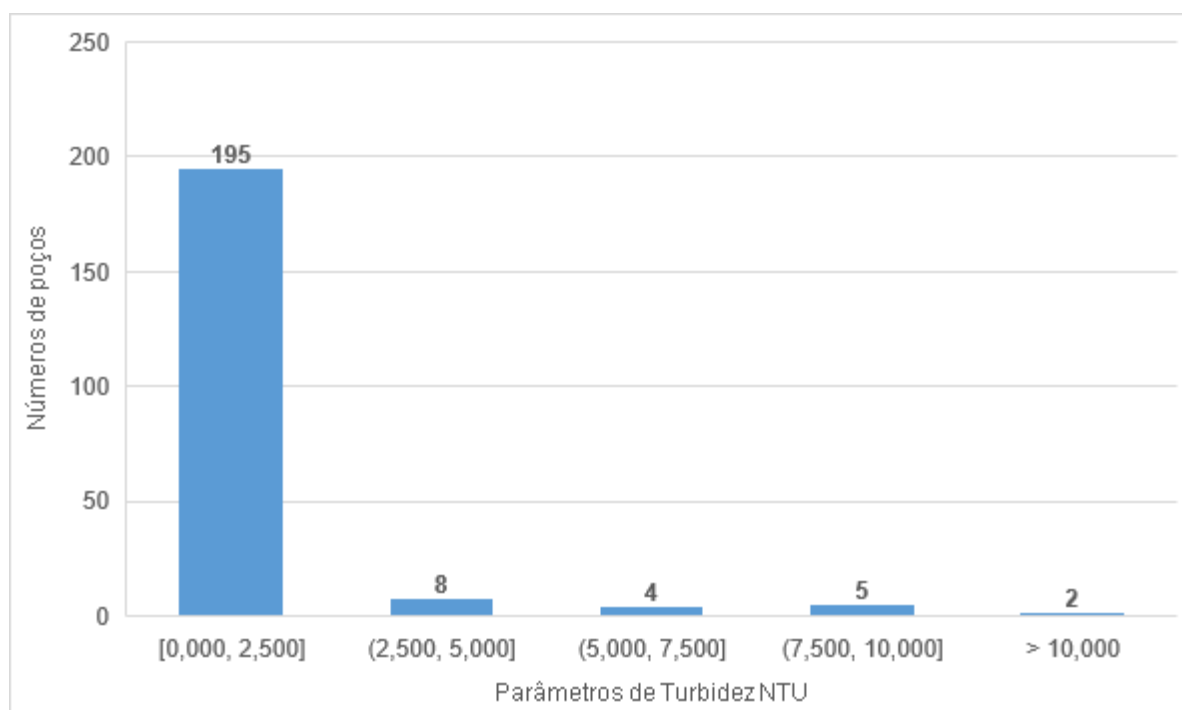
De acordo com os dados de Turbidez do SASG distribuídos espacialmente na área de estudo, observa-se que a maior parte da área do recorte espacial possui valores de Turbidez abaixo de 1,0 NTU (Figura 20). Os valores de Turbidez maiores que os de referência, com base na legislação, se encontram nos municípios de São Jerônimo da Serra, nos poços P220 (5,9 NTU) e o P221 (9,4 NTU), São Sebastião da Amoreira no poço P228 (5,4 NTU), Nova América da Colina no P173 (8,4 NTU), em Nova Fátima no poço P179 (8,3 NTU), Uraí no poço P238 (5,5 NTU), em Jataizinho no P165 (6,63 NTU) e em Bandeirantes nos poços P69 (15,0 NTU), P109 (20,0 NTU), P110 (9,0 NTU) e P116 (8,29 NTU).

Figura 20 - Mapa da distribuição espacial dos valores de Turbidez (NTU) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



De acordo com o gráfico 7, observa-se que, dos 214 poços que contêm os parâmetros de Turbidez, 203 poços apresentam valores de abaixo de 5,0 NTU, e apenas 11 poços possuem valores de Turbidez maiores que 5,0 NTU. Dessa forma, apresenta-se que a maioria dos poços, em relação a esses parâmetros, está abaixo dos valores permitidos pela legislação brasileira.

Gráfico 7 - Parâmetros de Turbidez (NTU) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Conforme se pode observar na tabela 9, o valor mínimo apresentado de Turbidez nos poços do SASG foi de 0 NTU, sendo que 25 poços apresentaram esse valor, e o valor máximo se encontra no poço P109, localizado no município de Bandeirantes, com o valor de Turbidez de 20,0 NTU. Dessa forma, a média dos valores de Turbidez, levando em conta os 214 poços, ficou em 1,075 NTU e a mediana ficou em 0,460 NTU.

Tabela 9 - Estatística dos valores de turbidez dos poços do SASG na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do parâmetro de turbidez em 214 poços da área de estudo.
Mínimo	0,000 NTU
Máximo	20,000 NTU
Média	1,075 NTU
Mediana	0,460 NTU

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

6.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO PARÂMETRO NITRATO NO SASG

A distribuição espacial das concentrações de NO_3^- em águas subterrâneas é estudada e analisada por vários autores em diversos recortes espaciais. Nicolai (2001), Bernice (2010), Varnier, Iritani, Viotti, Oda e Ferreira (2010), Ajarilla (2013), Bertachi, Santos e Stipp (2019), entre outros, produziram textos que discutem a distribuição espacial da concentração de NO_3^- em águas subterrâneas, sendo que muitos desses textos serviram de embasamento teórico para esta pesquisa.

Manassés (2009) afirmou que o NO_3^- é um íon que em teores elevados em águas subterrâneas pode indicar contaminação antrópica, podendo ser causada por diversos fatores como: efluentes domésticos, industriais, fertilizantes, cemitérios, entre outros. Autores como Nicolai (2001), França *et al.* (2006), Valmor Freddo (2010), entre outros, também partilham dessa ideia.

Na área de estudo, observando a figura 21, que apresenta a distribuição espacial da concentração de NO_3^- no SASG, percebe-se que os valores das concentrações de NO_3^- estão bem distribuídos, sendo que, das 241 amostras, 238 possuem concentrações abaixo da estabelecida pela Portaria de Consolidação MS 5/2017, que é 10 mg/L. As amostras com concentrações acima da estabelecida se encontram nos municípios de Uraí, nos P244 (10,600 mg/L) e P249 (26,900 mg/L), e de Bandeirantes, com um poço, o P93 (20,210 mg/L).

Na figura 22, que apresenta os teores de NO_3^- (mg/L) do SASG em círculos proporcionais, também se vê um panorama da distribuição espacial das concentrações de NO_3^- no SASG nos municípios que compõem a área de estudo.

Dessa forma, identifica-se a localização onde estão os maiores círculos proporcionais com concentrações acima de 10,0 mg/L nos municípios de Bandeirantes e Uraí.

Figura 21 - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.

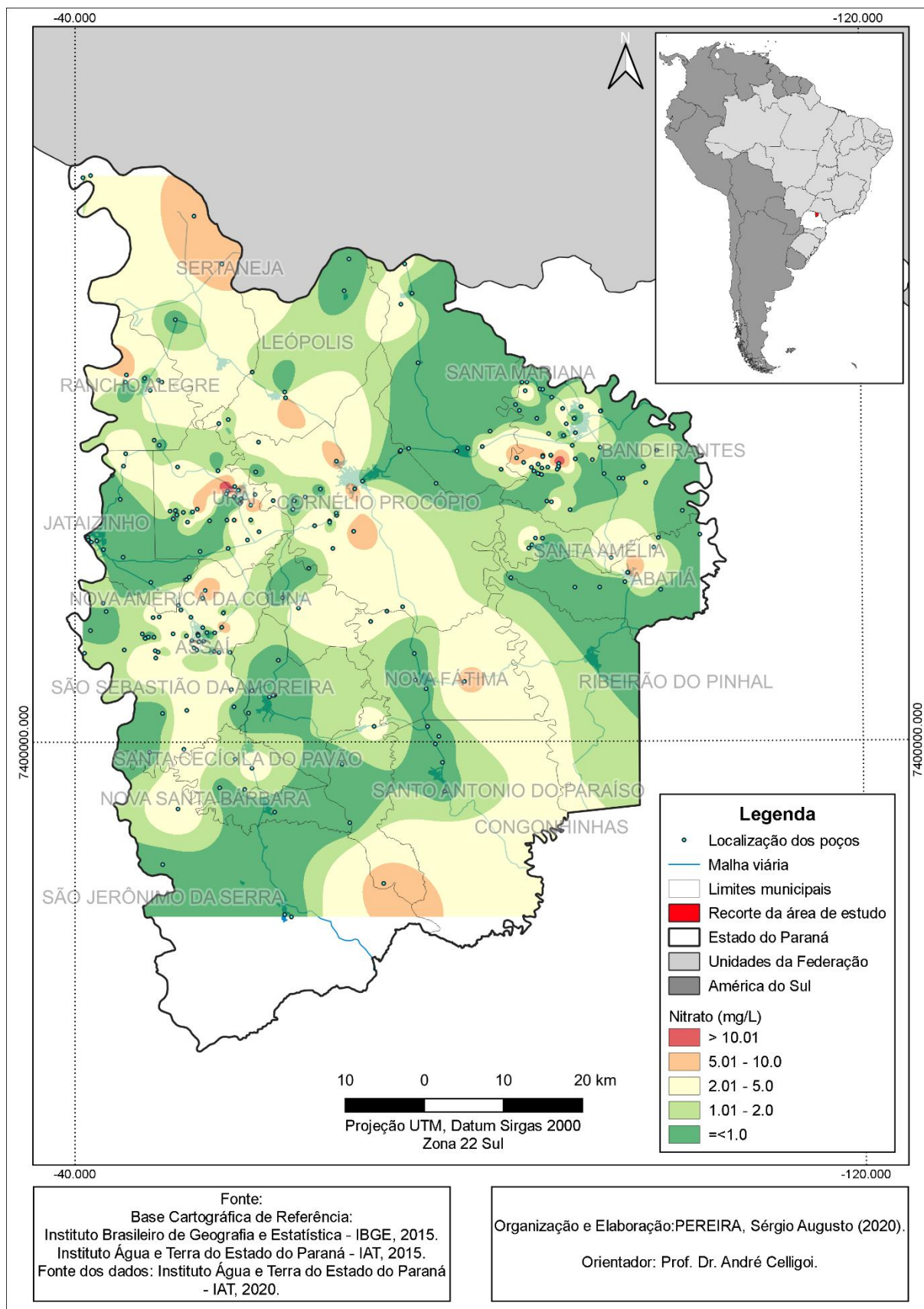
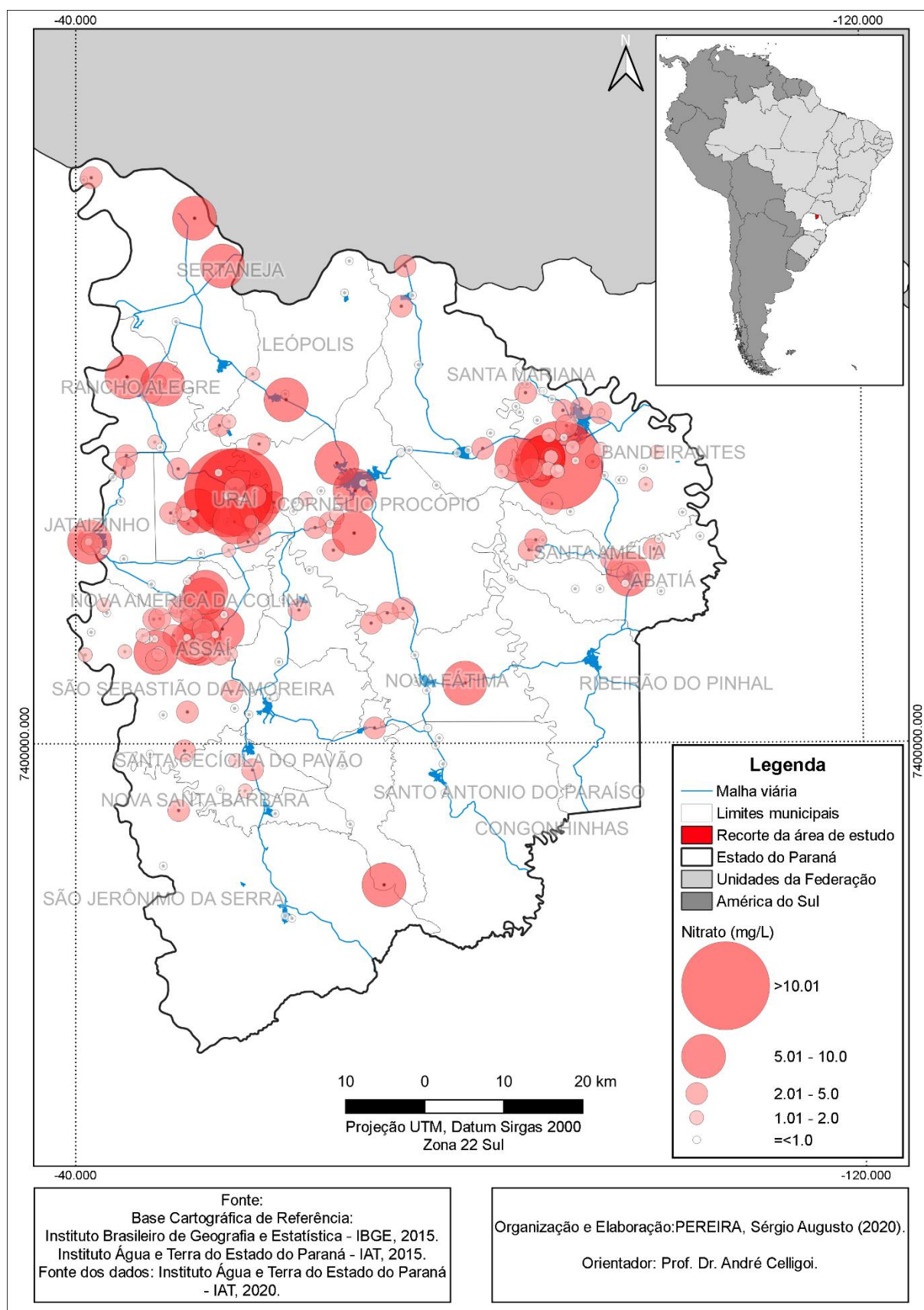
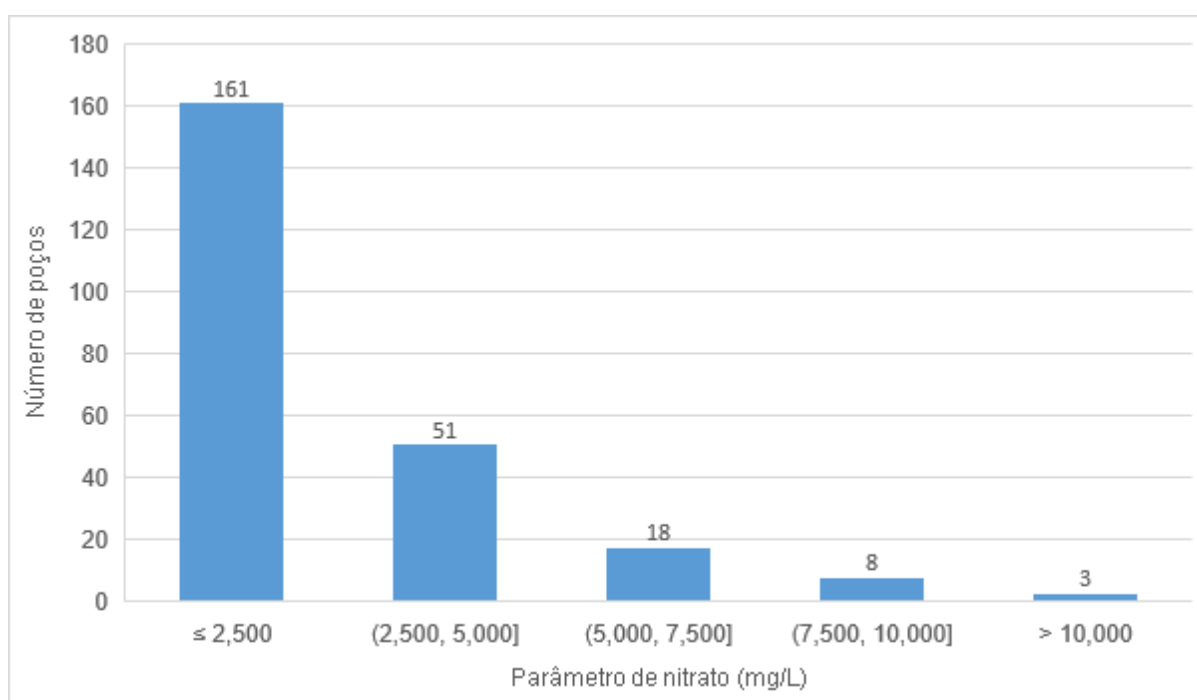


Figura 22 - Mapa dos valores de nitrato (mg/L), em círculos proporcionais, das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Observando o gráfico 8, nota-se que, dos 241 poços que apresentam concentrações de NO_3^- , 161 poços têm concentrações menores que 2,5 mg/L, 212 poços apresentam concentrações menores que 5,0 mg/L e 238 poços contêm teores de NO_3^- abaixo da estabelecida pela legislação vigente. Entretanto, Manassés (2009) explanou que concentrações maiores que 5,0 mg/L de NO_3^- (como nitrogênio) pode ser um indicativo de possíveis contaminações por fertilizantes ou dejetos de animais. Dessa forma, levando em conta essa informação, o SASG, na área de estudo, pode ter 29 poços em que suas águas podem estar sujeitas à contaminação por NO_3^- .

Gráfico 8 - Parâmetros de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG na área de estudo.



Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

A menor concentração de NO_3^- encontrada nos poços da área de estudo foi 0,0 mg/L, em que 34 poços apresentaram esse teor. A maior concentração de NO_3^- encontrada foi de 26,900 mg/L. A média, levando em conta os 241 poços que apresentaram a concentração de NO_3^- , ficou em 2,144 mg/L e a mediana ficou em 1,000 mg/L (Tabela 10).

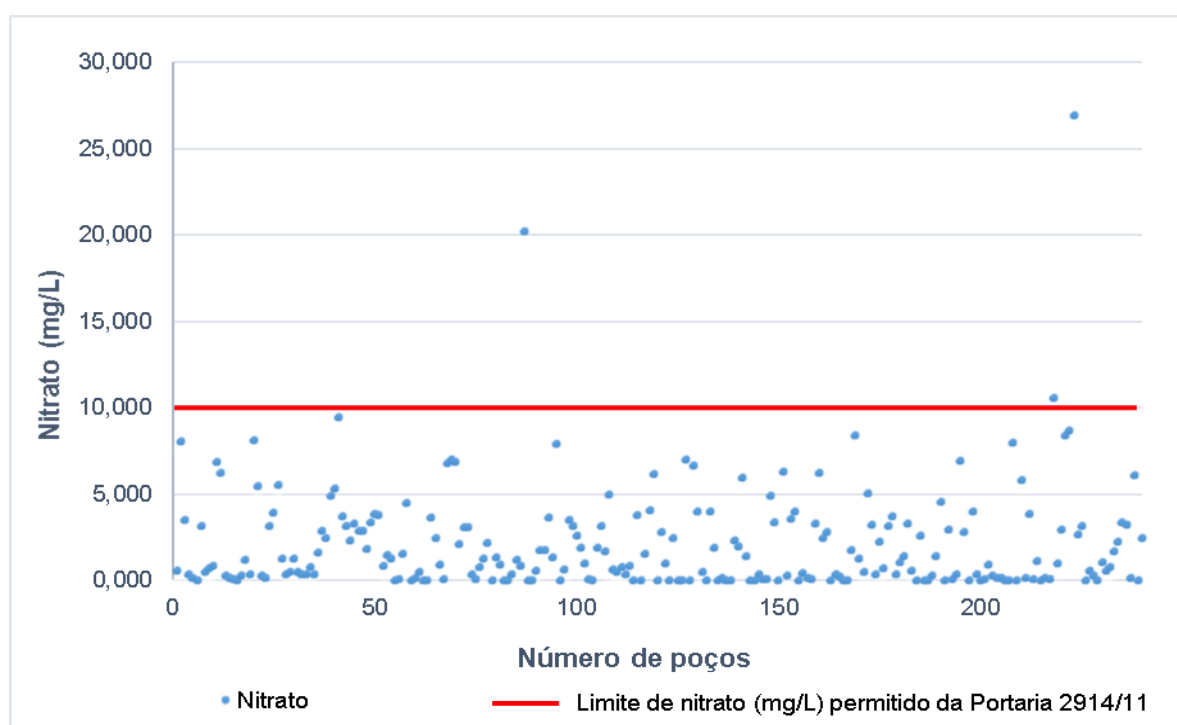
Tabela 10 - Estatística dos valores de nitrato (mg/L) dos poços do SASG na área de estudo.

Referência	Dados estatísticos do parâmetro de nitrato em 241 poços da área de estudo.
Mínimo	0,000 mg/L
Máximo	26,900 mg/L
Média	2,144 mg/L
Mediana	1,000 mg/L

Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

O gráfico 9, que apresenta a dispersão do parâmetro de NO_3^- no SASG, mostra que há três poços com concentrações de NO_3^- acima do estabelecido pela Portaria de Consolidação MS 5/2017, sendo o poço P93, que se encontra no município de Bandeirantes com a concentração de 20,210 mg/L, e os poços P244 e P249, que se localizam no município de Uraí com concentrações de NO_3^- de 10,600 mg/L e 26,900 mg/L, respectivamente. As águas desses três poços, de acordo com a literatura apresentada nesta pesquisa, estão contaminadas por NO_3^- .

Gráfico 9 - Dispersão do parâmetro nitrato da área de estudo.

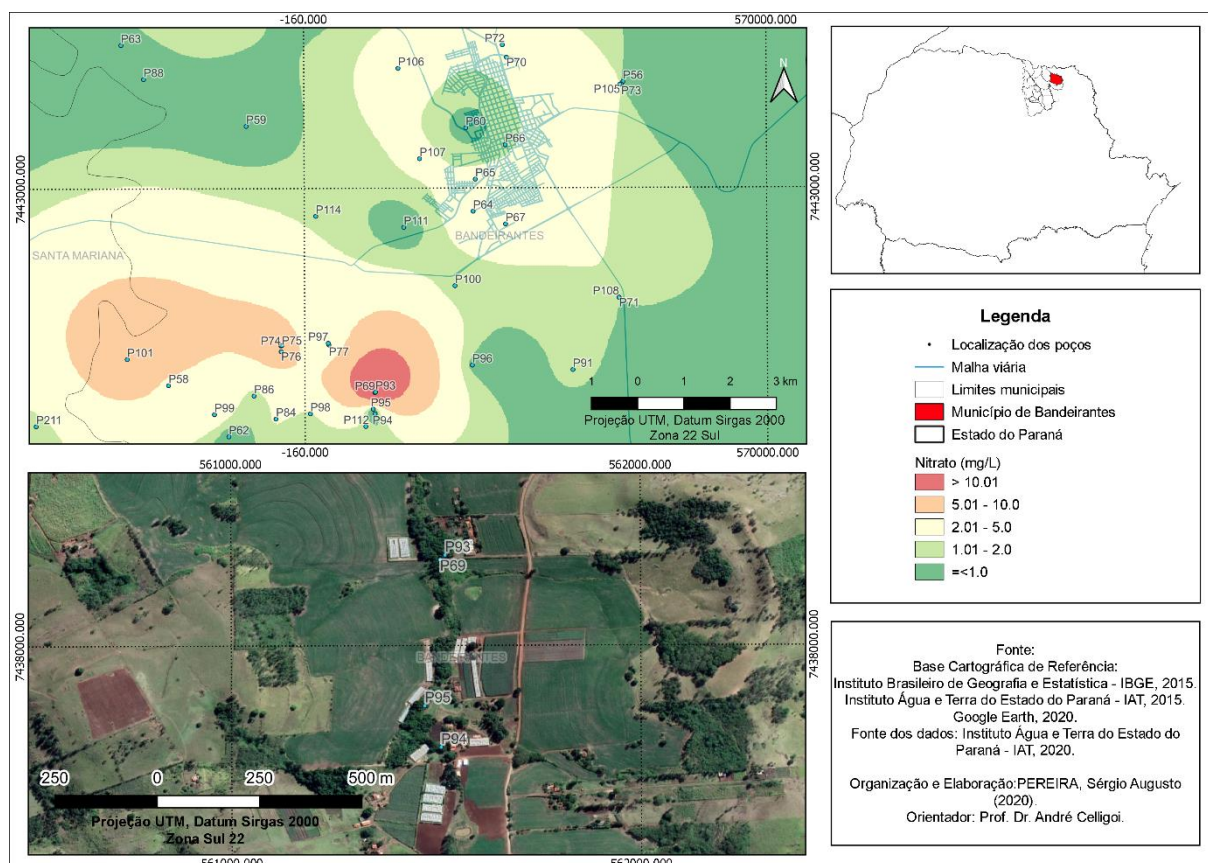


Fonte: Instituto Água e Terra do Estado do Paraná - IAT, 2020. Organizado pelo autor, 2020.

Como as análises das concentrações dos poços foram realizadas há um tempo, sendo que no P93 foi realizada em 23 de dezembro de 2013, no P244 realizada em 25 de abril de 2008 e no P249 foi em 11 de setembro de 2006, é importante ressaltar que se as fontes de contaminação por NO_3^- nos poços em análises não foram contidas, existe a possibilidade de que essas concentrações, nos dias de hoje, sejam diferentes das mostradas nesta pesquisa.

Na figura 23, que apresenta a distribuição espacial dos valores de NO_3^- das águas subterrâneas do SASG no município de Bandeirantes, observa-se a localização do poço P93, bem como a distribuição espacial da alta concentração de NO_3^- , com valores de 20,210 mg/L. Em Bandeirantes, a mudança da escala para maior, proporcionou uma melhor visualização da distribuição espacial do NO_3^- . Destaca-se que a localização do poço P93 está distante da área urbana do município de Bandeirantes e há muitos poços próximos à sua localidade. Pelo trabalho de campo, constatou-se que o poço P93 se localiza na área rural do município de Bandeirantes.

Figura 23 - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG no município de Bandeirantes.



A figura 24 mostra o poço P93. Na figura é possível observar que o poço está alocado de maneira inadequada, onde pode ser acessado por qualquer pessoa e, conseqüentemente, alterado ou danificado, comprometendo assim, a água desse poço. Segundo relato das pessoas que estavam próximas à localidade, a água desse poço é usada tanto para o consumo doméstico como para irrigação. Dessa forma, é necessário investigar se a água consumida está causando ou não efeitos nocivos à saúde dessas pessoas, pois, para fins de potabilidade, as concentrações de NO_3^- nesse poço estão com percentual de 100% acima do estabelecido pela legislação brasileira.

Figura 24 - Poço P93, localizado no município de Bandeirantes - PR.

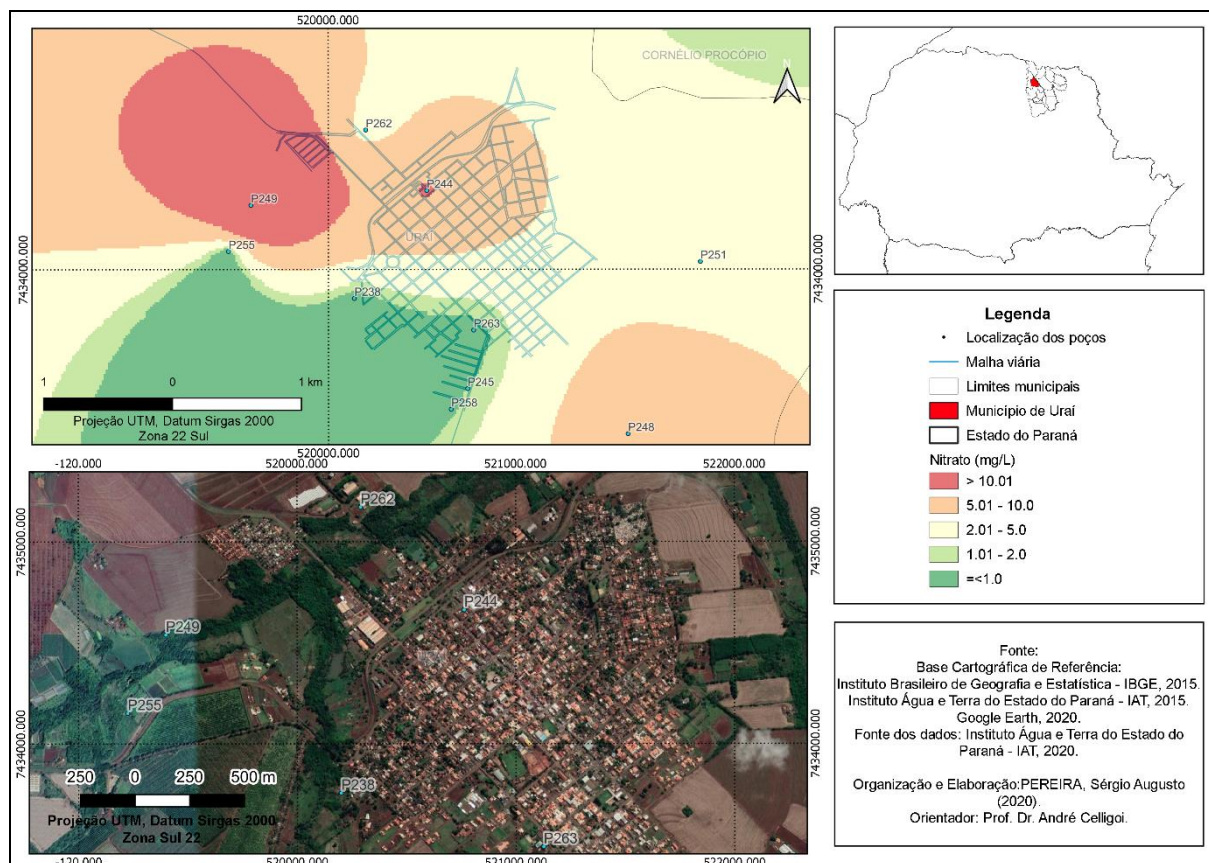


Fonte: PEREIRA, 2020.

A figura 25 traz a localização dos poços P244 e P249 e a distribuição espacial da concentração de NO_3^- . Dos dois poços que se localizam no município de Uraí e que possuem concentrações acima da estabelecidas pela Portaria de Consolidação MS 5/2017, o P244 se localiza na área urbana do município, com concentração de NO_3^- de 10,600 mg/L, e o P249 se localiza nas proximidades da área urbana, com concentrações de 26,900 mg/L. Em campo, as informações sobre a localização dos dois poços foram verificadas e confirmadas. A utilização de uma

escala maior na figura 25 proporcionou um melhor nível de detalhamento da distribuição espacial da concentração de NO_3^- em Uraí.

Figura 25 - Mapa da distribuição espacial dos valores de nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do SASG no município de Uraí.



O poço P244 localizado na área urbana do município de Uraí, próximo ao centro, se encontra fechado com uma tampa de concreto, como se pode observar na figura 26. Segundo relatos de pessoas que foram encontradas próximas a ele, a água desse poço é utilizada para a lavagem de automóveis, motocicletas e caminhões, também para lavagem do posto de combustível que se encontra próximo, além de servir para o consumo humano.

Conforme relataram, pessoas que têm alguma alergia ou sensibilidade a cloro buscam água do poço P244 para o consumo. Dessa forma, assim como no P93, estudos são necessários para averiguar se as pessoas que beberam essa água tiveram alguma consequência por causa do consumo da água desse poço, cuja concentrações de NO_3^- estão acima da estabelecida pela legislação brasileira.

Figura 26 - Poço P244, localizado no município de Uraí - PR.



Fonte: PEREIRA, 2020.

O outro poço localizado no município de Uraí é o P249 e se encontra na área rural (Figura 27).

Figura 27 - Poço P249, localizado no município de Uraí - PR.



Fonte: PEREIRA, 2020.

Nenhuma pessoa foi encontrada próximo ao poço para que pudesse relatar se o poço está ativado, se a água é utilizada para o consumo doméstico ou irrigação. Entretanto, pela aparência do P249, como observado na figura 27, pode-se aferir que ele está sendo utilizado.

Dessa forma, para definir o fluxo das águas subterrâneas, com o objetivo de identificar as possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas dos poços que possuem concentrações de NO_3^- acima do estabelecido pela legislação brasileira, o P93, o P244 e o P249, elaboraram-se três mapas potenciométricos: potencimetria da área de estudo, potencimetria dos municípios de Bandeirantes e de Uraí. Assim, foi possível analisar a direção do fluxo das águas subterrâneas.

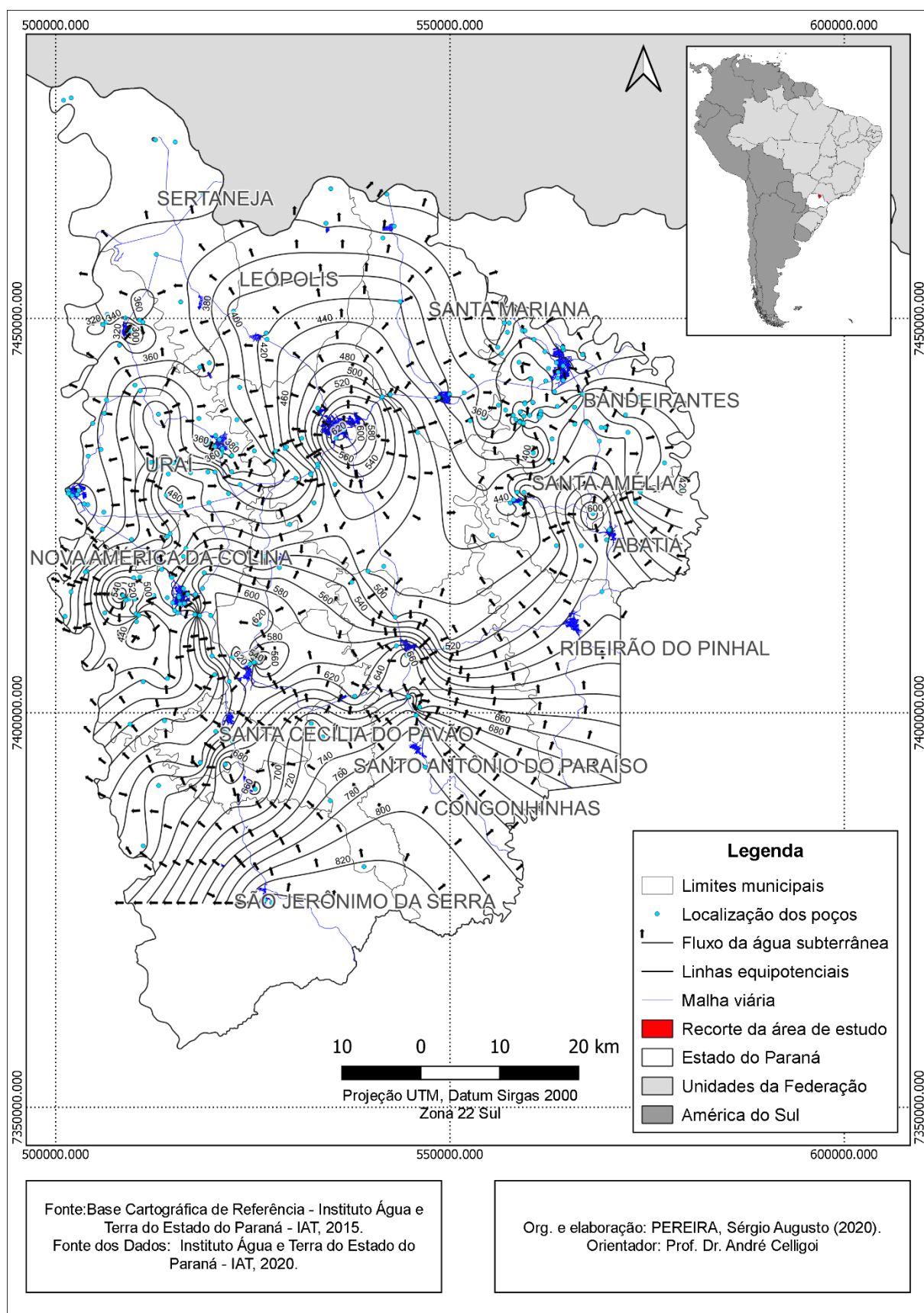
6.3.1 Potencimetria das Áreas com Concentrações de Nitrato acima de 10 mg/L

A metodologia utilizada para a elaboração dos mapas potenciométricos do SASG na área de estudo compreendeu os procedimentos clássicos aplicados na elaboração de um mapa potenciométrico de uma determinada área (CASTANY, 1975, apud LUCENA; ROSA FILHO; BITTENCOURT, 2004).

Na figura 28, que apresenta o mapa potenciométrico do recorte espacial desta pesquisa, os valores das linhas equipotenciais do SASG na área de estudo são de 20 metros, sendo a maior cota potenciométrica de 840 metros a sul e a menor 340 metros a norte. Dessa forma, a diferença do potencial da área de estudo, ou seja, a variação da carga entre dois pontos, no caso a maior e a menor cota potenciométrica, é de 500 metros.

As principais zonas de recarga estão ao sul da área de estudo, no município de São Jerônimo da Serra, com a cota potenciométrica de 840 metros, no município de Cornélio Procopio, com a cota potenciométrica de 620 metros, no município de Santa Amélia, com a cota potenciométrica de 600 metros e em Assaí, com a cota potenciométrica de 540 metros, além de outras zonas de recarga menores.

Figura 28 - Potenciometria do SASG na área de estudo.



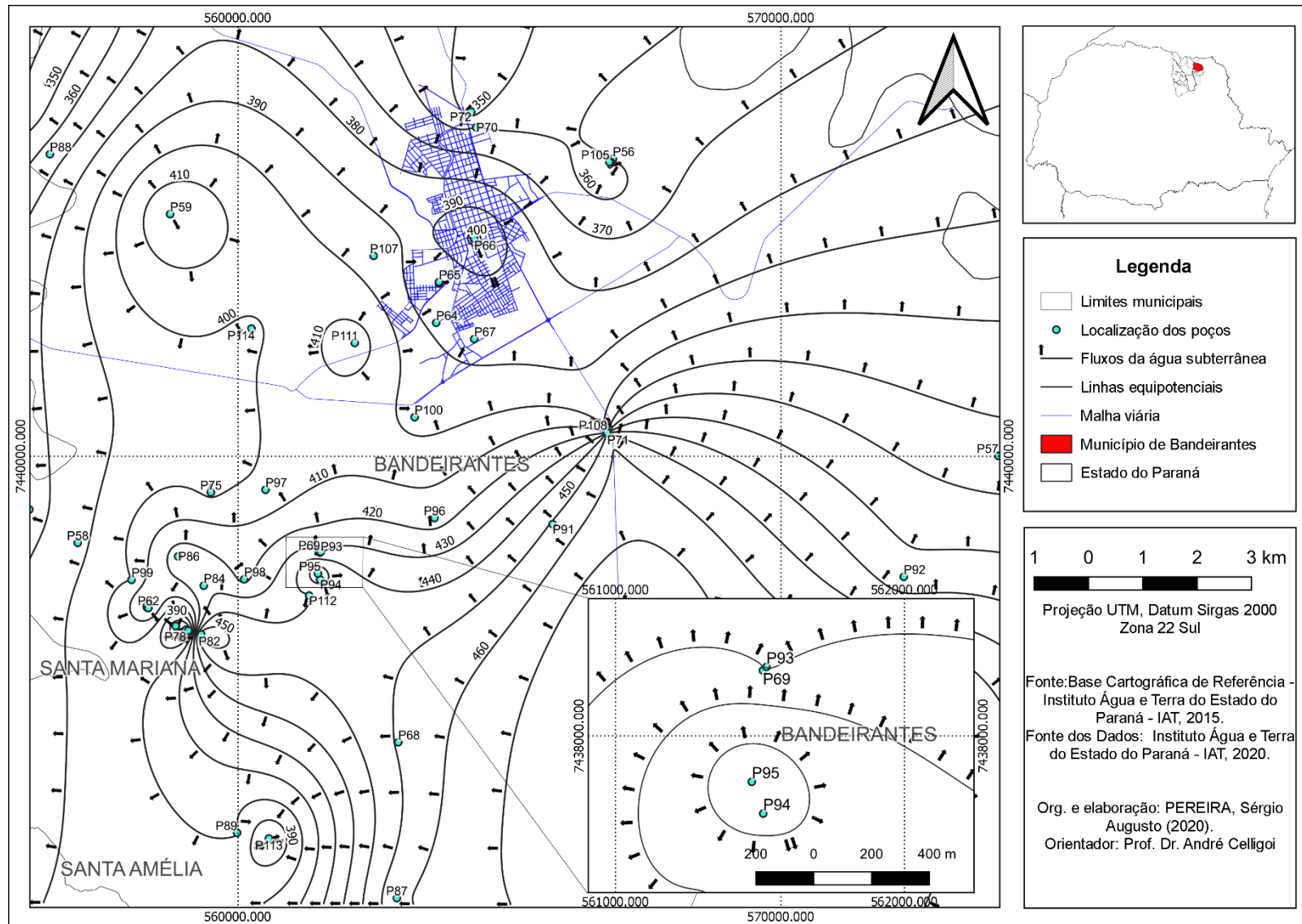
De um modo geral, a água subterrânea do SASG na área de estudo tem seu fluxo no sentido de sul para norte, e algumas vezes, com mudança de fluxo para oeste, noroeste, leste e nordeste. O sentido do fluxo da água subterrânea é similar ao fluxo da água superficial, cujo sentido vai em direção aos principais rios: rio Tibagi, rio Congonhas, rio das Cinzas, tendo como fluxo final o rio Paranapanema. Dessa forma, as áreas de descarga do SASG no recorte espacial da pesquisa, conforme observado no mapa potenciométrico (Figura 28), estão a norte e a oeste do mapa, mais especificamente no rio Paranapanema e no rio Tibagi.

6.3.1.1 Potenciometria do município de Bandeirantes - PR

Na figura 29, que apresenta a potenciometria do SASG no município de Bandeirantes, as linhas equipotenciais possuem valores de 10 metros. Como se pode observar, o fluxo da água subterrânea em direção ao poço P93, que possui concentração de NO_3^- de 20,210 mg/L, está no sentido norte, em que a água antes de chegar no P93, passa pelos poços P94, P95 e P69, sendo que esses poços constituem uma pequena zona de recarga.

Esses poços possuem as seguintes concentrações de NO_3^- : P94 (0,000 mg/L), P95 (0,000 mg/L) e P69 (Não possui dados). Dessa forma, evidencia-se que a contaminação por NO_3^- do SASG no município de Bandeirantes possui uma fonte local, próxima à localização do poço P93, pois como o fluxo da água vai no sentido do P94 e P95 para o P93, e esses poços possuem 0,000 mg/L de NO_3^- , a fonte de contaminação está localizada, provavelmente, depois que o fluxo da água passa pelos poços P94 e P95.

Figura 29 - Potenciometria do SASG no município de Bandeirantes - PR.



A figura 30 mostra como é a paisagem ao redor do poço P93. Esse poço está a uma altitude de 457 metros, possui uma profundidade de 100 metros, com nível estático de 28 metros, encontrando-se em um pequeno vale, próximo a um córrego, tendo vegetação à sua margem esquerda, sentido sul/norte, com extensão mínima de alguns metros, não ultrapassando 100 metros. Entretanto, o entorno da área é composto por monocultivo de soja. Sabe-se que nesses cultivos utilizam-se intensamente fertilizantes nitrogenados, e uma das fontes de contaminação da água por NO_3^- são os fertilizantes agrícolas (NICOLAI, 2001; FRANÇA *et al.*, 2002; FREDDO, 2018). Nesse sentido, uma possível fonte de contaminação desse poço pode ser o uso exagerado de fertilizantes nitrogenados na agricultura.

Figura 30 - Paisagem que circunda o P93, na área rural do município de Bandeirantes - PR.



Fonte: PEREIRA, 2020.

As pessoas que se encontravam próximo ao local disseram que também há muitas fossas naquela área, sendo que cada família possui uma para lançar seus dejetos. Esses dejetos, principalmente a urina, segundo Botto (2013), possuem compostos nitrogenados. Nicolai (2001) e Varnier *et al.* (2010) dissertaram que uma das fontes de contaminação das águas subterrâneas por NO_3^- são as fossas negras. Sendo assim, a contaminação do P93 por NO_3^- pode ter origem em uma dessas fossas, ou até mais de uma.

A contaminação por nitrato em áreas rurais é proveniente, sobretudo, das atividades agrícolas (manejo inadequado de fertilizantes nitrogenados inorgânicos e orgânicos), [...], decomposição de resíduos orgânicos, fixação biológica, lagoas de efluentes, bem como dos sistemas de saneamento in-situ (fossas sépticas e negras) que atendem as unidades habitacionais nessas localidades (CRH/CTAS, 2019, p. 11).

Portanto, é necessário que seja feito um diagnóstico mais preciso da área contaminada, com a implementação de poços de monitoramento para que seja elaborada uma potenciometria precisa da área, bem como análises das concentrações de NO_3^- e outros compostos orgânicos e inorgânicos, identificando corretamente a fonte ou as fontes de contaminação para que se possa remediá-las.

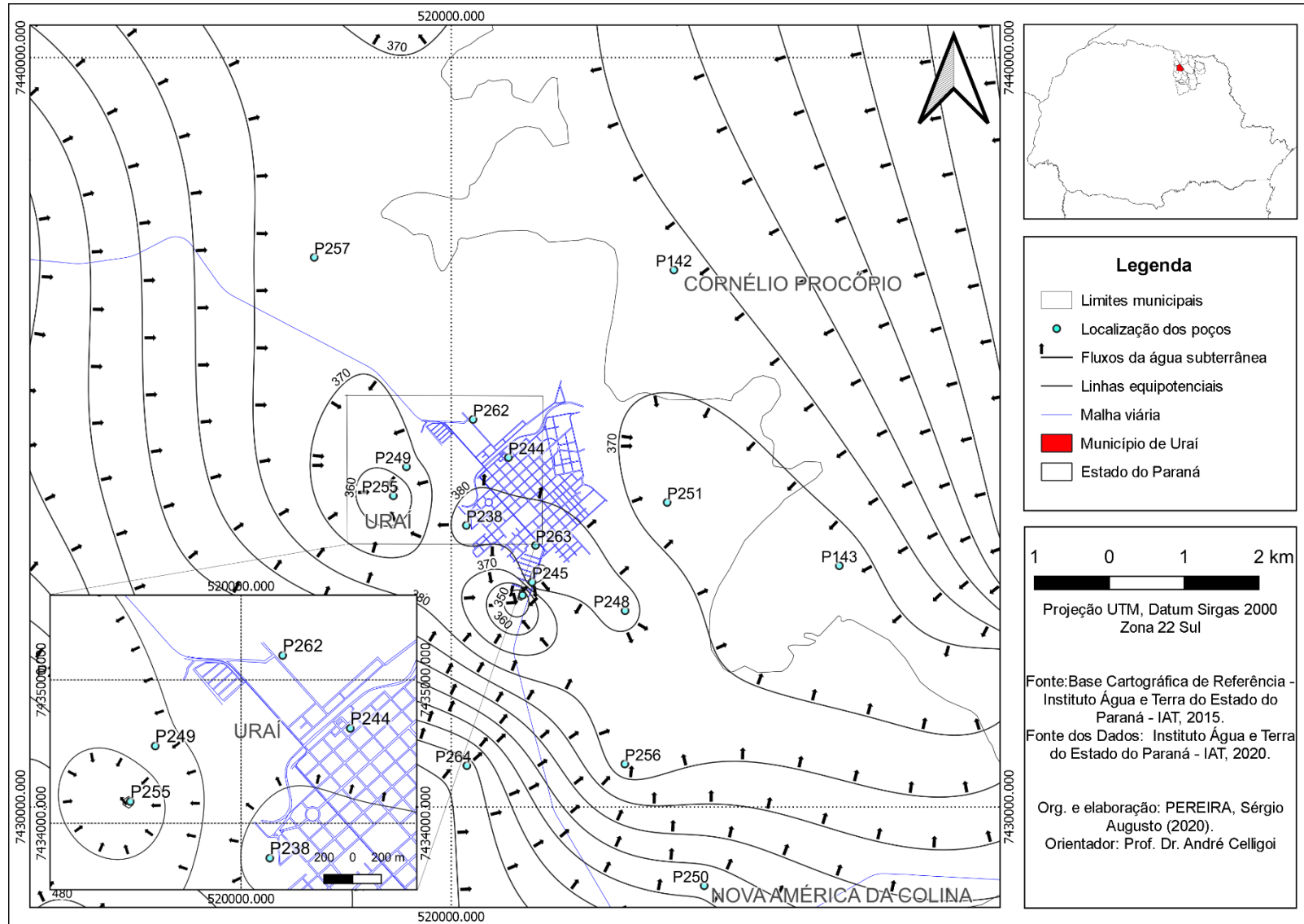
6.3.1.2 Potenciometria do município de Uraí - PR

Na figura 31, que apresenta a potenciometria do SASG no município de Uraí, as linhas equipotenciais possuem valores de 10 metros, assim como no mapa potenciométrico do município de Bandeirantes. Como se pode observar no mapa, o fluxo da água subterrânea está em direção à área urbana do município de Uraí, nos sentidos nordeste e sudoeste.

Os poços que possuem concentrações de NO_3^- acima de 10 mg/L são os P244 e P249. Observando a potenciometria, percebe-se que o fluxo subterrâneo está no sentido do P244 para o P249, sendo que a concentração de NO_3^- do primeiro é de 10,600 mg/L e o do segundo é de 26,600 mg/L. Dessa forma, identifica-se que o fluxo da contaminação por NO_3^- dessa área está no sentido de leste para oeste.

É importante ressaltar que os poços que estão próximos desses dois possuem concentrações de NO_3^- menores que 10 mg/L: P142 (0,000 mg/L), P238 (0,090 mg/L), P245 (1,000 mg/L), P248 (8,700 mg/L), P251 (3,200), P257 (0,620 mg/L), P258 (0,800 mg/L), P261 (3,420 mg/L), P263 (0,200 mg/L).

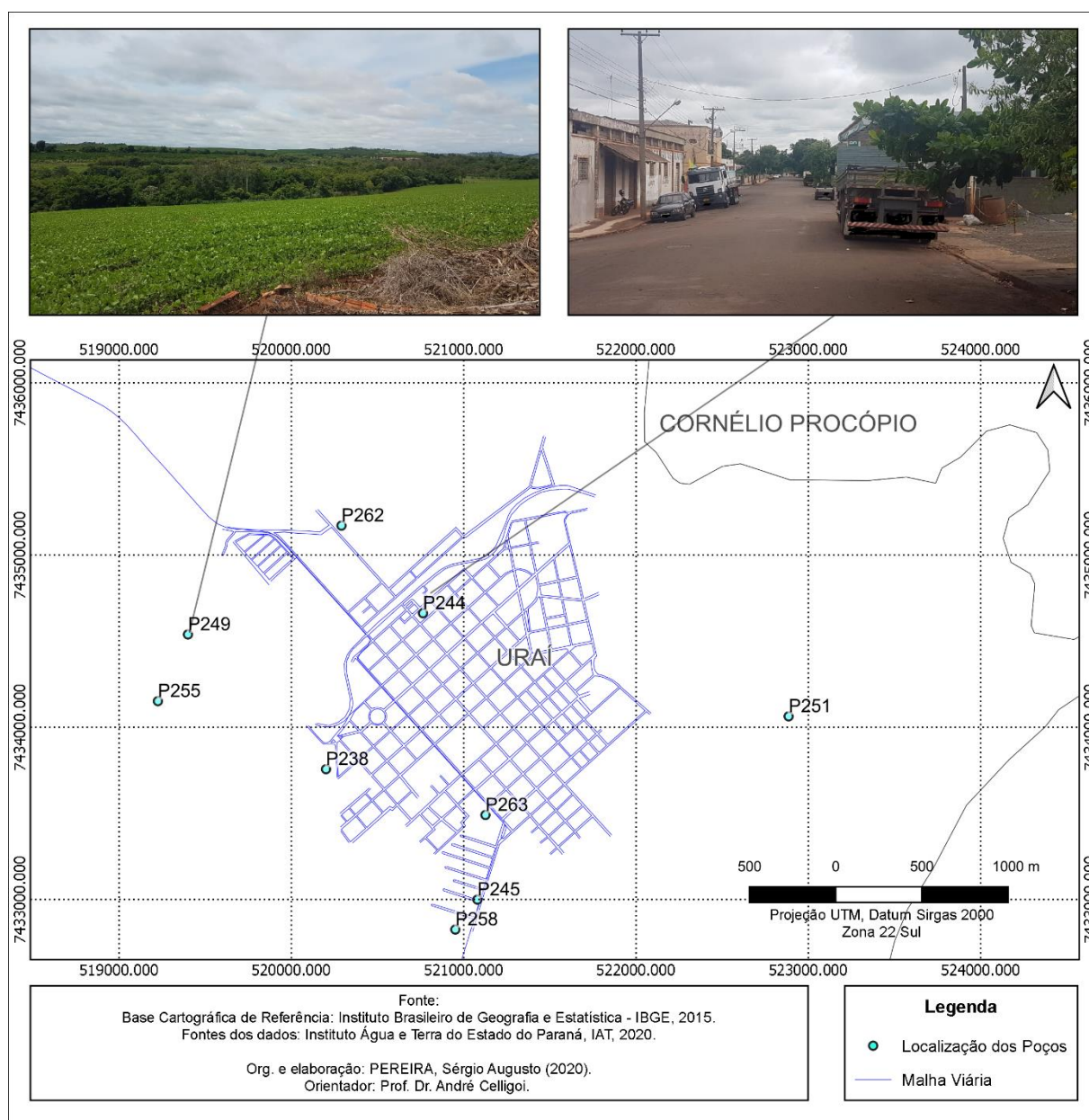
Figura 31 - Potenciometria do SASG no município de Uraí - PR.



Assim como em Bandeirantes, o mapa potenciométrico do município de Uraí evidencia que a contaminação do SASG por NO_3^- nessa área tem uma fonte local, próxima à localização do poço P244, pois como o fluxo da água vai no sentido do P244 para o 249, a fonte ou as fontes de contaminação estão próximas ou anterior, levando em conta o fluxo da água subterrânea, ao P244. Sendo assim, duas hipóteses são levantadas: a fonte de contaminação dos poços P244 e P249 pode estar localizada na área urbana do município de Uraí; a fonte de contaminação dos poços P244 e P249 são distintas.

Partindo da hipótese que ambos os poços possuem a mesma fonte de contaminação, discutiu-se a relação da paisagem com as possíveis fontes de contaminação. A figura 32 apresenta as paisagens urbana e rural no entorno de cada um dos poços, sendo o P244 localizado na área urbana, a uma altitude de 395 metros, com uma profundidade de 126 metros e nível estático de 20,88 metros, e o P249 localizado na área rural, a uma altitude de 392 metros, com uma profundidade de 120 metros e nível estático de 24,45 metros.

Figura 32 - Paisagens que circundam os poços P244 e P249, nas áreas urbana e rural do município de Uraí - PR.



No trabalho de campo, observou-se fossas negras em muitas casas na área urbana do município. No município de Uraí, segundo dados do Atlas Brasil (2020), referentes ao ano de 2010, apenas 56% da população do município possui tratamento de esgoto. Isso quer dizer que 44% da população não recebe esse tipo de serviço, isso corresponde a 5.047 habitantes (dados de população e de saneamento referentes ao ano de 2010). Dessa forma, essas pessoas têm que recorrer à construção de fossas para que suas necessidades básicas, mesmo de maneira precária, possam ser atendidas. Como dito anteriormente, esses dejetos

possuem compostos nitrogenados que podem lixiviar e chegar ao aquífero, contaminando-o. Sendo assim, essas fossas podem ser uma possível fonte de contaminação.

Outra possível fonte de contaminação desses poços é o Cemitério Municipal de Uraí (Figura 33) que se localiza na área urbana, sentido leste-nordeste dos poços P244 e P249. A potenciometria do município de Uraí mostrou que o cemitério pode estar localizado no divisor de fluxo da água subterrânea. Segundo Migliorini (1994), Nicolai (2001), Silva (2012), entre outros autores, altas concentrações de NO_3^- em águas subterrâneas podem estar associadas a atividades cemiteriais. No trabalho de campo, constatou-se que o Cemitério Municipal de Uraí se encontra a uma distância em torno de 800 metros do P244 e de 2 km do P249.

Figura 33 - Cemitério Municipal de Uraí - PR.



Fonte: PEREIRA, 2020.

Dessa maneira, os poços P244 e P249 podem estar sendo contaminados pelas inúmeras fossas presentes no município ou pelo Cemitério Municipal, que, de alguma forma, podem estar liberando NO_3^- , que por sua vez, pode estar lixiviando e chegando ao aquífero.

Levando em conta a segunda hipótese, de que os poços P244 e P249 podem ter fontes de contaminação distintas, o P244 pode estar sendo contaminado pelas fossas ou pelo cemitério e o P249, assim, como o poço P93, no município de

Bandeirantes, pelas atividades agrícolas. O P249 se encontra próximo ao rio Pirianito, possuindo vegetação em seu entorno. Toda a área ao redor desse poço é composta por atividade agrícola, principalmente o monocultivo de soja. Como dito neste trabalho, utiliza-se intensamente fertilizantes nitrogenados nessas culturas. Próximo ao P249 há diversas chácaras, e dessa forma, outra possível fonte da contaminação desse poço por NO_3^- pode ser em uma ou algumas fossas presentes nessas chácaras.

Entretanto, é necessário que se faça um estudo mais preciso nessas áreas onde há contaminação por NO_3^- , para que se possa identificar a origem ou as origens das fontes de contaminação. Contudo, isso demanda tempo e recursos financeiros, pois para se elaborar a potenciometria das áreas aqui pesquisadas de maneira acurada, é preciso que se construam poços de monitoramento das águas subterrâneas, além de analisar as concentrações de NO_3^- presentes nesses poços, para que assim, seja possível identificar de modo preciso a origem ou as origens da contaminação.

6.4 PLANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SASG E GESTÃO PÚBLICA

O principal objetivo deste plano é propor o acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas do SASG na área de estudo desta pesquisa, a sua disponibilidade, bem como prever possíveis alterações físico-químicas, e dessa forma ter subsídios para que o poder público possa atuar de maneira preventiva, minimizando e até mitigando os efeitos dessas alterações nas águas subterrâneas.

Tundisi e Tundisi (2011) expuseram que os pesquisadores, gerentes e administradores, o poder público e sociedade civil devem, de modo conjunto, propor e implementar ações que otimizem os usos múltiplos da água, dando condições para que todos tenham acesso à água de qualidade e em quantidade suficiente, de maneira sustentável. Salati, Lemos e Salati (2015, p. 37), afirmaram que “o desenvolvimento é sustentável “quando provê as necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade de que as futuras gerações possam prover as suas””.

O intenso uso da água e a sua poluição agravam a escassez, sendo necessário que se realize o acompanhamento e monitoramento da qualidade e quantidade da água disponível (BRAGA, PORTO, TUCCI, 2015). Dessa forma, a

gestão dos recursos hídricos subterrâneos é elementar para que o seu uso seja racional, levando em conta as características do aquífero, fazendo com que o volume de água extraído seja compatível com a sua capacidade de recarga (AJARILLA, 2013). No plano de gestão, conforme dissertaram Tundisi e Tundisi (2011), é importante que se leve em conta as dimensões sociais e econômicas da área estudada.

Nesse sentido, Braga, Porto e Tucci (2015) explanaram que ter dados e informações confiáveis sobre a área monitorada é essencial para que o planejamento dos recursos hídricos seja implementado de maneira adequada, permitindo que as tomadas de decisões sejam corretas. As informações e dados importantes dizem respeito sobre a oferta e demanda de água, variabilidade climática da área monitorada, vazão dos poços e rios, dados e informações sobre as análises físico-químicas da água, averiguando a sua qualidade, entre outros.

Dias *et al.* (2008) apresentaram que os passos para a execução das atividades de monitoramento são: integração das águas superficiais com as águas subterrâneas, levantamento das informações necessárias, estratégia de monitoramento, projeto em rede, coleta de dados, armazenamento dos dados, interpretação, geração de relatórios finais e aplicação das informações.

Com base na bibliografia pesquisada pautadas em diversos autores como Ribeiro (2008), Tundisi e Tundisi (2011), Campos (2013), Braga, Porto e Tucci (2015), entre outros e em documentos de órgãos governamentais, bem como no conhecimento empírico, foram elencadas considerações a serem implementadas para a execução de um plano de monitoramento, evidenciando a participação da sociedade civil e poder público, pautando-se em medidas futuras a serem tomadas.

- O primeiro passo a ser realizado é a integração entre o poder público (governo municipal, estadual e federal) e a população local dos municípios, ampliando os investimentos públicos e privados para que juntos possam ter os melhores resultados em relação ao monitoramento das águas subterrâneas, elaborando em conjunto um plano de gestão a ser seguido;
- Estimular a criação comitês nos municípios para que a própria população local, junto ao poder público, fiscalize tanto a perfuração dos poços, a qualidade da água, a sua disponibilidade, entre outros, melhorando assim, a efetividade da fiscalização;

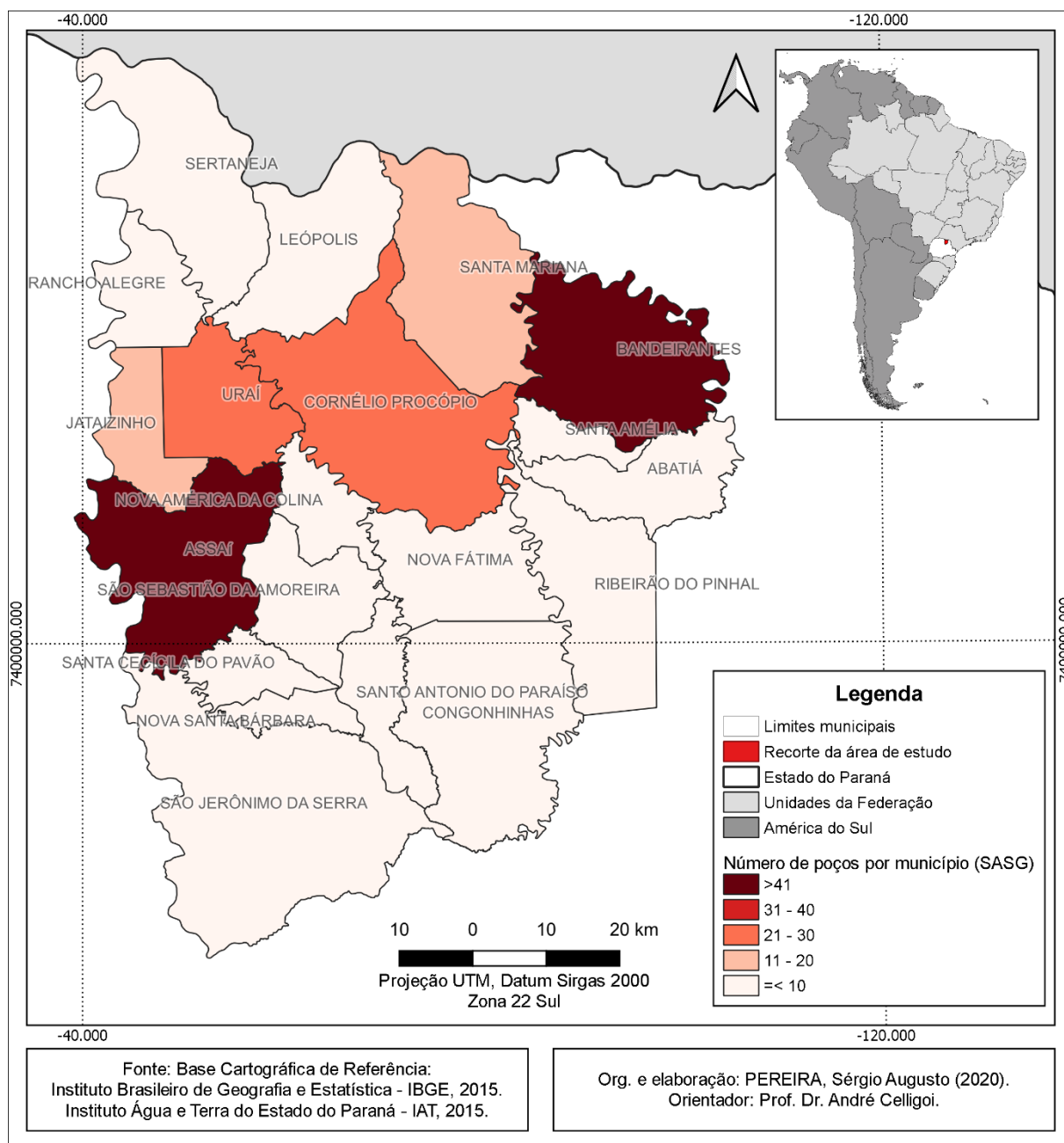
- Instalação de piezômetros em locais estratégicos para a realização do monitoramento da disponibilidade hídrica. É importante que se crie um banco de dados dessas informações para que se possam gerar relatórios e auxiliar no monitoramento da qualidade e quantidade da água disponível;
- Promover o acompanhamento da qualidade da água com análises químicas e físicas, averiguando eventuais alterações na qualidade das águas subterrâneas, para que assim, essas alterações possam ser contidas;
- Efetuar a coleta de dados de vazão, de precipitação, temperatura, nível potenciométrico das águas subterrâneas, entre outros, para que se possam gerar informações a respeito da área monitorada, e dessa forma, prever possíveis anomalias;
- O poder público deve fomentar o cultivo de vegetação, preferivelmente nativa, e recuperar as áreas de recarga do aquífero, protegendo-as junto aos proprietários desses locais;
- Utilização de SIG para monitoramento e mapeamento da área supervisionada, utilizando os dados e informações coletados durante todo o processo de monitoramento;
- Gerar relatórios para que as tomadas de decisão e as ações, tanto do poder público quanto da sociedade civil, sejam implementadas corretamente, visando o bem estar social da população, bem como o acesso à água de qualidade e quantidade suficientes para atender as suas necessidades;

Um exemplo da utilização de dados e uso de SIG para o monitoramento das águas subterrâneas do SASG e para gestão pública, pode ser observado na figura 34. Os dados utilizados, que foram coletados no Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – IAT, são referentes ao número de poços, que captam água do SASG, que cada município possui.

Percebe-se, observando a figura 34, que quatorze municípios, dos vinte que compõem a área em questão, possuem menos de 10 poços que captam água do SASG. Os municípios de Jataizinho e Santa Mariana possuem mais de dez poços e menos de 20, sendo 19 e 11 poços, respectivamente. Os municípios de Cornélio Procopio e Uraí estão na casa de 21 a 30 poços, sendo que Cornélio Procopio

possui 23 e Uraí, 29 poços. Apenas dois municípios possuem mais de 41 poços, sendo os municípios de Assaí e Bandeirantes, com 44 e 62 poços, respectivamente.

Figura 34 - Número de poços que captam água do SASG por município.



Nesse sentido, conforme a figura 34, pode-se ter a dimensão de quais municípios, levando em conta sua extensão territorial e demografia, precisam de mais recursos financeiros e de pessoal para que se possa implementar um plano de monitoramento das águas subterrâneas do SASG, bem como a promoção de ações para uma fiscalização mais efetiva, entre outras medidas.

Como se pode constatar no mapa, como os municípios de Assaí e Bandeirantes possuem o maior número de poços e sua extensão territorial é relativamente grande em relação aos municípios que compõem a área de estudo, e maiores que muitos municípios como Santa Amélia, Nova América da Colina, Santa Cecília do Pavão, Nova Santa Bárbara, entre outros, deve-se alocar mais recursos financeiros e humanos para esses dois municípios na gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Entretanto, é importante que se leve em conta diversos critérios para as tomadas de decisões, como por exemplo, uso da água, disponibilidade de água, demografia, entre outros, sendo que esses critérios devem ser estabelecidos de modo conjunto, poder público e sociedade civil, sendo diferente para cada localidade, de modo compatível a atender as necessidades de cada local.

Esse foi apenas um exemplo de como aplicar as recomendações elencadas. Além das oito medidas apresentadas, podem surgir outras ou serem utilizadas apenas algumas, todavia, o mais importante é que o monitoramento das águas subterrâneas seja realizado de maneira conjunta e democrática, atendendo as necessidades de todos que a consomem, tanto na questão de qualidade e quantidade, além de considerar a conservação para usos futuros. O poder público deve, e é seu papel fazer isso, tomar a frente da implementação de medidas e ações que vão ao encontro do que foi exposto aqui, dialogando com a sociedade, alocando recursos financeiros e humanos para a execução do plano de monitoramento.

7 CONCLUSÕES

O recorte espacial delimitado para este estudo está localizado na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, especificamente sobre os estratos geológicos do Grupo Serra Geral, limitados pelos rios Tibagi, das Cinzas e Paranapanema. Os dados hidrogeológicos utilizados para as análises são do SASG, aquífero fissural, formado a partir das fraturas das rochas basálticas do Grupo Serra Geral.

As águas subterrâneas do SASG na área de estudo são classificadas, em sua maioria, com cerca de 39,5% das amostras, como bicarbonatadas cálcicas, 24,5% são classificadas como bicarbonatadas calco-magnesianas, 19,5% como bicarbonatadas sódicas e 11,5% como bicarbonatadas magnesianas. As outras classes somam juntas 5%. Ressalta-se que 95% das águas do SASG no recorte espacial desta pesquisa são classificadas como bicarbonatadas.

Em relação à distribuição espacial dos parâmetros de pH, SDT, Condutividade Elétrica e Turbidez, apresenta-se que em sua maioria possui valores dentro dos estabelecidos pela Portaria de Consolidação MS 5/2017. Os parâmetros de pH têm valores entre 5,710 e 10,570, em que das 262 amostras, 11 estão fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria. Todos os parâmetros de SDT, com 235 amostras, estão dentro dos valores estabelecidos pela legislação brasileira referente à potabilidade. Dentro das 185 amostras dos parâmetros de Condutividade Elétrica, 181 possuem valores menores que 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C, e 4 amostras acima desse valor, tendo o valor máximo de 752,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C. Os parâmetros de Turbidez, com 214 amostras, têm 11 com valores acima do estabelecido pela legislação para fins de potabilidade.

O parâmetro de NO_3^- apresenta-se, na maior parte da área de estudo, abaixo de 5 mg/L. Entretanto, três poços apresentam concentrações acima do estabelecido pela Portaria de Consolidação MS 5/2017, ou seja, 10 mg/L. Os poços são o P93, localizado no município de Bandeirantes, e os P244 e P249, localizados no município de Uraí. A concentração de NO_3^- encontrada no P93 é de 20,210 mg/L, no P244 é de 10,600 mg/L e no P249 é de 26,900 mg/L. No trabalho de campo identificou-se que as águas do P93 e P244 são utilizadas para o consumo humano, além de outros usos.

A potenciometria evidenciou que as áreas de recarga do SASG na área de estudo se localizam a sul do recorte espacial da pesquisa, também nos municípios

de Cornélio Procópio, especificamente na área urbana, no município de Santa Amélia e Assaí, além de outras áreas menores. As zonas de descarga se localizam, principalmente, nos rios Tibagi e Paranapanema.

Com os dados dos poços, a potenciometria e o trabalho de campo, tentou-se encontrar possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas dos poços P93, P244 e P249. Assim, as possíveis origens da contaminação por NO_3^- do P93 são as fossas próximas ao poço ou o uso de fertilizantes agrícolas. Nos P244 e P249, as possíveis fontes de contaminação encontradas são o Cemitério Municipal, as fossas presentes nas áreas urbana e rural ou o uso de fertilizantes agrícolas.

Por fim, propôs-se neste trabalho diretrizes para a elaboração de planos de monitoramento das águas subterrâneas e gestão pública em escala local e regional, para que assim, o poder público, junto com pesquisadores e comunidade local, possam promover e implementar ações que visem o uso racional da água, bem como sua qualidade e quantidade suficiente para atender as necessidades de toda a população.

Portanto, este estudo serve de base teórica e metodológica para que pesquisadores de diversas áreas, como geógrafos, geólogos, profissionais da saúde, engenheiros ambientais, entre outros, possam consultá-lo, bem como ampliar as pesquisas voltadas à contaminação da água subterrânea por NO_3^- . Além disso, gestores públicos e privados podem consultá-lo, adaptá-lo e utilizá-lo para a elaboração de planos de monitoramentos e gestão pública das águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

AJARILLA, Antônio Carlos. **Teores de nitrato na água subterrânea da cidade de Londrina e a gestão dos recursos hídricos**. 2013. 128 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2013.

ALABURDA, Janete.; NISHIHARA, Linda. Presença de nitrogênio em águas de poços. **Revista Saúde Pública**. São Paulo, v. 32, n. 2, p. 160-165, abril, 1998.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p.

ARAÚJO, Laury Medeiros.; FRANÇA, Almério Barros.; POTTER, Paul Edwin. Aquífero Gigante do Mercosul (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai): Formações Botucatu, Piramboia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Itaipu. **Revista Águas Subterrâneas**, 1995. p. 110-120.

ATHAYDE, Gustavo Barbosa. **Análise estrutural e hidroquímica do Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do paraná III**. 2008. 128 p. Dissertação (Mestrado Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

ATHAYDE, Gustavo Barbosa.; ATHAYDE, Camila Müller.; ROSA FILHO, Ernani Francisco.; LICHT, Otávio Augusto Boni. Contribuição ao estudo da conectividade entre os Sistemas Aquíferos Serra Geral (SASG) e Guaran (SAG) no Estado do Paraná, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, v. 71, n. 1, p. 36-45, 2014.

ATLASBRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>> Acesso em 18 de set. 2020.

AYOADE, J. O. **Introdução  Climatologia para os Trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 4^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BAKSI, Ajoy K. Paraná flood basalt volcanism primarily limited to ~ 1 Myr beginning at 135 Ma: New ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages for rocks from Rio Grande do Sul, and critical evaluation of published radiometric data. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 355, p. 66 - 77, 2018.

BERNICE, Aline Michelle. **Evolução da Contaminação por Nitrato em Aquíferos Urbanos: Estudo de Caso em Urânia (SP)**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

BERTACHI, Mnica Hirata.; SANTOS, Maurício Moreira dos.; STIPP, Marcelo Eduardo Freres. Concentração de nitrato em poços tubulares profundos e corpo hídrico superficial na região central de Londrina – PR: estudo de caso do entorno do cemitério São Pedro. **Ciência Geográfica**. Bauru, v. 23, n.2, p. 567 – 581, Janeiro/Dezembro, 2019.

BORGHETTI, Nadia Rita Boscardin.; BORGHETTI, José Roberto.; ROSA FILHO, Ernani Francisco da. **A Integração das Águas**: revelando o verdadeiro Aquífero Guarani. Curitiba: Edição da Autora, 2011.

BOTTO, Márcio Pessoa. **Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes**. 2013. 270 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2013.

BRAGA, Benedito.; PORTO, Monica.; TUCCI, Carlos E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2015. p. 127 - 142.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 de out. 2017.

CAJUIERO, Roberta Liana Pimentel. **Manual para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2013.

CAMPOS, Heraldo Cavaleiro Navajas Sampaio. Metodologia para estudos da qualidade das águas subterrâneas e sua aplicação para caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Guarani. **Terra e didática**. v. 9, n. 2, 2013, p. 114-131.

CELLIGOI, André. **Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina – PR**. 1993. 108 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1993.

CELLIGOI, André.; CORCÓVIA, Josilaine Amancio.; PINESE, José Paulo Peccinini. Análise Hidroquímica dos Aquíferos Guarani e Serra Geral no município de Ipiranga-PR. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 20, n. 72, 2019. p. 77-93.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA. **Caraterísticas da Bacia**. Disponível em <<https://www2.paranapanema.org/a-bacia/caracteristicas/>> Acesso em: 16 de Abr. de 2020.

CRH/ CTAS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Câmara Técnica de Águas Subterrâneas. **Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual**. São Paulo: SIMA /IG, 2019. 128p.

DIAS, Claudio Luiz.; BARBOUR, Elzira Dea Alves.; MODESTO, Rosangela Pacinio.; CASARINI, Dorothy Carmem Pinatti. A importância do monitoramento das águas subterrâneas na Gestão dos Recursos Hídricos. In: XV Congresso Brasileiro de

Águas Subterrâneas, 2008. Natal, **Anais eletrônico**, Natal, RN, 2008. p. 1-15.
Disponível em:
<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23294/15387>>
Acesso em 24 de dez. 2020.

EMBRAPA. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>> Acesso em: 17 de dez. 2020.

FABRES, Tanira Marinho. **Classificação Climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS**. 2009. 127 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2009.

FAO. **Suplemento Fórum Mundial da Água**. FAO (Nações Unidas), 2018.
Disponível em: <file:///C:/Users/Usor%20Exclusivo/Downloads/Suplemento-FAO-F%C3%B3rum-Mundial-da-%C3%81gua.pdf> Acesso em: 25 de jun. 2020.

FERNANDES, Talita Tanaka. **Krigagem indicativa para elaboração de mapas probabilísticos em agricultura de precisão**. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado em Biometria). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, 2014.

FERNÍCOLA, Nilda Gallego Gandara de.; AZEVEDO, Fausto Antonio de.
Metemoglobinemia e Nitrato nas Águas. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 15, p. 242-248, 1981.

FERRAREZI JÚNIOR, Celso. **Guia do trabalho científico: do projeto à redação final; monografia, dissertação e tese**. 1ª ed, 3ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2013.

FILHO, Vitorio Orlandi.; KREBS, Antonio Sílvia Jornada.; GIFFONI, Luís Edmundo. Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC. In: WINGE, Manfredo.; SCHOBENHAUS, Carlos.; SOUZA, Celia Regina de Gouveia.; FERNANDES, Antonio Carlos Sequeira.; BERBERT-BORN, Mylène.; QUEIROZ, Emanuel Teixeira de.; CAMPOS, Diogenes de Almeida. 2009. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. p. 71 - 86.

FITTS, Charles Richard. **Águas Subterrâneas**. Tradução de Daniel Vieira. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2008.

FRAGA, Carlos Gilberto. **Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. 1986. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1986.

FRANÇA, Raimunda Moreira da.; FRISCHKORN, Horst.; SANTOS, Manoel Roberval Pimentel.; MENDONÇA, Luiz Alberto Ribeiro.; BESERRA, Maria da Conceição.

Contaminação de Poços Tubulares em Juazeiro do Norte-CE. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 92-102, jan/mar, 2006.

FREDDO, Valmor José Freddo Filho. **Qualidade das Águas Subterrâneas Rasas do Aquífero Barreiras**: estudo de caso em Benevides – PA. 2018. 113 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2018.

FREEZE, Allan R.; CHERRY, John A. **Água Subterrânea**. Tradução de Everton de Oliveira... [et al.]; Everton de Oliveira (Coord.). São Paulo: Everton de Oliveira, 2017.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 3ª ed. rev. Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2009.

GUSMÃO, Alexandre Duarte. **Águas Subterrâneas**: Aspectos de Contaminação e Remediação. Recife: EDUPE, 2002.

IAT. Instituto Água e Terra do Estado do Paraná – **Mapas e Dados Espaciais**. Disponível em: <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>> Acesso em 18 de set. 2020.

IBGE. **Regiões de Influências das Cidades (REGIC), 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia/ IBGE** - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr>> Acesso em: 11 de abr. 2020.

IPARDES, **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/>> Acesso em: 14 de abr. 2020.

LANDIM, Paulo M. Barbosa.; MONTEIRO, Rubens Caldeira.; CORSI, Alessandra Cristina. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer®**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21p. 2002. Disponível em: <<file:///C:/Users/Us%20Exclusivo/Desktop/Dissertacao/Textos%20Referencias/interpolacao.pdf>> Acesso em: 28 de nov. 2020.

LANDIM, Paulo M. Barbosa. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ didática**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LEPSCH, Igor F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2002.

LICHT, Otavio Augusto Boni.; ARIOLI, Edir Edemir. **Mapa Geológico do Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**: Nota Explicativa. Curitiba: ITCG, 2018. 316 p.

LUCENA, Leandson Roberto F. de.; ROSA FILHO, Ernani Francisco da.; BITTENCOURT, André Virmond Lima. A potenciometria do aquífero Barreiras no

setor oriental da bacia do rio Pirangi-RN e considerações sobre a relação com mananciais superficiais. **Revista Águas Subterrâneas**. n. 18, p. 19-28, 2004.

MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª Ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MANASSÉS, Fabio. **Caracterização hidroquímica da água subterrânea da formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná**. 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MANASSÉS, Fábio.; ROSA FILHO, Ernani Francisco da.; HINDI, Eduardo Chemas.; BITTENCOURT, André Virmond Lima. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 64-65, p. 59-67, 2011.

MARCONI, Marina de Andrade.; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARCUZZO, Francisco F. N.; ANDRADE, Lucas R. de.; MELO, Denise C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.

MARQUES, Joyce Meri Sera. O clima, a vegetação e a hidrografia. In: SCORTEGAGNA, Adalberto.; REZENDE, Cláudio J.; TRINCHES, Rita Inocência. **Paraná Espaço e Memória: diversos olhares histórico-geográficos**. Curitiba: Editora Bagozzi, 2005. p. 34 - 55.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

MAZOYER, Marcel.; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 2010.

MEDEIROS, Raimundo Mainar de.; CAVALCANTI, Enilson Palmeira.; DUARTE, Jaqueline Fernandes de Medeiros. Classificação Climática de Köppen para o Estado do Piauí - Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, Teresina, v. 9, n. 3, p. 82-99, 2020.

MIGLIORINI, Renato Blat. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos: estudo do cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo**. 1994. 77 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Universidade da São Paulo, São Paulo, SP, 1994.

MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001. 125 p.

MMA/ANA - Ministério do Meio Ambiente / Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil - Recursos Hídricos**: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: MMA, ANA, 2007. 264 p.

MOREIRA, Fátima. M. S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003.

MOURÃO, Maria Antonieta A. **Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**. Brasília: CPRM, 2009.

MYSEN, Bjorn. Nitrogen in the Earth: abundance and transport. **Progress in Earth and Planetary Science**, v. 6, p. 1 - 15, 2019.

NICOLAI, Gilberto. **Avaliação das Concentrações de Nitratos na Água Subterrânea do Município de Chapecó – SC**. 2001. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

OKA-FIORI, Chisato.; SANTOS, Leonardo José Cordeiro. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2006.

OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2011.

OLIVEIRA, Jorge José do Vale.; VALLILO, Maria Isabel.; PEDRO, Nilva Aparecida R.; ZENEBON, Odair. Estudo Comparativo de Métodos para Determinação de Nitrato em Águas Naturais. **Rev. Inst. Adolfo Luiz**, São Paulo, v. 47 n. 1, p. 25-30, 1987.

PICCIRILLO, E.M.; MELFI, Adolfo José. 1988. **The Mesozoic food volcanism of the Paraná Basin**: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/USP, 1988. 600 p.

PINESE, José P. P; STIPP, Nilza Aparecida Freres; OLIVEIRA, Jaime de. A geologia e os recursos minerais no curso inferior da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi-PR. In: STIPP, Nilza Aparecida Freres. (org). **Sociedade, Natureza e Meio Ambiente no Norte do Paraná**: a porção inferior da Bacia hidrográfica do rio Tibagi-PR. Londrina: Ed. da UEL, 2000. p. 11-32.

Pinese, José P. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E.; BIANCHINI, Edmilson.; SHIBATTA, Oscar A.; PIMENTA, José A. **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, PR: M. E. Medri, 2002. p. 21-38.

PIPER, Arthur M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 25 (6), p. 914 - 928, 1944.

PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3. **Diagnóstico das disponibilidades hídricas subterrâneas**. 2014. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/produto_03_2_diagnostico_disponib_hidricas_subterraneas_bp3_2014_v04_final.pdf> Acesso em 05 de dez. 2020.

PRIMAVESI, Ana. **Agroecologia: Ecosfera, Tecnosfera e Agricultura**. São Paulo: Nobel, 1997.

QIEDUCAÇÃO. **Ciclos biogeoquímicos: Ciclo do Nitrogênio**. Disponível em: <<https://www.qieducacao.com/2013/04/ciclos-biogeoquimicos-ciclo-do.html>> Acesso em 05 de dez. 2020.

REBOUÇAS, Aldo da C. Águas Subterrâneas. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015. p. 93-126.

REGINATO, Pedro Antonio Roehe.; AHLERT, Siclério.; SCHNEIDER, Vania Elisabete. Caracterização Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 27, n.1, p. 65-78, 2013.

RESENDE, Álvaro Vilela de. **Agricultura e Qualidade da Água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

RIBEIRO, Wagner Costa. **Geografia Política da Água**. São Paulo: Annablume, 2008.

SALATI, Eneas.; LEMOS, Haroldo Mattos de.; SALATI, Eneida. Água e o Desenvolvimento Sustentável. In: BRAGA, Benedito.; TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura.; CIMINELLI, Virginia S. T. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 4ª ed. São Paulo: Escrituras, 2015. p. 37 - 62.

SANTOS, Willian da Silva. **O flúor na porção norte da bacia hidrográfica do Rio das Cinzas-PR: qualidade das águas subterrâneas sob a ótica da geografia da saúde**. 2019. 135 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, 2019.

SCORTEGAGNA, Adalberto. A Geologia, o relevo e os recursos minerais. In: SCORTEGAGNA, Adalberto.; REZENDE, Cláudio J.; TRINCHES, Rita Inocência. **Paraná Espaço e Memória: diversos olhares histórico-geográficos**. Curitiba: Editora Bagozzi, 2005. p. 12 - 33.

SHIKLOMANOV, Igor A. **World Water Resources – a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: International Hidrological Programme/ONU, 1998, 37p. 1998.

SILVA, Florilda Vieira da. **Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemiterial na cidade de Maceió**. 2012. 150 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídrico e Saneamento). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2012.

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos**, SUDERHSA, 2010.

TODD, David Keith. **Hidrologia de Águas Subterrâneas**. Tradução de Araken Silveira e Evelyn Bloem Souto Silveira. São Paulo: Edgar Blücher LTDA, 1967.

TUCCI, Carlos, E. M.; HESPANHOL, Ivanildo.; NETTO, Oscar de M. **Cordeiro. Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.

TUNDISI, José Galizia.; TUNDISI, Takako Matsumura. **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2011.

VARNIER, Cláudia.; IRITANI, Mara Akie.; VIOTTI, Maurício.; ODA.; Geraldo Hideo.; FERREIRA, Luciana Martin Rodrigues. Nitrato nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, Área Urbana do Município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1-21, 2010.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VICTORIA, Reynaldo L.; PICCOLO, Marisa C.; VARGAS, Álvaro A. T. O Ciclo do Nitrogênio. In: CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Siu M.; NEVES, Maria Cristina P. **Microbiologia do Solo**. Campinas: SBCS, 1992. P. 105-119.

ZIEGLER, Jean. **Destrução em Massa: Geopolítica da Fome**. Tradução de José Paulo Netto. 1ª ed. São Paulo: Cortez, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Dados dos poços do sasg para a elaboração das interpolações.

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P1	385	Abatiá	-23,32010755	-50,27230219	0,580	8,500	5,800	N/D	0,400	05/08/2002	Serra Geral
P2	431	Abatiá	-23,29906734	-50,31300243	8,060	6,890	422,000	488,000	N/D	11/05/2011	Serra Geral
P3	448	Abatiá	-23,29906734	-50,31348244	3,500	7,000	310,000	345,000	N/D	11/05/2011	Serra Geral
P4	483	Abatiá	-23,31740721	-50,37892302	0,410	8,300	268,000	N/D	1,000	20/12/1993	Serra Geral
P5	484	Abatiá	-23,3172873	-50,34811278	0,140	7,600	253,000	N/D	2,300	29/11/1993	Serra Geral
P6	17965	Abatiá	-23,25154742	-50,22374156	0,002	8,260	265,100	N/D	1,600	07/02/2006	Serra Geral
P7	30888	Abatiá	-23,26765731	-50,28095207	3,180	6,830	264,000	155,100	N/D	28/01/2011	Serra Geral
P8	38941	Abatiá	-23,31050737	-50,31679251	0,500	7,340	156,000	240,000	0,430	03/01/2019	Serra Geral
P9	44961	Abatiá	-23,30555692	-50,4584636	0,710	7,490	104,000	101,200	0,000	17/09/2013	Serra Geral
P10	55837	Abatiá	-23,25564364	-50,27529306	0,880	7,300	194,000	298,000	0,000	06/01/2014	Serra Geral
P11	8352	Assaí	-23,38540604	-50,84586691	6,900	7,050	N/D	N/D	0,500	17/07/1981	Serra Geral
P12	8360	Assaí	-23,375926	-50,84734689	6,270	6,700	314,000	N/D	0,500	20/06/1989	Serra Geral
P13	8367	Assaí	-23,47441625	-50,89130759	0,330	7,600	191,000	N/D	3,100	24/11/1992	Serra Geral
P14	8547	Assaí	-23,30502568	-50,85818671	0,180	7,000	181,000	N/D	1,100	02/09/1993	Serra Geral
P15	8548	Assaí	-23,37148556	-50,98091791	0,110	7,000	111,000	N/D	1,400	29/04/1993	Serra Geral
P16	18546	Assaí	-23,52288639	-50,90764789	0,000	6,700	93,000	79,600	0,160	14/06/2006	Serra Geral
P17	21550	Assaí	-23,39737614	-50,82719681	0,300	8,670	107,000	175,700	N/D	27/07/2009	Serra Geral
P18	25041	Assaí	-23,39850621	-50,80762666	1,200	7,950	186,000	84,000	0,180	16/08/2008	Serra Geral
P19	29024	Assaí	-23,37411602	-50,83623679	0,380	6,570	N/D	257,000	N/D	05/10/2009	Serra Geral
P20	32106	Assaí	-23,36734605	-50,81777663	8,120	6,690	116,000	170,700	N/D	25/01/2011	Serra Geral
P21	33277	Assaí	-23,383996	-50,85497698	5,510	7,440	246,000	460,000	N/D	11/10/2011	Serra Geral
P22	37476	Assaí	-23,34955599	-50,81575655	0,310	6,500	218,000	287,000	0,670	23/01/2015	Serra Geral
P23	37554	Assaí	-23,377656	-50,84695689	0,140	6,740	78,000	352,000	N/D	21/05/2012	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica µS/cm a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P24	37700	Assaí	-23,4448364	-50,80590682	3,200	7,160	239,000	292,000	1,000	02/12/2013	Serra Geral
P25	38456	Assaí	-23,3754959	-50,87825713	3,960	7,060	43,400	87,230	N/D	15/05/2012	Serra Geral
P26	38818	Assaí	-23,39661591	-50,90041737	5,570	6,960	88,000	45,930	N/D	10/05/2012	Serra Geral
P27	38861	Assaí	-23,39823593	-50,89685735	1,280	7,000	93,000	48,310	N/D	16/05/2012	Serra Geral
P28	38879	Assaí	-23,38035581	-50,91212741	0,400	6,810	82,000	43,580	N/D	25/01/2012	Serra Geral
P29	38916	Assaí	-23,37980584	-50,90197733	0,500	6,840	83,000	41,950	0,000	19/12/2014	Serra Geral
P30	38957	Assaí	-23,39555579	-50,93894767	1,320	6,850	78,000	43,640	N/D	15/05/2012	Serra Geral
P31	38960	Assaí	-23,37814596	-50,86161701	0,500	6,830	99,000	43,910	N/D	03/05/2012	Serra Geral
P32	39012	Assaí	-23,37952582	-50,90906738	0,400	7,260	76,000	60,970	0,130	07/11/2014	Serra Geral
P33	39088	Assaí	-23,38112581	-50,91290742	0,400	6,770	98,000	39,590	0,090	23/01/2015	Serra Geral
P34	39559	Assaí	-23,34771553	-50,96139767	0,800	6,690	123,000	53,100	0,470	07/01/2015	Serra Geral
P35	40162	Assaí	-23,4661265	-50,80259687	0,410	8,180	126,000	250,000	0,160	08/01/2015	Serra Geral
P36	40467	Assaí	-23,39549607	-50,84872697	1,650	7,450	85,500	106,400	1,200	15/07/2013	Serra Geral
P37	40662	Assaí	-23,39287605	-50,85228699	2,910	7,670	129,000	69,720	0,260	19/12/2014	Serra Geral
P38	42717	Assaí	-23,38470605	-50,84024686	2,510	8,680	180,000	246,000	0,560	13/01/2015	Serra Geral
P39	42848	Assaí	-23,34003578	-50,87164694	4,900	7,140	149,200	261,500	0,260	12/08/2013	Serra Geral
P40	42849	Assaí	-23,33112583	-50,84148668	5,350	6,510	87,250	104,400	0,960	05/08/2013	Serra Geral
P41	42850	Assaí	-23,32165581	-50,83845662	9,500	7,260	189,400	274,500	0,960	05/08/2013	Serra Geral
P42	44521	Assaí	-23,34586581	-50,86853694	3,710	7,210	318,000	386,000	0,250	16/07/2013	Serra Geral
P43	46275	Assaí	-23,35490588	-50,85610688	3,180	6,490	78,300	116,400	0,950	26/12/2013	Serra Geral
P44	46874	Assaí	-23,36772598	-50,84133681	2,350	8,040	292,000	383,000	0,260	17/07/2013	Serra Geral
P45	48753	Assaí	-23,39855617	-50,82112677	3,290	6,760	158,500	123,350	0,220	23/07/2015	Serra Geral
P46	49507	Assaí	-23,35530574	-50,90304724	2,890	6,740	96,500	134,580	0,560	31/03/2014	Serra Geral
P47	52392	Assaí	-23,35448237	-50,89548366	2,880	6,950	122,000	167,450	0,420	24/10/2014	Serra Geral
P48	54069	Assaí	-23,39960224	-50,98830124	1,860	6,810	78,400	121,600	0,680	29/01/2014	Serra Geral
P49	58478	Assaí	-23,5190433	-50,86477942	3,400	6,600	214,600	278,300	N/D	01/12/2015	Serra Geral
P50	60024	Assaí	-23,40552533	-50,89972085	3,900	7,260	104,000	153,850	0,450	01/07/2016	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P51	60086	Assaí	-23,47067008	-50,86122126	3,800	7,160	149,000	153,120	N/D	04/08/2017	Serra Geral
P52	65540	Assaí	-23,37423422	-50,82652306	0,900	8,180	187,200	288,000	0,000	28/05/2018	Serra Geral
P53	66488	Assaí	-23,375645	-50,91648572	1,470	N/D	194,000	153,900	0,910	07/08/2018	Serra Geral
P54	66518	Assaí	-23,33753496	-50,96524523	1,260	7,390	162,000	165,400	0,600	07/08/2018	Serra Geral
P55	407	Bandeirantes	-23,22197723	-50,24547163	0,010	8,300	N/D	N/D	0,300	23/08/1991	Serra Geral
P56	461	Bandeirantes	-23,09808641	-50,34671198	0,080	7,700	404,000	N/D	0,090	08/03/2005	Serra Geral
P57	485	Bandeirantes	-23,14715683	-50,27714161	1,540	7,400	250,000	N/D	0,700	02/04/1992	Serra Geral
P58	486	Bandeirantes	-23,16228638	-50,44265296	4,530	7,500	238,000	N/D	1,400	13/07/1992	Serra Geral
P59	488	Bandeirantes	-23,10757621	-50,42627263	0,000	7,000	54,000	147,000	1,300	21/12/1992	Serra Geral
P60	494	Bandeirantes	-23,10784635	-50,37989227	0,150	8,500	224,000	N/D	1,000	08/08/1984	Serra Geral
P61	510	Bandeirantes	-23,08130616	-50,4078324	0,550	6,800	122,000	N/D	0,200	16/10/1995	Serra Geral
P62	515	Bandeirantes	-23,17307646	-50,4299029	0,030	9,200	186,000	N/D	0,570	07/01/1994	Serra Geral
P63	516	Bandeirantes	-23,09050606	-50,45271278	0,000	9,600	N/D	N/D	1,200	20/08/1991	Serra Geral
P64	519	Bandeirantes	-23,12545643	-50,37834232	3,690	7,200	232,000	N/D	0,050	01/07/1992	Serra Geral
P65	529	Bandeirantes	-23,1186864	-50,3778823	N/D	7,500	N/D	N/D	0,650	10/01/1997	Serra Geral
P66	530	Bandeirantes	-23,11142639	-50,37157222	N/D	6,800	N/D	N/D	0,740	30/04/1997	Serra Geral
P67	531	Bandeirantes	-23,12813646	-50,37149228	N/D	7,060	N/D	N/D	0,330	01/04/1997	Serra Geral
P68	548	Bandeirantes	-23,19521669	-50,38486262	N/D	7,000	N/D	N/D	1,000	21/03/2002	Serra Geral
P69	549	Bandeirantes	-23,16374652	-50,39907262	N/D	7,200	N/D	N/D	15,000	23/03/2002	Serra Geral
P70	15403	Bandeirantes	-23,09297632	-50,37131215	2,480	7,180	94,000	121,300	1,400	14/02/2005	Serra Geral
P71	16357	Bandeirantes	-23,1436666	-50,34749215	0,970	8,900	171,000	N/D	0,250	13/06/2005	Serra Geral
P72	17775	Bandeirantes	-23,0903363	-50,37218215	N/D	9,160	354,000	392,000	N/D	10/10/2011	Serra Geral
P73	19132	Bandeirantes	-23,09859641	-50,34708198	0,090	7,190	548,800	N/D	0,160	17/07/2006	Serra Geral
P74	20310	Bandeirantes	-23,15388642	-50,41893274	6,800	7,110	232,000	232,300	0,190	06/09/2019	Serra Geral
P75	20311	Bandeirantes	-23,15382642	-50,41873274	7,000	6,810	246,000	226,500	0,600	06/09/2019	Serra Geral
P76	20312	Bandeirantes	-23,15511642	-50,41887275	6,900	6,650	244,000	221,400	1,470	06/09/2019	Serra Geral
P77	21269	Bandeirantes	-23,15370645	-50,40879266	2,100	N/D	49,000	272,200	N/D	21/06/2007	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica µS/cm a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P78	21281	Bandeirantes	-23,1766465	-50,42312286	3,100	9,740	110,000	154,200	0,000	20/12/2007	Serra Geral
P79	21312	Bandeirantes	-23,1767865	-50,42270285	3,100	9,970	130,000	176,700	0,630	12/12/2007	Serra Geral
P80	24028	Bandeirantes	-23,17621674	-50,34270223	0,350	9,160	252,000	254,100	N/D	02/07/2009	Serra Geral
P81	24381	Bandeirantes	-23,17603649	-50,42498287	0,100	9,320	131,000	163,000	N/D	30/04/2010	Serra Geral
P82	24469	Bandeirantes	-23,17741651	-50,42037284	0,800	9,490	176,000	254,000	N/D	25/08/2009	Serra Geral
P83	26759	Bandeirantes	-23,18727695	-50,29105186	1,280	7,200	152,000	220,600	N/D	15/07/2009	Serra Geral
P84	31840	Bandeirantes	-23,16932648	-50,41996281	2,200	7,240	255,000	294,000	N/D	24/03/2011	Serra Geral
P85	36601	Bandeirantes	-23,18186682	-50,3241221	0,000	7,100	292,000	332,000	N/D	30/04/2012	Serra Geral
P86	37708	Bandeirantes	-23,16447645	-50,42459283	1,370	7,740	200,000	239,000	0,780	22/12/2014	Serra Geral
P87	37779	Bandeirantes	-23,2211268	-50,38499272	0,950	7,680	220,000	333,000	0,210	21/01/2015	Serra Geral
P88	37963	Bandeirantes	-23,0977061	-50,44793277	0,000	7,110	78,000	101,700	N/D	29/02/2012	Serra Geral
P89	38427	Bandeirantes	-23,21038667	-50,41378291	0,000	8,110	N/D	N/D	0,190	17/06/2013	Serra Geral
P90	38430	Bandeirantes	-23,07128607	-50,42217247	0,400	7,990	N/D	N/D	0,330	17/06/2013	Serra Geral
P91	38465	Bandeirantes	-23,15885663	-50,35725228	1,220	5,710	172,000	250,000	0,130	18/05/2015	Serra Geral
P92	39340	Bandeirantes	-23,16733686	-50,29404181	0,900	7,430	70,010	139,800	N/D	05/09/2013	Serra Geral
P93	39953	Bandeirantes	-23,16363652	-50,39895262	20,210	8,360	160,000	319,600	0,530	23/12/2013	Serra Geral
P94	40123	Bandeirantes	-23,16821654	-50,39904264	0,000	8,440	75,190	150,100	0,200	15/05/2013	Serra Geral
P95	40794	Bandeirantes	-23,16722653	-50,39943264	0,000	7,470	180,000	360,700	0,830	31/03/2014	Serra Geral
P96	41094	Bandeirantes	-23,15791656	-50,37850244	0,600	7,910	111,000	109,950	N/D	05/09/2013	Serra Geral
P97	41279	Bandeirantes	-23,15333645	-50,40892266	1,800	7,080	64,700	129,200	0,330	07/10/2013	Serra Geral
P98	42444	Bandeirantes	-23,16823223	-50,41269797	1,800	8,050	56,780	114,400	0,340	22/05/2015	Serra Geral
P99	42963	Bandeirantes	-23,16840187	-50,43295458	3,700	8,820	53,700	25,900	0,460	30/10/2019	Serra Geral
P100	43174	Bandeirantes	-23,14117648	-50,38216241	1,360	N/D	222,000	333,000	0,000	23/01/2015	Serra Geral
P101	48359	Bandeirantes	-23,15677633	-50,45138301	7,940	7,600	64,000	129,400	1,450	06/06/2014	Serra Geral
P102	50104	Bandeirantes	-23,07142658	-50,41890747	0,000	9,090	165,000	233,500	0,020	17/02/2016	Serra Geral
P103	50105	Bandeirantes	-23,06258599	-50,43860257	0,683	7,690	151,000	143,700	0,020	17/02/2016	Serra Geral
P104	52611	Bandeirantes	-23,19750987	-50,32625315	N/D	7,740	101,000	342,000	1,420	01/07/2019	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P105	59616	Bandeirantes	-23,09862554	-50,34734065	3,500	7,160	189,000	157,770	0,530	14/07/2016	Serra Geral
P106	60783	Bandeirantes	-23,09530753	-50,39420589	3,190	6,490	154,000	462,000	1,080	04/10/2016	Serra Geral
P107	60792	Bandeirantes	-23,11438568	-50,3896476	2,600	8,140	229,000	230,000	N/D	18/10/2016	Serra Geral
P108	65542	Bandeirantes	-23,14358311	-50,34753344	1,900	8,950	149,110	229,400	0,000	28/05/2018	Serra Geral
P109	67588	Bandeirantes	-23,18199696	-50,31912019	1,000	7,170	116,670	179,500	20,000	26/11/2018	Serra Geral
P110	67589	Bandeirantes	-23,06262215	-50,44478289	0,100	7,820	185,250	285,000	9,000	26/11/2018	Serra Geral
P111	69884	Bandeirantes	-23,12886934	-50,39298093	0,000	8,230	110,000	151,000	0,960	03/10/2019	Serra Geral
P112	70415	Bandeirantes	-23,17089409	-50,4009885	1,940	6,860	185,000	172,000	0,360	06/11/2019	Serra Geral
P113	71058	Bandeirantes	-23,21128885	-50,40805996	3,200	7,080	155,000	238,000	0,600	10/12/2019	Serra Geral
P114	71277	Bandeirantes	-23,12654605	-50,4115675	1,700	7,450	79,360	122,100	0,000	04/04/2019	Serra Geral
P115	71281	Bandeirantes	-23,07329391	-50,44070706	5,000	7,650	273,000	N/D	3,000	20/05/2019	Serra Geral
P116	72474	Bandeirantes	-23,17827127	-50,35679373	N/D	10,570	110,000	174,010	8,290	13/01/2020	Serra Geral
P117	16843	Congonhinhas	-23,49065735	-50,56196508	0,690	6,970	N/D	N/D	0,140	15/07/2005	Serra Geral
P118	43751	Congonhinhas	-23,57139774	-50,54093521	0,500	7,110	79,600	N/D	0,340	05/12/2014	Serra Geral
P119	45725	Congonhinhas	-23,49055734	-50,56209508	0,800	7,030	82,160	164,800	0,210	16/09/2013	Serra Geral
P120	47999	Congonhinhas	-23,51226746	-50,55241509	0,400	7,560	86,000	160,200	0,660	18/06/2013	Serra Geral
P121	61487	Congonhinhas	-23,5352509	-50,54348859	0,900	7,160	39,910	61,400	0,000	02/02/2017	Serra Geral
P122	64069	Congonhinhas	-23,50283675	-50,5479784	0,000	7,430	122,000	95,400	0,330	01/08/2018	Serra Geral
P123	8687	Cornélio Procópio	-23,23511594	-50,6838351	3,790	7,800	278,000	N/D	N/D	09/04/2010	Serra Geral
P124	8691	Cornélio Procópio	-23,20691422	-50,71581736	N/D	9,100	173,000	N/D	0,330	07/08/1986	Serra Geral
P125	8692	Cornélio Procópio	-23,22064361	-50,72932089	N/D	9,100	168,000	N/D	1,800	04/03/1986	Serra Geral
P126	8702	Cornélio Procópio	-23,19549574	-50,69511505	0,000	8,000	233,000	N/D	0,400	29/12/1992	Serra Geral
P127	8741	Cornélio Procópio	-23,22812593	-50,67495501	1,600	6,600	N/D	N/D	N/D	16/06/1999	Serra Geral
P128	16105	Cornélio Procópio	-23,2411259	-50,70234527	4,110	8,390	187,000	362,000	1,000	28/03/2016	Serra Geral
P129	20353	Cornélio Procópio	-23,16089566	-50,67534477	6,200	6,870	249,000	111,800	N/D	10/02/2011	Serra Geral
P130	20547	Cornélio Procópio	-23,14887585	-50,59636411	0,000	7,270	93,000	92,300	0,100	11/09/2013	Serra Geral
P131	25424	Cornélio Procópio	-23,26929609	-50,67974519	2,800	7,520	118,700	235,600	0,180	17/11/2008	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P132	26431	Cornélio Procópio	-23,22521592	-50,675595	1,010	6,900	144,000	97,260	N/D	14/07/2009	Serra Geral
P133	41314	Cornélio Procópio	-23,2100657	-50,72763535	0,000	8,720	150,000	93,800	0,250	13/08/2012	Serra Geral
P134	43431	Cornélio Procópio	-23,34179665	-50,59308478	2,500	7,070	158,970	315,630	0,100	03/12/2013	Serra Geral
P135	46441	Cornélio Procópio	-23,22067574	-50,72936541	0,000	8,100	164,000	220,900	2,510	22/07/2016	Serra Geral
P136	51808	Cornélio Procópio	-23,14751585	-50,5955241	0,000	7,270	93,000	92,300	0,100	11/09/2013	Serra Geral
P137	55792	Cornélio Procópio	-23,19526245	-50,65249246	7,000	6,984	242,000	373,000	0,000	24/03/2014	Serra Geral
P138	55828	Cornélio Procópio	-23,18842179	-50,55144545	0,000	6,850	53,310	105,500	0,900	24/04/2017	Serra Geral
P139	57024	Cornélio Procópio	-23,24802776	-50,65388092	6,700	8,420	237,000	310,000	0,000	22/01/2015	Serra Geral
P140	59493	Cornélio Procópio	-23,13716267	-50,77208146	4,000	7,380	151,000	154,860	1,580	29/06/2016	Serra Geral
P141	62096	Cornélio Procópio	-23,18564781	-50,64291054	0,530	6,350	94,000	144,000	0,510	02/08/2019	Serra Geral
P142	62449	Cornélio Procópio	-23,17431223	-50,77551641	0,000	7,950	294,000	345,000	0,560	11/01/2019	Serra Geral
P143	70313	Cornélio Procópio	-23,20993377	-50,75383911	4,000	6,650	190,700	17,400	0,290	16/10/2019	Serra Geral
P144	70397	Cornélio Procópio	-23,20539516	-50,7141021	1,890	6,930	145,000	192,000	0,620	06/11/2019	Serra Geral
P145	72654	Cornélio Procópio	-23,23675424	-50,68376248	0,000	7,540	135,000	105,100	0,280	11/03/2020	Serra Geral
P146	6051	Leópolis	-23,07493511	-50,73952496	0,140	7,100	208,000	N/D	0,260	07/05/1993	Serra Geral
P147	6052	Leópolis	-22,94911377	-50,66568436	0,030	7,000	128,000	N/D	1,600	11/05/1987	Serra Geral
P148	6061	Leópolis	-22,90951468	-50,65977375	0,060	7,900	N/D	175,200	1,820	12/11/1999	Serra Geral
P149	32182	Leópolis	-23,11412502	-50,82140574	2,360	7,500	159,000	163,500	1,000	25/08/2011	Serra Geral
P150	38920	Leópolis	-23,05008489	-50,77992518	2,000	6,970	178,000	125,300	N/D	27/04/2012	Serra Geral
P151	55355	Leópolis	-23,08211602	-50,73847977	5,960	6,890	275,000	284,000	0,610	17/02/2014	Serra Geral
P152	66267	Leópolis	-23,10914716	-50,80967805	1,460	6,880	118,000	139,800	0,780	04/12/2018	Serra Geral
P153	8550	Jataizinho	-23,28023532	-50,94034726	0,010	7,900	205,000	250,000	0,780	23/04/1992	Serra Geral
P154	8562	Jataizinho	-23,25992514	-50,97311744	0,000	7,320	270,000	342,100	0,720	15/10/2007	Serra Geral
P155	8563	Jataizinho	-23,25540513	-50,97115741	N/D	7,380	N/D	N/D	0,510	25/11/1996	Serra Geral
P156	8571	Jataizinho	-23,30818568	-50,86160675	0,360	7,000	N/D	N/D	1,770	16/04/1992	Serra Geral
P157	8703	Jataizinho	-23,20842502	-50,94380703	0,100	7,500	258,000	N/D	0,280	17/06/1993	Serra Geral
P158	8704	Jataizinho	-23,17861487	-50,954077	0,090	6,900	229,000	N/D	0,480	30/06/1995	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P159	8753	Jataizinho	-23,34889553	-50,96330769	N/D	7,470	N/D	N/D	0,160	18/02/2002	Serra Geral
P160	15260	Jataizinho	-23,21610501	-50,95972718	N/D	6,860	N/D	N/D	0,000	08/09/2004	Serra Geral
P161	15693	Jataizinho	-23,27175523	-50,96028738	N/D	7,690	N/D	N/D	0,000	08/09/2004	Serra Geral
P162	46536	Jataizinho	-23,2585551	-50,98470753	4,900	6,930	268,000	497,000	2,840	14/11/2013	Serra Geral
P163	57995	Jataizinho	-23,29980592	-50,94200895	N/D	6,920	218,400	225,600	0,150	01/07/2019	Serra Geral
P164	59962	Jataizinho	-23,15161456	-50,93713967	3,370	6,680	193,000	319,000	0,520	23/12/2014	Serra Geral
P165	60094	Jataizinho	-23,25578835	-50,98418375	0,000	5,950	329,000	594,000	6,630	29/09/2016	Serra Geral
P166	60221	Jataizinho	-23,25909434	-50,98279508	6,310	7,280	350,000	752,000	0,640	30/12/2014	Serra Geral
P167	60222	Jataizinho	-23,25897704	-50,9840465	0,320	7,140	31,090	84,000	N/D	11/09/2017	Serra Geral
P168	61166	Jataizinho	-23,26156003	-50,97977373	3,600	6,890	150,000	168,580	N/D	04/09/2017	Serra Geral
P169	62739	Jataizinho	-23,16702136	-50,9398163	4,030	7,110	202,000	205,400	0,180	20/12/2017	Serra Geral
P170	63010	Jataizinho	-23,3115584	-50,90588279	0,000	8,650	142,000	173,300	0,320	03/11/2017	Serra Geral
P171	64490	Jataizinho	-23,27083284	-50,96479827	0,480	8,430	60,000	104,500	0,000	18/07/2018	Serra Geral
P172	8694	Nova América da Colina	-23,29405248	-50,7096787	0,170	8,100	N/D	N/D	0,060	06/02/1986	Serra Geral
P173	8705	Nova América da Colina	-23,33062614	-50,7422459	0,120	10,000	233,000	N/D	8,400	09/09/1992	Serra Geral
P174	60852	Nova América da Colina	-23,34348827	-50,72242889	3,300	6,760	144,000	174,610	N/D	02/12/2016	Serra Geral
P175	29540	Nova Fátima	-23,44370374	-50,5639175	0,000	6,020	4,000	58,280	N/D	18/01/2011	Serra Geral
P176	32753	Nova Fátima	-23,43468726	-50,51618452	6,220	7,330	0,000	298,000	0,330	21/11/2014	Serra Geral
P177	43432	Nova Fátima	-23,34732661	-50,61253495	2,500	7,070	158,970	315,630	0,100	03/12/2013	Serra Geral
P178	43433	Nova Fátima	-23,3600866	-50,63268516	2,800	7,140	156,100	310,700	0,100	03/12/2013	Serra Geral
P179	47709	Nova Fátima	-23,39989693	-50,57847488	0,000	8,420	169,000	136,200	8,300	11/12/2015	Serra Geral
P180	60849	Nova Fátima	-23,43281041	-50,57704576	0,410	7,250	16,030	30,950	N/D	22/08/2017	Serra Geral
P181	8400	Nova Santa Bárbara	-23,59710718	-50,75201696	0,270	6,930	60,000	N/D	N/D	23/12/2009	Serra Geral
P182	8689	Rancho Alegre	-23,06253446	-50,93751645	0,040	6,800	93,000	N/D	0,280	11/05/1987	Serra Geral
P183	8740	Rancho Alegre	-23,05800451	-50,91360625	0,060	8,000	226,000	N/D	0,190	03/05/1996	Serra Geral
P184	9692	Rancho Alegre	-23,06020457	-50,89632612	1,810	8,710	156,000	260,000	0,000	14/05/2002	Serra Geral
P185	15473	Rancho Alegre	-23,05371442	-50,93623641	8,400	7,660	157,000	150,600	0,000	08/04/2005	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P186	19072	Rancho Alegre	-23,08904461	-50,92095642	N/D	8,840	232,000	N/D	0,510	01/06/2006	Serra Geral
P187	19073	Rancho Alegre	-23,06549445	-50,94158649	N/D	7,150	149,000	N/D	1,970	06/10/2005	Serra Geral
P188	37894	Rancho Alegre	-23,13481486	-50,90177643	1,300	6,890	104,000	55,400	N/D	22/02/2012	Serra Geral
P189	38956	Rancho Alegre	-23,1410349	-50,89535641	0,500	6,780	104,000	41,870	0,080	03/10/2014	Serra Geral
P190	49592	Rancho Alegre	-23,0625846	-50,8921161	5,090	7,140	206,200	252,430	0,270	13/10/2014	Serra Geral
P191	50358	Rancho Alegre	-23,07283459	-50,90667625	3,280	6,780	115,200	137,180	0,260	24/06/2014	Serra Geral
P192	18944	Ribeirão do Pinhal	-23,36984159	-50,32243957	N/D	7,400	153,000	N/D	0,100	03/07/2006	Serra Geral
P193	449	Santa Amélia	-23,26476683	-50,43245325	0,370	6,900	338,000	N/D	0,150	03/05/1988	Serra Geral
P194	473	Santa Amélia	-23,26884684	-50,43634329	2,250	7,850	254,000	N/D	2,000	30/10/1980	Serra Geral
P195	474	Santa Amélia	-23,26924688	-50,42314319	N/D	8,000	213,000	N/D	0,670	09/01/1985	Serra Geral
P196	23076	Santa Amélia	-23,25649684	-50,41931311	0,750	6,880	264,000	N/D	3,400	20/12/2007	Serra Geral
P197	23077	Santa Amélia	-23,25642681	-50,42792318	3,200	6,520	342,000	N/D	2,400	19/12/2007	Serra Geral
P198	34393	Santa Amélia	-23,2805372	-50,33380253	3,770	8,800	282,000	130,400	N/D	21/03/2011	Serra Geral
P199	8402	Santa Cecília do Pavão	-23,53239974	-50,78927229	N/D	8,180	N/D	N/D	0,350	15/01/1998	Serra Geral
P200	21082	Santa Cecília do Pavão	-23,56687684	-50,82031738	0,400	9,640	186,000	340,000	0,020	16/04/2007	Serra Geral
P201	25031	Santa Cecília do Pavão	-23,56892695	-50,78929714	1,100	7,180	157,000	71,900	0,020	07/08/2019	Serra Geral
P202	33185	Santa Cecília do Pavão	-23,53124676	-50,8011071	1,430	7,920	172,000	87,220	N/D	10/02/2011	Serra Geral
P203	61880	Santa Cecília do Pavão	-23,54252732	-50,78028053	3,300	7,040	168,000	162,280	0,460	23/10/2017	Serra Geral
P204	472	Santa Mariana	-23,1235861	-50,48431315	0,570	9,700	181,000	N/D	0,510	30/01/1994	Serra Geral
P205	6050	Santa Mariana	-23,0385933	-50,57389369	0,050	7,900	251,000	N/D	0,090	24/11/1987	Serra Geral
P206	6058	Santa Mariana	-22,91567492	-50,59042323	2,620	7,600	N/D	227,000	0,630	15/09/1998	Serra Geral
P207	13642	Santa Mariana	-22,95221583	-50,58129064	0,000	9,240	230,000	215,000	0,000	27/09/2004	Serra Geral
P208	22202	Santa Mariana	-23,14836607	-50,52564356	0,000	9,200	110,000	202,800	0,260	09/07/2008	Serra Geral
P209	32713	Santa Mariana	-23,1446561	-50,51191344	0,290	9,450	0,000	123,100	N/D	07/02/2011	Serra Geral
P210	35153	Santa Mariana	-23,1746963	-50,48655335	N/D	7,600	255,300	N/D	N/D	01/07/2012	Serra Geral
P211	56422	Santa Mariana	-23,17097184	-50,47059855	1,400	7,610	283,000	603,000	1,250	25/07/2016	Serra Geral
P212	61488	Santa Mariana	-22,96573625	-50,59516488	4,600	8,600	107,050	164,700	0,000	20/02/2017	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica $\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P213	62749	Santa Mariana	-23,14489065	-50,58553048	0,000	6,280	186,000	N/D	0,290	15/12/2017	Serra Geral
P214	65551	Santa Mariana	-23,1427123	-50,49404506	3,000	7,650	88,850	136,700	0,000	30/10/2018	Serra Geral
P215	8394	Santo Antônio do Paraíso	-23,61029752	-50,65872628	0,110	8,400	119,000	N/D	1,600	13/01/1994	Serra Geral
P216	15441	Santo Antônio do Paraíso	-23,5219971	-50,68249614	N/D	6,660	N/D	N/D	1,600	23/02/2005	Serra Geral
P217	36064	Santo Antônio do Paraíso	-23,5373072	-50,66825608	0,360	7,050	66,000	60,200	N/D	27/10/2011	Serra Geral
P218	43012	Santo Antônio do Paraíso	-23,68568796	-50,61655623	6,970	6,880	175,100	180,300	0,240	16/08/2013	Serra Geral
P219	47037	Santo Antônio do Paraíso	-23,49051714	-50,6284356	2,800	6,680	99,290	199,200	0,330	05/06/2013	Serra Geral
P220	8388	São Jerônimo da Serra	-23,662297	-50,89114828	0,000	7,400	85,000	N/D	5,900	14/04/1993	Serra Geral
P221	8390	São Jerônimo da Serra	-23,59318679	-50,87209788	4,000	N/D	N/D	N/D	9,400	21/07/1992	Serra Geral
P222	8403	São Jerônimo da Serra	-23,72444772	-50,73951733	0,410	5,730	10,000	N/D	N/D	23/12/2009	Serra Geral
P223	48635	São Jerônimo da Serra	-23,72741776	-50,73119728	0,000	5,860	30,500	48,500	0,220	10/06/2014	Serra Geral
P224	8380	São Sebastião da Amoreira	-23,45394658	-50,75865648	0,080	8,200	31,000	N/D	2,600	09/01/1994	Serra Geral
P225	8407	São Sebastião da Amoreira	-23,45181659	-50,75270643	0,940	6,900	105,500	61,070	N/D	07/06/2011	Serra Geral
P226	8409	São Sebastião da Amoreira	-23,4513866	-50,75173642	0,320	8,300	N/D	N/D	3,500	21/02/1992	Serra Geral
P227	8410	São Sebastião da Amoreira	-23,45210659	-50,75382644	0,180	7,700	138,000	N/D	0,170	29/07/1993	Serra Geral
P228	8725	São Sebastião da Amoreira	-23,40831644	-50,74747623	0,150	9,200	164,000	N/D	5,400	18/09/1991	Serra Geral
P229	51875	São Sebastião da Amoreira	-23,44620649	-50,78025662	0,000	7,470	84,000	52,700	0,340	04/09/2015	Serra Geral
P230	56636	São Sebastião da Amoreira	-23,47397772	-50,78452084	0,000	6,600	58,000	98,400	0,510	26/08/2016	Serra Geral
P231	6057	Sertaneja	-22,91581423	-50,817675	7,990	8,650	183,000	270,000	1,030	19/01/2016	Serra Geral
P232	6060	Sertaneja	-22,85382379	-50,87669523	N/D	7,860	N/D	N/D	0,740	21/07/1999	Serra Geral
P233	8743	Sertaneja	-23,03943465	-50,84529565	N/D	7,510	N/D	N/D	0,750	21/07/1999	Serra Geral
P234	18934	Sertaneja	-22,98501433	-50,87547569	0,000	9,450	69,300	141,600	N/D	17/02/2006	Serra Geral
P235	22819	Sertaneja	-22,85628388	-50,85222505	5,800	6,170	0,000	N/D	0,780	14/12/2007	Serra Geral
P236	57253	Sertaneja	-22,80851734	-50,99028699	0,180	6,780	N/D	171,400	1,170	24/01/2017	Serra Geral
P237	57254	Sertaneja	-22,80589671	-50,98080628	3,890	7,780	109,000	224,000	0,390	24/01/2017	Serra Geral
P238	8695	Uraí	-23,20514394	-50,80258474	0,090	7,900	208,000	N/D	5,500	30/07/1991	Serra Geral
P239	8706	Uraí	-23,26929568	-50,80982621	1,150	7,940	N/D	N/D	0,230	04/11/1992	Serra Geral

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Nitrato (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Condutividade Elétrica µS/cm a 25 °C	Turbidez NTU	Data da coleta da amostra	Aquífero
P240	8707	Uraí	-23,23406554	-50,81134609	0,060	7,800	N/D	455,000	0,200	22/10/1996	Serra Geral
P241	8708	Uraí	-23,22238529	-50,87537655	0,160	6,800	302,000	N/D	0,210	23/09/1991	Serra Geral
P242	8709	Uraí	-23,23499547	-50,83284626	0,110	8,000	248,000	N/D	0,420	28/03/1994	Serra Geral
P243	8732	Uraí	-23,26076549	-50,86263659	N/D	8,590	N/D	281,000	0,800	05/11/1997	Serra Geral
P244	8745	Uraí	-23,19695543	-50,79709585	10,600	7,230	360,000	444,000	0,000	25/04/2008	Serra Geral
P245	19115	Uraí	-23,2119755	-50,79398588	1,000	7,430	371,000	481,000	N/D	07/07/2010	Serra Geral
P246	19520	Uraí	-23,2365354	-50,86031648	3,000	6,760	226,000	367,000	5,000	17/05/2007	Serra Geral
P247	19610	Uraí	-23,22050537	-50,84826633	8,400	9,350	307,000	N/D	0,000	04/10/2006	Serra Geral
P248	19613	Uraí	-23,21539555	-50,78182579	8,700	7,500	345,000	434,000	0,000	19/06/2007	Serra Geral
P249	19615	Uraí	-23,19808539	-50,81042595	26,900	7,300	384,000	N/D	0,000	11/09/2006	Serra Geral
P250	19725	Uraí	-23,24853572	-50,77142583	2,700	7,000	164,000	210,000	0,000	05/08/2007	Serra Geral
P251	21311	Uraí	-23,20233552	-50,7763457	3,200	8,940	406,000	537,100	0,530	19/12/2007	Serra Geral
P252	23909	Uraí	-23,22388536	-50,85397639	0,000	8,540	385,000	226,600	0,000	03/06/2008	Serra Geral
P253	28168	Uraí	-23,22769532	-50,87354655	0,600	7,380	230,000	307,000	N/D	03/02/2011	Serra Geral
P254	30056	Uraí	-23,23264533	-50,8779566	0,340	7,400	204,000	315,100	N/D	21/12/2009	Serra Geral
P255	36938	Uraí	-23,2015854	-50,81212598	0,020	8,620	0,150	211,000	0,350	14/11/2014	Serra Geral
P256	37931	Uraí	-23,23387563	-50,78182586	1,100	7,070	80,000	46,900	N/D	03/05/2012	Serra Geral
P257	40192	Uraí	-23,17285526	-50,82250596	0,610	7,000	206,000	264,000	0,110	07/01/2015	Serra Geral
P258	41493	Uraí	-23,2135455	-50,79523589	0,800	7,050	81,000	45,930	0,570	13/11/2014	Serra Geral
P259	42094	Uraí	-23,22452533	-50,86547648	1,700	8,090	306,000	396,000	1,000	06/11/2013	Serra Geral
P260	42447	Uraí	-23,22296527	-50,8819966	2,300	7,310	306,000	410,000	1,000	31/10/2013	Serra Geral
P261	46525	Uraí	-23,25879572	-50,78577598	3,420	9,280	201,000	294,000	0,600	29/07/2015	Serra Geral
P262	48752	Uraí	-23,1923654	-50,80172587	3,270	6,190	147,000	145,150	0,620	29/07/2015	Serra Geral
P263	51258	Uraí	-23,20753549	-50,79353586	0,200	9,100	205,000	N/D	0,870	08/12/2017	Serra Geral
P264	52391	Uraí	-23,23410122	-50,80247667	6,090	6,750	155,400	154,350	0,680	24/10/2014	Serra Geral
P265	59203	Uraí	-23,27312627	-50,84469327	0,000	8,710	129,000	215,000	0,310	16/03/2017	Serra Geral
P266	66458	Uraí	-23,16808678	-50,87265876	2,450	7,360	182,000	180,600	0,750	07/12/2018	Serra Geral

APÊNDICE B - Dados para a elaboração da potenciometria da área de estudo.

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P2	431	Abatiá	-23,29906734	-50,31300243	569,00	2,49	566,51
P3	448	Abatiá	-23,29906734	-50,31348244	569,00	13,55	555,45
P4	483	Abatiá	-23,31740721	-50,37892302	498,00	7,00	491,00
P6	17965	Abatiá	-23,25154742	-50,22374156	471,00	57,38	413,62
P7	30888	Abatiá	-23,26765731	-50,28095207	479,00	21,40	457,60
P9	44961	Abatiá	-23,30555692	-50,4584636	492,00	34,00	458,00
P10	55837	Abatiá	-23,25564364	-50,27529306	454,00	15,00	439,00
P11	8352	Assaí	-23,38540604	-50,84586691	509,00	10,00	499,00
P12	8360	Assaí	-23,375926	-50,84734689	546,00	16,34	529,66
P13	8367	Assaí	-23,47441625	-50,89130759	529,00	45,51	483,49
P14	8547	Assaí	-23,30502568	-50,85818671	456,00	13,75	442,25
P15	8548	Assaí	-23,37148556	-50,98091791	382,00	3,30	378,70
P17	21550	Assaí	-23,39737614	-50,82719681	505,00	41,30	463,70
P18	25041	Assaí	-23,39850621	-50,80762666	666,00	76,43	589,57
P19	29024	Assaí	-23,37411602	-50,83623679	543,00	6,74	536,26
P20	32106	Assaí	-23,36734605	-50,81777663	622,00	22,40	599,60
P21	33277	Assaí	-23,383996	-50,85497698	555,00	50,34	504,66
P22	37476	Assaí	-23,34955599	-50,81575655	582,00	6,00	576,00
P23	37554	Assaí	-23,377656	-50,84695689	542,00	8,40	533,60
P24	37700	Assaí	-23,4448364	-50,80590682	624,00	44,00	580,00
P25	38456	Assaí	-23,3754959	-50,87825713	516,00	28,54	487,46
P26	38818	Assaí	-23,39661591	-50,90041737	545,00	32,61	512,39
P27	38861	Assaí	-23,39823593	-50,89685735	476,00	40,12	435,88
P28	38879	Assaí	-23,38035581	-50,91212741	539,00	40,33	498,67
P29	38916	Assaí	-23,37980584	-50,90197733	526,00	12,37	513,63

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P30	38957	Assaí	-23,39555579	-50,93894767	496,00	25,19	470,81
P31	38960	Assaí	-23,37814596	-50,86161701	559,00	45,21	513,79
P32	39012	Assaí	-23,37952582	-50,90906738	520,00	43,57	476,43
P33	39088	Assaí	-23,38112581	-50,91290742	542,00	43,51	498,49
P34	39559	Assaí	-23,34771553	-50,96139767	431,00	13,47	417,53
P35	40162	Assaí	-23,4661265	-50,80259687	559,00	38,05	520,95
P36	40467	Assaí	-23,39549607	-50,84872697	498,00	22,56	475,44
P37	40662	Assaí	-23,39287605	-50,85228699	530,00	28,17	501,83
P38	42717	Assaí	-23,38470605	-50,84024686	508,00	0,50	507,50
P39	42848	Assaí	-23,34003578	-50,87164694	598,00	118,21	479,79
P40	42849	Assaí	-23,33112583	-50,84148668	502,00	12,24	489,76
P41	42850	Assaí	-23,32165581	-50,83845662	499,00	17,81	481,19
P42	44521	Assaí	-23,34586581	-50,86853694	552,00	44,03	507,97
P43	46275	Assaí	-23,35490588	-50,85610688	639,00	140,79	498,21
P44	46874	Assaí	-23,36772598	-50,84133681	570,00	23,45	546,55
P45	48753	Assaí	-23,39855617	-50,82112677	620,00	25,90	594,10
P46	49507	Assaí	-23,35530574	-50,90304724	520,00	23,12	496,88
P48	54069	Assaí	-23,39960224	-50,98830124	397,00	30,67	366,33
P49	58478	Assaí	-23,5190433	-50,86477942	595,00	50,26	544,74
P50	60024	Assaí	-23,40552533	-50,89972085	473,00	50,24	422,76
P51	60086	Assaí	-23,47067008	-50,86122126	475,00	17,71	457,29
P52	65540	Assaí	-23,37423422	-50,82652306	576,00	26,40	549,60
P53	66488	Assaí	-23,375645	-50,91648572	590,00	17,23	572,77
P54	66518	Assaí	-23,33753496	-50,96524523	392,00	33,41	358,59
P55	407	Bandeirantes	-23,22197723	-50,24547163	440,00	2,90	437,10
P56	461	Bandeirantes	-23,09808641	-50,34671198	377,00	8,00	369,00
P57	485	Bandeirantes	-23,14715683	-50,27714161	417,00	2,86	414,14
P58	486	Bandeirantes	-23,16228638	-50,44265296	402,00	14,49	387,51

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P59	488	Bandeirantes	-23,10757621	-50,42627263	429,00	8,31	420,69
P62	515	Bandeirantes	-23,17307646	-50,4299029	437,00	12,58	424,42
P63	516	Bandeirantes	-23,09050606	-50,45271278	372,00	31,00	341,00
P64	519	Bandeirantes	-23,12545643	-50,37834232	392,00	4,48	387,52
P65	529	Bandeirantes	-23,1186864	-50,3778823	387,00	8,30	378,70
P66	530	Bandeirantes	-23,11142639	-50,37157222	405,00	2,00	403,00
P67	531	Bandeirantes	-23,12813646	-50,37149228	410,00	23,70	386,30
P68	548	Bandeirantes	-23,19521669	-50,38486262	459,00	7,95	451,05
P69	549	Bandeirantes	-23,16374652	-50,39907262	457,00	25,30	431,70
P70	15403	Bandeirantes	-23,09297632	-50,37131215	414,00	53,00	361,00
P71	16357	Bandeirantes	-23,1436666	-50,34749215	493,00	34,32	458,68
P72	17775	Bandeirantes	-23,0903363	-50,37218215	402,00	56,00	346,00
P73	19132	Bandeirantes	-23,09859641	-50,34708198	377,00	33,08	343,92
P75	20311	Bandeirantes	-23,15382642	-50,41873274	414,00	15,80	398,20
P78	21281	Bandeirantes	-23,1766465	-50,42312286	452,00	83,06	368,94
P79	21312	Bandeirantes	-23,1767865	-50,42270285	456,00	86,39	369,61
P80	24028	Bandeirantes	-23,17621674	-50,34270223	524,00	40,00	484,00
P81	24381	Bandeirantes	-23,17603649	-50,42498287	450,00	76,90	373,10
P82	24469	Bandeirantes	-23,17741651	-50,42037284	465,00	6,10	458,90
P83	26759	Bandeirantes	-23,18727695	-50,29105186	498,00	19,00	479,00
P84	31840	Bandeirantes	-23,16932648	-50,41996281	439,00	10,80	428,20
P85	36601	Bandeirantes	-23,18186682	-50,3241221	505,00	35,75	469,25
P86	37708	Bandeirantes	-23,16447645	-50,42459283	426,00	0,20	425,80
P87	37779	Bandeirantes	-23,2211268	-50,38499272	465,00	7,00	458,00
P88	37963	Bandeirantes	-23,0977061	-50,44793277	381,00	16,32	364,68
P89	38427	Bandeirantes	-23,21038667	-50,41378291	431,00	30,10	400,90
P90	38430	Bandeirantes	-23,07128607	-50,42217247	396,00	21,20	374,80
P91	38465	Bandeirantes	-23,15885663	-50,35725228	478,00	27,00	451,00

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P92	39340	Bandeirantes	-23,16733686	-50,29404181	483,00	49,35	433,65
P93	39953	Bandeirantes	-23,16363652	-50,39895262	457,00	28,00	429,00
P94	40123	Bandeirantes	-23,16821654	-50,39904264	469,00	16,74	452,26
P95	40794	Bandeirantes	-23,16722653	-50,39943264	466,00	6,00	460,00
P96	41094	Bandeirantes	-23,15791656	-50,37850244	438,00	22,49	415,51
P97	41279	Bandeirantes	-23,15333645	-50,40892266	428,00	25,39	402,61
P98	42444	Bandeirantes	-23,16823223	-50,41269797	470,00	52,39	417,61
P99	42963	Bandeirantes	-23,16840187	-50,43295458	457,00	57,00	400,00
P100	43174	Bandeirantes	-23,14117648	-50,38216241	406,00	9,50	396,50
P101	48359	Bandeirantes	-23,15677633	-50,45138301	381,00	5,00	376,00
P103	50105	Bandeirantes	-23,06258599	-50,43860257	374,00	19,00	355,00
P105	59616	Bandeirantes	-23,09862554	-50,34734065	374,00	22,67	351,33
P107	60792	Bandeirantes	-23,11438568	-50,3896476	440,00	45,06	394,94
P108	65542	Bandeirantes	-23,14358311	-50,34753344	493,00	91,00	402,00
P109	67588	Bandeirantes	-23,18199696	-50,31912019	473,00	4,00	469,00
P110	67589	Bandeirantes	-23,06262215	-50,44478289	362,00	29,00	333,00
P111	69884	Bandeirantes	-23,12886934	-50,39298093	493,00	76,80	416,20
P112	70415	Bandeirantes	-23,17089409	-50,4009885	490,00	50,81	439,19
P113	71058	Bandeirantes	-23,21128885	-50,40805996	430,00	52,00	378,00
P114	71277	Bandeirantes	-23,12654605	-50,4115675	432,00	34,00	398,00
P115	71281	Bandeirantes	-23,07329391	-50,44070706	380,00	33,00	347,00
P117	16843	Congonhinhas	-23,49065735	-50,56196508	735,00	2,08	732,92
P118	43751	Congonhinhas	-23,57139774	-50,54093521	805,00	25,00	780,00
P119	45725	Congonhinhas	-23,49055734	-50,56209508	741,00	89,28	651,72
P120	47999	Congonhinhas	-23,51226746	-50,55241509	788,00	49,30	738,70
P121	61487	Congonhinhas	-23,5352509	-50,54348859	788,00	18,00	770,00
P122	64069	Congonhinhas	-23,50283675	-50,5479784	733,00	85,50	647,50
P123	8687	Cornélio Procópio	-23,23511594	-50,6838351	447,00	13,00	434,00

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P124	8691	Cornélio Procópio	-23,20691422	-50,71581736	450,00	9,00	441,00
P125	8692	Cornélio Procópio	-23,22064361	-50,72932089	410,00	20,00	390,00
P126	8702	Cornélio Procópio	-23,19549574	-50,69511505	489,00	2,00	487,00
P128	16105	Cornélio Procópio	-23,2411259	-50,70234527	421,00	8,00	413,00
P129	20353	Cornélio Procópio	-23,16089566	-50,67534477	546,00	35,00	511,00
P130	20547	Cornélio Procópio	-23,14887585	-50,59636411	553,00	24,00	529,00
P131	25424	Cornélio Procópio	-23,26929609	-50,67974519	516,00	48,97	467,03
P132	26431	Cornélio Procópio	-23,22521592	-50,675595	510,00	24,20	485,80
P133	41314	Cornélio Procópio	-23,2100657	-50,72763535	456,00	31,50	424,50
P134	43431	Cornélio Procópio	-23,34179665	-50,59308478	554,00	76,91	477,09
P135	46441	Cornélio Procópio	-23,22067574	-50,72936541	410,00	47,60	362,40
P136	51808	Cornélio Procópio	-23,14751585	-50,5955241	545,00	68,00	477,00
P137	55792	Cornélio Procópio	-23,19526245	-50,65249246	632,00	8,00	624,00
P138	55828	Cornélio Procópio	-23,18842179	-50,55144545	551,00	80,00	471,00
P139	57024	Cornélio Procópio	-23,24802776	-50,65388092	559,00	46,83	512,17
P140	59493	Cornélio Procópio	-23,13716267	-50,77208146	416,00	22,34	393,66
P141	62096	Cornélio Procópio	-23,18564781	-50,64291054	654,00	31,00	623,00
P142	62449	Cornélio Procópio	-23,17431223	-50,77551641	381,00	4,00	377,00
P143	70313	Cornélio Procópio	-23,20993377	-50,75383911	418,00	54,11	363,89
P144	70397	Cornélio Procópio	-23,20539516	-50,7141021	450,00	6,84	443,16
P145	72654	Cornélio Procópio	-23,23675424	-50,68376248	454,00	21,00	433,00
P146	6051	Leópolis	-23,07493511	-50,73952496	419,00	3,38	415,62
P147	6052	Leópolis	-22,94911377	-50,66568436	358,00	1,00	357,00
P148	6061	Leópolis	-22,90951468	-50,65977375	365,00	14,53	350,47
P149	32182	Leópolis	-23,11412502	-50,82140574	401,00	47,50	353,50
P150	38920	Leópolis	-23,05008489	-50,77992518	428,00	20,00	408,00
P151	55355	Leópolis	-23,08211602	-50,73847977	449,00	17,03	431,97
P152	66267	Leópolis	-23,10914716	-50,80967805	387,00	34,21	352,79

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P153	8550	Jataizinho	-23,28023532	-50,94034726	364,00	17,12	346,88
P154	8562	Jataizinho	-23,25992514	-50,97311744	350,00	33,00	317,00
P155	8563	Jataizinho	-23,25540513	-50,97115741	346,00	11,00	335,00
P156	8571	Jataizinho	-23,30818568	-50,86160675	436,00	22,68	413,32
P159	8753	Jataizinho	-23,34889553	-50,96330769	414,00	18,00	396,00
P162	46536	Jataizinho	-23,2585551	-50,98470753	349,00	15,38	333,62
P164	59962	Jataizinho	-23,15161456	-50,93713967	365,00	6,00	359,00
P165	60094	Jataizinho	-23,25578835	-50,98418375	348,00	7,85	340,15
P166	60221	Jataizinho	-23,25909434	-50,98279508	364,00	33,00	331,00
P167	60222	Jataizinho	-23,25897704	-50,9840465	357,00	33,00	324,00
P168	61166	Jataizinho	-23,26156003	-50,97977373	377,00	40,62	336,38
P170	63010	Jataizinho	-23,3115584	-50,90588279	463,00	69,32	393,68
P173	8705	Nova América da Colina	-23,33062614	-50,7422459	547,00	46,70	500,30
P174	60852	Nova América da Colina	-23,34348827	-50,72242889	571,00	23,55	547,45
P175	29540	Nova Fátima	-23,44370374	-50,5639175	700,00	28,10	671,90
P176	32753	Nova Fátima	-23,43468726	-50,51618452	582,00	78,00	504,00
P177	43432	Nova Fátima	-23,34732661	-50,61253495	491,00	14,28	476,72
P178	43433	Nova Fátima	-23,3600866	-50,63268516	552,00	18,00	534,00
P179	47709	Nova Fátima	-23,39989693	-50,57847488	647,00	149,50	497,50
P180	60849	Nova Fátima	-23,43281041	-50,57704576	647,00	28,00	619,00
P181	8400	Nova Santa Bárbara	-23,59710718	-50,75201696	706,00	57,00	649,00
P182	8689	Rancho Alegre	-23,06253446	-50,93751645	357,00	7,90	349,10
P184	9692	Rancho Alegre	-23,06020457	-50,89632612	379,00	5,76	373,24
P185	15473	Rancho Alegre	-23,05371442	-50,93623641	363,00	10,30	352,70
P186	19072	Rancho Alegre	-23,08904461	-50,92095642	407,00	56,10	350,90
P187	19073	Rancho Alegre	-23,06549445	-50,94158649	355,00	43,50	311,50
P188	37894	Rancho Alegre	-23,13481486	-50,90177643	418,00	30,59	387,41
P189	38956	Rancho Alegre	-23,1410349	-50,89535641	428,00	25,73	402,27

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P190	49592	Rancho Alegre	-23,0625846	-50,8921161	413,00	67,23	345,77
P191	50358	Rancho Alegre	-23,07283459	-50,90667625	442,00	170,12	271,88
P192	18944	Ribeirão do Pinhal	-23,36984159	-50,32243957	638,00	60,00	578,00
P193	449	Santa Amélia	-23,26476683	-50,43245325	472,00	18,00	454,00
P194	473	Santa Amélia	-23,26884684	-50,43634329	444,00	8,00	436,00
P195	474	Santa Amélia	-23,26924688	-50,42314319	481,00	36,00	445,00
P196	23076	Santa Amélia	-23,25649684	-50,41931311	545,00	23,00	522,00
P197	23077	Santa Amélia	-23,25642681	-50,42792318	518,00	29,00	489,00
P198	34393	Santa Amélia	-23,2805372	-50,33380253	621,00	6,00	615,00
P199	8402	Santa Cecília do Pavão	-23,53239974	-50,78927229	593,00	1,30	591,70
P200	21082	Santa Cecília do Pavão	-23,56687684	-50,82031738	633,00	62,00	571,00
P201	25031	Santa Cecília do Pavão	-23,56892695	-50,78929714	729,00	18,30	710,70
P202	33185	Santa Cecília do Pavão	-23,53124676	-50,8011071	597,00	22,66	574,34
P204	472	Santa Mariana	-23,1235861	-50,48431315	381,00	3,74	377,26
P205	6050	Santa Mariana	-23,0385933	-50,57389369	427,00	6,85	420,15
P206	6058	Santa Mariana	-22,91567492	-50,59042323	347,00	15,43	331,57
P207	13642	Santa Mariana	-22,95221583	-50,58129064	360,00	4,35	355,65
P208	22202	Santa Mariana	-23,14836607	-50,52564356	479,00	51,22	427,78
P209	32713	Santa Mariana	-23,1446561	-50,51191344	462,00	65,00	397,00
P210	35153	Santa Mariana	-23,1746963	-50,48655335	421,00	9,52	411,48
P211	56422	Santa Mariana	-23,17097184	-50,47059855	401,00	47,00	354,00
P212	61488	Santa Mariana	-22,96573625	-50,59516488	381,00	18,00	363,00
P214	65551	Santa Mariana	-23,1427123	-50,49404506	439,00	40,56	398,44
P216	15441	Santo Antônio do Paraíso	-23,5219971	-50,68249614	741,00	10,00	731,00
P217	36064	Santo Antônio do Paraíso	-23,5373072	-50,66825608	743,00	19,80	723,20
P219	47037	Santo Antônio do Paraíso	-23,49051714	-50,6284356	620,00	7,48	612,52
P220	8388	São Jerônimo da Serra	-23,662297	-50,89114828	603,00	9,76	593,24
P221	8390	São Jerônimo da Serra	-23,59318679	-50,87209788	621,00	4,30	616,70

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P222	8403	São Jerônimo da Serra	-23,72444772	-50,73951733	911,00	62,00	849,00
P223	48635	São Jerônimo da Serra	-23,72741776	-50,73119728	863,00	16,00	847,00
P224	8380	São Sebastião da Amoreira	-23,45394658	-50,75865648	654,00	25,37	628,63
P225	8407	São Sebastião da Amoreira	-23,45181659	-50,75270643	642,00	123,26	518,74
P227	8410	São Sebastião da Amoreira	-23,45210659	-50,75382644	634,00	17,52	616,48
P228	8725	São Sebastião da Amoreira	-23,40831644	-50,74747623	630,00	7,90	622,10
P229	51875	São Sebastião da Amoreira	-23,44620649	-50,78025662	658,00	34,82	623,18
P230	56636	São Sebastião da Amoreira	-23,47397772	-50,78452084	612,00	30,50	581,50
P231	6057	Sertaneja	-22,91581423	-50,817675	372,00	43,20	328,80
P232	6060	Sertaneja	-22,85382379	-50,87669523	343,00	23,50	319,50
P233	8743	Sertaneja	-23,03943465	-50,84529565	358,00	3,26	354,74
P235	22819	Sertaneja	-22,85628388	-50,85222505	350,00	13,00	337,00
P236	57253	Sertaneja	-22,80851734	-50,99028699	339,00	12,70	326,30
P237	57254	Sertaneja	-22,80589671	-50,98080628	355,00	21,50	333,50
P238	8695	Uraí	-23,20514394	-50,80258474	393,00	5,98	387,02
P239	8706	Uraí	-23,26929568	-50,80982621	464,00	16,41	447,59
P240	8707	Uraí	-23,23406554	-50,81134609	469,00	15,43	453,57
P241	8708	Uraí	-23,22238529	-50,87537655	447,00	8,58	438,42
P242	8709	Uraí	-23,23499547	-50,83284626	471,00	22,35	448,65
P243	8732	Uraí	-23,26076549	-50,86263659	547,00	63,00	484,00
P244	8745	Uraí	-23,19695543	-50,79709585	395,00	20,88	374,12
P245	19115	Uraí	-23,2119755	-50,79398588	463,00	69,05	393,95
P246	19520	Uraí	-23,2365354	-50,86031648	494,00	19,14	474,86
P247	19610	Uraí	-23,22050537	-50,84826633	448,00	33,00	415,00
P248	19613	Uraí	-23,21539555	-50,78182579	386,00	2,76	383,24
P249	19615	Uraí	-23,19808539	-50,81042595	392,00	24,45	367,55
P250	19725	Uraí	-23,24853572	-50,77142583	447,00	29,50	417,50
P251	21311	Uraí	-23,20233552	-50,7763457	374,00	11,55	362,45

Poço	Código da Captação	Município	Latitude	Longitude	Cota da boca do poço	Nível Estático	Cota Potenciométrica
P252	23909	Uraí	-23,22388536	-50,85397639	482,00	33,49	448,51
P253	28168	Uraí	-23,22769532	-50,87354655	481,00	46,45	434,55
P255	36938	Uraí	-23,2015854	-50,81212598	390,00	41,45	348,55
P256	37931	Uraí	-23,23387563	-50,78182586	421,00	47,51	373,49
P257	40192	Uraí	-23,17285526	-50,82250596	395,00	23,15	371,85
P258	41493	Uraí	-23,2135455	-50,79523589	456,00	119,57	336,43
P259	42094	Uraí	-23,22452533	-50,86547648	493,00	30,00	463,00
P260	42447	Uraí	-23,22296527	-50,8819966	443,00	40,00	403,00
P261	46525	Uraí	-23,25879572	-50,78577598	473,00	28,50	444,50
P262	48752	Uraí	-23,1923654	-50,80172587	395,00	16,20	378,80
P263	51258	Uraí	-23,20753549	-50,79353586	457,00	72,15	384,85
P264	52391	Uraí	-23,23410122	-50,80247667	464,00	19,57	444,43
P265	59203	Uraí	-23,27312627	-50,84469327	543,00	62,70	480,30
P266	66458	Uraí	-23,16808678	-50,87265876	450,00	7,89	442,11

APÊNDICE C - Dados dos parâmetros de ânions e cátions do sasg para a classificação hidroquímica.

Poço	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
P1	0,00	0,00	9,40	0,00	3,80	14,80	89,50	0,00
P2	9,00	0,00	1,00	51,51	34,29	0,00	24,18	0,00
P3	10,00	0,00	14,00	38,40	17,14	0,00	20,46	0,00
P4	0,00	0,00	36,00	28,60	1,40	0,00	165,80	8,70
P5	35,40	2,00	38,50	0,00	1,00	0,00	198,00	1,60
P6	8,14	0,00	0,00	0,00	3,84	0,00	0,00	0,01
P7	16,00	3,00	28,00	30,96	37,99	387,46	20,54	0,01
P8	12,26	1,92	33,30	5,02	13,16	33,30	123,73	12,48
P9	5,80	2,80	5,52	6,08	0,54	0,01	62,40	0,10
P10	7,00	1,90	33,21	13,86	5,35	0,01	160,78	0,00
P11	7,64	1,25	28,38	10,23	14,00	0,01	66,00	1,00
P12	14,63	1,00	33,92	11,55	10,00	0,01	114,00	1,00
P13	18,20	0,60	24,00	4,90	14,00	0,01	57,00	0,01
P14	0,01	0,01	23,20	10,20	0,01	0,01	97,00	4,40
P15	9,60	0,80	19,20	5,30	2,00	0,01	63,00	0,80
P16	17,00	3,00	6,00	0,50	0,01	0,01	0,00	3,40
P17	42,00	32,90	17,20	8,80	3,50	20,00	70,00	2,10
P18	20,14	14,10	7,43	548,00	1,99	0,01	56,00	0,01
P19	0,01	0,50	16,69	9,07	35,30	8,48	98,58	16,24
P20	21,00	2,30	20,00	37,49	16,62	0,01	144,00	23,24
P21	12,30	1,30	1,20	27,95	60,48	0,01	824,00	0,01
P22	10,70	0,20	31,50	21,02	2,54	0,01	101,00	0,01
P23	26,50	1,60	20,00	30,83	28,99	0,01	81,18	0,01
P24	3,70	0,90	35,23	19,81	10,27	0,01	77,68	2,60
P25	2,19	1,90	7,96	5,03	0,20	0,01	42,00	1,00
P26	2,00	1,20	9,29	4,01	0,01	0,01	45,15	1,00
P27	2,00	1,30	9,53	3,84	0,01	0,01	45,27	1,00
P28	2,30	1,40	10,13	3,03	0,50	0,01	45,39	2,00
P29	2,30	1,20	9,33	3,45	0,50	0,01	44,78	3,00
P30	2,30	1,40	9,77	3,40	0,50	0,01	45,64	2,00
P31	2,30	1,40	10,34	3,11	0,50	0,01	45,88	1,00
P32	11,50	1,50	8,01	2,04	0,01	0,01	61,13	0,01
P33	2,30	1,40	10,30	2,04	1,00	0,01	46,00	2,00
P34	1,90	1,10	11,34	5,17	1,00	0,01	51,49	0,01
P35	0,40	32,20	14,60	7,00	1,53	0,01	111,10	0,01
P36	2,54	0,71	25,70	5,50	20,80	0,01	75,90	0,09
P37	2,30	1,40	14,30	4,42	0,99	0,01	67,11	0,13
P38	10,30	0,20	12,00	0,85	4,35	16,00	94,00	0,01
P39	1,47	0,27	47,20	29,50	19,80	0,01	249,25	5,16
P40	2,22	1,98	21,60	6,90	8,87	0,01	88,81	0,01
P41	1,09	0,74	75,50	0,01	22,10	0,01	281,00	0,11
P42	20,30	0,01	31,50	16,43	5,37	0,01	162,00	5,90
P43	0,40	0,36	9,14	5,06	1,35	0,01	49,10	0,18
P44	70,00	0,01	14,00	7,06	11,60	0,01	159,84	4,88
P45	3,20	0,10	8,00	6,08	7,03	0,01	40,50	0,01
P46	4,41	1,23	12,45	2,89	0,18	0,01	60,20	0,46

Poço	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
P47	2,15	0,61	14,54	2,40	0,30	0,01	60,41	0,17
P48	1,02	6,81	9,81	3,15	0,65	0,01	45,00	0,01
P49	6,08	3,76	18,54	10,27	9,37	0,01	106,00	0,19
P50	5,60	0,90	17,11	6,49	3,20	0,01	73,71	0,01
P51	5,70	0,90	17,79	6,39	3,80	0,01	72,24	0,01
P52	26,00	29,00	16,00	8,06	5,00	2,00	40,00	1,00
P53	2,18	1,68	24,50	14,30	3,68	0,01	146,00	0,18
P54	0,80	0,90	10,50	9,30	6,18	0,01	72,00	0,03
P56	9,64	0,00	0,00	0,00	19,23	0,00	164,00	9,44
P57	8,00	0,70	54,27	12,08	5,00	0,01	191,00	3,00
P58	8,00	0,20	32,26	8,00	5,00	0,01	107,00	2,00
P59	0,00	0,00	16,00	0,00	0,01	0,01	12,20	0,01
P60	61,80	0,40	8,60	0,36	20,00	0,01	109,00	6,00
P61	7,80	0,60	9,77	2,12	0,01	0,01	42,00	6,00
P62	0,01	0,01	4,10	3,50	3,50	0,01	51,20	12,10
P64	10,00	1,30	36,98	8,05	7,00	0,01	12,00	4,00
P72	79,00	0,30	1,00	0,01	3,60	3,10	176,40	18,40
P74	2,57	1,00	24,70	6,80	5,00	6,00	52,00	10,00
P75	2,69	1,00	25,90	5,80	5,00	15,00	46,00	10,00
P76	2,78	1,00	23,30	8,50	5,00	12,00	45,00	10,00
P77	0,00	12,30	19,00	6,90	0,00	0,01	134,00	1,50
P78	35,00	23,80	11,36	2,60	3,91	50,00	34,00	2,10
P79	33,50	24,50	8,20	1,32	4,40	48,00	26,00	0,80
P80	63,00	0,01	4,75	1,70	4,75	0,01	42,38	5,17
P81	52,38	0,10	0,01	0,01	5,55	13,97	32,33	4,90
P82	90,00	0,10	0,01	0,01	8,32	27,94	44,98	8,00
P83	13,00	25,00	26,00	20,89	5,50	0,01	151,46	0,01
P84	11,10	0,50	38,75	22,65	6,92	0,01	98,27	9,40
P85	36,00	0,30	5,40	13,62	5,15	0,01	117,42	0,01
P86	41,50	0,20	18,00	0,01	3,87	0,01	82,00	1,44
P87	22,50	0,30	29,00	9,01	5,37	0,01	178,00	2,70
P88	4,20	0,30	2,70	11,38	3,60	0,01	73,13	0,01
P91	10,50	1,00	16,00	17,81	9,01	0,01	108,90	0,01
P92	5,30	1,50	12,90	5,15	7,40	0,01	49,34	2,00
P93	48,60	0,40	11,02	1,42	0,56	0,01	129,30	0,01
P94	25,90	1,50	7,92	1,59	0,51	0,01	67,62	7,00
P95	58,00	1,25	12,13	2,31	5,97	0,01	191,90	0,01
P96	4,80	2,10	10,01	5,63	10,25	0,01	55,76	0,01
P97	4,60	2,20	10,58	4,14	11,08	0,01	32,03	0,01
P98	4,10	0,80	10,78	5,58	7,71	0,01	44,02	13,00
P99	53,70	3,14	1,00	1,00	14,85	4,77	76,82	16,05
P100	20,10	0,20	24,00	17,29	4,22	0,01	174,00	4,00
P101	4,20	1,10	10,23	4,45	10,71	0,01	35,28	0,01
P102	50,60	0,30	2,82	0,49	3,42	18,54	81,98	5,24
P103	8,60	0,50	16,39	3,22	1,84	0,01	68,24	0,62
P105	5,70	0,90	17,03	6,10	1,60	0,01	73,83	0,01
P106	10,50	0,01	1,60	0,01	5,26	0,01	90,00	3,41
P107	9,70	1,00	27,18	9,94	5,00	3,00	103,10	2,00
P111	11,00	1,01	1,52	0,01	0,01	47,32	70,07	9,78
P112	0,85	1,39	21,80	12,00	15,80	0,01	102,50	0,15
P113	15,04	1,06	21,04	11,07	12,37	1,00	95,77	11,56

Poço	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
P119	13,00	1,00	14,04	3,18	0,00	0,01	68,65	2,00
P120	2,80	1,40	14,00	6,57	5,80	2,00	64,80	2,20
P122	1,65	2,02	1,50	0,01	0,01	10,92	44,59	5,41
P123	23,00	1,40	39,00	30,13	17,94	0,01	167,04	0,01
P124	0,01	0,01	3,20	2,40	0,01	22,00	52,00	3,00
P125	0,01	0,01	4,80	1,40	0,01	0,01	26,00	7,00
P126	51,20	2,00	20,00	7,80	1,00	0,01	164,00	7,00
P128	15,80	0,50	1,59	0,01	11,01	0,01	156,00	0,20
P129	8,06	0,21	0,41	35,00	7,50	0,01	76,80	6,25
P130	5,40	0,80	0,30	7,98	3,98	0,01	36,36	0,01
P131	36,30	1,10	13,06	3,02	10,14	0,01	51,00	34,00
P132	19,00	32,00	9,00	5,83	2,50	0,01	27,55	0,01
P134	9,90	1,70	41,20	11,88	10,70	0,01	136,01	4,00
P135	36,33	0,00	10,50	1,90	8,90	2,00	97,00	12,90
P136	5,40	0,80	0,30	7,98	3,98	0,01	36,36	0,01
P137	13,74	1,16	43,74	12,79	7,55	0,01	133,63	6,07
P138	2,00	0,59	10,09	6,48	6,74	1,00	85,00	1,73
P139	41,80	0,01	13,95	2,42	11,28	0,01	57,27	3,00
P140	5,70	0,90	15,59	8,28	4,60	0,01	74,92	0,01
P141	12,99	0,64	7,48	5,48	9,22	1,00	31,00	0,06
P142	1,80	1,15	1,20	0,01	0,01	0,01	103,00	7,80
P143	0,32	1,58	20,60	12,50	17,40	0,01	94,50	0,16
P144	0,91	0,56	14,50	11,40	3,67	0,01	97,80	0,08
P145	9,50	0,50	1,45	0,01	0,01	0,01	26,39	0,01
P146	12,30	0,70	26,40	11,20	4,00	0,01	97,00	3,60
P147	0,01	0,01	19,20	6,80	1,00	0,01	72,00	0,01
P150	2,30	0,80	15,46	4,27	8,87	1,00	29,13	3,10
P151	11,00	0,50	42,00	10,00	15,45	0,01	154,53	4,83
P152	0,67	2,35	19,60	10,20	0,79	0,01	110,50	0,05
P153	25,00	1,60	26,10	11,09	4,00	0,01	183,00	4,00
P154	11,10	1,00	35,73	15,50	26,38	0,01	348,60	24,12
P156	18,00	0,70	19,54	22,37	3,00	0,01	172,00	4,00
P157	46,50	1,00	26,40	10,20	2,00	0,01	162,00	9,00
P158	15,80	0,50	44,90	16,50	6,00	0,01	184,00	4,20
P162	30,00	0,66	51,55	19,88	22,17	0,01	202,74	5,22
P164	6,70	0,10	1,65	0,10	11,95	10,00	249,60	4,73
P166	33,60	0,60	1,60	0,01	75,62	0,01	213,00	0,01
P167	45,25	0,95	18,15	6,42	34,03	1,00	141,00	11,78
P168	5,20	0,90	14,83	9,67	2,60	0,01	74,44	2,00
P169	3,26	2,04	18,50	12,10	4,15	0,01	116,00	0,30
P172	0,01	0,01	30,50	1,00	0,01	0,01	135,00	11,00
P173	0,01	0,01	2,40	1,40	4,00	0,01	120,00	5,00
P174	4,00	0,70	16,99	7,34	3,20	0,01	77,61	2,00
P175	1,00	2,10	0,01	9,33	13,44	0,01	42,00	0,01
P176	11,60	0,80	0,01	11,60	5,17	0,01	115,36	0,71
P177	9,90	1,70	41,20	11,88	10,70	0,01	136,01	4,00
P178	13,30	1,10	38,23	11,35	10,30	0,01	131,88	3,00
P179	20,75	0,01	9,30	6,78	5,62	0,01	50,50	0,01
P182	0,01	0,01	11,20	3,90	1,00	0,01	45,00	0,01
P183	0,01	0,01	14,40	1,90	8,00	45,00	111,00	7,10
P184	55,60	1,00	5,84	0,19	14,20	15,55	57,82	32,57

Poço	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
P185	5,50	1,10	13,24	4,35	2,52	0,01	71,86	1,00
P188	2,60	1,50	12,78	3,49	1,00	0,01	54,67	1,00
P189	2,30	1,30	9,57	3,28	0,50	0,01	45,40	2,00
P190	2,39	3,20	25,32	12,14	11,08	0,01	121,98	3,16
P191	4,41	1,24	12,43	2,90	0,18	0,01	60,05	0,45
P193	0,01	0,01	53,70	11,20	22,00	0,01	175,00	4,50
P194	34,40	0,63	36,44	3,58	2,00	0,01	156,00	2,00
P195	0,01	0,01	18,40	6,80	3,00	0,01	104,00	6,70
P198	53,00	0,10	0,01	5,51	11,76	0,01	119,04	0,01
P201	3,30	1,30	5,60	4,58	2,90	0,01	43,85	1,32
P202	22,00	0,90	7,00	14,01	15,20	0,01	83,64	2,29
P203	5,50	0,90	21,76	5,52	4,80	0,01	77,49	2,00
P205	0,01	0,01	35,30	8,70	16,00	0,01	119,00	3,50
P206	16,00	1,60	23,32	5,20	9,00	0,01	76,00	2,00
P207	47,20	1,30	8,99	0,90	3,25	27,74	80,93	1,00
P209	5,00	0,50	21,00	5,10	8,55	0,01	83,64	22,76
P215	0,01	0,01	12,00	4,10	8,60	0,01	64,10	8,80
P217	1,00	0,50	3,20	4,08	3,16	0,01	42,84	3,86
P218	5,22	3,17	22,60	11,30	14,90	0,01	115,90	0,68
P219	3,50	1,70	19,40	8,98	6,17	0,01	66,26	2,00
P220	7,40	1,90	11,20	2,90	0,01	0,01	48,00	0,60
P223	0,30	0,01	0,80	0,30	2,39	0,01	12,12	1,58
P224	0,01	0,01	3,80	2,00	1,70	0,01	100,30	4,50
P225	0,25	0,01	10,00	4,86	1,80	0,10	24,00	10,00
P226	21,00	0,40	9,07	0,55	6,00	20,00	70,00	2,00
P227	17,60	0,70	17,60	4,40	4,00	0,01	85,00	0,20
P228	36,40	0,80	4,80	1,90	0,01	0,01	63,00	1,00
P229	2,90	0,40	2,80	4,42	0,01	0,01	24,24	0,01
P230	3,10	0,70	8,10	4,81	0,51	0,01	40,00	0,48
P234	36,00	0,10	4,01	0,49	0,19	16,60	68,40	0,45
P236	4,60	0,90	1,58	0,01	14,03	0,01	50,40	1,02
P238	34,40	1,40	24,00	6,30	10,00	0,01	117,00	7,50
P240	36,00	1,75	32,24	21,62	3,00	0,01	219,00	9,00
P241	13,90	0,50	48,10	17,50	15,00	0,01	169,00	0,01
P242	36,00	1,20	24,80	11,20	0,01	0,01	215,00	10,40
P244	12,64	0,01	72,95	29,42	23,49	0,01	71,93	171,00
P245	7,20	1,50	25,70	23,70	0,01	0,01	112,08	15,60
P246	1,89	2,60	48,10	31,32	12,50	0,01	93,00	57,90
P248	12,75	0,05	38,21	30,19	24,49	0,01	68,89	60,70
P250	9,54	0,42	27,30	11,81	5,00	0,01	41,45	42,00
P251	15,10	20,00	22,00	6,60	2,44	28,00	8,00	2,10
P253	5,60	1,20	26,50	11,82	11,33	0,10	57,17	8,50
P254	59,00	0,50	20,30	25,04	30,54	0,01	224,64	0,01
P256	2,40	1,00	12,90	2,72	3,00	0,01	51,13	1,00
P257	10,40	0,40	23,50	8,07	8,33	0,01	108,00	1,44
P258	2,30	1,50	8,17	4,03	0,01	0,01	45,51	0,01
P259	10,60	1,50	40,62	37,01	19,57	1,00	182,69	5,40
P260	18,30	0,90	43,74	33,41	13,70	1,00	199,66	9,40
P261	35,00	0,01	1,20	4,03	6,37	3,20	68,51	15,10
P262	3,00	0,80	9,30	7,60	6,63	0,01	50,22	2,62
P264	5,20	3,31	16,15	3,75	0,18	0,01	81,22	0,19

Poço	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
P266	2,08	1,45	28,00	14,70	8,76	0,01	151,20	0,11