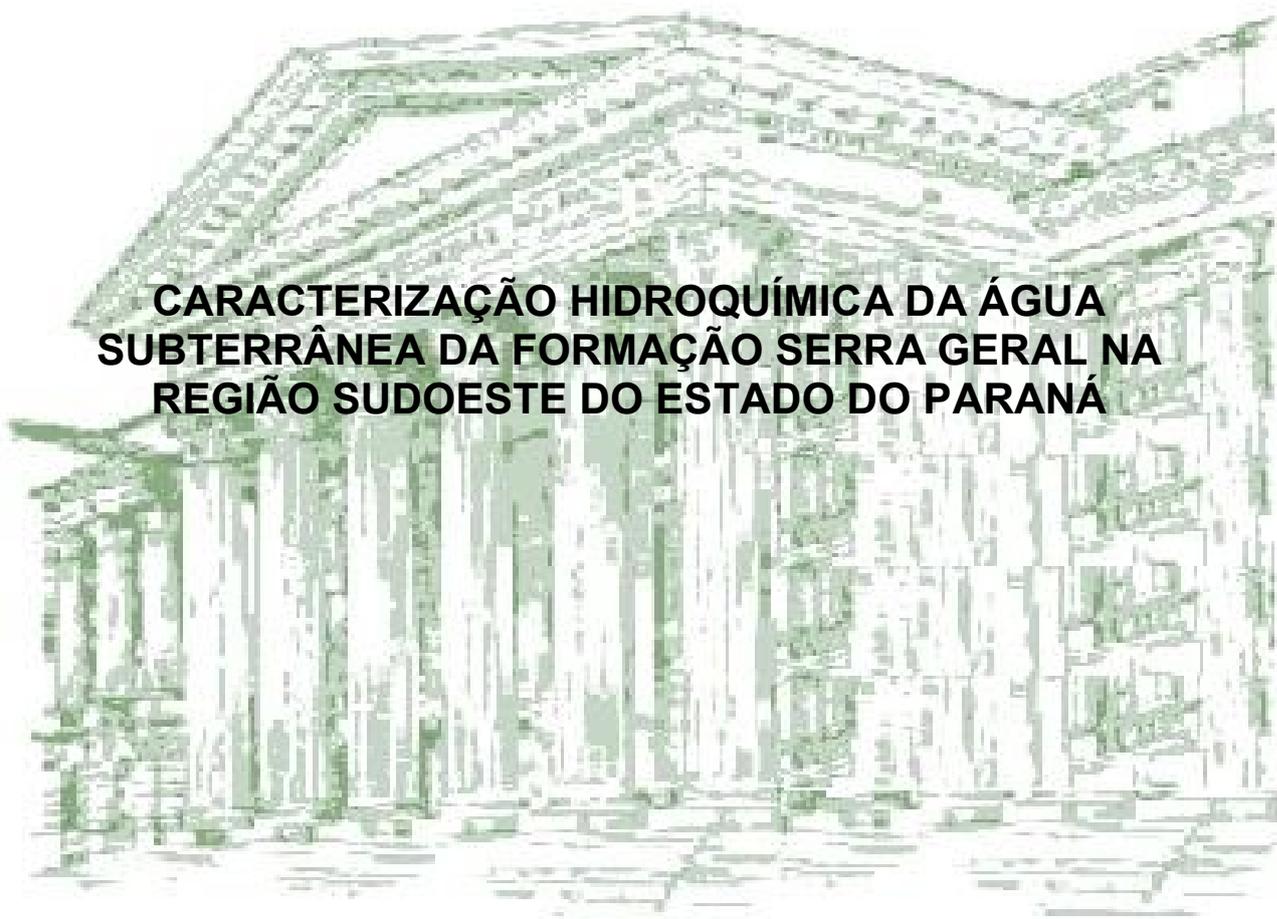


FÁBIO MANASSÉS



**CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NA
REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ**

Curitiba
2009

FÁBIO MANASSÉS

**CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA
FORMAÇÃO SERRA GERAL NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO
DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Geologia Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho

Co-orientadores:

Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt

Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi

Curitiba
2009

TERMO DE APROVAÇÃO

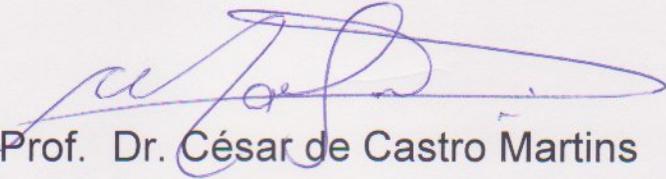
Fábio Manassés

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA
FORMAÇÃO SERRA GERAL NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO
DO PARANÁ.

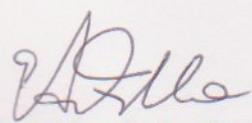
Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em
Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da
Universidade Federal do Paraná. A comissão julgadora foi
formada por:



Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Junior - UFRJ



Prof. Dr. César de Castro Martins - UFPR



Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho - UFPR
Presidente

Curitiba, 22 de maio de 2009.

“A vida é demasiado curta para nos permitir interessar-nos por todas as coisas, mas é bom que nos interessemos por tantas quantas forem necessárias para preencher os nossos dias.”

Bertrand Russell

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e ao curso de Pós-Graduação em Geologia da UFPR pela oportunidade.

Também agradeço aos meus orientadores, o Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho, ao Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi e ao Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior da UFRJ e Prof. Dr. César de Castro Martins do CEM – UFPR, que participaram da banca de defesa e possibilitaram excelentes contribuições e sugestões de caráter científico a este estudo.

Agradeço a minha família, a Israéley e o Arthur que permitiram dispor horas de estudo para a conclusão deste trabalho. Aos meus pais e irmãos que também incentivaram na continuidade dos meus estudos.

Aos amigos Roderlei, Aline, Arioli, Denise, Rogério, Alessandra, alunos do curso de Pós-Graduação em Geologia que também colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas da SUDERHSA e SANEPAR que forneceram os dados e colaboraram para a realização deste trabalho.

A Deus, que me capacitou para esta realização.

Enfim, agradeço a todos os amigos e colegas que sempre me incentivaram!!!

A todos, muito obrigado!!

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE TABELAS..... | viii |
| LISTA DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMO..... | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| | |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS..... | 3 |
| 2.1 Objetivos Específicos | 3 |
| 3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA | 4 |
| 3.1 Localização | 4 |
| 3.2 Clima | 5 |
| 3.3 Solos | 8 |
| 3.4 Vegetação | 8 |
| 3.5 Aspectos Socioeconômicos..... | 8 |
| 3.6 Hidrografia..... | 9 |
| 3.7 Aspectos Geomorfológicos..... | 12 |
| 3.8 Geologia | 14 |
| 3.8.1 Aspectos Gerais | 14 |
| 3.8.1.1 Bacia do Paraná..... | 15 |
| 3.8.2 Formação Serra Geral..... | 17 |
| 3.8.3 Geologia Local | 23 |
| 3.8.3.1 Caracterização Estrutural | 26 |
| 3.9 Hidrogeologia | 35 |
| 3.10 Hidroquímica | 38 |
| 3.10.1 Qualidade da Água..... | 44 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS. | 47 |
| 4.1 Compilação de Dados Hidroquímicos e Hidrogeológicos..... | 47 |
| 4.2 Processamento dos Dados Hidroquímicos..... | 47 |
| 4.2.1 Métodos Analíticos | 48 |
| 4.2.2 Teste de Consistência das Análises..... | 49 |
| 4.2.2.1 Balanço Iônico | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 Avaliações Hidroquímicas | 49 |
| 4.3.1 Qualidade da Água..... | 49 |
| 4.3.2 Classificação Hidroquímica | 50 |
| 4.3.2.1 Classificação por Íons Principais..... | 50 |
| 4.3.2.2 Classificação segundo Schoeller..... | 51 |
| 4.3.2.3 Classificação pela Dureza | 52 |
| 4.3.2.4 Classificação segundo Piper | 53 |
| 4.3.3 Avaliação por Diagrama Ternário e Amostras de Rocha..... | 53 |
| 4.3.4 Índices de Saturação..... | 53 |
| 4.3.5 Diagramas de Estabilidade..... | 54 |
| 4.4 Elaboração do Banco de Dados..... | 54 |
| 4.5 Obtenção do <i>Grid SRTM 90</i> | 55 |
| 4.6 Caracterização Estrutural..... | 55 |
| 4.7 Dados de Campo | 58 |
| 4.8 Integração dos Dados. | 58 |
| 5 RESULTADOS..... | 59 |
| 5.1 Hidroquímica | 59 |
| 5.1.1 Parâmetros Hidroquímicos | 59 |
| 5.1.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)..... | 59 |
| 5.1.1.2 Condutividade Elétrica..... | 61 |
| 5.1.1.3 Sólidos Dissolvidos Totais..... | 62 |
| 5.1.1.4 Sílica Dissolvida | 64 |
| 5.1.1.5 Nitrato..... | 64 |
| 5.1.1.6 Ferro Total..... | 64 |
| 5.1.1.7 Sulfato | 65 |
| 5.1.1.8 Cloreto..... | 65 |
| 5.1.1.9 Fluoreto | 65 |
| 5.1.1.10 Carbonato e Bicarbonato..... | 65 |
| 5.1.1.11 Sódio e Potássio | 66 |
| 5.1.1.12 Cálcio, magnésio e Dureza Total | 66 |
| 5.1.1.13 Temperatura | 67 |
| 5.1.2 Qualidade da Água..... | 68 |
| 5.1.2.1 Qualidade para o Consumo Humano | 68 |
| 5.1.2.2 Qualidade para irrigação | 69 |

| | |
|---|------------|
| 5.1.3 Classificação Hidroquímica | 71 |
| 5.1.3.1 Classificação por Íons Principais | 71 |
| 5.1.3.2 Classificação segundo Schoeller | 71 |
| 5.1.3.3 Classificação pela Dureza | 71 |
| 5.1.3.4 Classificação segundo Piper | 72 |
| 5.1.3.4.1 Águas Bicarbonatadas Cálcicas | 76 |
| 5.1.3.4.2 Águas Bicarbonatadas Sódicas | 78 |
| 5.1.3.4.3 Águas Bicarbonatadas Mistas | 80 |
| 5.1.3.4.4 Água Sulfatada Sódica | 81 |
| 5.1.4 Avaliação por Diagrama Ternário e Amostras de Rocha | 82 |
| 5.1.5 Razões Iônicas | 83 |
| 5.1.6 Índices de Saturação | 84 |
| 5.1.7 Diagramas de Estabilidade | 85 |
| 5.2 Características Hidrodinâmicas | 88 |
| 5.2.1 Profundidades de Perfuração | 88 |
| 5.2.2 Profundidades de Entradas de Água | 89 |
| 5.2.3 Nível Estático e Nível Dinâmico | 89 |
| 5.2.4 Vazão | 90 |
| 5.2.5 Capacidade Específica | 91 |
| 6 DISCUSSÃO | 92 |
| 7 CONCLUSÕES | 102 |
| REFERÊNCIAS | 104 |

ANEXO 1 – ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS

ANEXO 2 – DADOS HIDRODINÂMICOS

ANEXO 3 – FOTOS DA ÁREA DE ESTUDO

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 – | Lista de municípios na área de estudo..... | 5 |
| Tabela 2 – | Referência para a classificação por íons principais..... | 50 |
| Tabela 3 – | Referências para o anion cloreto..... | 51 |
| Tabela 4 – | Referências para o anion sulfato..... | 51 |
| Tabela 5 – | Referências para o ânion bicarbonato..... | 51 |
| Tabela 6 – | Referências para classificação segundo Schoeller. | 52 |
| Tabela 7 – | Classificação das águas segundo a dureza..... | 52 |
| Tabela 8 – | Limites dos estados de saturação e sua respectiva classificação..... | 53 |
| Tabela 9 – | Valores máximos permitidos de água para consumo humano conforme Portaria 518 MS e Resolução 396/2008 do Conama..... | 69 |
| Tabela 10 – | Parâmetros físico químicos para água sulfatada sódica..... | 81 |
| Tabela 11 – | Índices de saturação dos minerais para as amostras..... | 84 |
| Tabela 12 – | Numero de amostras para cada estado de saturação..... | 85 |
| Tabela 13 – | Profundidade dos poços | 88 |
| Tabela 14 – | Classes de vazão e sua respectiva quantidade e frequência..... | 91 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 – | Localização da área de estudo no Estado do Paraná..... | 4 |
| Figura 2 – | Mapa com a Classificação Climática, segundo Köppen..... | 6 |
| Figura 3 – | Média anual de precipitação no Estado do Paraná. | 7 |
| Figura 4 – | Evapotranspiração média no Estado do Paraná..... | 7 |
| Figura 5 – | Rede de drenagem da área de estudo..... | 11 |
| Figura 6 – | Unidades geomorfológicas do Estado do Paraná | 12 |
| Figura 7 - | Mapa Geológico simplificado do Estado do Paraná..... | 14 |
| Figura 8 – | Imagem LANDSAT TM-234 da região do Arco de Ponta Grossa, onde estão assinalados alguns dos principais alinhamentos tectônicos..... | 21 |
| Figura 9 – | Mapa geológico-estrutural da Bacia do Paraná com os principais alinhamentos tectônicos da área do projeto e posição do “rift central”..... | 22 |
| Figura 10 – | Rede de drenagem com os lineamentos definidos na escala 1:600.000..... | 27 |
| Figura 11 – | Lineamentos estruturais observados na área na escala 1:600.000..... | 28 |
| Figura 12 – | Lineamentos estruturais observados na área na escala 1:300.000..... | 29 |
| Figura 13 – | Mapa das principais rodovias da região com diagramas de roseta para freqüência nos afloramentos..... | 31 |
| Figura 14 – | Diagrama de rosetas de freqüência para área de estudo..... | 32 |
| Figura 15– | Localização dos poços tubulares na área de estudo..... | 56 |
| Figura 16– | Imagem SRTM (MDE) da área de estudo..... | 57 |
| Figura 17 – | Gráfico para o parâmetro pH com as amostras no eixo das ordenadas..... | 60 |
| Figura 18 – | Gráfico que representa a variação de condutividade e condutividade calculada. A - método de Logan-Rossum – B método de Custódio e Llamas(1983)..... | 61 |
| Figura 19 – | Relações entre condutividade, STD e sódio..... | 62 |
| Figura 20 – | Gráfico que representa os valores de STD para as amostras analisadas. Dados em mg.L ⁻¹ . O eixo y indica o nome da amostra..... | 63 |
| Figura 21 – | Gráfico para os teores de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ (eixo das ordenadas) e dureza | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | total (eixo das abcissas). | 67 |
| Figura 22 – | Gráfico SAR para área de estudo com destaque nas amostras com risco..... | 70 |
| Figura 23 – | Gráfico em porcentagem de classificação das amostras quanto a dureza..... | 72 |
| Figura 24 – | Diagrama de Piper para as 57 amostras da área de estudo..... | 73 |
| Figura 25 – | Freqüência dos tipos de água..... | 74 |
| Figura 26 – | Localização dos poços na área de estudo com as classes de água segundo Piper..... | 75 |
| Figura 27 – | Relações entre os cátions para a classe de águas bicarbonatadas cálcicas..... | 76 |
| Figura 28 – | Relações entre os ânions para a classe de águas bicarbonatadas cálcicas..... | 77 |
| Figura 29 – | Relação do STD com bicarbonato, dureza, condutividade e sílica dissolvida..... | 77 |
| Figura 30 – | Relação do bicarbonato com o magnésio e cálcio..... | 78 |
| Figura 31 – | Relação da condutividade com o HCO_3^- , Na^+ e Ca^{2+} e Mg^{2+} | 78 |
| Figura 32 – | Relação entre os cátions para águas bicarbonatadas sódicas..... | 79 |
| Figura 33 – | Relação entre os ânions para águas bicarbonatadas sódicas..... | 79 |
| Figura 34 – | Relação dos cátions nas amostras de águas bicarbonatadas mistas.. | 80 |
| Figura 35 – | Relação dos ânions nas amostras de águas bicarbonatadas mistas... | 81 |
| Figura 36 – | Diagrama ternário com amostras de rocha e água plotadas..... | 82 |
| Figura 37 – | Diagramas de estabilidade de aluminossilicatos para as amostras analisadas. A – Parâmetro Ca^{2+} ; B – parâmetro K^+ ; C- parâmetro Na^+ | 87 |
| Figura 38 – | Nível e estático e nível dinâmico para os poços. Dados em m..... | 90 |

RESUMO

O aquífero Serra Geral é considerado como o principal aquífero do Estado do Paraná pela sua grande extensão e possibilidade de atender comunidades distantes de centros urbanos, além de apresentar poços tubulares que permitem obter vazões suficientes para o abastecimento de água dos municípios. A formação Serra Geral é composta de riolitos, dacitos, andesitos e principalmente basalto. Os objetivos deste estudo foram classificar as amostras de água pelos íons principais, caracterizar a hidroquímica da água subterrânea, determinar o arranjo estrutural da unidade na área de estudo e classificar a água para o consumo humano. A área de estudo localiza-se na região sudoeste do Estado do Paraná, tem seus limites marcados pelo rio Iguaçu a norte, Santa Catarina a sul, rio Chopin a leste e a Argentina a oeste. Foram usados dados de 57 análises físico-químicas com os parâmetros (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , além de pH, condutividade elétrica, sílica dissolvida, dureza total, nitrato, ferro total, fluoreto, temperatura e sólidos dissolvidos totais (STD). Para a caracterização estrutural foram obtidas imagens *STRM* da área e traçados os lineamentos na escala 1:600.000 e 1:300.000. Também foram utilizados dados de 25 amostras de rocha da região de estudo. Quinze amostras de água que apresentavam o parâmetro temperatura foram utilizadas para determinar o cálculo dos índices de saturação e foram plotadas no diagrama de estabilidade de aluminossilicatos para os parâmetros Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , e H_4SiO_4 . Para a avaliação da água para o consumo humano foram utilizadas a Portaria 518 do Ministério da Saúde e a Resolução 396/2008 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). As amostras de água foram classificadas por íons principais, segundo Schoeller, pela dureza e segundo Piper. Assim, os resultados obtidos mostraram que águas bicarbonatadas cálcicas correspondem a principal classe de água, seguido de águas bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas sendo que apenas uma amostra de água foi tida como sulfatada sódica. As principais direções de fraturas na área são N45-50W, N25-30W, N80-85E. Os índices de saturação mostraram valores próximos ao equilíbrio com a calcita, dolomita, calcedônia, aragonita, quartzo e aragonita. Os valores de pH variam de 6,69 a 9,95. Para os sólidos dissolvidos totais a média é de 147 mg.L^{-1} . A média para a condutividade é de $197,46 \mu\text{S.cm}^{-1}$. As profundidades de perfuração variam de 36 a 350 m. A maior profundidade de entrada de água dos poços é de 257 m. A vazão dos poços varia de 2 a $45 \text{ m}^3/\text{h}$. Apenas quatro amostras mostraram-se inadequadas para o consumo humano. Os diagramas de estabilidade demonstraram que as amostras apresentam estáveis para a caulinita e montmorilonita.

ABSTRACT

Serra Geral aquifer is considered Paraná State main aquifer for its great size and the possibility to attend communities far away from big urban centers, besides, it also presents well, which provides cities enough water supplies. Serra Geral Formation is composed by riolite, dacite, andesite and mainly basalt. This application's objective was to classify water samples over its majors ions, describe the groundwater's hydrochemistry, and establish the studied area's unit structural arrangement and classify potable water. The studied area's location is Paraná southwest region, its boundaries are north with Iguaçu river, south with Santa Catarina, east with Chopin river and west with Argentina. Fifty seven water physic-chemical analysis were used as parameter (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , besides pH, electric conductivity, nitrate, total iron, fluoride, temperature and STD. For the structural characterization were obtained STRM images from the area and traced features with a 1:600.000 and 1:300.000 scales. Twenty-five area's rock samples were also used on the study. Fifteen water samples that presented the temperature parameter were used to determinate the saturation calculation index and were plotted on the aluminosilicate stability diagram for Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , e H_4SiO_4 parameters. In order to evaluate the potable water, were used the Standard 518 of Health Department and the 396/2008 CONAMA resolution. The water samples were tested by its main ions, as Schooller, and by its hardness, as Piper. Therefore, the obtained results showed calcium bicarbonate water as main water class, followed by sodium bicarbonate water, mixed bicarbonate water and only one sodium sulphate water sample. The leading area's fracture directions are N45-50W, N25-30W, N80-85E. The saturation index values' almost balanced with calcite, dolomite, chalcedony, aragonite and quartz. The pH values variates from 6,69 to 9,95. The total solids dissolved (STD) average is 147 mg.L^{-1} . The conductivity average is $197,46 \mu\text{S.cm}^{-1}$. The well-sinking is from 36 to 350 meters deep. The deepest water entrance on the wells was 257 meters. The well discharge is from 2 to $45 \text{ m}^3/\text{h}$. Only four samples showed to be unable for human use. The stability diagrams showed that the samples were kaolinite and montmorillonite stable.

1 INTRODUÇÃO

No Estado do Paraná, cerca de 16% do abastecimento de água é feito por meio de captação de aquíferos conforme a SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Em algumas cidades do interior do Estado esse tipo de manancial é responsável por uma parcela de água fornecida a população, como é o caso da cidade de Manfrinópolis em que 60% da água consumida é subterrânea, provinda de poços tubulares profundos perfurados na formação Serra Geral. Portanto, a água subterrânea é uma fonte alternativa para suprir a demanda de uma parcela representativa da população do Estado.

O aquífero fraturado Serra Geral, a exemplo de toda a região sul do país, é o aquífero mais utilizado, com fins de abastecimento de água, no Estado do Paraná, aliado ao fato de que este ocupa, no Paraná, mais da metade desse estado no denominado Terceiro Planalto Paranaense. Este aquífero comporta o maior número de poços perfurados até a presente data no Estado do Paraná, com cerca de 60% do total, e por esta razão é a principal fonte de abastecimento de água subterrânea das cidades localizadas na região sudoeste do Estado. Suas características permitem a captação de água subterrânea com qualidade adequada para o consumo humano e supre satisfatoriamente indústrias, sedes municipais e comunidades rurais distantes de sedes municipais.

A SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) utiliza 421 poços em 252 localidades de 154 municípios para abastecimento público com águas captadas do aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. O regime de bombeamento é, em média, de 16 horas/dia, e a vazão explorada é da ordem de 65.000.000 m³/ano (ROSA FILHO e HINDI, 2006).

Os litotipos, desta unidade geológica, afloram, também, nos estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Além do Brasil, ainda abrange o Paraguai, Uruguai e Argentina. Assim, este representa um dos principais aquíferos para estes estados e países com grande potencial de exploração, visto que sua grande extensão possibilita atender comunidades distantes de centros urbanos.

A água subterrânea, deste aquífero, tem se mostrado com boa qualidade, tanto para o consumo humano como o uso industrial e irrigação. Nos municípios da

região estudo, esta água supre as necessidades, seja no atendimento total ou parcial do abastecimento público e de atividades como irrigação, dessedentação de animais, indústria, postos de serviço, condomínios, turismo, lazer, entre outros, através da captação de água subterrânea por poços tubulares.

Este aquífero, no Paraná, tem sido objeto de perfurações de poços tubulares profundos nos quais, raramente, ocorrem parâmetros físico-químicos restritivos. Alguns desses parâmetros comprometem a utilização dessas águas quando destinada ao abastecimento público, necessitando, por vezes de tratamento prévio adequado.

Na região de estudo, os municípios baseiam-se sua economia na extensa atividade agrícola e industrial, concentrada no abate de aves, na agroindústria e no setor têxtil. É comum a existência de poços tubulares que captam água subterrânea do aquífero Serra Geral para o abastecimento de água nessas atividades, já que este aquífero permite a captação de água com qualidade e vazão suficiente para a demanda a custos inferiores de aquíferos subjacentes como o aquífero Guarani, para abastecer a demanda de água da região.

O abastecimento nos distritos e diversas localidades rurais dos municípios da região são mantidos em parte com poços tubulares profundos executados em sua maioria pela Prefeitura Municipal em convênio com a SANEPAR ou SUDERHSA.

A região de estudo apresenta carência de estudos hidrogeológicos e localiza-se distante de universidades e órgãos que desenvolvem este tipo de estudo. Assim optou-se por definir uma área no Estado em que os estudos hidrogeológicos são carentes e apresente dados suficientes confiáveis para possibilitar bons resultados. Portanto, com este estudo, pretende-se disponibilizar um conhecimento científico para os órgãos municipais, estaduais e federais competentes, além de estudantes e pessoas que tenham interesse pelo assunto.

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos. O capítulo três apresenta as características gerais da área de estudo, incluindo a geologia local, hidrogeologia e hidroquímica com alguns conceitos e concepção do estado da arte. O capítulo quatro aborda a metodologia de trabalho utilizada. No capítulo cinco são apresentados os resultados, iniciando com os hidroquímicos, seguido pelos hidrodinâmicos. No sexto capítulo os resultados são discutidos. Já o capítulo sete são as conclusões.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é determinar os tipos de águas e caracterizar a variabilidade espacial dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos do aquífero Serra Geral na região sudoeste do Estado do Paraná.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar a água subterrânea através da composição química de íons predominantes.
 - Caracterizar a hidroquímica da água do aquífero Serra Geral na área de estudo.
 - Determinar o arranjo estrutural da Formação Serra Geral na área de estudo.
 - Determinar a qualidade da água subterrânea, através de parâmetros físico-químicos analisados para verificar a possibilidade de ser utilizada para o consumo humano.
-

3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na região sudoeste do Estado do Paraná. Os municípios mais representativos são: Realeza, Francisco Beltrão e Pato Branco. Apresenta um total de 30 municípios. É limitada a norte pelo rio Iguaçu, a sul pelo estado de Santa Catarina, a leste pelo rio Chopin e a oeste pelo rio Santo Antônio na divisa com a Argentina (FIGURA 1). Tem uma área aproximada de 8.675 km².

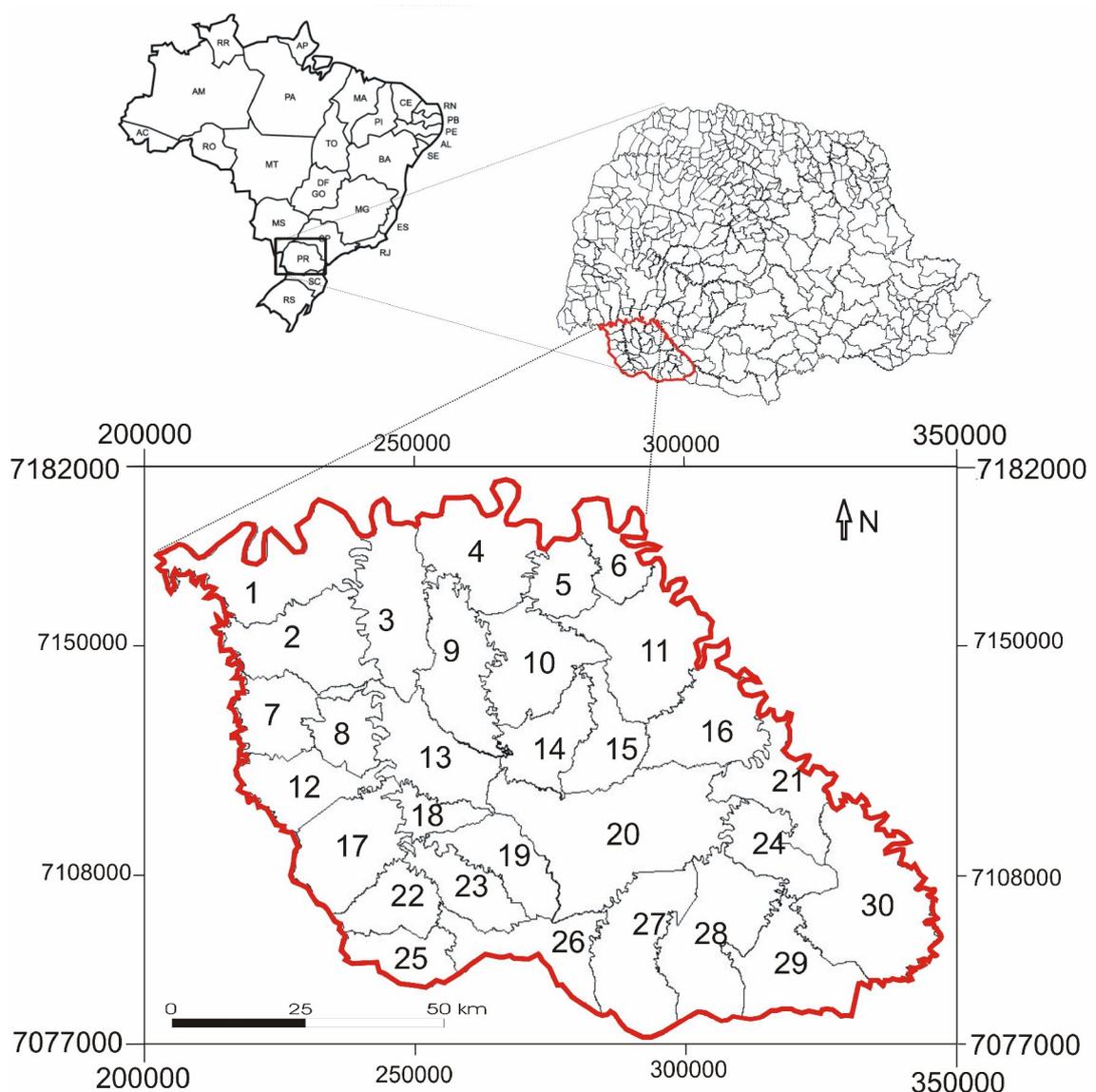


FIGURA 1. Localização da área de estudo no Estado do Paraná delimitada em vermelho. Os números indicam o município. Coordenadas UTM (m). Datum SAD 69 – 22J. Os municípios apontados na figura 1 são apresentados na tabela 1.

TABELA 1. Lista de municípios na área de estudo.

| | Município | | Município | | Município |
|----|---------------------------|----|----------------------------|----|----------------------|
| 1 | Capanema | 11 | Dois Vizinhos | 21 | Itapejara D'Oeste |
| 2 | Planalto | 12 | Pranchita | 22 | Bom Jesus do Sul |
| 3 | Realeza | 13 | Ámpere | 23 | Salgado Filho |
| 4 | Nova Prata do Iguaçu | 14 | Nova Esperança do Sudoeste | 24 | Bom Sucesso do Sul |
| 5 | Boa Esperança do Sudoeste | 15 | Enéas Marques | 25 | Barracão |
| 6 | Cruzeiro do Iguaçu | 16 | Verê | 26 | Flor da Serra do Sul |
| 7 | Pérola D'Oeste | 17 | Santo Antônio do Sudoeste | 27 | Marmeleiro |
| 8 | Bela vista do Carobá | 18 | Pinhal do São Bento | 28 | Renascença |
| 9 | Santa Isabel do Oeste | 19 | Manfrinópolis | 29 | Vitorino |
| 10 | Salto do Lontra | 20 | Francisco Beltrão | 30 | Pato Branco |

3.2 CLIMA

Os centros de ação atmosférica que atuam no Brasil meridional são os anticiclones subtropicais do Atlântico e do Pacífico, o anticiclone migratório Polar e, o centro de baixa pressão denominado depressão do Chaco (MAACK, 1981). Na costa sul do Brasil a marcada amplitude topográfica, a orientação do relevo e a proximidade do oceano condicionam substancialmente o clima (FUNPAR, 1997).

De acordo com Maack (1981), o clima da área de estudo é classificado, segundo Koppen como *cfa* (FIGURA 2). Isto significa afirmar que apresenta regiões de matas tropicais a subtropicais como sendo quente-temperadas sempre úmidas. Este tipo climático representado pelas letras "c" que significa clima pluvial temperado (mesotérmico), com a temperatura do mês mais frio entre -3°C e 18°C , sendo freqüentes as geadas. A letra "f" representa um clima sempre úmido, sem estação seca, com chuvas distribuídas em todos os meses do ano, sendo a precipitação média anual de 1.000 mm. A letra "a" indica que a temperatura do mês mais quente fica em torno de 23°C . Enquanto que no extremo sudeste da área ocorre o clima *cfb*. A letra "b" indica que a temperatura média no mês mais quente é abaixo de 22°C e sem estação seca definida.

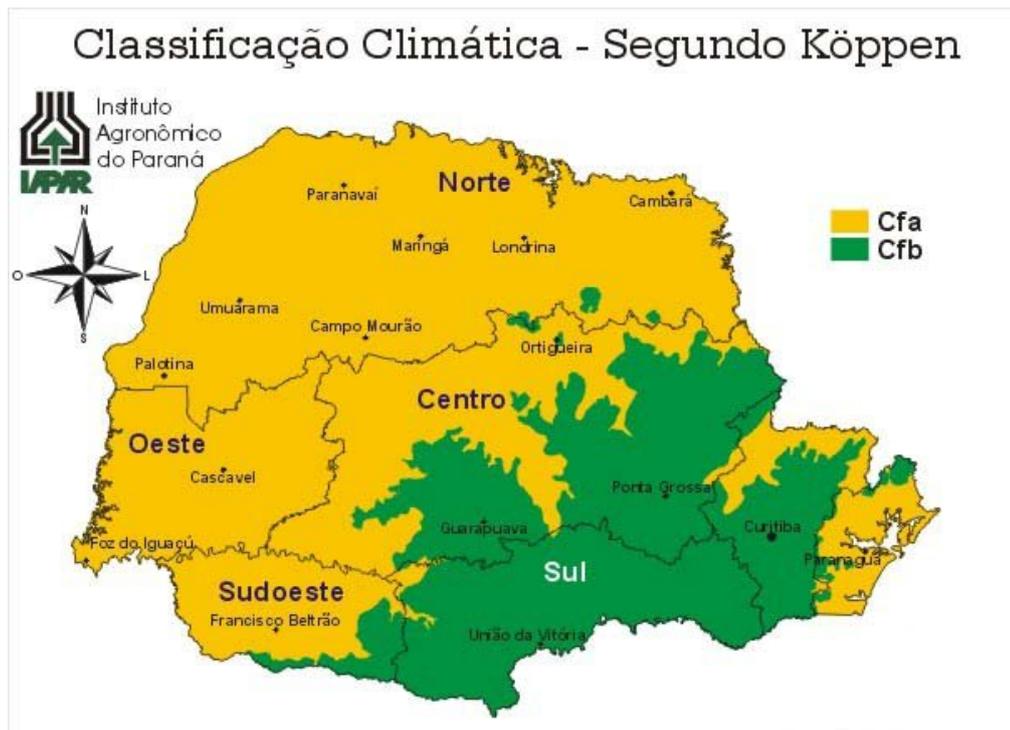


FIGURA 2. Mapa com a Classificação Climática, segundo Köppen. FONTE: IAPAR (2000).

A precipitação anual na porção sul, sudeste, sudoeste e oeste da área de estudo, em municípios como Barracão, Pato Branco, Vitorino é da ordem de 2000 a 2500 mm (FIGURA 3) e a evapotranspiração é de aproximadamente 1000 a 1100 mm. Durante os meses de primavera, nesta região, a média é de 500 mm, enquanto que nos meses de verão varia de 450 a 500 mm. Já nos meses de outono, a precipitação varia entre 450 e 550 mm. Durante os meses de inverno observa-se uma precipitação média de 400 mm (SUDERHSA, 1998).

Já nas porções norte, nordeste, noroeste, leste da área de estudo, em municípios como Capanema, Nova Prata do Iguaçu, a precipitação anual é cerca de 1800 a 2000 mm e a evapotranspiração apresenta valores em torno de 1100 a 1200 mm. Durante os meses de inverno observa-se uma média de 350 mm, nos meses de outono a média é 450 mm. Para os meses de verão os valores estão entre 450 e 500 mm. Já nos meses de primavera a precipitação varia de 450 a 500 mm (SUDERHSA, 1998).

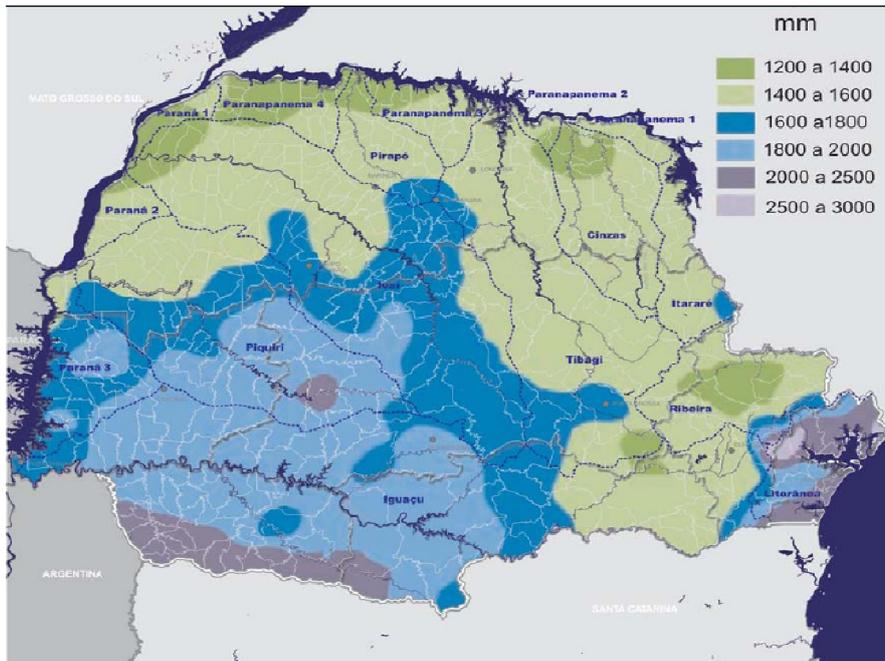


FIGURA 3 . Média anual de precipitação no Estado do Paraná. Fonte IAPAR (2000)

A evapotranspiração na porção norte, nordeste, noroeste e oeste da área de estudo é cerca de 1100 a 1200 mm. Já na porção sul, sudoeste, sudeste, central e leste da área a precipitação anual é em torno de 1000 a 1100 mm (FIGURA 4).

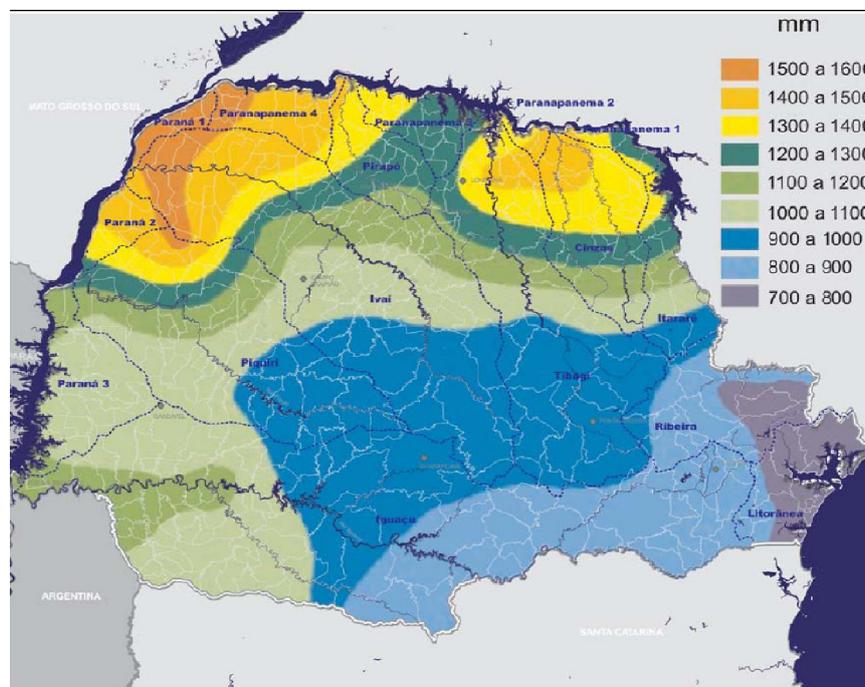


FIGURA 4. Evapotranspiração média no Estado do Paraná. Fonte IAPAR (2000).

3.3 SOLOS

Os solos na região são derivados dos basaltos da Formação Serra Geral e são, em geral, latossolos avermelhados com desenvolvimento diferenciado entre as unidades de basalto. São argilosos e pouco profundos.

Na área estudada ocorrem solos do tipo cambissolo háplico na porção central sudoeste e nordeste. No extremo sul da área ocorre latossolo bruno. Já a leste ocorre nitossolo háplico. No noroeste há presença de solo do tipo nitossolo vermelho (IBGE, 2007). Os solos são predominantemente férteis a muito férteis.

As rochas efusivas do Terceiro Planalto Paranaense influenciadas pelo clima do Quaternário configuram solos predominantemente lateríticos dentre eles solos argilosos de cor vermelha, muito coesos denominado terra roxa. Solos mais ácidos com pH entre 4,2 a 4,5 e mais estéreis atestam influências por fases climáticas semi-áridas do Terciário e Pleistoceno, estendendo-se, também, abaixo da terra roxa laterítica (MAACK, 1981).

3.4 VEGETAÇÃO

Na região estudada ocorre predomínio de matas de araucárias com taquarais e palmáceas. Apresenta também fetos arbóreos, epífitas e lianas (MAACK, 1981).

Devido ao desmatamento nas últimas décadas, as florestas são cada vez mais escassas e foram substituídas por culturas de milho, soja, trigo e feijão. Em outros locais, existem pastagens naturais, em geral de má qualidade, entremeadas com plantações de milho e soja. Atualmente, a maior expressão das matas nativas ocorre no Parque Estadual do Iguaçu.

3.5 ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS

A área de estudo engloba trinta municípios. Os mais representativos do ponto de vista socioeconômico são Francisco Beltrão, Realeza e Pato Branco.

Esta região apresenta indústrias que em sua maior parte relacionam-se com agropecuária, suinocultura, frigoríficos, laticínios, alimentos, curtume, abatedouros e papel. Sua economia e desenvolvimento social baseiam-se principalmente na agroindústria, com destaque para agricultura, seguido da avicultura, suinocultura e,

em menor escala, a pecuária de leite e a indústria extrativa vegetal. A agricultura é tanto extensiva, representada pelas culturas de milho, soja, trigo e feijão, quanto de pequenas parcelas com culturas de aveia, mandioca, fumo, erva-mate, cítricos e uva. O setor secundário se destaca particularmente pela criação de aves e suínos, responsáveis por melhorias na qualidade de vida das populações locais, geração de oportunidades de trabalho e fixação do homem na região.

A ocupação na região iniciou-se de forma extensiva, antes de 1940, por imigrantes de origem alemã e italiana, oriundos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para implantar de propriedades agrícolas familiares diversificadas. No início da colonização, o extrativismo florestal era a principal atividade econômica. Nesse período extensas áreas cobertas por uma exuberante mata de pinheiros (*Araucaria angustifolia*) foram devastadas para dar lugar à agricultura e à pecuária.

3.6 HIDROGRAFIA

A área de estudo localiza-se na margem esquerda do rio Iguaçu, e na bacia hidrográfica desse mesmo rio. Esta bacia hidrográfica apresenta-se como uma das mais importantes do Estado do Paraná na medida em que seu rio principal atravessa a maior parte do estado na direção leste-oeste, desaguando no rio Paraná.

Na Bacia do Rio Iguaçu a captação de água para o abastecimento público dos mananciais superficiais totalizam 82% e das fontes subterrâneas 18% do consumo. É a maior do Estado do Paraná, com 70.800 km², tendo 80% de sua área está inserida no Paraná, 17% em Santa Catarina e 3% na Argentina. Possui uma demanda de recursos hídricos de 26 m³/s representando 28% de todo o consumo de água do Paraná (SEMA, 2006).

O rio Iguaçu nasce no sopé da Serra do Mar na região metropolitana de Curitiba e se estende até Foz do Iguaçu, percorrendo aproximadamente 1.270 km até desaguar no rio Paraná. Ao adentrar o Terceiro Planalto Paranaense, possui sentido geral de escoamento N70W até a região da represa de Salto Osório entre os municípios de São Jorge do Oeste, Cruzeiro do Iguaçu e Quedas do Iguaçu. A partir daí, assume sentido geral EW até as desembocadura nas Cataratas do Iguaçu. Ao longo do seu percurso o rio Iguaçu recebe uma quantidade considerável de afluentes, sendo 61 rios na margem direita e 42 rios na margem esquerda, cruzando importantes regiões do Estado do Paraná (MAACK, 1981).

Outro rio importante na região é o rio Chopin. Este rio nasce no município de Palmas e escoa em direção aproximada de N20W, através do município de Pato Branco, limitando os municípios de Clevelândia e Honório Serpa. Neste percurso, rio menores a exemplo do rio das Lontras, rio Capivara, rio Cadeado e rio Passa Quatro são seus afluentes. No município de Pato Branco este rio tem direção N45W e escoa através dos municípios de Bom Sucesso do Sul, Verê e Dois Vizinhos até desaguar no rio Iguaçu entre Cruzeiro do Iguaçu e Boa Esperança do Iguaçu.

A rede de drenagem da área de estudo (FIGURA 5), apresenta um padrão tipicamente dendrítica. Contudo, observa-se que em algumas porções da área o padrão também é paralelo. É notável uma compartimentação estrutural regional, delineada por falhamentos e fraturamentos, bem como por diques de diabásio associados ao Arco de Ponta Grossa (VIEIRA, 1973; FERREIRA, 1982 e SOARES et al., 1982). O efeito das estruturas sobre a drenagem é especialmente evidente nas modificações de curso dos rios, além do próprio rio Iguaçu. Este aspecto caracteriza uma influência na permeabilidade dos basaltos e em sua vulnerabilidade ao intemperismo (BITTENCOURT, 1996).

O mapa da rede de drenagem mostra áreas com densidade de drenagem variada, podendo ser classificada de forma relativa como média. A densidade baixa aparece em alguns topos de serras aplainadas.

O fluxo nos canais dos rios Iguaçu é controlado pelo declive do planalto para oeste, e os seus tributários pelo suave declive dos derrames de basalto locais. De modo geral, a drenagem instalada no Terceiro Planalto está organizada em sistema consequente, adaptado à estrutura centrípeta do substrato (MOREIRA e LIMA, 1977).

Ao longo do percurso do rio Iguaçu, existem várias usinas hidroelétricas. Na área de estudo há a usina hidrelétrica de Salto Caxias, instalada no município de Nova Prata do Iguaçu em divisa com Capitão Leônidas Marques. A Usina Salto Caxias é oficialmente denominada de Usina Governador José Richa e possui uma capacidade de 1.240 MW de potência. A barragem desta usina apresenta 67 m de altura e 1083 m de comprimento. A casa de força conta com 4 unidades geradoras de 310 MW cada (SEMA, 2006).

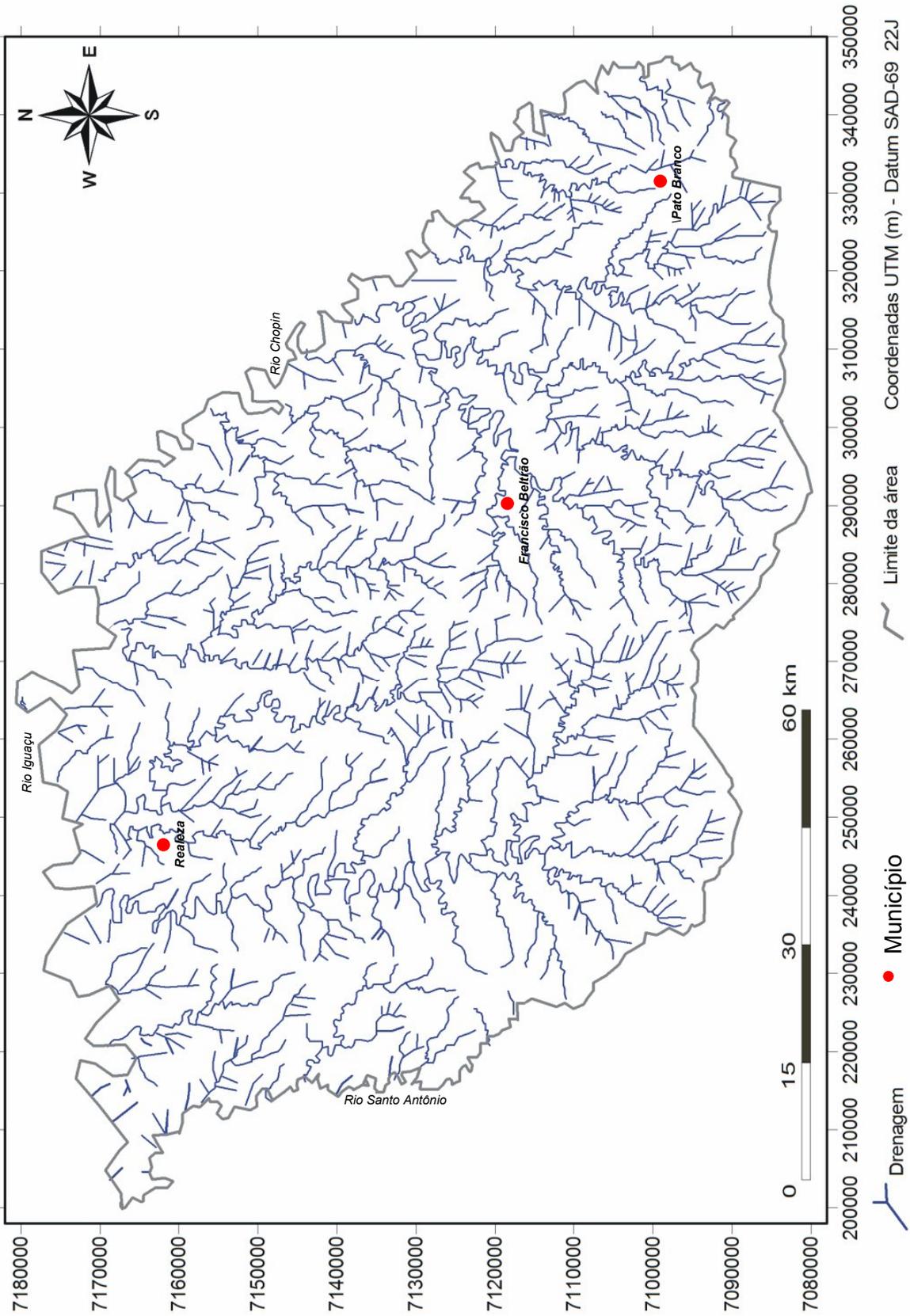


FIGURA 5. Rede de drenagem da área de estudo.

3.7 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A região está situada sobre a unidade geomorfológica do Brasil Meridional denominada de Terceiro Planalto (FIGURA 6), também denominada de Planalto de Guarapuava, desenvolvida sobre os derrames basálticos relacionados ao magmatismo Serra Geral. Este planalto tem seu limite oriental na Serra da Esperança (altitude de 1.200 m), caindo para oeste e sul em direção aos rios Paraná e Iguaçu, para altitudes inferiores a 200 metros. Seu limite a oeste é o Rio Paraná.

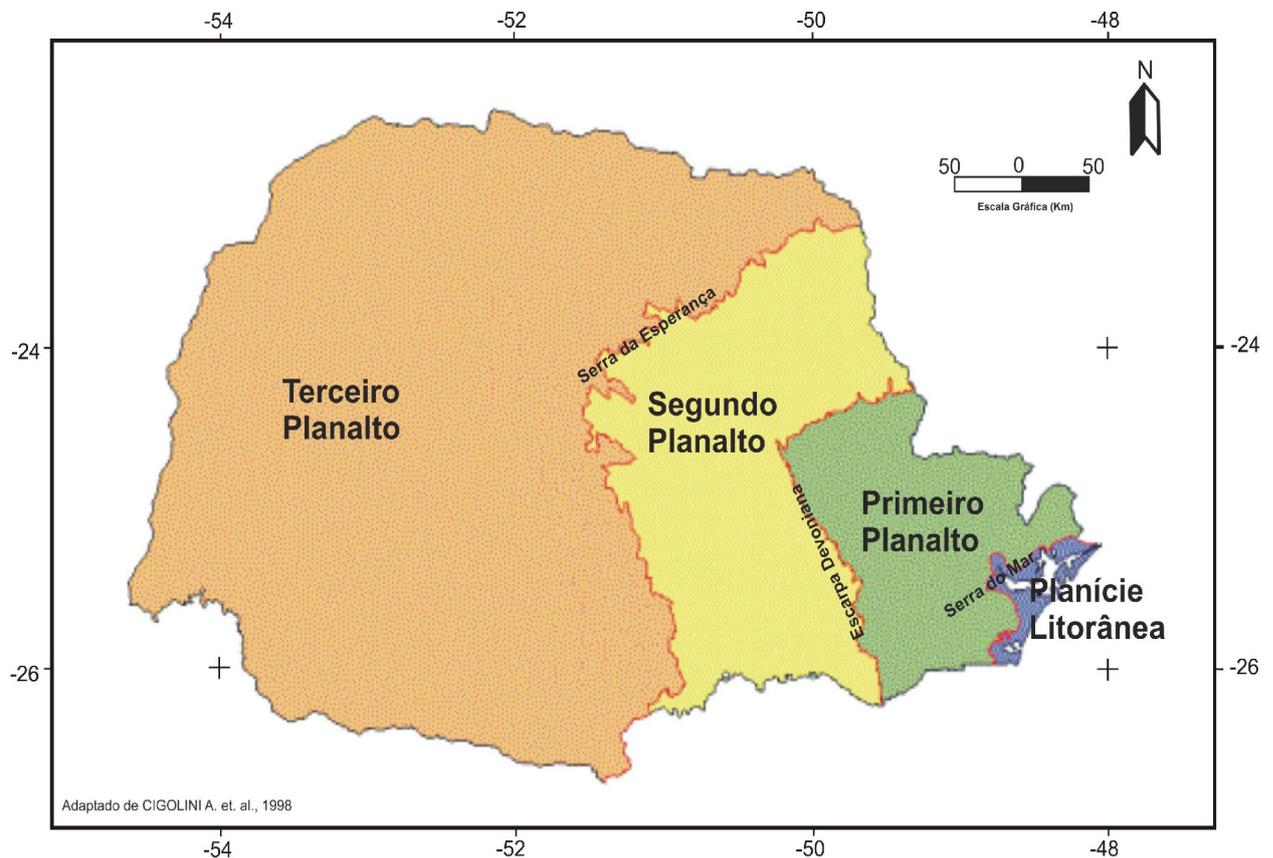


FIGURA 6. Unidades geomorfológicas do Estado do Paraná. Adaptado de Cigolini *et al.* (1998).

As altitudes variam entre 1.120 m, acima do nível do mar, na Serra dos Macacos e 380 m no vale do rio Iguaçu. Neste planalto também ocorrem rochas arenosas da Formação Caiuá sobrepostas aos basaltos da Formação Serra Geral, a noroeste do Estado do Paraná. O Terceiro Planalto Paranaense possui inclinação suave nas direções oeste, noroeste e sudoeste, assumindo valores para o mergulho de 0,82 m/km na direção norte e 2,63 m/km na direção oeste-noroeste (MAACK, 1981). A área de estudo está no declive do Planalto de Palmas conforme a citação deste autor. Este declive está limitado a sul do vale do rio Iguaçu até o Uruguai no Estado de Santa Catarina. Apresenta uma declinação no Paraná no sentido norte, de 1.150 m na Serra da Fatura no Estado de São Paulo, para 700 a 300 m no vale do rio Iguaçu.

Bigarella *et al.* (1994), afirmam que o terceiro planalto é considerado uma região fisiográfica simples, suavemente ondulada, com chapadas de encostas e, às vezes, com presença de mesetas. As estruturas geológicas assumem papel fundamental na evolução da paisagem nesta região. Os canais fluviais encontram-se, normalmente, esculpidos em regiões relacionadas a falhas e juntas.

O relevo é ondulado e as encostas dos morros são em geral escalonadas devido aos derrames de basaltos e os topos aplainados pelos processos erosivos. Nestes casos, a remoção do material pela erosão se faz em sucessivos planos patamares horizontais devido à posição dos derrames e também pela disjunção ao fraturamento sub-horizontal, típica nas zonas de topo e base dos derrames.

Além do controle geomorfológico exercido pelos derrames, também existe a influência de fraturas e falhas de NW-SE. Situada a sul do Arco de Ponta Grossa, a região sudoeste do Estado foi palco da influência daquela estrutura mediante a formação de um corredor de denso fraturamento SE-NW a E-W, o qual passou a controlar o curso inferior do rio Iguaçu e de seus tributários. Neste contexto, a evolução fisiográfica regional da área resultou na formação de uma ampla depressão central. A depressão está marginada por altos topográficos que, no norte, se estendem de Cascavel a Guarapuava sob as denominações locais de serras do Passo Liso, do Cantagalo, de São João, da Boa Vista e da Esperança, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Piquiri. No sul, as feições positivas mais importantes são as serras do Capanema e de Palmas, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Uruguai (MAACK, 1981).

MINEROPAR (2006), definiu o terceiro planalto Paranaense como uma unidade morfoescultural. A área de estudo apresenta três subunidades morfoesculturais: Planalto de Baixo Iguaçu, Planalto de Francisco Beltrão e Planalto de Alto Capanema. A primeira abrange a região norte, noroeste, oeste sudoeste e parte da região central da área de estudo e é caracterizada pela ocorrência de vales em “V” encaixados com topos alongados e em crista. A segunda abrange o nordeste, leste e principalmente o sudeste da área e é definida por vales em “V” abertos com topos alongados. A terceira localiza-se no extremo sul e parte da região central da área de estudo e apresenta topos alongados e vales em “V” aberto.

3.8 GEOLOGIA

3.8.1 ASPECTOS GERAIS

A área de estudo faz parte do contexto geral da Bacia do Paraná, na unidade Formação Serra Geral (FIGURA 7). Portanto, inicialmente, serão brevemente abordados, alguns aspectos gerais sobre a Bacia do Paraná.

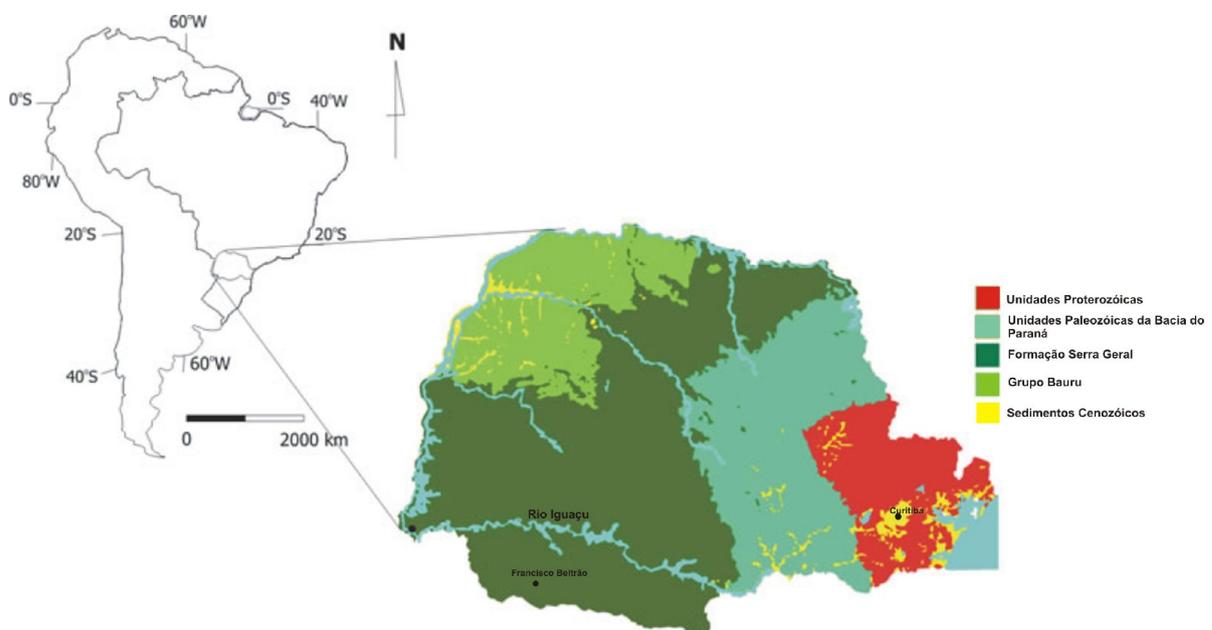


FIGURA 7. Mapa Geológico simplificado do Estado do Paraná. Fonte: MINEROPAR.

3.8.1.1 BACIA DO PARANÁ

A Bacia Geológica do Paraná é considerada uma das mais proeminentes sinéclises do continente sul-americano. Apresenta formato ovalado e alongada na direção NNE-SSW. Seu registro estratigráfico iniciou-se no Neo-Ordoviciano (450 M.A), com ambiente marinho, passando por estágios glaciais no Neocarbonífero e desertificação do interior continental no intervalo Triássico-Jurássico, registrando um importante evento magmático Mesozóico (MILANI, 1997).

A Bacia do Paraná está localizada na porção centro-oriental da América do Sul, e representa uma unidade geotectônica com cerca de $1,7 \times 10^6$ km² ocupando parte dos territórios do Brasil ($1,1 \times 10^6$ km²), Argentina, Uruguai e Paraguai, sendo classificada por Fúlfaro *et al.* (1982), como intracontinental, cratônica. O registro sedimentar e vulcânico têm espessura acumulada de cerca de 7.500 m, com início da deposição no Ordoviciano e término no Cretáceo, compreendendo um intervalo de 385 M.A.

Para Zalán *et al.*, (1987) a depressão inicial que deu origem à acumulação de sedimentos está provavelmente relacionada ao fim do ciclo brasileiro no Ordoviciano Superior.

A evolução sedimentar da bacia está diretamente relacionada com a reativação de esforços controlados por duas direções principais, NW-SE e NE-SW. Ocorrem ainda algumas estruturas na direção E-W (ZALÁN *et al.*, 1990). Estas zonas de fraqueza permitiram a movimentação de blocos tanto na horizontal como na vertical influenciando na seqüência deposicional mudanças e distribuição de fácies. Já os lineamentos E-W estariam provavelmente relacionados com a abertura do oceano Atlântico, devido ao seu paralelismo com zonas de fraturas do assoalho oceânico. Os dois sistemas trativos principais (NW-SE e NE-SW) reativaram as antigas linhas de fraqueza e compartimentaram a porção norte da Bacia do Paraná em mosaico de *grabens* e com *horsts* mergulhantes para o interior da bacia (FÚLFARO *et al.*, 1982).

A porção sudoeste da bacia do Paraná apresenta deformações estruturais associadas à falhas ou intrusões de diabásio e os depósitos Mesozóicos transgridem sobre os Paleozóicos. Segundo Fúlfaro *et al.* (1982), o eixo de maior subsidência, norte-sul, no Devoniano, assumiu posições variáveis a partir do Carbonífero (Estefaniano), amplamente dominado por grandes alinhamentos estruturais norte-

noroeste e leste-oeste (alinhamentos do Tietê Paranapanema) em São Paulo e no Paraná.

O atual eixo da bacia é estrutural, característica adquirida no final do Mesozóico devido ao soerguimento dos arcos marginais. Assim a bacia limita-se, nos lados nordeste, noroeste, oeste, sudoeste e sul por arcos estruturais paralelamente a sua borda. Este soerguimento propiciou em função da reativação Waldeniana e conseqüente estabelecimento das bacias marginais, a região continental sofreu intensas manifestações tectônicas, resultando no embasamento Pré-Bauru, formando assim *horsts* e *grabens*, configurando um padrão de falhamentos normais os quais acompanharam os estádios evolutivos das bacias marginais e conseqüentes reflexos na sedimentação continental. (FÚLFARO *et al.*, 1982).

O intenso vulcanismo que afetou toda a região meridional da bacia teve como caminho o extravasamento das lavas, cujos alinhamentos se expressam pelos rios Piquiri, do rio Alonso, do São Jerônimo-Curiurá, do Parapanema, do rio Tietê, do Guapiara, do Rio de Janeiro, de Araxá – Rio Grande, que condicionaram a evolução Paleogeográfica do Grupo Bauru (FÚLFARO *et al.*, 1982).

Linhas de fraqueza preexistentes no embasamento da bacia do Paraná são elementos importantes durante a sua evolução, como mostram vários estudos tectono-estratigráficos recentes (SOARES *et al.*, 1982; ZALÁN *et al.*, 1987). Quando reativados estes lineamentos controlaram e determinaram à direção geral de falhas.

Artur (1998), estudando os paleolineamentos na bacia do Paraná afirma que há uma nítida compartimentação NE em toda bacia do Paraná.

Grande parte da deformação rúptil tem gênese relacionada à reativação de paleoestruturas presentes no embasamento, controlando o padrão deposicional da bacia (MILANI e RAMOS, 1998), enquanto outros foram gerados durante a formação da bacia, hoje expostos como lineamentos de extensão regional (SOARES *et al.*, 1982; ZALÁN *et al.*, 1987, 1990; ROSTIROLLA *et al.*, 2000).

3.8.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A seqüência vulcânica que constitui a Formação Serra Geral foi proposta e introduzida como unidade estratigráfica por White (1908). No Estado do Paraná, o vulcanismo ocorre predominantemente na forma de derrames básicos, e, com menor extensão, são registrados derrames de composição intermediária, além de, mais raramente, ocorrências de rochas vulcânicas de filiação ácida (SILVA, 2007).

As principais estruturas dos derrames são: contatos interderrames (fendas de grande extensão lateral); zonas de basalto vesicular e amigdaloidal, características de topo de derrame, preenchidas principalmente por calcita, quartzo e zeólitas; áreas de basalto compacto, geralmente diaclasado, característica de zonas de exclusão, e tratos de base de derrame, raramente vesicular, com fraturas paralelas ao contato. Associados ao mesmo ciclo de vulcanismo ocorrem diques e soleiras de diabásio, faixas fraturadas subhorizontais e subverticais, com juntas e falhas, diques de arenito injetados, tufos vulcânicos, aglomerados (SILVA, 2007).

A área de ocorrência destas rochas em território Paranaense corresponde a aproximadamente 109.000 Km² e as espessuras máximas atingem até 1.500 m (ARAÚJO *et al.*, 1995).

Os litotipos são essencialmente rochas ígneas vulcânicas como basaltos toleíticos e andesitos basálticos, com riolitos e riolitos subordinados. A espessura de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral aumenta no sentido leste para oeste, chegando a ultrapassar 1.000 metros nas regiões centrais da Bacia do Paraná (FRAGA, 1986). Há também diques e *sills* de composição toleítica e riolítica. As rochas alforantes apresentam, de modo geral, texturas afaníticas e microcristalinas com estruturas maciças ou vesículo-amigdalodais. É muito comum decomposição esferoidal em porções rochosas que apresentam um processo mais avançado de intemperismo. Quando o processo intempérico não se encontra avançado podem ser observados as disjunções colunares.

O mergulho regional dessas rochas ocorre na direção leste/sudoeste, com cotas de 1.100 metros da borda leste e 49 metros na Foz do Rio Iguaçu. A espessura máxima dessa formação, no Estado do Paraná, é de 1.400 metros, e ocorre na região de Alto Piquiri (ARAÚJO *et al.*, 1995).

De acordo com Turner *et al.*, (1994 *in* Milani, 1997) o extravasamento de lava que definiu a Formação Serra Geral é posicionado no intervalo entre 127 e 137 m.a.

A Formação Serra Geral demarca o término do episódio magmático Eocretácico, o qual está relacionado à abertura do Atlântico Sul com a ruptura do Gondwana e à extensão gerada pela migração da pluma mantélica de Tristão da Cunha (HAWKESWORTH *et al.*, 1992). Internamente, ainda que o contato entre arenitos e lavas configure uma não-conformidade, em função da natureza distinta dessas rochas, pode-se assumir uma relação transicional entre essas litologias, dada a alternância, durante certo intervalo de tempo, entre o campo de dunas eólicas e o vulcanismo ativo, até o soterramento daquele pelas lavas impedindo sua manutenção e desenvolvimento.

A composição mineralógica essencial das rochas vulcânicas é constituída por feldspatos com predomínio de plagioclásios An65 e An43, principalmente labradorita aparecendo andesina nas rochas mais diferenciadas, piroxênios como augitas, ferro augitas, pigeonitas (RUEGG, 1969). A matriz tem natureza e composição variável podendo conter clorita, serpentina, piroxênio, substância de natureza vítrea, feldspatos álcali cálcicos e potássicos além de quartzo. Este autor ainda determinou os seguintes teores médios em óxidos: SiO₂ – 55 a 60 %, Al₂O₃ -12-14% FeO – menos que 10%, Fe₂O₃+FeO -13 a 14%, MgO – 5 a 6%, CaO – 8 a 9%, Na₂O – 2,5 a 3%, K₂O – 1 a 1,5%, TiO₂ – 2,5 a 3%. Há ainda uma diferenciação de rochas vulcânicas de maneira a coexistir séries distintas que abrangem basaltos alcalinos, basaltos toleíticos, andesitos, latianandesitos e riolitos. Conforme a composição química e mineralógica, o autor dividiu essas rochas efusivas em subprovíncias, que no Estado do Paraná está representada pela “anomalia do centro oeste paranaense”. Essa anomalia é configurada pela elevação nos teores de MgO, CaO, Fe total, Ba, Co, Cu, V, Zn e Zr e por uma diminuição nos teores de SiO₂, K₂O, Cr, Ni, Rb e Sr.

Melfi (1967, *in* Gallo e Sinelli,1980) estudando a região de Ribeirão Preto em São Paulo, executaram uma análise modal das rochas basálticas da formação Serra Geral, resultando em plagioclásios (40 a 60%), piroxênio (25 a 40 %), magnetita e ilmenita (10%), apatita, quartzo, feldspato potássico (0 a 2%), clorita, biotita e anfibólios (máximo de 5%).

A parte central do derrame tem sua porção inferior caracterizada pela zona de disjunção horizontal originada pela concentração em função do resfriamento de lava. A parte superior do derrame é caracterizada pela presença de amígdalas e vesículas

de acordo com o conteúdo de gases existentes na lava e é, em geral, caracterizada por um resfriamento rápido constituindo assim a zona vítrea.

Os basaltos de platô são acompanhados por uma intensa atividade intrusiva, normalmente representada por *sills* e diques que acompanham, grosseiramente, as principais descontinuidades estruturais da bacia. O sistema dominante tem direção NW, transversal ao eixo maior da bacia, estando representado por arcos como o de Ponta Grossa, Campo Grande e São Gabriel, e por lineamentos tectônicos e/ ou magmáticos com o lineamento Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, e rios Uruguai, Icamaguã e Piquiri (FERREIRA, 1982), cuja formação provavelmente iniciou-se no Devoniano e teve seu desenvolvimento máximo durante o Triássico-Jurássico (FÚLFARO *et al.*, 1982).

Piccirillo e Melfi (1988), subdividiram a Bacia do Paraná em três setores principais: Paraná Meridional, Central e Setentrional. O primeiro localizado a sul do lineamento do rio Uruguai, o segundo entre esse e o lineamento do rio Piquiri e o terceiro a norte do lineamento do Rio Piquiri. No setor Paraná Meridional predominam basaltos toleíticos, andesitos toleíticos, riodacitos e riolitos. No setor Paraná Central ocorre os termos que petrológicos do setor meridional e também basaltos toleíticos, riodacitos e riolitos com teores de TiO_2 maiores que 21%. O setor Paraná Setentrional é caracterizado pelos termos litológicos com elevados teores de TiO_2 superior a 2%. Os autores ainda determinaram os seguintes teores médios em óxidos: CaO; 8,88%, Fe_2O_3+FeO ;– 16,4%, MnO; 0,20% e TiO_2 2; 2,55%; P_2O_5 ; 0,45%.

Sommer *et al.* (2005), estudando a porção oeste do Estado do Paraná, identificaram a presença de estruturas de segregação e de vesículas na porção central dos derrames juntamente com a presença de micro vesículas entre os cristais de plagioclásio e piroxênio e sugerem a existência de um alto conteúdo de voláteis para o magma gerador destes derrames. Os autores citados também identificaram brechas originadas pela interação entre lava e sedimentos, constatando-se feições características deste processo com uma ampla variedade de estruturas e texturas denominadas de peperitos tanto descritivamente como geneticamente.

MINEROPAR e CPRM (2006), ao interpretar imagens LANDSAT e de radar no terceiro planalto Paranaense identificaram três direções principais (NW, NE e E-W) referidas na literatura. Contudo, as mais proeminentes têm direção NW e, dentre

estas, se destaca o alinhamento do Rio Iguaçu (FIGURA 8), o qual aloja espessos diques de diabásio. Os autores, ainda afirmam que a região situa-se próximo do limite sul do Arco de Ponta Grossa o qual, durante a primeira fase da Reativação Wealdeniana, foi reativado vigorosamente soerguido, o que possibilitou a geração de extensas falhas trativas ao longo e às margens de lineamentos. Isto favoreceu a injeção de possantes enxames de diques de diabásio (FERREIRA, 1982), interpretados como alimentadores do vulcanismo da Bacia do Paraná. No alinhamento do Rio Uruguai, as feições positivas mais importantes são as serras do Capanema e de Palmas, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Uruguai. A serra de Capanema tem direção geral E-W, mas segue localmente o alinhamento do rio Iguaçu, localizado na parte central da área (MINEROPAR e CPRM, 2006).

Concomitantemente ao evento de soerguimento da região do arco, tanto para norte quanto para sul, ocorrem abatimentos de blocos associados a fraturamentos escalonados formando estruturas do tipo *gráben e horst*. Na área de estudo evidencia-se o *Gráben Foz de Iguaçu/ Araçatuba* (FIGURA 9). O *gráben* apresenta uma extensão de cerca de 130 km na direção norte-sul e encontra-se alongado na direção leste-oeste, com cerca de 200 km. A sul, o *gráben* baliza-se pelo divisor que separa as bacias dos rios Iguaçu e Uruguai, cujas feições positivas mais importantes são as serras do Capanema e de Palmas. Esta estrutura geomorfológica encontra-se orientado com direção preferencial leste - oeste, cuja direção local corresponde ao Alinhamento do Rio Iguaçu (MINEROPAR e CPRM, 2006).

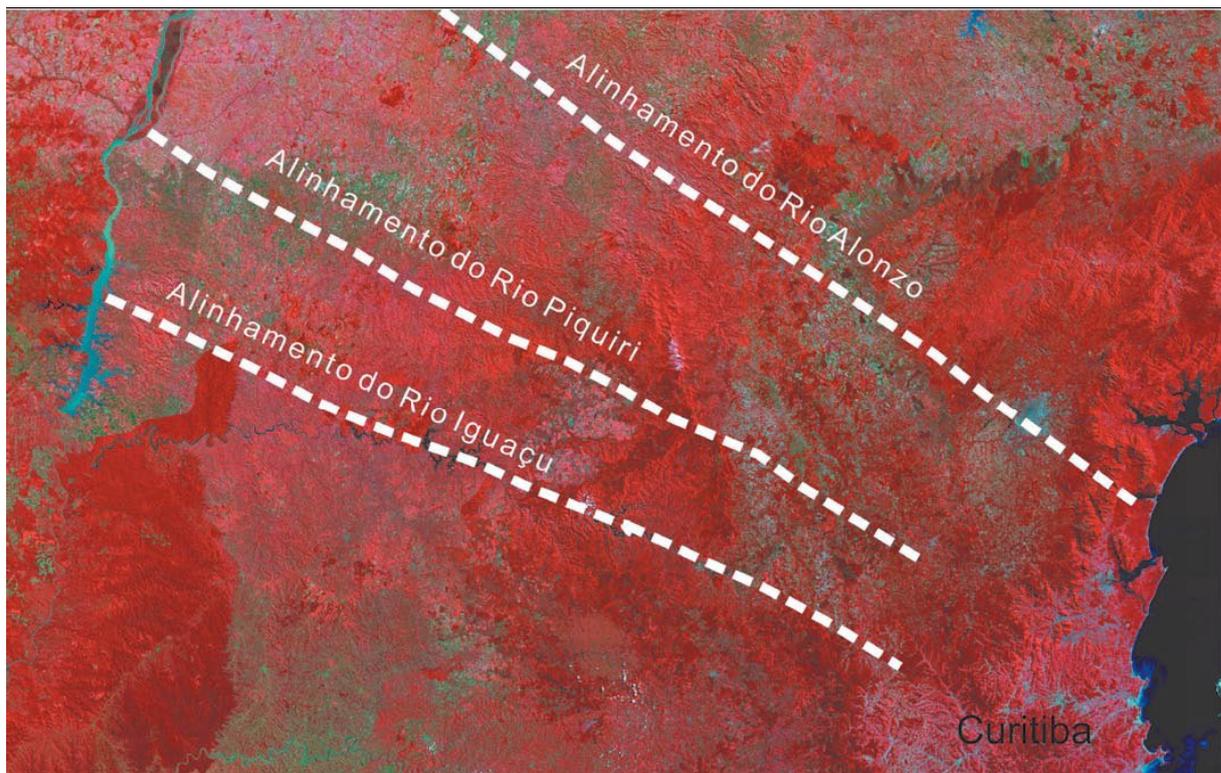


FIGURA 8. – Imagem LANDSAT TM-234 da região do Arco de Ponta Grossa, onde estão assinalados alguns dos principais alinhamentos tectônicos. Fonte: MINEROPAR e CPRM (2006).

Montanheiro *et al.* (2004), estudando a formação Serra Geral na porção ocidental do Estado de São Paulo, afirmam que sob o microscópio, os basaltos são homogêneos, compostos de plagioclásios (labradorita) e piroxênio (augita), presentes em praticamente a mesma proporção (40%), formando uma textura subofítica. Os minerais opacos são ilmenita, magnetita e pirita. Uma grande variedade de rochas vulcânicas foram identificadas na porção ocidental do Estado de São Paulo. Segundo a classificação de química de Le Maitre para as rochas ígneas, entre as amostras estudadas são predominantes: dacitos (56%), basaltos (12%), riolitos (10,5%), traquitos (10,5%), basalto andesitos (9%), andesitos (1%) e traquiandesitos (1%) (MONTANHEIRO *et al.*, 2004).

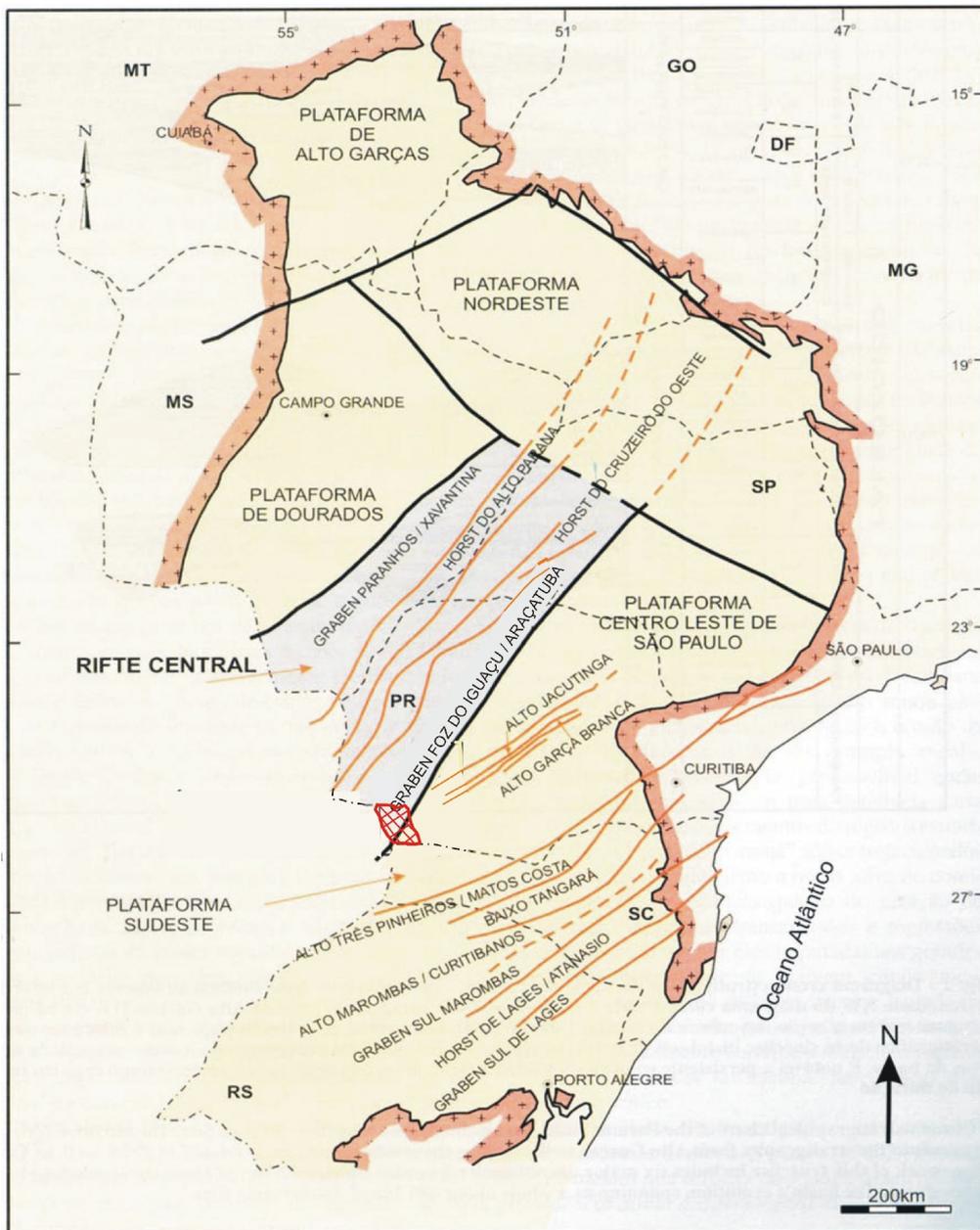


FIGURA 9 - Mapa geológico-estrutural da Bacia do Paraná com os principais alinhamentos tectônicos da área do projeto e posição do "rift central". Modificado de Fúlfaro *et al.*, (1982). A área destacada em vermelho representa a localização da área.

Arioli *et al.* (2008), mapeando a folha geológica de Guarapuava com enfoque faciológico individualizou sete unidades: derrames tabulares de basalto maciço; derrames lobados de basalto vesicular; soleiras de diabásio; diques de diabásio; rochas ácidas; brechas vulcanoclásticas; e rochas sedimentares.

O pacote vulcânico apresenta-se sobreposto às camadas arenosas da Formação Botucatu, assim, são freqüentes lentes intertrapianas de arenitos (SILVA, 2007).

Ferreira *et al.* (2008), estudando a estratigrafia dos basaltos na região da Usina Salto Segredo afirma que o basalto as estruturas variam longitudinalmente ao longo da exposição estudada do derrame. Os autores, ainda, descreveram o seguinte perfil para a região:

- Nível vesicular superior, que é marcado pela presença de grande quantidade de amígdalas e vesículas, e que apresentam um padrão característico de diminuição no tamanho das amígdalas em direção ao topo do nível;
- Nível maciço central, que é caracterizado por apresentar principalmente estrutura maciça, ausência de vesículas e geodos e fraturas mais regulares;
- Nível vesicular de base, que é marcado por apresentar grande quantidade de amígdalas, porém nestas não se observa nenhum padrão de distribuição;

3.8.3 GEOLOGIA LOCAL

Na área de estudo afloram rochas da Formação Serra Geral. Licht (2001), identificou no sudoeste do Estado do Paraná, uma distribuição ampla tanto na horizontal com na vertical, para os níveis de gabro aproximadamente horizontais que atingem até 70 centímetros e ocorrem encaixadas em basaltos e diabásios. A coloração varia desde negro esverdeado a marrom avermelhado (devido a intemperização). Macroscopicamente apresentam fenocristais de plagioclásio e piroxênios (de 4 a 6 centímetros). Estudos petrográficos revelaram labradorita (40 a 60 %), diopsídio – augita (20-35%), celadonita (20%), opacos (10%), argilominerais (5%), óxido de ferro e calcedônia em traços (Licht, 2001).

MINEROPAR e CPRM (2006) estudando a carta de Guarapuava no sudoeste do Estado do Paraná dividiram as rochas da Formação Serra Geral em estratigrafia de fácies. A interpretação de imagens LANDSAT, perfis magnetométricos regionais, levantamentos de campo, estudos petrográficos, dados de química mineral e de litoquímica convencional possibilitaram dividir o magmatismo Serra Geral da área mapeada em cinco fácies de rochas vulcânicas básicas seguintes: Fácies Nova Laranjeiras, Fácies Capanema, Fácies Campos Novos, Fácies Cordilheira Alta, Fácies Campo Erê.

A Fácies Nova Laranjeiras aflora nas cotas mais baixas da região e é o campo de lavas da base do pacote litoestratigráfico da região. É maciça, de baixa vesicularidade e sua particularidade, única na região, reside em disjunções

colunares homogêneas. As vesículas são centimétricas a decimétricas e estão normalmente preenchidas por quartzo hialino, celadonita, calcedônia e por vezes, ametista. Os basaltos desta fácies são pretos, de aspecto geral vítreo, de brilho resinoso e se alteram para cinza acastanhado a avermelhado de aparência metálica.

A Fácies Capanema aflora nas porções mais baixas de Francisco Beltrão, estendendo-se ao longo da calha do rio Guarani, a leste de Três Barras, Nova Prata do Iguaçu, em Cruzeiro do Iguaçu, nos arredores de Francisco Beltrão e no acesso à barragem de Salto Caxias. Os basaltos dominantes desta fácies variam de afíricos a microfaneríticos a fracamente porfiríticos, localmente faneríticos médios a grossos nas porções centrais, mesocráticos, cinza, cinza-esverdeados a marrom-avermelhados quando alterados. Contêm horizontes vesiculares bem desenvolvidos, principalmente no topo dos derrames, com vesículas comumente marginadas por agregados de plagioclásio e preenchidas por carbonato, zeólitas e celadonita, a qual empresta aos horizontes um tom verde-azulado. Seus minerais mais abundantes são quartzo e plagioclásio microcristalinos, seguidos de sericita secundária e vidro parcialmente desvitrificado. Magnetita e ilmenita estão ausentes, em contraste com a sua abundância nas vulcânicas adjacentes e nos clastos. Há ocorrência de veios centimétricos de pirita.

A Fácies Campos Novos configurou derrames estratigraficamente acima da fácies Capanema, abaixo da fácies Cordilheira Alta. A fácies compreende basaltos pretos, microfaneríticos a afaníticos, de aspecto microgranular fino e textura sacaróide. A porção central contém disjunção colunar esparsa, em blocos regulares métricos a decamétricos, é maciça e, próximo ao topo, contém disjunção tabular pouco definida. Cobre nativo pode ocorrer nas faces das disjunções ou como parte do preenchimento de vesículas. Nesta fácies é comum a presença de horizontes centimétricos a decimétricos de pegmatóides gabróicos no interior dos derrames. Seus constituintes essenciais compreendem plagioclásio e clinopiroxênio, e os acessórios são magnetita, ilmenita, apatita e eventual olivina. O plagioclásio é labradorita (An₅₂₋₆₈), ocorre em fenocristais em média de 1,5 mm, mas de até 1 cm, com contornos planos e maclas bem definidas, em geral zonado, com bordas não corroídas e mais claras que o núcleo.

A Fácies Cordilheira Alta ocorre em ao longo da meia encosta dos contrafortes do terreno que margeia o rio Iguaçu, particularmente na região de Renascença, Manfrinópolis e Pranchita a sul. Comuns nesta fácies são as

intercalações de rochas sedimentares interderrames e brechas peperíticas na base dos derrames. Mesoscopicamente, o basalto dominante é ora afírico, ora fracamente porfírico, por vezes fanerítico médio a grosso, mesocrático, cinza a cinza-escuro, matizado de verde por efeito de cloritização. Seus constituintes essenciais compreendem plagioclásio e clinopiroxênio, e os acessórios são quartzo, apatita, titanita e magnetita. A variação das proporções entre plagioclásio e piroxênio indicam que a composição dos derrames varia entre basalto e basalto andesítico. As rochas sedimentares interderrames e horizontes de brechas peperíticas ocorrem como intercalações nos derrames.

A Fácies Campo Erê ocorre na região sul da área de estudo, no limite com Santa Catarina. Afloramentos típicos ocorrem no município de Flor da Serra do Sul. Petrograficamente, são basaltos andesíticos semelhantes aos da fácies Cordilheira Alta, da qual diferem pela ausência dos termos

Existem, ainda, camadas de arenitos eólicos vinculados ao ambiente desértico da Formação Botucatu que ocorrem como intercalações em alguns níveis basais da sucessão de basaltos. Estes horizontes variam de 0,5 m a 25 m. Litologicamente são compostos por sucessões de finas camadas avermelhadas de arenitos, siltitos e, por vezes, arenitos conglomeráticos e conglomerados. Seus constituintes compreendem quartzo, seguido de feldspatos, mica branca, argilo-minerais, fragmentos líticos, subordinadamente turmalina, opacos e zircão. As proporções de quartzo e feldspatos permitem classificá-los como quartzo arenitos, subordinadamente subarcóseos a arcóseos. O quartzo é límpido, monocristalino. Os grãos de feldspato são de plagioclásio, subordinadamente K-feldspato, os quais são em geral turvos por argilização. A mica branca resulta da alteração dos feldspatos. A laminação dos arenitos é dada pela alternância com níveis de silte e argila, provavelmente oriundos da devitrificação de vidro vulcânico e do intemperismo de basalto. A composição basáltica dos clastos do arcabouço de arenitos e ruditos indicam que a área-fonte dos sedimentos foram os derrames regionais. As relações entre estas rochas e basaltos subjacentes indicam que houve períodos de intemperismo, erosão, transporte e sedimentação em diversas posições estratigráficas e caracterizam intervalos de tempo de quiescência do vulcanismo (MINEROPAR e CPRM, 2006).

3.8.3.1 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

Neste item serão apresentados todos os dados, processamentos e interpretações que foram executados para a definição de estruturas existentes na área.

Os lineamentos representam o principal conjunto de morfoestruturas pela análise do modelo digital de elevação (MDE).

As direções estruturais de superfície foram delineadas com base em estudos anteriores que descrevem as grandes falhas na região e confirmadas através dos dados coletados em campo aliados à interpretação e integração de lineamentos extraídos das imagens *SRTM 90*.

As principais feições identificadas estão relacionadas à rede de drenagem e as estruturas que condicionam a área de estudo. A rede de drenagem da área é preferencialmente condicionada por fraturas na direção NW-SE principalmente na região central (FIGURA 10). Observa-se também na porção sudoeste, sul e sudeste um condicionamento estrutural na direção NE.

A caracterização estrutural, como já citado anteriormente, foi obtida através de imagens *SRTM* em análise multi escala (1:600.000 e 1:300.000). Os traçados de estruturas na escala 1:600.000 (FIGURA 11) possibilitou uma visão dos alinhamentos mais representativos de caráter regional, já na escala 1:300.000 (FIGURA 12) foi marcado alinhamentos de escala regional e local.

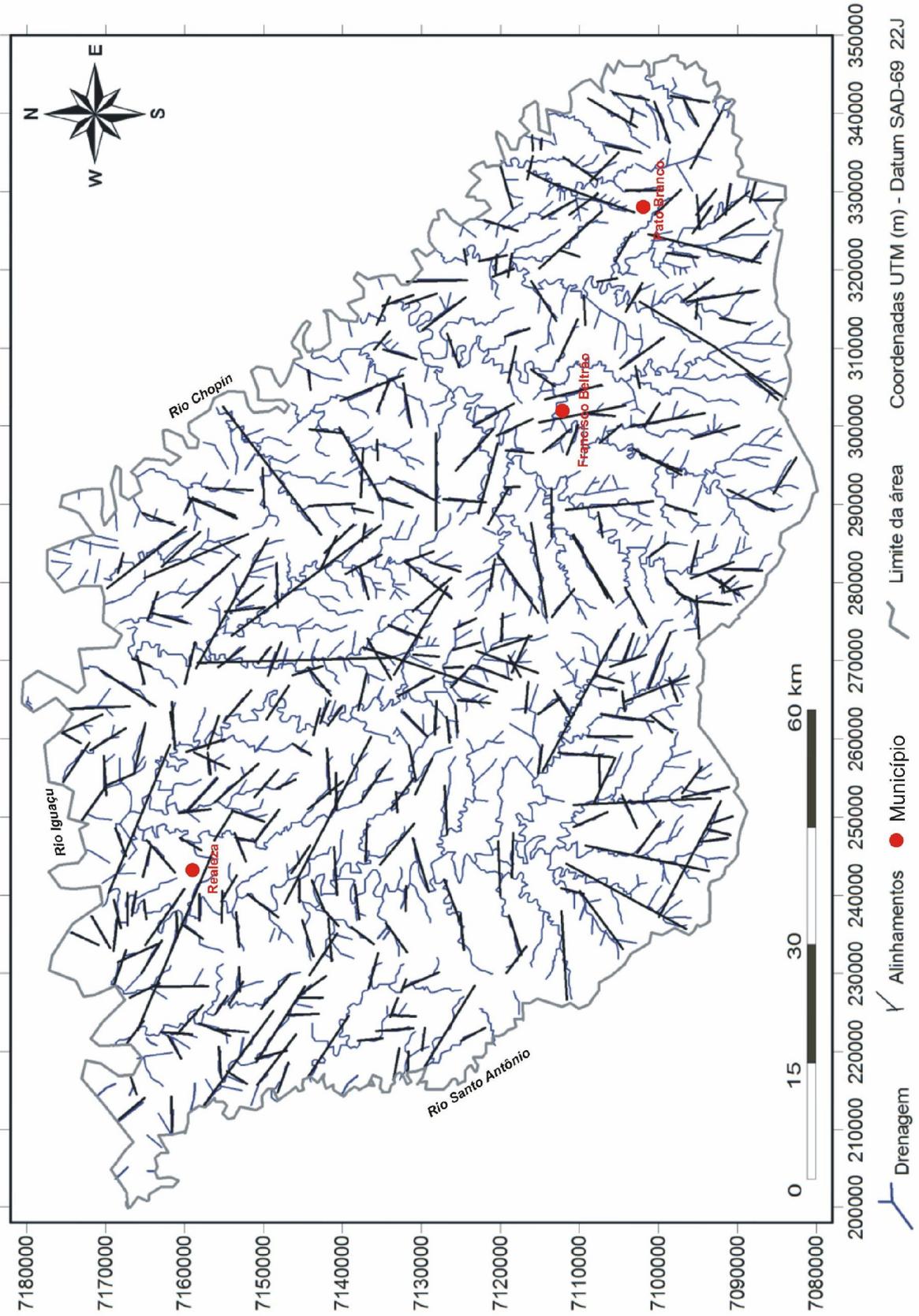


FIGURA 10. Rede de drenagem com os lineamentos definidos na escala 1:600.000.

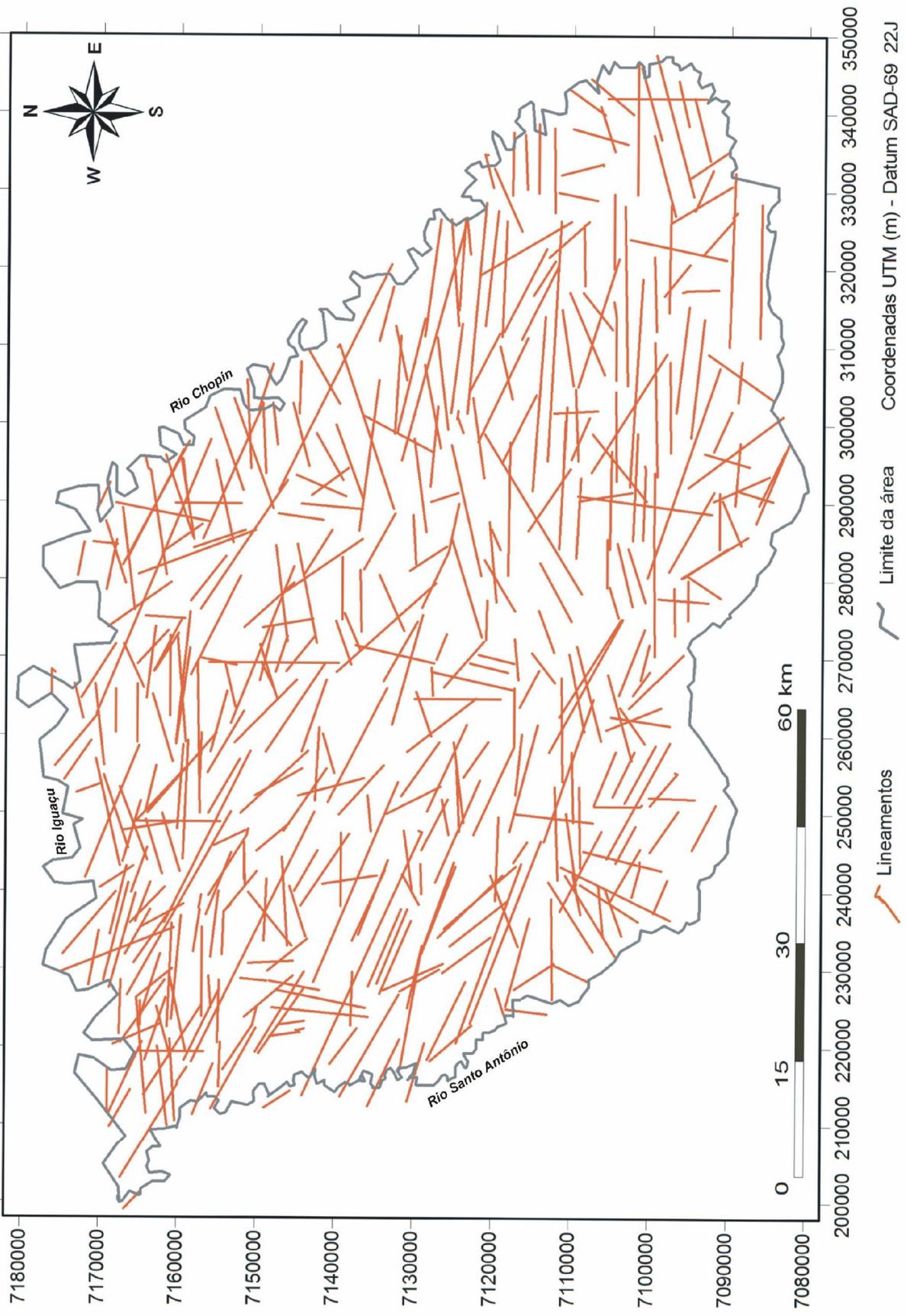


FIGURA 11. Lineamentos estruturais observados na área na escala 1:600.000

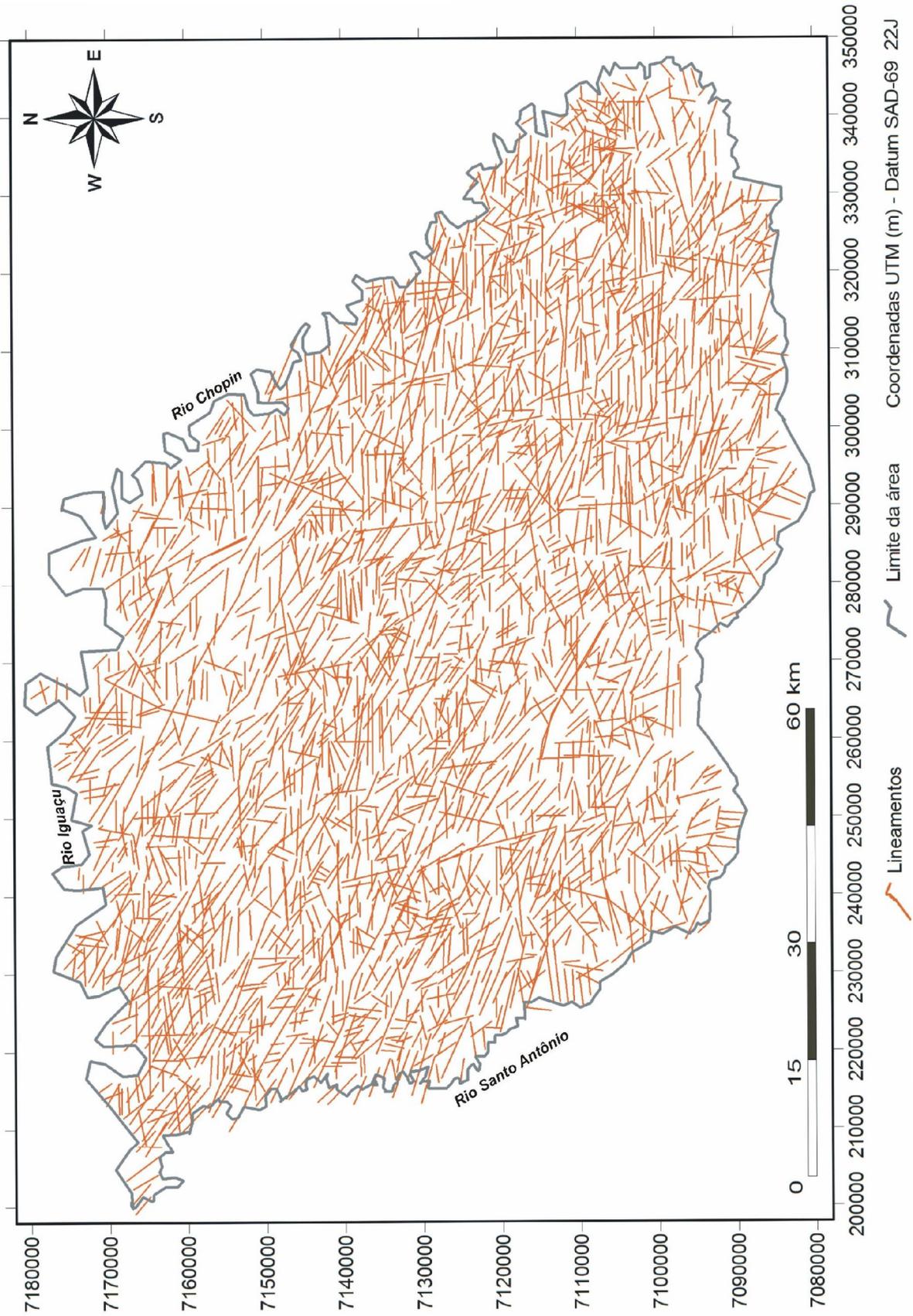


FIGURA 12. Lineamentos estruturais observados na área na escala 1:300.000

Também foi confeccionado, a partir de dados de campo, uma figura com representação de afloramentos observados na área de estudo com os diagramas de roseta de frequência para cada ponto verificado (FIGURA 13). As rochas observadas nestes afloramentos são todas, microcristalinas, de textura afanítica, fraturadas e de composição basáltica. Também foram observados afloramentos em que há ocorrência de basalto fraturado com preenchimento de quartzo e calcita (anexo 3). Assim, é notado na região de estudo, o domínio de estruturas NW. As estruturas NE ocorrem em menor intensidade. Estes diagramas, por vezes, representam estruturas locais sem importância de nível regional. Nestes pontos observa-se que o domínio principal é de fraturas com direção NW. Há também pontos em que a direção principal é NE.

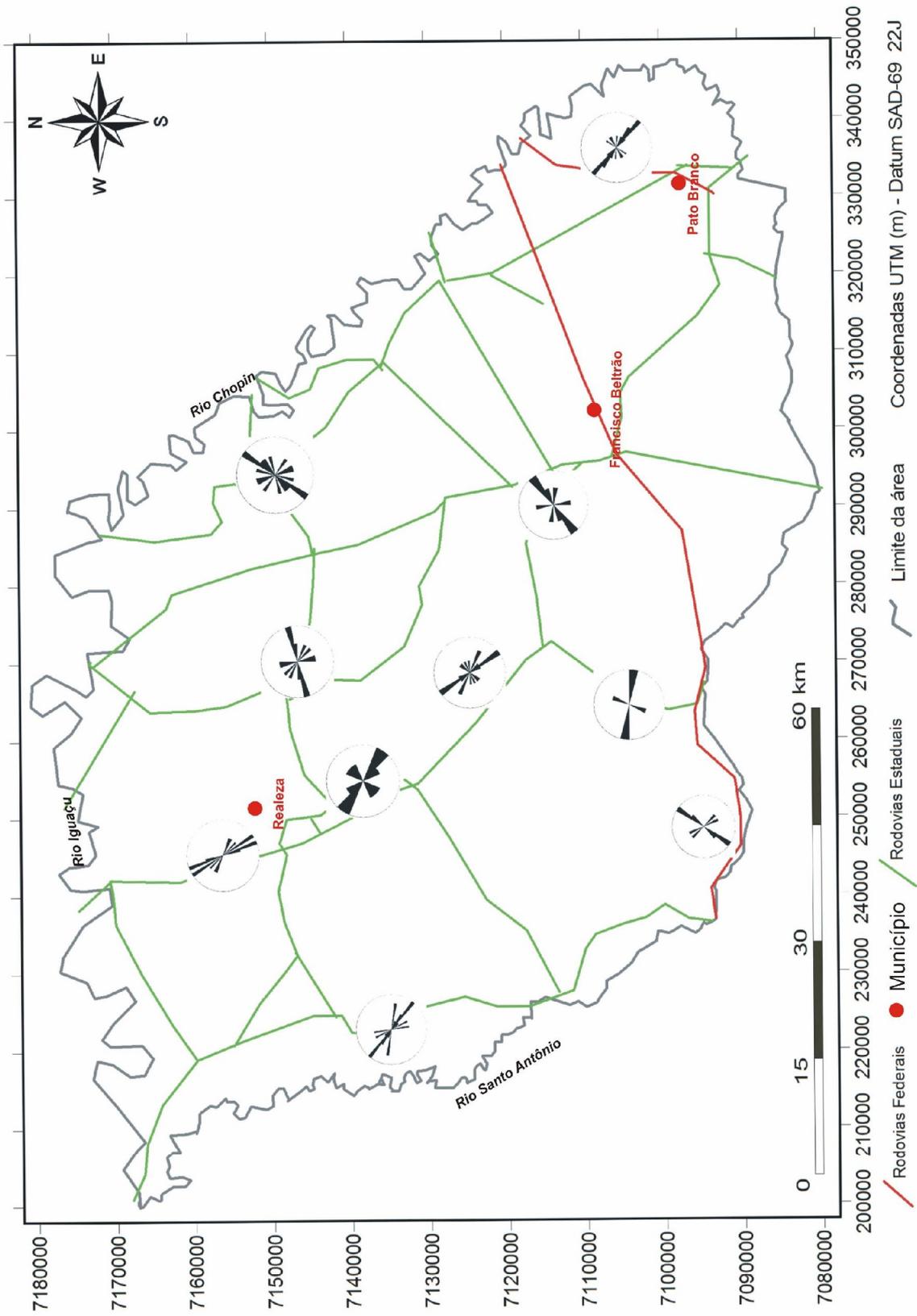


FIGURA 13. Mapa das principais rodovias da região com diagramas de roseta para frequência nos

No diagrama de roseta (FIGURA 14), observa-se que a área de estudo é marcada por uma deformação dútil que compreende quatro famílias principais de fraturas subverticais, a principal direção de fratura representada pela direção N45-50W, e secundariamente as direções N25-30W, N80-85E e N05-10W.

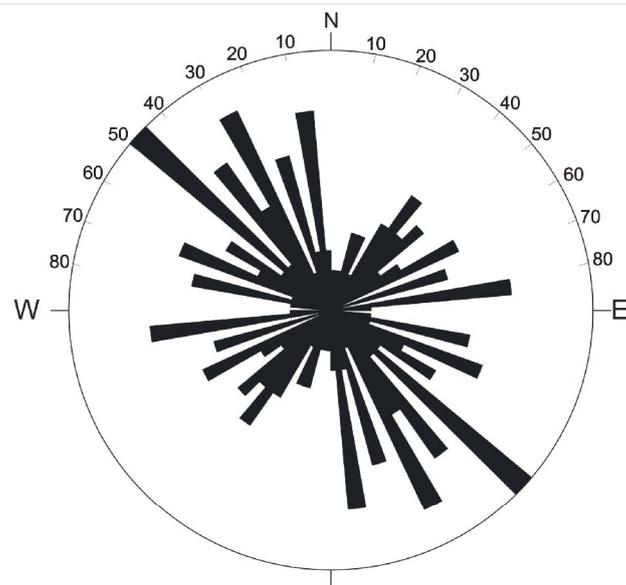


FIGURA 14. Diagrama de rosetas de frequência para área de estudo. O número de medidas foi de 176.

- A direção N45-50W são os alinhamentos mais importantes e contínuos existentes na região de estudo. Apresentam-se como feixes de alinhamentos positivos e negativos com comprimento de até dezenas de quilômetros. Esta direção de fratura ocorre em toda área de estudo. É uma direção bastante característica em toda a bacia do Paraná, incluindo, por vezes diques com esta mesma direção.
- A direção N25-30W também são alinhamentos importantes na área de estudo. Ocorrem com menos frequência que a anterior. Apresentam-se como feixe de alinhamentos positivos ou negativos com comprimento de até dezenas de quilômetros. Ocorrem dispersos em toda área de estudo.
- A direção N05-10W é uma direção estrutural importante na evolução tectônica da Bacia do Paraná, em particular a da Placa Sul-americana (ROSTIROLLA *et al.*, 2005).

- A direção N80-85E aparece com menor intensidade. Esta direção inclui grandes lineamentos do Pré-Cambriano Paranaense (LICHT, 2001). Ocorre de forma dispersa na área porém mais comum na região sudeste e leste da área de estudo.

A direção NW são de fato, as mais evidentes na área, o que já foi comprovado pelas grandes fraturas que intersectam a área e apresenta-se normalmente como um feixe de lineamentos retilíneos e alongados, podendo ser visualizados em toda a extensão da área de estudo. Esta direção deve constituir zonas de fraqueza antiga do embasamento reativadas no Mesozóico densamente injetadas por diques básicos, em contraste com as de direção NE, as quais somente possuem enxames de diques fora da Bacia do Paraná, na Serra do Mar, paralelos à costa sudeste do Brasil (VALENTE *et al.*, 2005). Artur (1998), também determinou as estruturas NW como sendo as mais importantes através do método gravimétrico.

Zálan (1987), afirma que as direções de mergulho são praticamente verticais. Ferreira (1982), afirma que o sistema dominante tem direção NW, transversal ao eixo maior da bacia, estando representado por arcos como o de Ponta Grossa e por lineamentos tectônicos e/ou magmáticos cuja formação provavelmente iniciou-se no Devoniano e teve seu desenvolvimento máximo durante o Triássico-Jurássico (FULFÁRO *et al.*, 1982).

Verificou-se em campo que os mergulhos são de alto grau, da ordem de 80°. Os mergulhos apresentam direção principal para NE quando as direções do plano de fratura são para NW, e por vezes ocorrem direções de mergulho para SW. As direções de mergulho são para NW quando as direções dos planos de fratura são para NE.

Este arcabouço geológico estrutural é controlado por um grande número de alinhamentos, altos e megassuturas existentes na Bacia do Paraná (ZALÁN *et al.*, 1990). Estes elementos estruturais que limitam o quadro geológico da área, compartimentando em blocos, formam um mosaico estrutural, em que cada bloco possui características próprias, tanto em superfície, como em sub-superfície.

Em imagem verificou-se a ocorrência de alinhamentos com proporções de dezenas de metros a quilométricas.

Os alinhamentos com direção NE apresentam essencialmente direções entre 30 e 85. Raros alinhamentos apresentam direções N-S. Na porção nordeste da área há um predomínio de alinhamentos com direção NW. Já na porção sudeste da área observa-se que há um predomínio de alinhamentos com direção E-W. Na região

central ocorrem alinhamentos com várias direções, incluindo por vezes até mesmo em direção N-S.

Freitas (2005), em seu estudo na Bacia do Paraná, discute a possibilidade das estruturas NS terem sua origem relacionada a uma flexura crustal da Placa Sul-americana, associada à subducção oceânica a oeste. Estas estruturas NS podem ter sua geração associada ao rifteamento cretáceo, ocorrido durante a abertura do Atlântico Sul. Rostirolla *et al.* (2005), afirmam que estruturas de direção NS poderiam estar associadas à evolução cenozóica da Placa Sul Americana e de que estas seriam estruturas frontais às tensões horizontais máximas com direção E-W, e estariam balizadas por grandes eixos indicados por domínios altimétricos, alongados na direção N-S.

O alinhamento do Rio Iguaçu apresenta-se a norte do limite da área de estudo. Este alinhamento, apesar de não ser definido na área de estudo pode ter sido o responsável pela geração de fraturas e falhas menores na área de estudo. MINEROPAR e CPRM (2006), definiram, através de dados geofísicos, dois domínios magnéticos, com características diferentes limitados pelo alinhamento do Rio Iguaçu. Os autores, também, denominaram de alinhamento Salgado Filho uma estrutura geológica de direção aproximada N40W que ocorre no sul da área de estudo e configura dois domínios magnéticos diferentes. A intensa atividade intrusiva na região deste lineamento não apenas sugere possíveis condutos alimentadores de derrames basálticas quanto também a possibilidade da presença de corpos máfico ultramáficos maiores, ocultos, e com possibilidade de hospedar mineralizações sulfetadas.

Na área de estudo também há ocorrência em profundidade da zona de Falha Taxaquara, que aflora apenas na região central e oriental do Estado do Paraná. MINEROPAR e CPRM (2006), definiram esta estrutura, na região de estudo, através de estudos geofísicos pelo método magnético com direção NE-SW. Na área de estudo são configurados lineamentos compatíveis com a direção desta estrutura.

3.9 HIDROGEOLOGIA

O Sistema Aqüífero Serra Geral está localizado na região sul do Brasil nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, além dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Estende-se ainda, por outros países, Argentina, Paraguai e Uruguai.

Os aqüíferos fraturados formam-se em consequência de processos tectônicos, na qual o processo de falhamento gera sistemas de fraturas, normalmente seladas devido à profundidade. Posteriormente sofrem aberturas submilimétricas a milimétricas permitindo a entrada de água, pela expansão das rochas devido ao alívio de carga litostática causado pelo soergimento regional e erosão das rochas sobrejacentes. Nesse momento instalou-se um aqüífero fissurado caracterizado, fisicamente, por ser heterogêneo e anisotrópico e que, como consequência, possui uma condutividade hidráulica muito variável, complexa e de difícil avaliação (FRAGA, 1986). O fluxo de água é gerado quando ocorre um sistema de interconexão das fraturas. A tectônica rúptil constitui um importante condicionante das características hidrogeológicas e hidroquímicas, como demonstram estudos no Sistema Aqüífero Serra Geral (MACHADO, 2005).

Essas rochas constituem um aqüífero com grande potencial de exploração, tendo em vista a quantidade de fraturas que apresenta. Além disso podem apresentar grande porcentagem de vesículas interconectadas que podem aumentar a porosidade da rocha. Gonçalves e Giampá (2006), afirmam que o pacote confinante de rochas vulcânicas apresenta falhas, fraturas e descontinuidades interderrames que são local e ocasionalmente, bons aqüíferos. Fernandes *et al.* (2007), procuram caracterizar os parâmetros hidráulicos dos caminhos preferenciais fluxo de águas subterrâneas através dos basaltos no aqüífero Serra Geral e verificaram que os principais caminhos de circulação correspondem principalmente a fraturas subhorizontais, geradas durante o resfriamento dos basaltos, e as fraturas tectônicas subverticais.

Segundo DAEE (2005), as fraturas de resfriamento, que podem ser verticais (disjunções colunares) ou subhorizontais também são importantes para o armazenamento de água. Assim, as condições de armazenamento e circulação dessas podem ocorrer de duas formas distintas principais: através do manto de alteração da rocha basáltica, e através das descontinuidades das rochas basálticas

que formam o embasamento da área. O primeiro caso, representado pelas camadas de solo e rocha alterada (saprólito), é produto direto do intemperismo das rochas vulcânicas basálticas. Por isso, constitui-se em um meio poroso relativamente homogêneo, geralmente pouco espesso próximo às drenagens, com baixa profundidade do nível saturado e com recarga direta a partir de águas pluviais o tornando mais vulnerável à disseminação da contaminação ou poluição das águas subterrâneas. O segundo caso, por suas características litológicas de rochas cristalinas, constitui um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas, associados à presença de estruturas tectônicas do tipo fratura e/ou falhamentos, bem como de juntas de resfriamento (REBOUÇAS, 1978). Borghetti *et al.* (2004), afirmam que as intercomunicações dessas fraturas podem aumentar a capacidade deste tipo de aquífero de armazenar o que permitiu a infiltração e fluxo da água.

Este aquífero apresenta características essenciais de aquífero livre, ou não-confinado, embora haja relatos de ocorrências locais de artesianismo em poços tubulares perfurados em maiores profundidades (SANTOS *et al.*, 2007).

Uma compartimentação estrutural acentuada é notada nas rochas da Formação Serra Geral. Isto é, acrescido ao fato do grau de confinamento gerado pelo empilhamento das rochas vulcânicas sobre as rochas areníticas da Formação Botucatu e Pirambóia subjacentes que possibilitam a mistura de água dos diferentes aquíferos.

Rosa Filho *et al.* (1987), estabeleceram um zoneamento hidrogeológico para o Aquífero Serra Geral, em função das vazões dos poços analisados enquadrados aos limites das bacias hidrográficas: Iguaçu, Piquiri, Paraná III, Ivaí, Pirapó, Paranapanema III, Tibagi e Cinzas. Os autores também relacionaram os locais da perfuração dos poços e sua produtividade com os alinhamentos estruturais concluindo que a direção preferencial é NW-SE. Tais feições, são usadas como critérios principais na escolha dos locais de perfuração, coincidem, quase sempre, com drenagens de 2ª ou 3ª ordem, de extensão superior a 300 m (ROSA FILHO *et al.*, 1987).

Fraga (1986) e Rebouças e Fraga (1988), caracterizaram um zoneamento hidrogeológico do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná pressupondo dois grandes compartimentos: Serra Geral Norte e Serra Geral Sul. A primeira inclui as bacias do rio Piquiri e Ivaí e o autor, identificou derrames vesiculares menos

espessos e com espessuras consideráveis de capeamento de solo associados a um relevo suave. Na segunda que abrange a bacia do rio Iguaçu, a produtividade dos poços é menor, o relevo é mais acidentado, e provavelmente o processo de dissecamento proporcionou o afloramento de derrames mais antigos e espessos, além da exposição de diques e sills de diabásio que se configuram como barreiras hidrogeológicas. O parâmetro principal utilizado por esses autores foi o valor da mediana da capacidade específica que na subprovíncia Serra Geral Norte assumiu valores na ordem de 6,5 vezes superiores aos da subprovíncia Serra Geral Sul (norte=1,53 m³/h/m; sul=0,235 m³/h/m).

Os basaltos da bacia do Rio Iguaçu apresentam menor produtividade em relação às demais bacias do Terceiro Planalto Paranaense. A média das vazões corresponde a 5 m³/h, sendo que o valor da mediana corresponde a apenas 2 m³/h por poço (ROSA FILHO e HINDI, 2006). As entradas de água embora assinaladas até profundidade de 170 m, ocorrem mais freqüentemente entre 30 e 110 m, sendo que a média está situada aos 80 m de profundidade. Essas rochas, apresentam valores de capacidade específica que podem atingir até 100 m³/h/m que podem ser explicado pela presença de vesículas, disjunções colunares e fraturas subhorizontais existentes no basalto que aumentam tanto a permeabilidade como a capacidade de armazenamento de água subterrânea nesta rocha (DAEE, 2005). A profundidade média dos poços no aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do rio Iguaçu varia de 120 a 130 m, a vazão média é de 5 m³/h e mediana de 2 m³/h (ROSA FILHO e HINDI, 2006).

A recarga principal ocorre através da pluviometria, principalmente em áreas com desenvolvido manto de alteração, topografia pouco acidentada e considerável cobertura vegetal (mata nativa). O modo de ocorrência da água subterrânea do SASG está condicionado tanto a fatores genéticos do pacote basáltico (*intertrap*, amígdalas, vesículas e disjunções), quanto à presença de estruturas (falhas, fraturas e diques de diabásio) que condicionam a circulação das águas nestas rochas. A conjunção destes fatores aumenta a capacidade de armazenamento de água (SILVA, 2007).

3.10 HIDROQUÍMICA

Na água subterrânea a maioria das substâncias dissolvidas encontram-se em estado iônico. A sílica ocorre sob a forma de partículas coloidais (SiO_4^{4-}). Os íons mais freqüentes observados são os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ e os ânions HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- e SO_4^{2-} .

A concentração das espécies naturais dissolvidas nas águas subterrâneas é função, principalmente do intemperismo e da dissolução de minerais como os carbonatos e silicatos durante a interação da água com as rochas.

A interação geoquímica entre água percolante e as rochas que compõem o aquífero, ao longo da zona de recarga e a zona de descarga são fatores determinantes para definição de suas características químicas. Assim, quanto mais tempo a água permanecer em contato com materiais solúveis que constituem o aquífero, maior será o seu conteúdo de sólidos totais dissolvidos. A tipologia da água também pode ser afetada por misturas de águas de diferentes aquíferos. Assim, a classe dominante da água do aquífero Serra Geral é considerada como sendo bicarbonatada cálcica. Ocorrem também, águas bicarbonatadas sódicas e águas bicarbonatadas cálcicas sódicas em menor intensidade (ROSA FILHO e HINDI 2006).

Bittencourt *et al.* (2003), em estudos na bacia do Piquiri afirmam que os principais processos de condicionamento do quimismo das águas do aquífero Serra Geral são: dissolução dos basaltos e equilíbrio com minerais secundários; misturas com águas de aquíferos sotopostos.

Fraga (1986), estabeleceu três fácies hidroquímicas: a fácies de águas bicarbonatadas calciomagnesianas e de águas bicarbonatadas cálcicas, relacionadas a natureza das estruturas armazenadoras dos derrames basálticos e a sua litoquímica e a fácies de águas bicarbonatadas sódicas que representam mistura com águas do aquífero Botucatu subjacente, revelando áreas de condicionamento topográfico e estrutural que permitem interconexão hidráulica entre os aquíferos Botucatu e Serra Geral. Já Rosa Filho *et al.* (1987), identificaram as seguintes fácies: águas bicarbonatadas cálcicas, típicas de basalto: águas cloretadas sódicas, afins ao aquífero Botucatu/Pirambóia (apresentando teores mais altos em sódio, pH básico e em alguns casos temperatura mais elevada): águas

bicarbonatadas potássicas com baixa concentração total de material solúvel relacionadas ao aquífero Caiuá.

Buchmann (2002), estudando a bacia hidrográfica do rio Iguaçu determinou três tipologias de água: águas bicarbonatadas cálcicas; águas bicarbonatadas sódicas e águas mistas. Para este autor os dois primeiros tipos de água são mais comuns nesta bacia. Bittencourt *et al.* (2003), afirma que água classificadas como mista são bastantes comuns no aquífero Serra Geral no Estado do Paraná.

Celligoi e Duarte (1994), em estudo das águas de poços do aquífero Serra Geral na região de Londrina, identificaram a tipologia bicarbonatada cálcica para essas águas relacionada com a mineralogia e natureza química dessas rochas e citam a predominância águas cálcicas sobre as sódicas pelo fato da grande solubilidade do cálcio das rochas basálticas e de que esse encontra-se presente em grande número de minerais dessas rochas, como augitas e pigeonitas, bem como plagioclásios cálcicos e sub cálcicos.

A água pura a 25 °C apresenta pH 7,0. Valores acima de 8,5 para o pH da água sugere que possa haver incrustação de carbonatos, enquanto que valores inferiores a 6,5 são propícios a processos de corrosão de materiais como concreto (HEM, 1985). O pH indica o estado de equilíbrio das reações aquosas, sendo que grande parte da sua estabilização em águas naturais é controlada pela reação de dissolução do CO₂ (HEM, 1985).

Os sólidos totais dissolvidos são a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água e representam a concentração de todo material dissolvido na água, volátil ou não. Esses teores possuem relação direta com a composição mineralógica da rocha-reservatório e com o tempo de percolação/residência das águas subterrâneas no interior do sistema. Em concentrações elevadas confere sabor desagradável à água quando ingerida. Buchmann (2002), afirma que a média para o Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do rio Iguaçu é de 152,34 mg.L⁻¹.

A maioria das águas em contato com os basaltos tem uma tendência a precipitar sílica seja como quartzo, calcedônia ou outro silicato, porém a reação é mais lenta do que a intemperização da rocha primária. Estes aspectos levam a teores de sílica superiores aquele do equilíbrio com a forma mais cristalizada menos solúvel da sílica que é o quartzo (BITTENCOURT *et al.*, 2003). A solubilidade da sílica é

diretamente proporcional à temperatura, todavia em temperaturas em torno de 20°C, por fatores cinéticos propiciam teores de sílica superiores ao equilíbrio com o quartzo. Bittencourt *et al.* (2003), estudando a bacia hidrográfica do rio Piquiri obteve valores de sílica dissolvida que variam de 8 a 63 mg.L⁻¹. O teor médio de sílica dissolvida da água dos poços do aquífero Serra Geral é de 39 mg.L⁻¹ (ROSA FILHO e HINDI, 2006).

A condutividade elétrica é a capacidade de uma substância de conduzir corrente elétrica. A água quimicamente pura tem uma condutividade muito baixa da ordem de 0,045 µS/cm a 18°C (DAVIS e DE WIEST, 1966 in CUSTÓDIO e LLAMAS 1983). No estado natural, a água apresenta condutividade elétrica diretamente proporcional à quantidade de íons dissolvidos (STD). Basta, porém, uma pequeníssima quantidade de material dissolvido para torná-la condutora, com componentes dissociados sob a forma de cátions e ânions. Quanto mais íons presentes, maior será a condutividade elétrica da água. Este parâmetro está diretamente ligado a concentração iônica, carga elétrica, estado de dissociação e da mobilidade dos íons. Os valores mais altos geralmente estão associados a águas com altas concentrações de sulfato (HEM, 1985).

O nitrato (NO₃⁻) normalmente ocorre em baixas concentrações em águas naturais. Este íon é um macronutriente para os vegetais por ser uma espécie iônica elemento contendo nitrogênio, essencial para todos as formas de vida. Altas concentrações de nitratos na água de poço podem resultar da penetração direta da água da superfície ou da infiltração de água poluída no aquífero através do solo. Sua variação nas águas é grande. Em muitas águas subterrâneas é improvável haver relação com as formações geológicas. Águas naturais podem conter quantidades de nitrato sem causar problemas graves a saúde, todavia teores superiores a 5 mg.L⁻¹ representam um indicativo de possíveis contaminações por fertilizantes ou dejetos animais (HEM, 1985).

O sulfato é comumente encontrado em águas com características solúveis a muitos solúveis exceto o sulfato de estrôncio (SrSO₄) e de bário (BaSO₄). Este íon pode ser derivado da gipsita, anidrita ou da pirita. Os teores podem aumentar a concentração a partir da água das chuvas e por dissolução de sulfetos que podem ocorrer em pequenas quantidades nos basaltos. As águas subterrâneas apresentam teores de sulfato na ordem de até 100 mg.L⁻¹, principalmente sob a forma de SO₄²⁻ e HSO₄⁻. Em águas muito ácidas, com pH menor que 2 ocorre predomínio de HSO₄⁻

devido a dissociação de ácido sulfúrico (HEM, 1985). Custódio e Llamas (1983), afirmam que atividades urbanas, industriais e agrícolas também podem aportar sulfatos para a água. Hindi (1999), afirma que os efluentes industriais e as chuvas ácidas podem ser consideradas como fontes de sulfatos. O teor médio de sulfatos da água dos poços do aquífero Serra Geral é de $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (ROSA FILHO e HINDI, 2006). Fraga (1986) definiu como teor médio de sulfato $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para a unidade Iguaçu.

Os cloretos são ânions abundantes na água do mar com concentrações de até 19.000 ppm. A água da chuva contém menos de 1,0 ppm de cloreto. Na água subterrânea das regiões úmidas o teor é baixo, comumente inferior a 5 ppm, a menos que o aquífero tenha sofrido intrusão de água do mar. Em águas doces os valores variam entre 10 a 250 mg.L^{-1} . Em geral, este íon, está associado ao sódio que é muito solúvel e muito estável em solução. O cloreto não sofre oxidação e nem redução em águas naturais. Custódio e Llamas (1983), afirmam que o íon cloreto é bastante solúvel, não chegando a saturar normalmente, provindo de terrenos de origem marinha, rochas evaporíticas e mistura com água marinha. Este íon, também, tem sido considerado um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixões que costumam ter altas quantidades de cloretos. Altas quantidades de cloretos são tóxicas para a maioria dos vegetais, inibindo seu crescimento. Um registro contínuo do teor de cloretos das amostras de água dos poços fornece informação da ocorrência ou não deste tipo de contaminação no aquífero (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Silva (1983), afirma que o cloreto pode ter origem por meio da precipitação meteórica e/ ou dissolução de micas como sericita ou biotita presentes em pequenas quantidades nas formações Pirambóia e Botucatu bem como cloritas e minerais secundários de alteração dos basaltos. De acordo Rosa Filho e Hindi (2006), o valor médio da água dos poços do aquífero Serra Geral é de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Fraga (1986) em estudo realizado no Estado do Paraná, obteve $1,37 \text{ mg.L}^{-1}$ de média na unidade Iguaçu.

Os fluoretos são freqüentemente encontrados em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. A principal fonte de fluoretos em rochas ígneas é a fluorita. Ocorre com concentrações entre 0,1 e $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas naturais, podendo atingir às vezes 10 mg.L^{-1} e raramente 50 mg.L^{-1} em águas muito sódicas, com pouco cálcio. Em regiões áridas, os fluoretos podem aparecer em quantidades

elevadas. A presença do cálcio limita a concentração do flúor. Doses excessivas de fluoreto são prejudicial ao homem e muito tóxico aos vegetais. Tirumalesh *et al.* (2007), afirmam que a solubilidade do flúor na presença excessiva de sódio e bicarbonatos do flúor é alta. Salve *et al.* (2008), determinaram uma relação entre o pH e flúor, o que indica que a alta natureza alcalina da água promove a lixiviação de flúor e, portanto, afeta a concentração de flúor nas águas subterrâneas.

Os íons carbonato e bicarbonato ocorrem naturalmente dissolvidos nas águas. A forma de ocorrência destes íons está diretamente relacionada ao pH do meio. Custodio e LLamas (1983), descrevem esta relação da seguinte forma:

- $pH < 4,5$ »»» »»» Ácido carbônico ► $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$
- $4,5 < pH < 8,3$ »»» Bicarbonato + ácido carbônico ► $H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$
- $8,3 < pH < 12,6$ »»» Bicarbonato + carbonato ► $HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$
- $pH > 12,6$ »»» Carbonato

O íon bicarbonato não se reduz, nem se oxida em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio. Varia entre 50 e 350 $mg.L^{-1}$ em águas doces, podendo chegar a 800 $mg.L^{-1}$. A água do mar possui teores da ordem de 100 $mg.L^{-1}$. É benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio.

Celligoi e Duarte (1994), verificaram que o teor médio de bicarbonatos é de 69 $mg.L^{-1}$ na região de Londrina e afirmam que o caráter bicarbonatado das águas é explicado pela densidade de vegetação nas áreas de recarga o que favorece a dissociação do ácido carbônico formado pela produção de dióxido de carbono atmosférico e do solo. Esta dissociação de ácido carbônico no processo de carbonatação impõe um caráter ácido a água favorecendo a dissolução de minerais formadores de rocha. Assim, é produzido uma carga residual que resulta na formação de minerais de argila e uma carga solúvel que contribui no enriquecimento das águas em cálcio, magnésio, ferro, sílica, bicarbonato (HEM, 1985). Rosa Filho e Hindi (2006), afirmam que o teor médio de bicarbonato da água dos poços do aquífero Serra Geral é de 38 $mg.L^{-1}$.

A dureza é definida como poder de consumo de sabão por determinada área ou a capacidade da água de neutralizar o sabão pelo efeito do cálcio, magnésio ou outros elementos como ferro, manganês, cobre, bário, etc. É normalmente expressa

em mg.L^{-1} de CaCO_3 e quando esta excede a alcalinidade é denominada de “dureza não carbonática” (HEM, 1985). O teor médio da dureza total da água dos poços do aquífero Serra Geral é de $52, \text{mg.L}^{-1}$ (ROSA FILHO e HINDI, 2006) .

O cálcio está presente em muitos minerais formadores de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, podendo ocorrer também como cimento carbonático em rochas sedimentares. A água em contato com essas rochas faz com que haja liberação de cálcio que é solubilizado e lixiviado. O cálcio pode ser derivado das águas da chuva e/ ou da dissolução de plagioclásios e minerais secundários do basalto como a calcita, ou aragonita. A presença de calcita é fundamental no controle dos teores de cálcio sendo que as zeólitas, também, minerais secundários dos basaltos, podem concorrer com a calcita no controle dos teores de cálcio. Este íon está freqüentemente em estado de saturação sendo que sua estabilidade em solução depende do equilíbrio $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ e pode precipitar-se com facilidade sendo muito afetado pela troca iônica (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983).

Rosa Filho e Hindi, (2006), afirmam que o teor médio de cálcio da água dos poços do aquífero Serra Geral é de 9 mg.L^{-1} . Fraga (1986) definiu um teor igual a $9,98 \text{ mg.L}^{-1}$ de cálcio para a unidade Iguaçu. Já, Rosa Filho e Hindi (2006), definem o teor médio de magnésio da água dos poços do aquífero Serra Geral varia entre $3,5$ e $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Fraga (1986) obteve o teor médio de magnésio igual a $2,48 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas dos poços de basalto para a unidade Iguaçu.

A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1° a 2°C) e independe diretamente da temperatura atmosférica, com variação representativa na média anual, excetuando-se pelos aquíferos freáticos pouco profundos em que a temperatura é pouco superior a da superfície. No Estado de São Paulo, a água dos poços completados na formação Serra Geral apresentam temperatura média de $24,75^\circ\text{C}$ (DAEE, 1976). Seguindo a direção de SE para NW, há um aumento dessa temperatura ocorrendo anomalias de até $31,40^\circ\text{C}$. Esse estudo diz que tais anomalias estão relacionadas a aquíferos inferiores, e que essas águas utilizariam grandes fraturas para atingirem níveis mais próximos da superfície. No Paraná, a temperatura média para as águas de poços perfurados no Aquífero Serra Geral é de $20,83^\circ\text{C}$, onde a variação vai de $17,00$ a $23,50^\circ\text{C}$ (BUCHMANN, 2002).

O sódio é o íon metálico mais abundante na água do mar, com uma concentração média de 10.000 ppm . Apresenta ampla distribuição de minerais fonte,

baixa estabilidade química dos minerais que o contém, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Quase todos os compostos contendo estes íons são solúveis, em consequência o sódio lixiviado das rochas ou do solo permanece em solução. Portanto, os compostos de sódio não precipitam para formar materiais incrustantes que podem obstruir poços. A água subterrânea com elevado teor de sódio é normalmente alcalina, podendo ter pH igual a 9 ou acima disto. Ocorre juntamente com cloretos nas águas subterrâneas e seus minerais fontes em rochas ígneas são essencialmente feldspatos plagioclásios, anfibólios e piroxênios. Silva (1983) afirma que os feldspatos constituem a principal fonte de sódio. Fraga (1986), define os valores médios de sódio de $16,19 \text{ mg.L}^{-1}$ para os basaltos da Bacia do Rio Iguaçu.

Bittencourt (1996), afirma que águas das fontes termais da bacia do Paraná em equilíbrio com argila caulínica, albita e minerais micáceos são influenciados por estes no controle dos teores de sódio, especialmente em condições de confinamento hídrico. Rosa Filho *et al.* (1987), consideram o sódio elevado geralmente acompanhado de pH acima de 8 como anomalias atribuídas a influência de águas do Aquífero Botucatu/ Pirambóia, subjacente à rochas basálticas.

O potássio ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido a sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e bastante utilizado pelos vegetais. Os valores de potássio na água subterrânea são inferiores a 10 mg.L^{-1} , e comumente entre 1 a 5 mg.L^{-1} .

3.10.1 QUALIDADE DE ÁGUA

A qualidade da água é determinada pelos solutos e gases dissolvidos na água, bem como pela matéria orgânica em suspensão. A água dissolve os constituintes minerais das rochas e os orgânicos dos solos ou se enriquece com substâncias dissolvidas e material em suspensão (GONÇALES e GIAMPÁ, 2006).

O relativamente lento movimento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe contato com os minerais que formam a crosta terrestre e que nela vão se dissolvendo em maior ou menor proporção. Assim, a água subterrânea vai aumentando o seu teor em substâncias dissolvidas, em seu movimento, até que encontre o equilíbrio entre diversas reações químicas.

Os minerais dissolvidos na água subterrânea afetam seus usos específicos. Se uma ou mais das substâncias dissolvidas estiverem presentes em quantidade superior a que pode ser tolerada, a água deve ser submetida a um tratamento que as elimine ou as remova, de modo que possa servir para o fim pretendido.

As diferentes propriedades da água, como o raio, posição dos átomos, elevado ponto de fusão, dentre outros, influem de forma considerável no seu comportamento, sob condições naturais, e controlam sua composição química. Quando substâncias estranhas são introduzidas na água, por processos naturais ou como resultado direto das atividades do homem, suas propriedades podem variar drasticamente.

Na natureza, é impossível encontrar água líquida quimicamente pura. As várias etapas do ciclo hidrológico conferem a água à capacidade de adquirir elementos químicos e dissolver. Com a precipitação, inicia-se um processo de incorporação de substâncias dissolvidas.

Vários processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na água controlam a sua composição química e a sua qualidade. A qualidade química da água subterrânea é, em geral, controlada por fatores como qualidade da água de recarga, tipo de aquífero, litologias percoladas, tempo de residência dentre outros (ROSA FILHO e HINDI, 2006).

Rosa Filho e Hindi (2006), registram-se alguns casos de ocorrência de íon fluoreto em concentrações anômalas, a exemplo de Itambaracá, no norte do Estado do Paraná, que impedem o aproveitamento do aquífero para abastecimento público. Concentrações de ferro total acima do VMP são freqüentes. As águas do Aquífero Serra Geral são, em regra geral, de boa qualidade para o consumo humano, salvo caso teores de elevados de ferro e sílica (GONÇALES e GIAMPÁ, 2006).

O uso da água subterrânea para fins de irrigação, por vezes pode ser limitado pelos efeitos adversos a solos e plantas por apresentar substâncias e componentes químicos dissolvidos na água associados à salinidade e ao sódio.

A água com conteúdo elevado de STD causam “risco de salinidade” e por vezes podem vir a ser tóxicas para as plantas. Concentrações elevadas de sólidos dissolvidos no solo podem causar uma condição de seca fisiológica, na qual, apesar do solo estar úmido, a planta irá murchar, pois as raízes não conseguirão absorver água. A concentração de sólidos totais dissolvidos, às vezes denominada de salinidade total, pode ser medida indiretamente pelo valor da condutividade elétrica

da água, já que estas duas grandezas são linearmente dependentes (ROSA FILHO e HINDI, 2006).

A irrigação com água contendo quantidades significativas de sódio causa o “risco de sódio”, devido aos efeitos do sódio no solo. O sódio é adsorvido pelas partículas do solo, que se torna duro e compacto quando seco e impermeável à penetração da água. Os solos de textura fina, com alto conteúdo de argila são os mais susceptíveis aos efeitos do sódio. A presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} em altas concentrações no solo ajudam a controlar os efeitos do sódio e a manter as propriedades texturais e estruturais do solo. O risco do sódio é expresso em termos de SAR (*sodium adsorption ratio*), que compara as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} na água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi feito um levantamento de dados sobre a área de estudo, incluindo uma revisão bibliográfica dos aspectos geológicos e hidrogeológicos da Formação Serra Geral. A seguir apresenta-se a seqüência de ações e métodos empregados para a execução deste trabalho.

4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS HIDROQUÍMICOS E HIDROGEOLÓGICOS

A compilação iniciou-se com a uma busca por dados de análises físico-químicas de poços tubulares profundos catalogadas pelos municípios da região no banco de dados hidrogeológicos da SUDERHSA e da SANEPAR. Assim nos 30 municípios da área de estudo foram obtidas 650 dados de análises físico-químicas.

4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS HIDROQUÍMICOS

Das 650 amostras apenas 110 puderam ser usadas nesta etapa inicial de trabalho, visto que o restante não apresentava dados suficientes ou confiáveis. Posteriormente essas 110 amostras, foram sujeitadas ao teste de consistência das análises restando apenas 57 amostras. As demais não foram utilizadas porque não havia consistência em seus balanços iônicos.

Foram utilizados laudos de análises físico-químicas dos poços que apresentavam os ânions (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- , F^- , SO_4^{2-}) e cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) predominantes, além de pH, condutividade elétrica, sílica dissolvida, dureza total, ferro total, temperatura e sólidos dissolvidos totais (STD).

Para o parâmetro condutividade foram obtidas três medidas. A primeira foi a registrada através de análises laboratoriais. A segunda foi determinada através da fórmula proposta por Custodio e Llamas (1983), ou seja:

$$CC = STD \times 1,35$$

CC = Condutividade Calculada ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)

A terceira medida de condutividade foi obtida através do método de Logan-Rossum. Logan (1961), apresenta um procedimento modificado de Rossum (1949), que embora complexo apresenta resultados com erros inferiores a 10%. O cálculo da condutividade é feito levando-se em conta as concentrações individuais de íons

normalmente determinados nas análises de água. Neste método a condutividade é calculada em duas etapas. A primeira é determinada através da seguinte equação:

$$C' = 52(\text{Ca}^{2+}) + 46,6(\text{Mg}^{2+}) + 48,9(\text{Na}^+) + 72,0(\text{K}^+) + 84,6(\text{CO}_3) + 43,6(\text{HCO}_3^-) + 75,9(\text{Cl}^-) + 71,0(\text{NO}_3) + 79,3(\text{SO}_4^{2-})$$

* Dados em meq.L⁻¹

O valor da condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) é então corrigido, de acordo com a concentração iônica "T" em meq.L⁻¹, dada pela metade da soma das concentrações de cátions e ânions em meq.L⁻¹, conforme os seguintes critérios:

a- se $T < 10 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo HCO_3^- o íon dominante » $C = C' - (C'^{-1,447}/157)$

b- se $T > 10 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo Cl^- o íon dominante » $C = C' - (C'^{-1,380}/178)$

c- se $T > 10 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo SO_4^{2-} o íon dominante » $C = C' - (C'^{-1,436}/116)$

4.2.1 MÉTODOS ANALÍTICOS

As amostras que tiveram seus parâmetros analisados pelo LPH (Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas – UFPR) utilizaram os seguintes métodos:

- pH: Método Potenciométrico
- Condutividade: Condutimetria
- Turbidez: Método Nefelométrico
- Cor: Colorímetro
- Cloretos: Titulométrico com Nitrato de mercúrio
- Sulfatos: Turbidimétrico
- Fluoretos: Colorimétrico: Spadnss
- Sólidos Totais Dissolvidos: Gravimetria
- Carbonatos e Bicarbonatos: Volumetria
- Dureza, Cálcio e Magnésio: Complexometria com EDTA- Titulométrico
- Sódio e Potássio: Fotometria de chama Emissão de chama
- Ferro total: fenantrolina
- Sílica solúvel: Molibdato

Enquanto que as amostras submetidas às análises em outros laboratórios não informaram seus métodos utilizados.

4.2.2 TESTE DE CONSISTÊNCIA DAS ANÁLISES

4.2.2.1 BALANÇO IÔNICO

O balanço iônico é uma ferramenta fundamental para uma pesquisa hidroquímica completa. A diferença de balanço iônico (DBI) foi calculado após a transformação de unidade das concentrações de mg.L^{-1} para meq.L^{-1} seguindo a Equação de Stabler, definida por:

$$\text{meq} / L = \frac{c}{n}$$

c = concentração do elemento em mg.L^{-1} / massa atômica do elemento

n = número de oxidação

O balanço iônico é dado pela fórmula determinado pelo coeficiente de erro da análise que pode ser expresso por (LLOYD e HETHCOTE, 1985):

$$\text{DBI}(\%) = 100 \times [(\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions} / (\sum \text{cátions} + \sum \text{ânions})]$$

Neste trabalho foram utilizadas análises físico-químicas com DBI médio de 3,62%. O valor máximo foi de 8,93% e o mínimo de 0,02%. O DBI não deve ser superior a 10 % para uma análise ser considerada admissível (BITTENCOURT *et al.*, 2000).

4.3 AVALIAÇÕES HIDROQUÍMICAS

4.3.1 QUALIDADE DA ÁGUA

Para a avaliação da água para o consumo humano foram utilizadas duas normas. A primeira foi a Portaria 518 do Ministério da Saúde e a segunda foi Resolução 396/2008 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente).

Para determinar a qualidade da água subterrânea para fins de irrigação da área de estudo foi utilizado o gráfico *SAR* (*sodium adsorption ratio*) que considera os parâmetros sódio e condutividade elétrica para estabelecer esta relação. O risco do

sódio é expresso em termos de SAR (*sodium adsorption ratio*), que compara as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} na água. O SAR é calculado pela seguinte equação:

$$SAR = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{1}{2}([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}}$$

- $[\text{Na}^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]$, e $[\text{Mg}^{2+}]$ são as concentrações desses íons, expressas em mmol.L^{-1} .

4.3.2 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

4.3.2.1 CLASSIFICAÇÃO POR ÍONS PRINCIPAIS

Esta classificação considera as porcentagens maiores que 25% das concentrações em meq.L^{-1} dos cátions e dos ânions separadamente. Segundo a classificação de Custódio e Llamas (2001), estas relações são identificadas com um número que representa os cátions e uma letra que representa os ânions conforme a tabela 2. Também podem ser incluídos os valores de condutividade.

TABELA 2. Referência para a classificação por íons principais. Dados em meq.L^{-1} .

| Ânions | | | | Cátions | | | |
|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | rCl^- | $> \text{rSO}_4^{2-}$ | $> \text{rHCO}_3^-$ | a | rNa^+ | $> \text{rMg}^{2+}$ | $> \text{rCa}^{2+}$ |
| 2 | rCl^- | $> \text{rHCO}_3^-$ | $> \text{rSO}_4^{2-}$ | b | rNa^+ | $> \text{rCa}^{2+}$ | $> \text{rMg}^{2+}$ |
| 3 | rSO_4^{2-} | $> \text{rCl}^-$ | $> \text{rHCO}_3^-$ | c | rMg^{2+} | $> \text{rNa}^+$ | $> \text{rCa}^{2+}$ |
| 4 | rSO_4^{2-} | $> \text{rHCO}_3^-$ | $> \text{rCl}^-$ | d | rMg^{2+} | $> \text{rCa}^{2+}$ | $> \text{rNa}^+$ |
| 5 | rHCO_3^- | $> \text{rCl}^-$ | $> \text{rSO}_4^{2-}$ | e | rCa^{2+} | $> \text{rNa}^+$ | $> \text{rMg}^{2+}$ |
| 6 | rHCO_3^- | $> \text{rSO}_4^{2-}$ | $> \text{rCl}^-$ | f | rCa^{2+} | $> \text{rMg}^{2+}$ | $> \text{rNa}^+$ |

C-1: Condutividade a 25 °C entre 0 e 250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (entre 0 e 215 a 18°)

C-2: Condutividade a 25 °C entre 250 e 750 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (entre 215 e 650 a 18°)

C-3: Condutividade a 25 °C entre 750 e 2250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (entre 650 e 2000 a 18°)

C-4: Condutividade a 25 °C maior que 2250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (maior que 2000 a 18°)

4.3.2.2 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO SCHOELLER

Esta classificação é mais complexa, pois considera os teores absolutos (em meq.L⁻¹) dos íons principais e faz ênfase na denominação segundo cada ânion (TABELAS 3, 4, 5 e 6). E o último referencia é dada pela tabela 2.

TABELA 3. Referências para o ânion cloreto.

| Grupo de cloretado | Denominação | Valor rCl (meq.L ⁻¹) | Observação |
|--------------------|------------------|----------------------------------|--|
| 1 | Hipercloretado | > 700 | Água do mar até a saturação de 560 meq.L ⁻¹ |
| 2 | Cloretado | 700 a 420 | |
| 3 | Cloretado forte | 420 a 140 | |
| 4 | Cloretado médio | 140 a 40 | |
| 5 | Oligocloretado | 40 a 15 | |
| 6 | Cloretado normal | < 10 | |

TABELA 4. Referências para o ânion sulfato.

| Grupo de sulfatos | Denominação | Valor rSO ₄ (meq.L ⁻¹) | Observação |
|-------------------|------------------|---|------------------------------------|
| 1 | Hipersulfatado | > 58 | Água do mar 58 meq.L ⁻¹ |
| 2 | Sulfatado | 58 a 24 | |
| 3 | Oligosulfatado | 24 a 6 | |
| 4 | Sulfatado Normal | < 6 | |

TABELA 5. Referências para o ânion bicarbonato.

| Grupo de bicarbonatos | Denominação | Valor rHCO ₃ ⁻ |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 1 | Hiperbicarbonatado | > 7 |
| 2 | Bicarbonatado normal | 7 a 2 |
| 3 | Hipobicarbonatado | < 2 |

TABELA 6. Referências para classificação segundo Schoeller. Dados em meq.L⁻¹.

| Tipo | Caráter | Subtipo | Caráter | Parcial | Caráter | | |
|------|----------------------|---------|-------------------------|-------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | rCl > rNa icb (+) | a | rCa > rHCO ₃ | α | rCa > rSO ₄ + rHCO ₃ | | |
| | | | | αβ | rCa = rSO ₄ + rHCO ₃ | | |
| | | | | β | rCa < rSO ₄ + rHCO ₃ | | |
| | | | | ab | | rCa = rHCO ₃ | |
| | | b | | rCa < rHCO ₃ | | | |
| 2 | rCl = rNa icb = 0 | a | rCa > rHCO ₃ | ab | | rCa = rHCO ₃ | |
| | | | | b | | rCa < rHCO ₃ | |
| | | | | | | b | |
| 3 | rCl < rNa icb (-) | a | rCa > rHCO ₃ | ab | | rCa = rHCO ₃ | |
| | | | | b | rCa < rHCO ₃ | α | rHCO ₃ < rMg + rCa |
| | | | | | | αβ | rHCO ₃ = rMg + rCa |
| | | β | | rHCO ₃ > rMg + rCa | | | |

4.3.2.3 CLASSIFICAÇÃO PELA DUREZA

Este tipo de classificação baseia-se na quantidade de Ca²⁺ e Mg²⁺ em mg.L⁻¹ CaCO₃ (TABELA 7).

TABELA 7 - Classificação das águas segundo a dureza em mg.L⁻¹ CaCO₃. Fonte: Custódio e Llamas. (1983).

| TIPO | TEOR DE Ca ²⁺ + Mg ²⁺ em CaCO ₃ (mg.L ⁻¹) |
|------------|--|
| BRANDA | < 50 |
| POUCO DURA | 50 – 100 |
| DURA | 100 – 200 |
| MUITO DURA | >200 |

4.3.2.4 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO PIPER

Para esta classificação considera-se que os íons plotados são expressos em concentrações relativas (meq.L^{-1}) de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e de ânions (HCO_3^- , $+\text{CO}_3^{2-}$, Cl^- , SO_4^{2-}) em um diagrama triangular. Este diagrama é composto por dois diagramas ternários. Um compõe o diagrama de cátions definindo sua classificação, o outro apresenta a classificação para os ânions. Um terceiro diagrama apresenta o resultado de classificação para os cátions e ânions.

4.3.3 AVALIAÇÃO POR DIAGRAMA TERNÁRIO E AMOSTRAS DE ROCHA

Para esta classificação foram obtidas 25 análises químicas de rocha cedidas gentilmente pela MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná) através do geólogo Edir Ademir Arioli e plotadas em um diagrama ternário expresso em concentrações relativas (meq.L^{-1}) de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ + K^+). As amostras de rocha utilizadas estavam catalogadas pelo município em que foram amostradas. Além destas amostras de rocha, foram plotadas as 57 amostras de água no mesmo diagrama.

4.3.4 ÍNDICES DE SATURAÇÃO

O cálculo do índice de saturação de distintas espécies minerais é feito a partir das concentrações dos solutos obtidas nas análises físico-químicas, do pH e da temperatura, medidos no instante da coleta da amostra, aplicando-se a expressão:

$$\text{IS} = \log (\text{IAP}/\text{K})$$

IAP= produto da atividade iônica

K = produto de solubilidade para a reação de dissolução da espécie mineral considerada

TABELA 8. Limites dos estados de saturação e sua respectiva classificação.

| Limites dos Índices de Saturação | Estados de Saturação |
|----------------------------------|----------------------|
| Abaixo de -0,10 | Subsaturada |
| -0,10 a 0,10 | Equilíbrio |
| Acima de 0,10 | Supersaturada |

As quinze amostras de água que apresentavam dados de temperatura foram lançados no programa *Pheereqc 2.15.02697*. Assim, obteve-se como resultados os índices de saturação dos minerais para cada amostra. Foram plotadas um total de 15 amostras com os seguintes parâmetros Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , $+\text{CO}_3^{2-}$, Cl^- , SO_4^{2-} , pH, STD, NO_3^- , sílica dissolvida, ferro e temperatura.

4.3.5 DIAGRAMAS DE ESTABILIDADE

Os diagramas de estabilidade, também denominados de diagramas de Khorzinskii, determinam regiões no gráfico de concentrações em que os minerais aluminossilicatos mostram-se estáveis para os parâmetros Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e H_4SiO_4 . Os resultados são plotados em um gráfico em escala logarítmica de atividade iônica para os mesmos parâmetros. Assim, foram plotadas 15 amostras com os valores de atividade iônica determinada pelo software *Pheereqc 2.15.02697*. As áreas de estabilidade de cada mineral são determinadas segundo equações de retas originadas nas reações entre os minerais envolvidos (FREEZE e CHERRY, 1979).

Os diagramas são estruturados no logaritmo da atividade da razão entre o íon a ser estabelecido (Ca^{2+} , K^+ ou Na^+) e a atividade hidrogeniônica (H^+), no eixo das ordenadas e no logaritmo da atividade de sílica, na forma de ácido silícico (H_4SiO_4), no eixo das abscissas.

4.4 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para a elaboração do banco de dados utilizados nesta dissertação, foram catalogadas e georreferenciadas 57 amostras de águas com análises físico-químicas (anexo I) de forma que:

- 19 análises físico químicas fornecidas pelo banco de dados da SUDERHSA;
- 38 análises físico químicas fornecidas pelo banco de dados da SANEPAR.

Esses poços também apresentavam dados de vazão, nível estático, nível dinâmico, profundidades de entradas de água e profundidade de perfuração (anexo II) que foram juntamente inseridos no banco de dados. A distribuição espacial dos poços tubulares profundos pode ser visualizada na figura 15.

4.5 OBTENÇÃO DO *GRID SRTM 90*

Foram obtidas imagens *SRTM 90* que possibilitaram a exposição de toda a área de estudo (FIGURA 16). O projeto *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* é uma missão conjunta entre a *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*, *DLR (Das Deutch Zentrum Für Luft and Raumfahrt – agência espacial alemã)* e *AZI (Agenzia Spaziale Italiana)* que tem como objetivo gerar um modelo digital de elevação para cerca de 80 % das áreas continentais do planeta. As grades horizontais apresentam uma resolução horizontal de aproximadamente 90 m (*SRTM 90*). As imagens possibilitaram a definição do modelo digital de elevação (*MDE*).

4.6 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

Com a obtenção de imagens *SRTM 90* foi possível o traçado de lineamentos estruturais que foram definidos na escala 1:600.000 e 1:300.000 com o auxílio do programa *Arcview 3.3*, *ArcGis 9.1* e *Surfer 8*. Após essa etapa foram caracterizadas as estruturas da área.

Para a elaboração dos diagramas de roseta foi utilizado o *software Stereonett 2.46*.

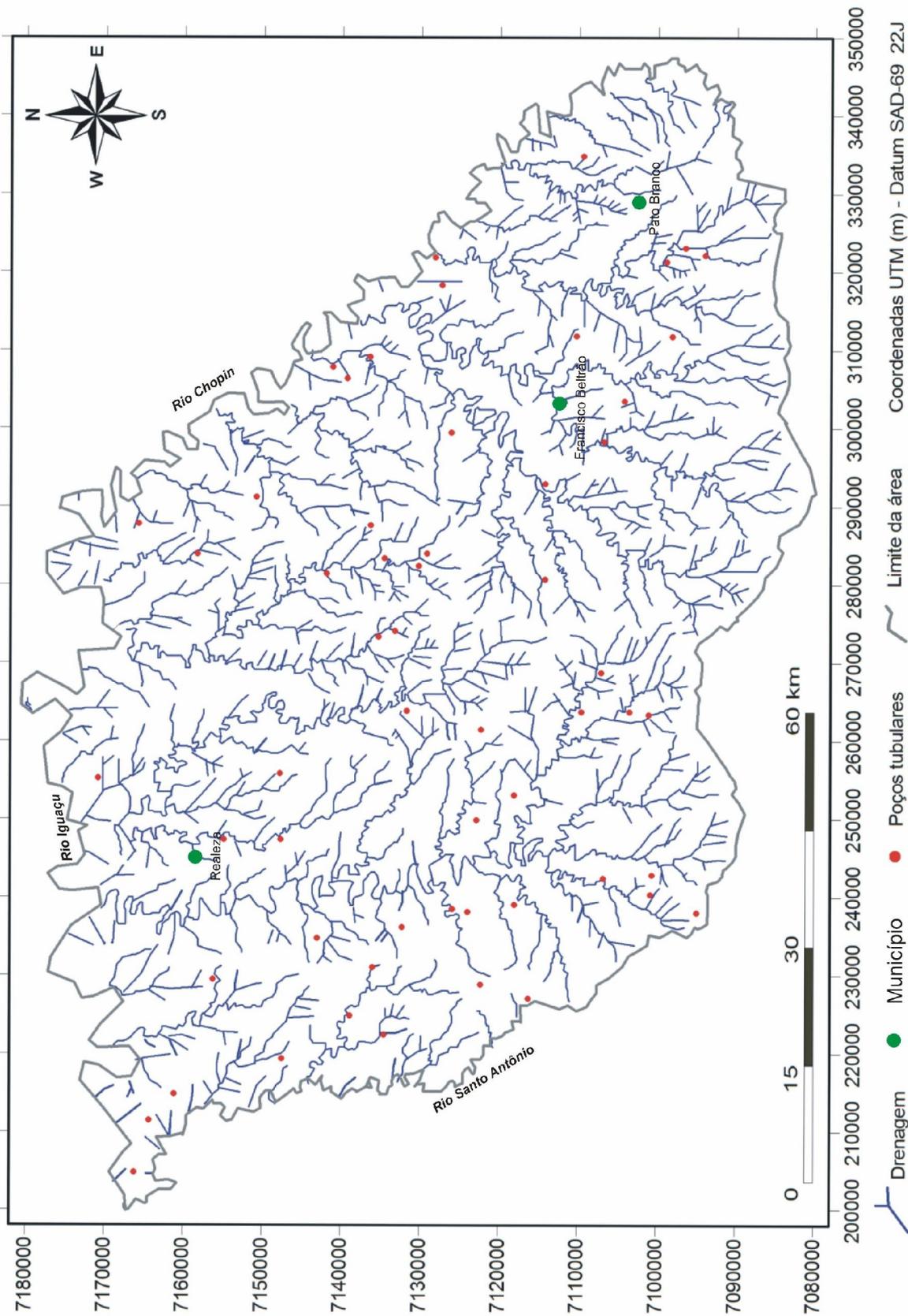


FIGURA 15. Localização dos poços tubulares na área de estudo.

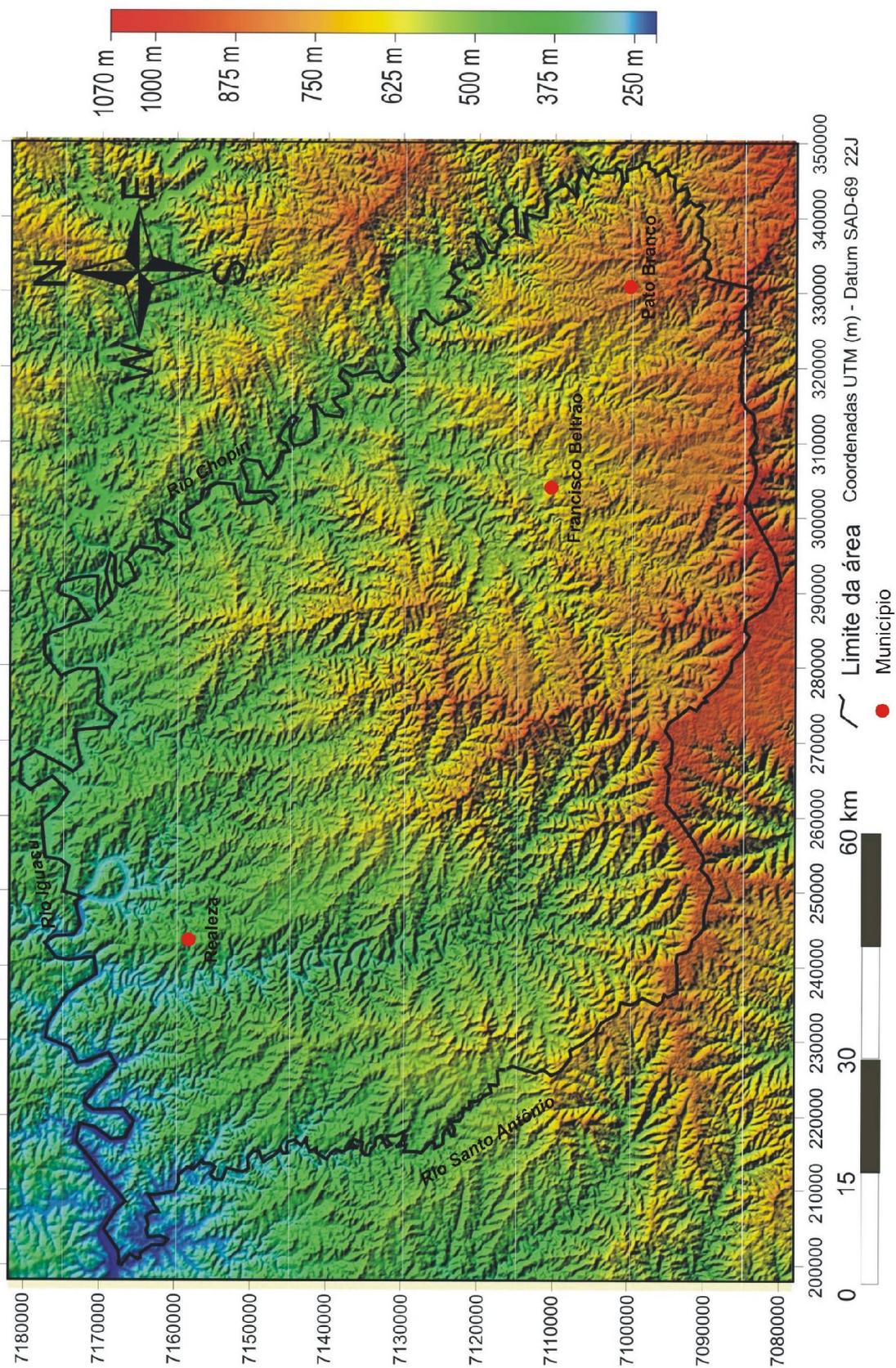


FIGURA 16. Imagem SRTM (MDE) da área de estudo.

4.7 DADOS DE CAMPO

Foi realizado uma etapa de campo com o objetivo de reconhecer, observar e medir estruturas geológicas observadas com auxílio de uma bússola tipo *Brunton*. Os pontos foram georeferenciados com o auxílio de um *GPS (System Global Positioning) Garmin Legend*. Também foram obtidas fotos da área de estudo (anexo 3).

4.8 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Com os dados de 57 análises físico-químicas, características hidrodinâmicas dos poços e caracterização estrutural buscou-se fazer a integração desses dados.

Com auxílio de programa *Excel* foram geradas planilhas e gráficos. Foram também gerados os seguintes dados estatísticos: média, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão.

No programa *AqQa 1.1* foram gerados o diagrama de Piper. Para a geração do gráfico SAR foi usado o programa *Qualigraf*.

5 RESULTADOS

5.1 HIDROQUIMICA

O estudo hidroquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos da água subterrânea, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

Para um melhor entendimento do aquífero Serra Geral na região de estudo e suas características hidroquímicas foram descritas cada um dos parâmetros físico-químicos a seguir.

5.1.1 PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS

5.1.1.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O potencial de hidrogênio (pH) representa a atividade do íon hidrogênio de uma solução aquosa. Varia em escala logarítmica.

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

[] = atividade iônica

A concentração relativa dos íons hidrogênio na água indica se essa apresenta caráter ácido ou alcalino. Para a região de estudo o valor médio para pH foi de 8,11. O máximo de 9,95 e mínimo de 6,69 (FIGURA 17). O desvio padrão foi de 0,89 e a mediana de 7,89.

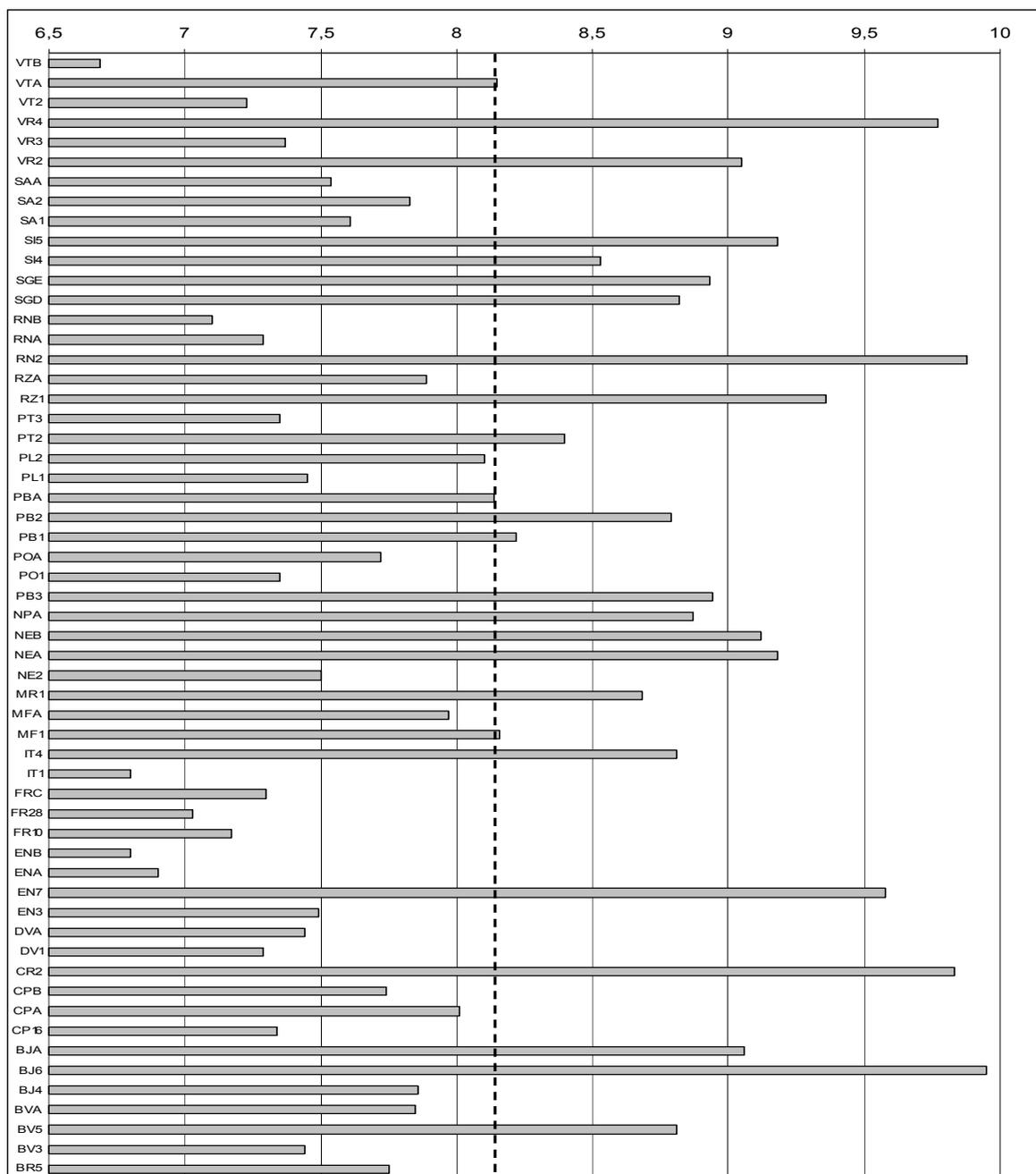


FIGURA 17. Gráfico para o parâmetro pH com as amostras no eixo das ordenadas. A linha tracejada indica a média.

5.1.1.2 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Para a condutividade registrada em laboratório registrou-se uma média de 191,24 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O valor máximo obtido foi de 757 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o mínimo de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para a condutividade calculada pela fórmula proposta por Custódio e Llamas (1983), obteve-se um mínimo de 10,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o máximo de 571,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para não alterar a tendência geral dos gráficos, optou-se por não plotar a amostra NPA (FIGURA 18). Esta diferença pode ser resultado da fórmula considerar apenas o teor de STD. Já o método de Logan-Rossum indicou resultados mais próximos ao determinado em laboratório com coeficiente de determinação (R^2) de 0,84. Isto ocorre pelo fato de que o método de Logan-Rossum considera vários parâmetros na sua equação.

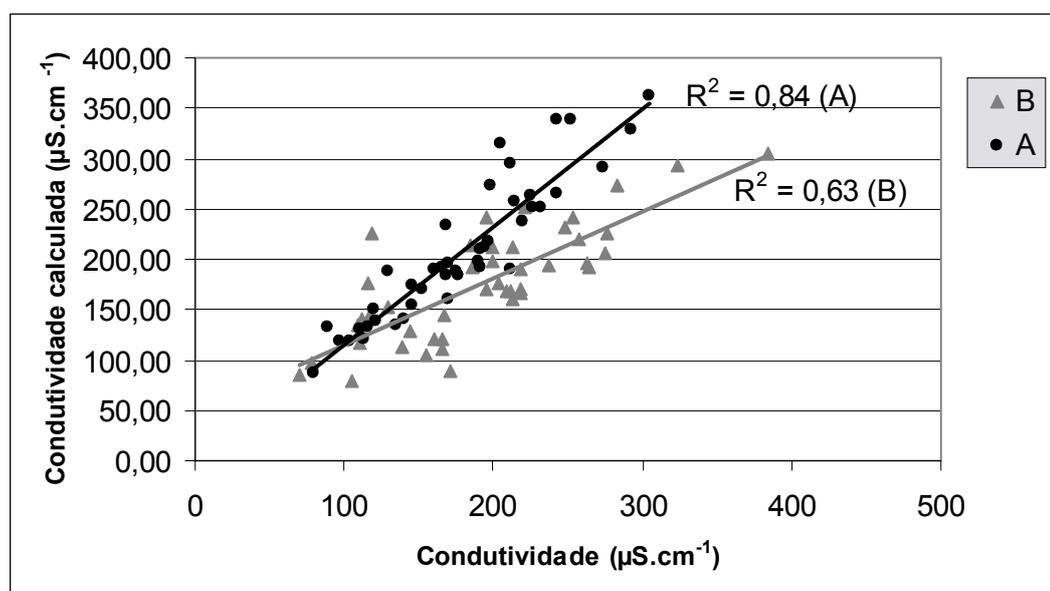


FIGURA 18. Gráfico que representa a variação de condutividade e condutividade calculada. A - método de Logan-Rossum – B método de Custodio e Llamas(1983). O eixo x representa a condutividade determinada em laboratório. Dados em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Para a área de estudo, observa-se que os valores de condutividade não apresentam relação tão evidente com os STD e uma baixa relação com o sódio (FIGURA 19).

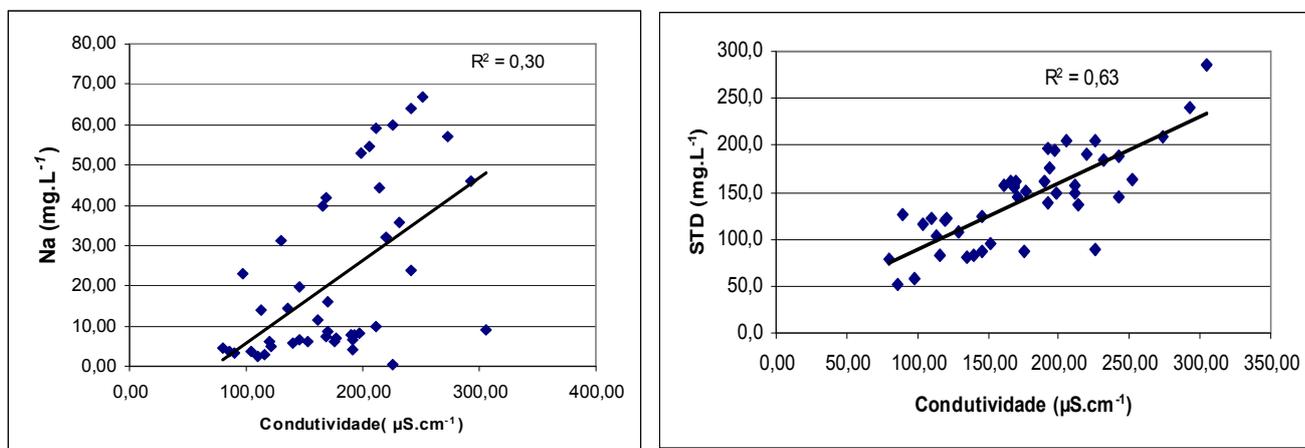


FIGURA 19. Relações entre condutividade e sódio; condutividade e STD.

5.1.1.3 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Os sólidos totais dissolvidos representam o total de teores de todos os constituintes minerais presentes na água. Esses teores indicam uma relação direta com a composição mineralógica da rocha-reservatório e com o tempo de percolação/residência das águas subterrâneas no interior do sistema. Neste estudo o valor médio observado é de 147,0 mg.L⁻¹, sendo o máximo é de 423 mg.L⁻¹ e o mínimo de 52,0 mg.L⁻¹ (FIGURA 20). A mediana é de 147,0 mg.L⁻¹ e o desvio padrão é 60,05 mg.L⁻¹.

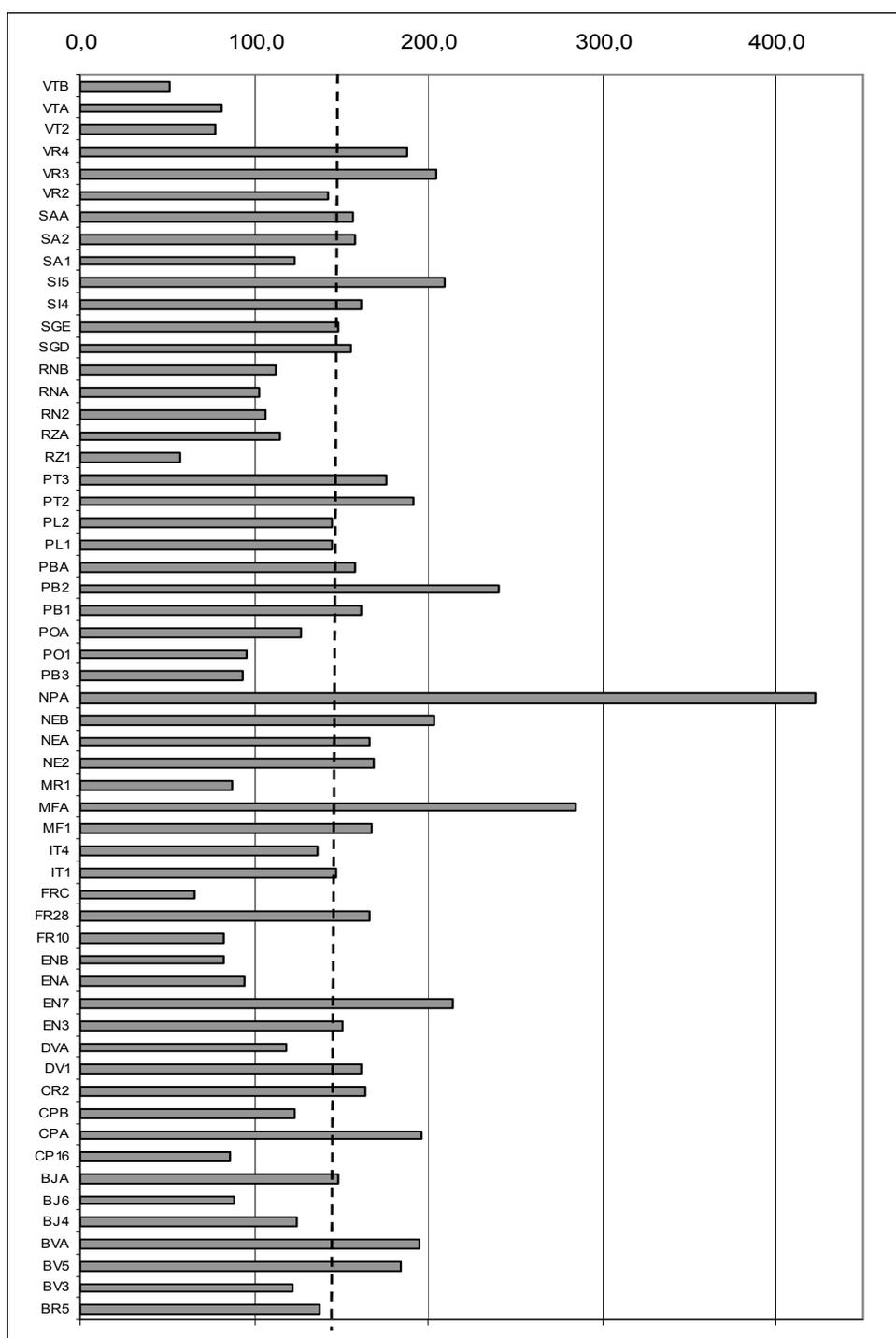


FIGURA 20. Gráfico que representa os valores de STD para as amostras analisadas. Dados em mg.L^{-1} . O eixo y indica o nome da amostra. A linha tracejada indica a média

5.1.1.4 SÍLICA DISSOLVIDA

A sílica dissolvida representa a parcela da sílica que permanece em solução após o intemperismo químico das rochas. Sua solubilidade é diretamente proporcional à temperatura.

Neste trabalho, obteve-se uma média de 39,50 mg.L⁻¹. Já o valor máximo foi de 73,30 mg.L⁻¹ e o mínimo de 12,59 mg.L⁻¹. A mediana é de 41,6 mg.L⁻¹ e o desvio padrão de 14,85 mg.L⁻¹.

5.1.1.5 NITRATO

Nitrato é uma espécie química que pode indicar contaminação antrópica causada por efluentes domésticos, industriais ou fertilizantes. Fazendas de criação de animais podem produzir quantidades consideráveis de rejeitos orgânicos nitrogenados, concentrados nos locais de confinamento dos animais, que causam a contaminação do aquífero freático pela lixiviação, por água de chuva desses rejeitos orgânicos. Neste trabalho obteve-se uma média de 2,28 mg.L⁻¹. Já o máximo verificado foi de 12,91 mg.L⁻¹. A mediana foi de 1,24 mg.L⁻¹.

5.1.1.6 FERRO TOTAL

O teor de ferro de uma amostra de água qualquer pode ser adquirido através do contato da água com partes metálicas que contenha ferro no revestimento do poço ou de partes da bomba ou encanamento. Porém, também é comum em quantidades aproximadas de até 0,3 mg.L⁻¹ de ocorrência do ferro na água subterrânea. Este elemento ocorre sob a forma de íon ferroso (Fe²⁺) e férrico (Fe³⁺). O ferro no estado mais baixo de oxidação é instável, sendo oxidado para o estado férrico que é insolúvel em água alcalina.

Neste trabalho obteve-se um valor médio de 0,09 mg.L⁻¹ e mediana de 0,05 mg.L⁻¹. O valor máximo registrado foi de 0,64 mg.L⁻¹.

5.1.1.7 SULFATO

O sulfato é muito comum em águas com características solúveis. Este íon na Formação Serra Geral comumente tem sua origem associado a pirita. Os teores podem aumentar a concentração a partir da água das chuvas e por dissolução de sulfetos que podem ocorrer em pequenas quantidades nos basaltos. As águas subterrâneas apresentam teores de sulfato na ordem de até 100 mg.L^{-1} , principalmente sob a forma de SO_4^{2-} e HSO_4^- . Neste trabalho o teor médio de sulfato encontrado é de $6,11 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que a mediana é $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e o máximo igual a 252 mg.L^{-1} .

5.1.1.8 CLORETOS

Os cloretos são abundantes na água do mar. A água da chuva contém menos de 1,0 ppm de cloreto. Na água subterrânea das regiões úmidas o teor é baixo, comumente inferior a 5 ppm, a menos que o aquífero tenha sofrido intrusão de água do mar. Neste trabalho, a média verificada é de $3,22 \text{ mg.L}^{-1}$, e a mediana corresponde a $1,55 \text{ mg.L}^{-1}$. A máxima concentração obtida foi de $37,24 \text{ mg.L}^{-1}$ e a mínima de $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$. A mediana é de $1,55 \text{ mg.L}^{-1}$ e o desvio padrão de $5,44 \text{ mg.L}^{-1}$.

5.1.1.9 FLUORETO

O fluoreto é freqüentemente encontrado em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. A principal fonte de fluoreto em rochas ígneas, como o basalto é a fluorita. Neste trabalho obteve-se uma média de $0,22 \text{ mg.L}^{-1}$. O máximo teor verificado foi de $2,95 \text{ mg.L}^{-1}$ e o mínimo foi de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. A mediana foi de $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ e o desvio padrão de $0,41 \text{ mg.L}^{-1}$.

5.1.1.10 CARBONATO E BICARBONATO

Os íons carbonato e bicarbonato ocorrem naturalmente dissolvidos nas águas. Em águas associadas a basaltos, os valores de bicarbonato são altos. Neste trabalho, verificou-se que o teor médio de bicarbonato foi de $90,3 \text{ mg.L}^{-1}$ e a mediana

de 88,5 mg.L⁻¹. O máximo teor foi de 221,82 mg.L⁻¹ e mínimo de 0,50 mg.L⁻¹. O desvio padrão foi de 42,34 mg.L⁻¹.

A média de carbonato foi de 10,33 mg.L⁻¹. O valor máximo obtido foi de 112,0 mg.L⁻¹. O desvio padrão de 20,52 mg.L⁻¹.

5.1.1.11 SÓDIO E POTÁSSIO

Os compostos contendo sódio apresentam grande solubilidade, em consequência o sódio lixiviado das rochas ou do solo permanece em solução. Na área de estudo verificou-se que o teor médio de sódio foi de 22,71 mg.L⁻¹ e mediana de 9,9 mg.L⁻¹ enquanto que o máximo foi de 134 mg.L⁻¹. Já a mediana foi de 9,9 mg.L⁻¹.

O potássio ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido a sua participação intensa em processos de troca iônica. Para este estudo obteve-se um valor médio de potássio referente a 0,72 mg.L⁻¹ e a mediana igual a 0,70 mg.L⁻¹. O valor máximo foi igual a 1,95 mg.L⁻¹.

5.1.1.12 CÁLCIO, MAGNÉSIO E DUREZA TOTAL

Para este trabalho, observou-se um valor médio de dureza total de 51 mg.L⁻¹. O valor máximo obtido foi de 168,75 mg.L⁻¹, e o mínimo de 1,67 mg.L⁻¹. Na área de estudo, observa-se que o cálcio da dureza total está diretamente relacionada à composição das rochas básicas da formação Serra Geral, enquanto que o magnésio não apresenta esta relação (FIGURA 21). Neste gráfico optou-se por não plotar a amostra MFA para evitar o deslocamento da tendência geral da reta. Isto pode ser indicativo do cálcio estar mais “solúvel” na água que o magnésio.

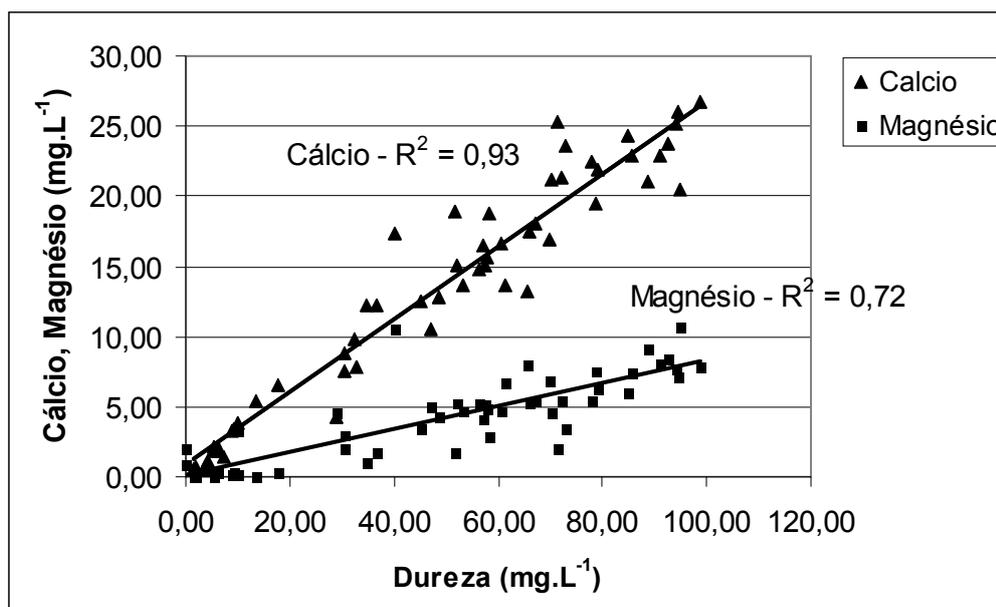


FIGURA 21. Gráfico para os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (eixo das ordenadas) e dureza total (eixo das abscissas). Dados em mg.L^{-1} .

Neste trabalho o teor médio de cálcio é de $13,86 \text{ mg.L}^{-1}$, o máximo de $45,46 \text{ mg.L}^{-1}$ e o mínimo igual a $0,59 \text{ mg.L}^{-1}$. A mediana é de $14,82 \text{ mg.L}^{-1}$.

O magnésio da água pode ser resultante do ataque sobre os silicatos magnesianos e ferromagnesianos como os piroxênios. Já Silva (1983), por sua vez pressupõe que o magnésio possa ser originário da dissolução dos piroxênios dos basaltos.

Neste trabalho verificou-se que a média do teor de magnésio foi de $4,13 \text{ mg.L}^{-1}$ e mediana de $4,52 \text{ mg.L}^{-1}$. O máximo obtido foi de $13,61 \text{ mg.L}^{-1}$ e mínimo de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$.

5.1.1.13 TEMPERATURA

Das 57 amostras analisadas apenas 15 destas apresentavam o valor de temperatura. As temperaturas da água subterrânea apresentam uma pequena variação e respondem à média da variação anual de temperatura atmosférica local. Sua variação é significativa, principalmente em aquíferos profundos devido ao

gradiente térmico (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983). A variação da temperatura na água controla os valores de pH e as reações químicas.

A temperatura média das amostras é igual a 21,4 °C com um valor máximo observado igual a 25,0 °C e o menor valor de 19,9 °C.

5.1.2 QUALIDADE DA ÁGUA

5.1.2.1 QUALIDADE PARA CONSUMO HUMANO

As amostras foram analisadas quanto à concentração dos seus constituintes para avaliação de qualidade para o consumo humano. No entanto, deve-se deixar claro, que isso não inviabiliza o aproveitamento da maioria dessas águas para consumo humano. É apenas um indicativo da qualidade e que muitas vezes um tratamento simplificado da água pode deixá-la apta para o abastecimento público.

O Ministério da Saúde e o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) apresentam uma norma com valores máximos permitidos (VMP) da água para consumo humano (TABELA 9).

TABELA 9. Valores máximos permitidos de água para consumo humano conforme Portaria 518 MS e Resolução 396/2008 do CONAMA. * valores sem referência.

| Parâmetro | Valores Máximos na área de estudo (mg.L⁻¹) | VMP (mg.L⁻¹) Portaria 518 MS | VMP (mg.L⁻¹) Resolução 396 /2008 Conama |
|-------------------|--|--|---|
| Dureza total | 168,75 | 500 | 500 |
| STD | 423,0 | 1000 | 1000 |
| Sílica Dissolvida | 73,30 | * | * |
| Bicarbonato | 221,82 | * | * |
| Carbonato | 112,0 | * | * |
| Cloreto | 49,70 | 250 | 250 |
| Sulfato | 252,20 | 250 | 250 |
| Nitrato | 12,91 | 45 | 100 |
| Cálcio | 45,46 | * | * |
| Magnésio | 28,10 | * | * |
| Sódio | 134,0 | 200 | 200 |
| Potássio | 1,95 | * | * |
| Fluoreto | 2,95 | 1,5 | 1,5 |
| Ferro total | 0,64 | 0,3 | 0,3 |

De acordo com este contexto todas as amostras apresentam qualidade para o consumo humano para os parâmetros dureza total, STD, cloreto, nitrato e sódio. Para o parâmetro sulfato apenas a amostra NPA com valor de 252,20 mg.L⁻¹ não possui qualidade para consumo humano. Para o parâmetro ferro total as amostras FB10 com teor de 0,41 mg.L⁻¹, PT3 com teor de 0,64 mg.L⁻¹, e NE2 com teor de 0,51 mg.L⁻¹ tem uso inadequado para o consumo humano. Para fluoreto apenas a amostra NPA parece não ser adequada para consumo humano com valor de 2,95 mg.L⁻¹.

5.1.2.2 QUALIDADE PARA IRRIGAÇÃO

Para determinar a qualidade da água subterrânea da área de estudo para fins de irrigação foi utilizado o gráfico SAR que considera os parâmetros sódio e

condutividade elétrica para estabelecer esta relação. Na figura 22 é representado o gráfico para as amostras da área de estudo.

As amostras VR4, CR2 e SI2 apresentam risco de adsorção de sódio forte. Para o parâmetro salinidade a amostra NPA apresenta risco alto.

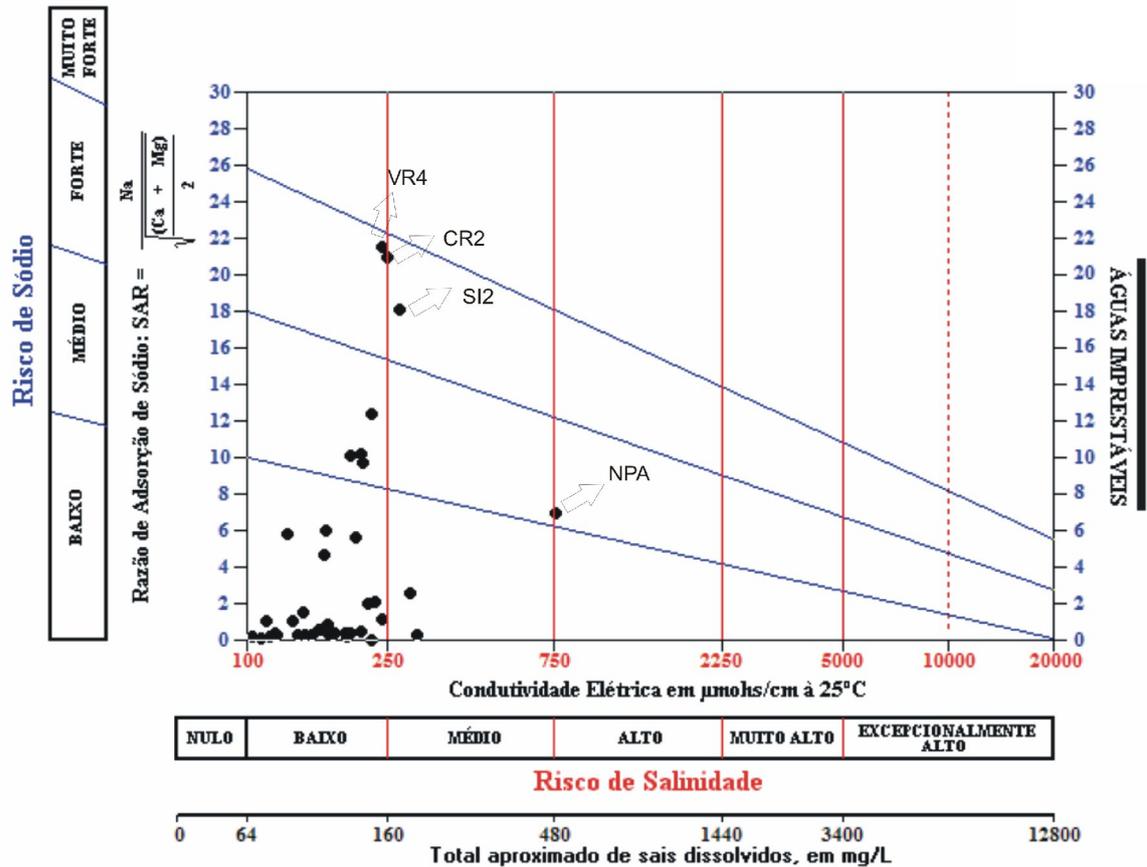


FIGURA 22. Gráfico SAR para área de estudo com destaque nas amostras com risco.

5.1.3 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

5.1.3.1 CLASSIFICAÇÃO POR ÍONS PRINCIPAIS

Segundo a classificação de Custódio e Llamas (1983), as relações mostradas na tabela 2, são identificadas com um número que representa os cátions e uma letra que representa os ânions. Também podem ser incluídos os valores de condutividade elétrica. Sendo assim, as amostras de águas da área de estudo são classificadas como águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas com condutividades entre 0 e 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C representada por 5-f-C1; águas bicarbonatadas sódicas cálcicas com condutividade 0 e 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25° representada por 5-b-C1 C; águas bicarbonatadas cálcio-sódicas com condutividades entre 0 e 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C representado por 5-e-C2; águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas com condutividades entre 0 e 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C representado por 5-f-C2. Apenas a amostra NPA é classificada como água sulfatada sódica-cálcica indicada por 4-b-C2.

5.1.3.2 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO SCHOELLER

Esta classificação é mais complexa, pois considera os teores absolutos (em $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) dos íons principais e faz ênfase na denominação segundo cada ânion. De acordo com a classificação de Schoeller, as amostras da região estudada são, em geral, águas com teor de cloreto e sulfatos normais, com bicarbonato e cálcio como íons principais representado por 642-3b-5e, 642-3b-5f, 642-3b-6e e 642-3b-6f,. Apenas a amostra NPA é classificada como água sulfatada sódica-cálcica representada por 643-3a-3b.

Esta forma de apresentação dos dados hidroquímicos é bastante flexível e permite aumentar ou reduzir o número de elementos representados, de acordo com as necessidades e os objetivos da interpretação (FEITOSA, 1997).

5.1.3.3 CLASSIFICAÇÃO PELA DUREZA

Neste trabalho verificou-se um valor máximo de dureza de 168,75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e mínimo de 1,67 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3 . Assim segundo esta classificação as amostras de água apresentam-se como branda, pouco dura e dura (TABELA 7). Das 57 amostras

apenas uma é classificada como dura, vinte e cinco amostras como branda e trinta e uma amostras como pouco dura (FIGURA 23).

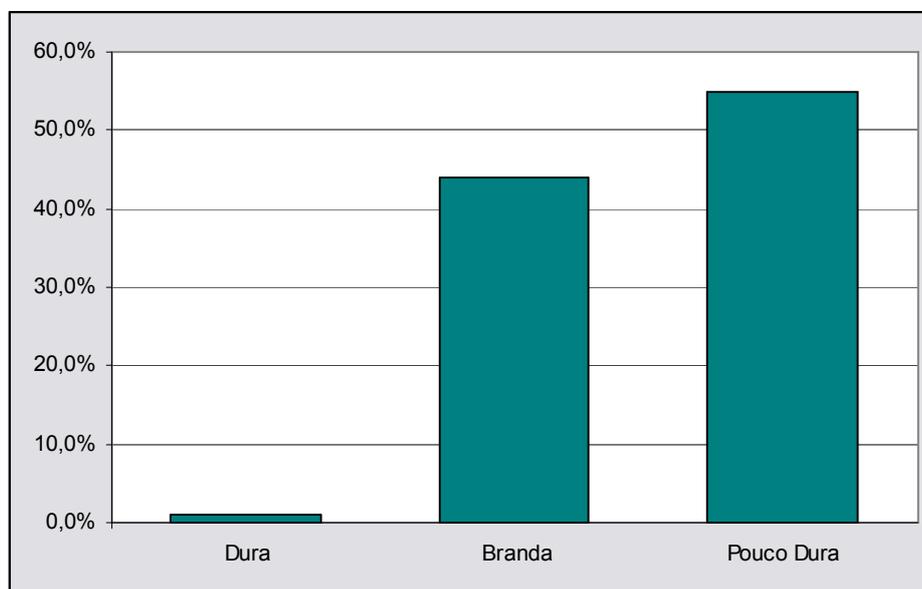


FIGURA 23. Gráfico em percentagem de classificação das amostras quanto a dureza.

5.1.3.4 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO PIPER

Para esta classificação considera-se que os íons plotados são expressos em concentrações relativas (meq.L^{-1}) de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e de ânions (HCO_3^- , $+\text{CO}_3^{2-}$, Cl^- , SO_4^{2-}) conforme o diagrama na figura 24.

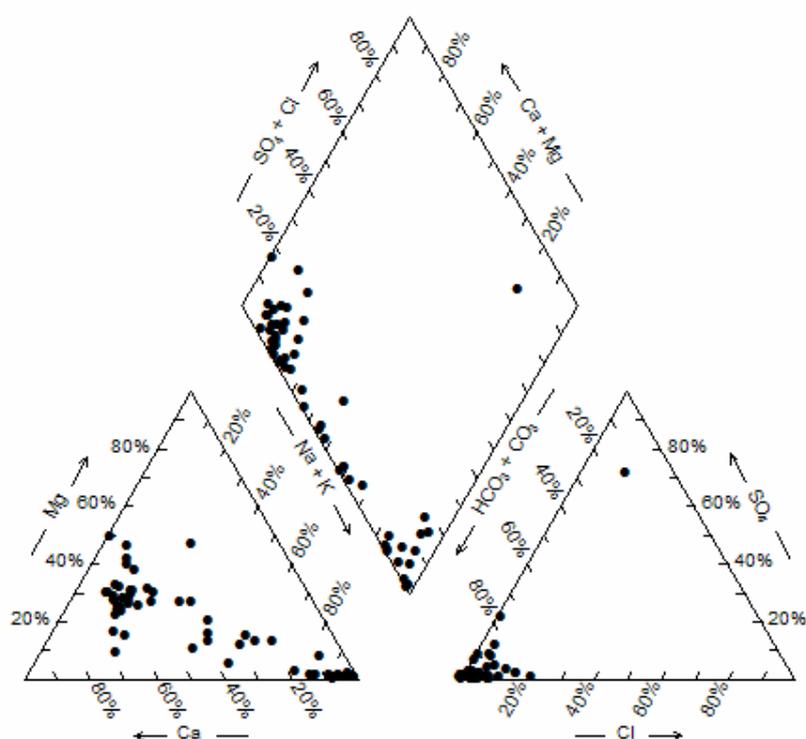


FIGURA 24. Diagrama de Piper para as 57 amostras da área de estudo.

Neste estudo observou-se que o domínio principal são águas do tipo bicarbonatada sódica (36,8%) com 21 amostras, seguida de bicarbonatada cálcica (35%) com 20 amostras e bicarbonatadas mistas (26,3%) com 15 amostras e por ultimo águas sulfatadas sódicas (1,75%) com uma amostra (FIGURA 25). O grupo de águas bicarbonatadas mistas incluem, águas do tipo bicarbonatada cálcio-magnésiana, bicarbonatada cálcio-sódica, bicarbonatada magnésiana-cálcica, bicarbonatada sódica-cálcica e bicarbonatada sódica-magnésiana.

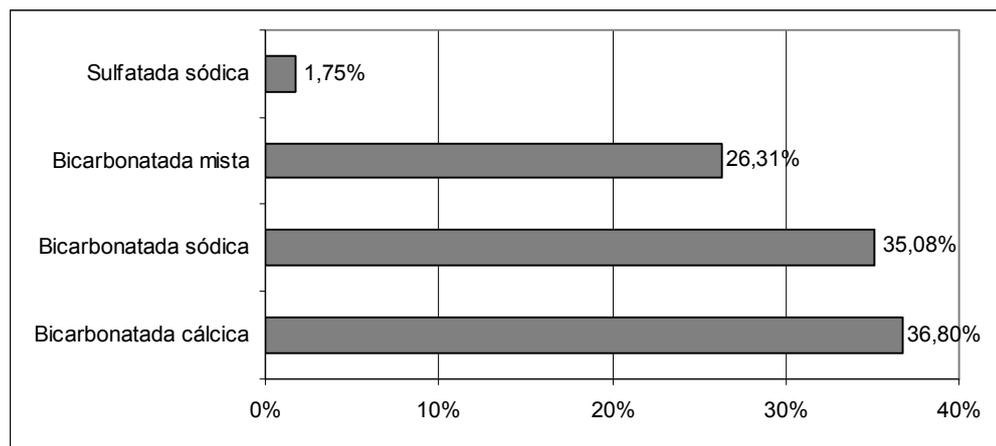


FIGURA 25. Frequência das tipologias de água.

No diagrama de Piper pode-se observar uma tendência de evolução de águas bicarbonatadas sódicas evoluindo para águas bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas, retratando desta forma uma possível mistura de tipos de águas, representado por águas bicarbonatadas mistas.

O bicarbonato é o ânion mais abundante para todos os tipos de águas, exceto para a amostra de água sulfatada sódica. Nas águas bicarbonatadas mistas os cátions apresentam um equilíbrio entre si. Nas águas sulfatadas sódicas os cátions mais abundantes são o potássio e sódio.

Os poços com suas respectivas classes de água apresentam-se dispersos na área de estudo (FIGURA 26).

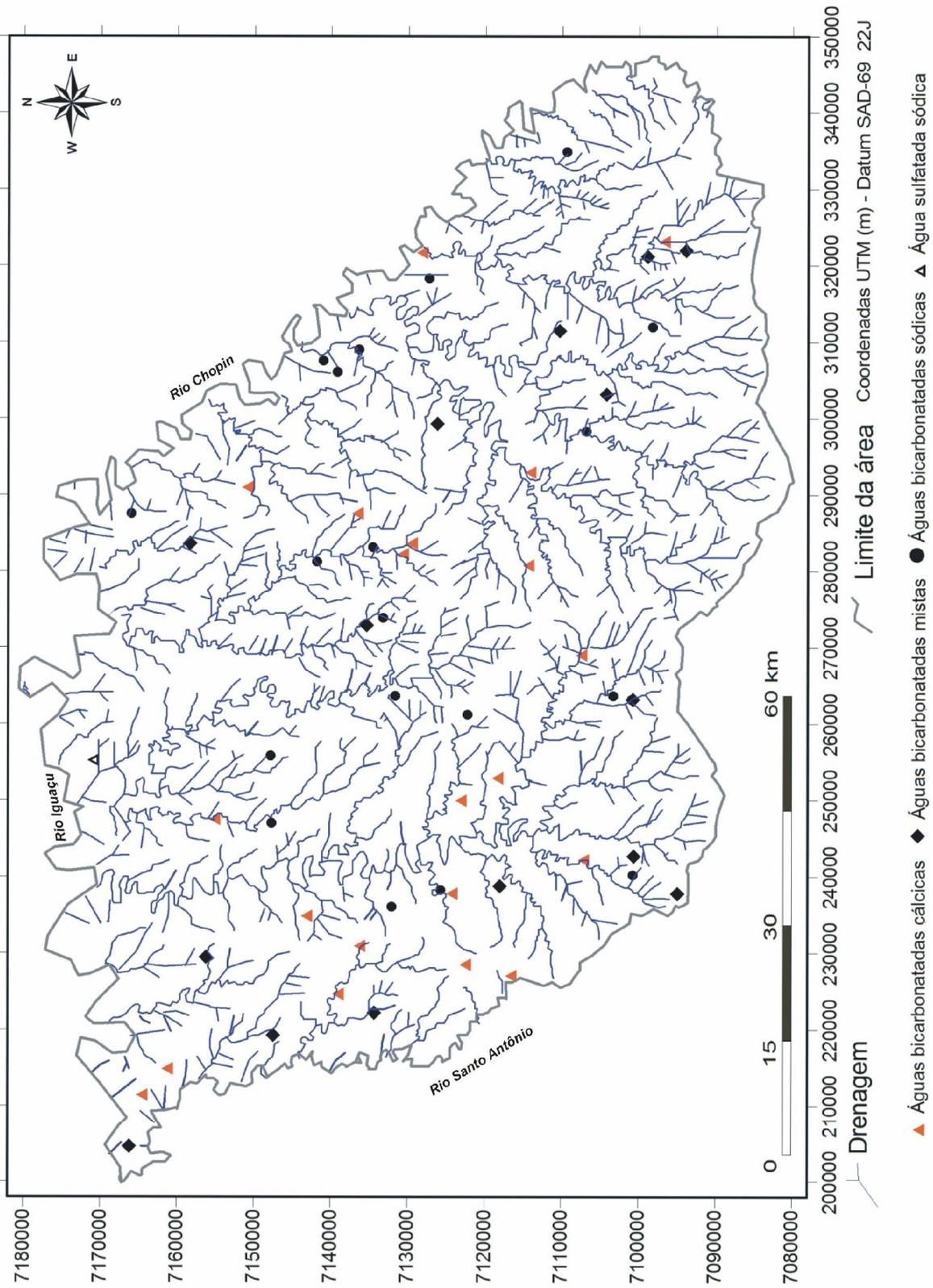


FIGURA 26. Localização dos poços na área de estudo com as classes de água segundo Piper.

5.1.3.4.1 ÁGUAS BICARBONATADAS CÁLCICAS

Esta classe da água subterrânea representa 36,8%, no total de 21 amostras analisadas e apresentam-se dispersas na área de estudo conforme a figura 26 com uma pequena concentração de amostras na região oeste.

Esta classe de água apresenta valores de pH com média de 7,5. O máximo observado ocorre em um poço no município de Pinhal de São Bento (poço PB1) com o valor de 8,22. Já o menor valor foi de 6,8, em Enéas Marques (poço ENB). O maior valor de STD foi de 285 mg.L⁻¹, em Manfrinópolis (poço MFA). O menor valor de STD é 78 mg.L⁻¹, em Vitorino (poço VT2). A média de STD foi 138,8 mg.L⁻¹. Fraga (1986) afirma que águas bicarbonatada cálcicas tem valores de STD médios de 85 mg.L⁻¹.

O maior valor de cálcio observado é de 45 mg.L⁻¹. A média foi de 21,51 mg.L⁻¹ e o menor valor é de 12,26 mg.L⁻¹.

O cátion mais abundante depois do cálcio foi o sódio. Nas amostras IT1, SA1, PT3, FB28, FB10, ENA, MFA, RZA, CPA e CP16 o sódio foi o mais abundante (FIGURA 27). Os valores para potássio apresentam média de 0,81 mg.L⁻¹ com o máximo de 1,95 mg.L⁻¹.

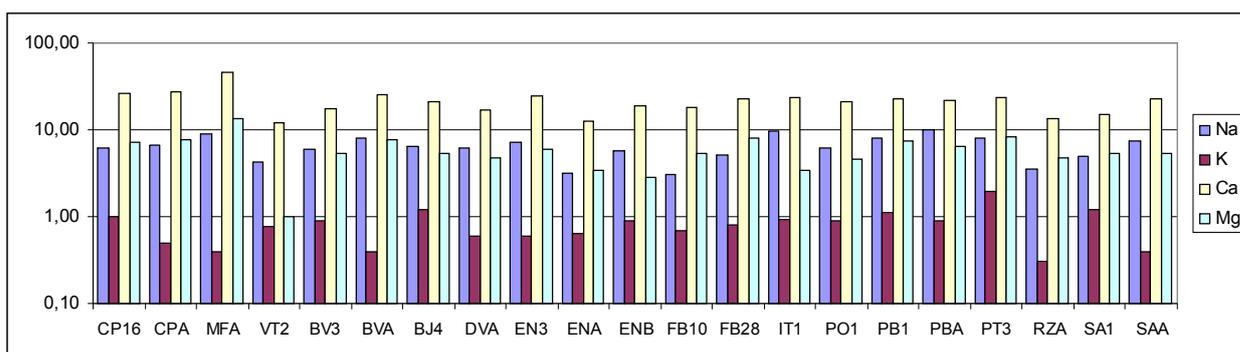


FIGURA 27. Relações entre os cátions para a classe de águas bicarbonatadas cálcicas. Dados em escala logarítmica (mg.L⁻¹).

A quantidade de bicarbonato em relação a outros ânions é alta (FIGURA 28). O maior valor observado foi de 221,82 mg.L⁻¹. A média foi de 100,32 mg.L⁻¹ e o menor valor é de 50 mg.L⁻¹.

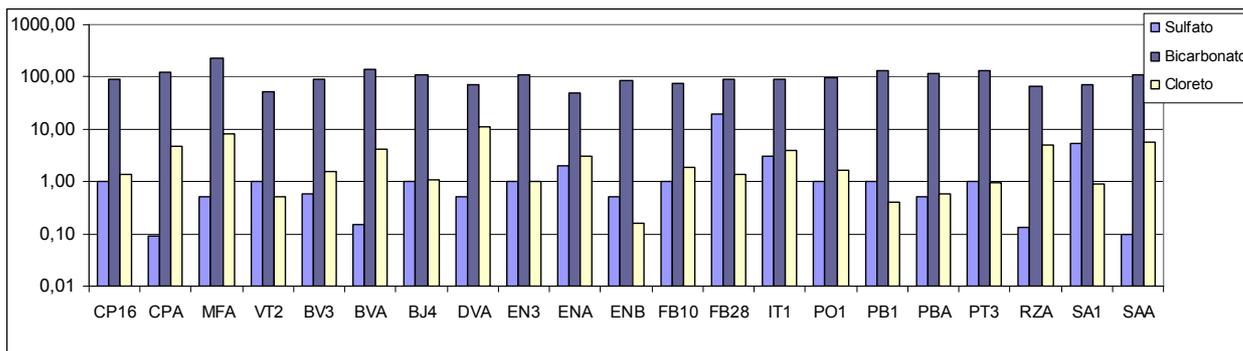


FIGURA 28. Relações entre os ânions para a classe de águas bicarbonatadas cálcicas. Dados em escala logarítmica (mg.L^{-1}).

Observa-se uma relação alta do bicarbonato com o STD. Há também uma relação razoável do STD com a dureza e com a condutividade. O coeficiente de determinação de 0,74 e 0,76 respectivamente. Já com a sílica dissolvida a relação é baixa com coeficiente de determinação de 0,17 (FIGURA 29).

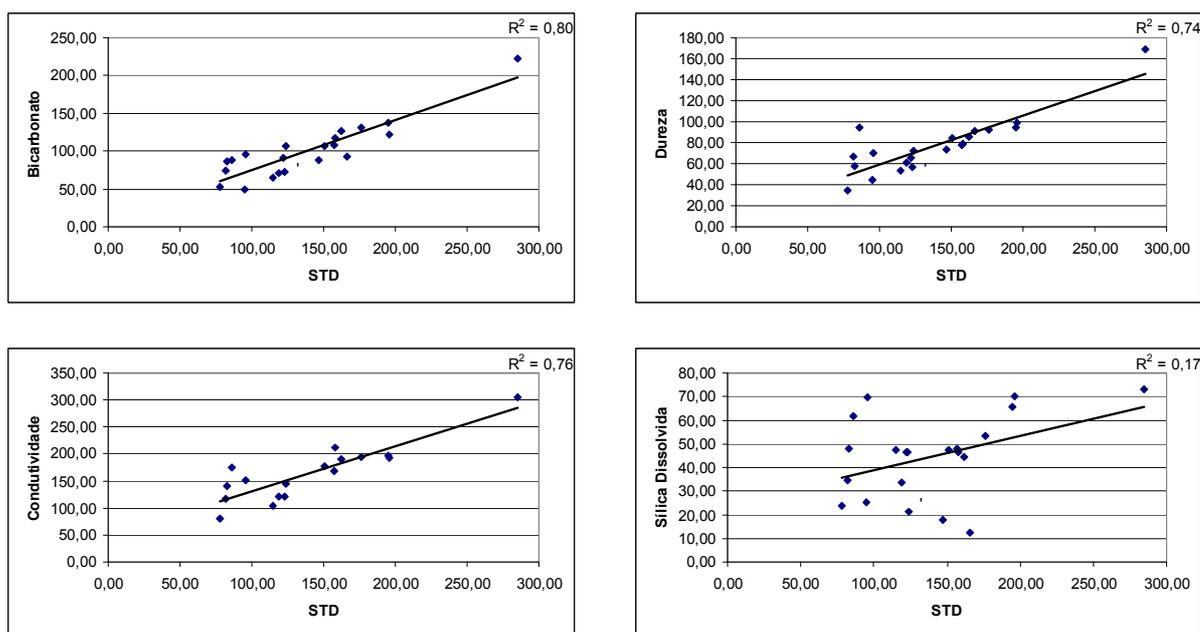


FIGURA 29. Relação do STD com bicarbonato, dureza, condutividade e sílica dissolvida. Valores em mg.L^{-1} . Condutividade em $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

O bicarbonato apresenta uma relação evidente com cálcio. Já com o magnésio, o bicarbonato, não apresenta esta relação tão evidente (FIGURA 30). Nesta ilustração, observa-se que há uma amostra separada do agrupamento principal de amostras nos gráficos. Nesta amostra o bicarbonato apresenta teor de $221,82 \text{ mg.L}^{-1}$, de magnésio de $13,61 \text{ mg.L}^{-1}$ e cálcio $45,46 \text{ mg.L}^{-1}$.

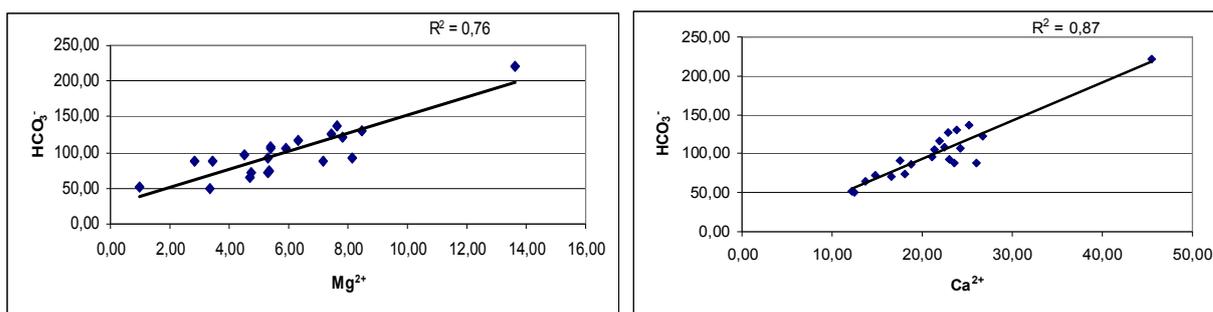


FIGURA 30. Relação do bicarbonato com o magnésio e cálcio. Dados em mg.L^{-1} .

A condutividade nesta classe de água está associada ao bicarbonato, cálcio e magnésio secundariamente ao sódio (FIGURA 31).

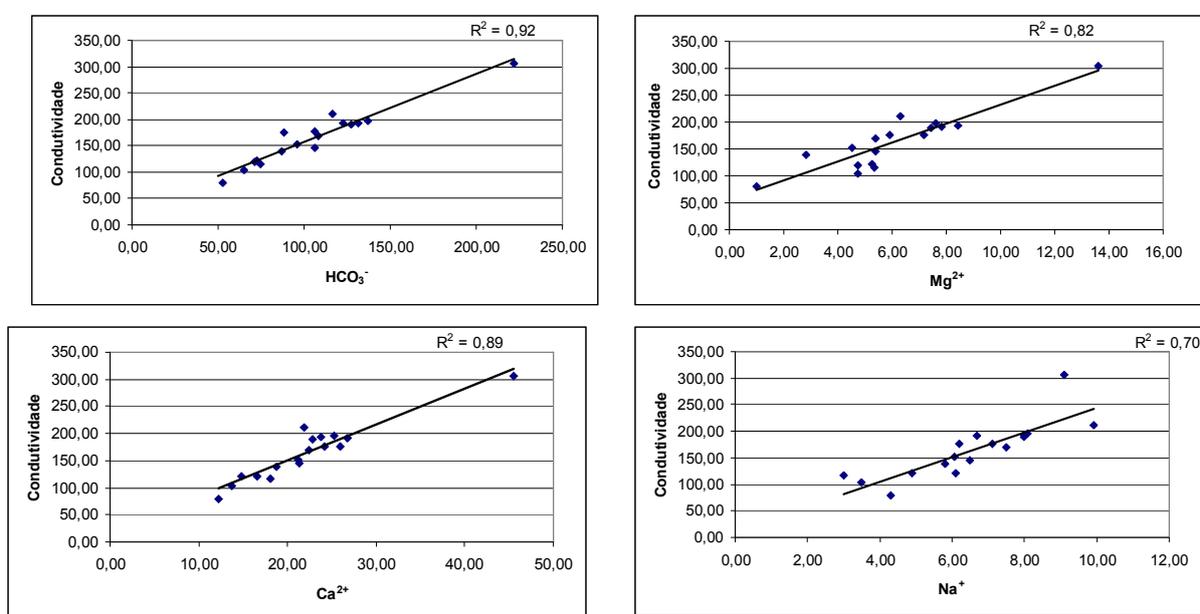


FIGURA 31. Relação da condutividade com o HCO_3^- , Na^+ e Ca^{2+} e Mg^{2+} Dados em mg.L^{-1} .
Condutividade em $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

5.1.3.4.2 ÁGUAS BICARBONATADAS SÓDICAS

Esta classe de água ocorre em 20 amostras, com um total de 35,0%. Ocorrem dispersas em toda área de estudo (FIGURA 26) com uma tendência de concentração na área central.

O valor médio de pH observado nestas águas foi de 9,01. O maior valor foi de 9,88 em Renascença (poço RN2). O menor valor foi de 7,37 em Verê (poço VR3). O

maior valor de STD foi de 240 mg.L^{-1} em Pinhal de São Bento (poço PB2) enquanto o menor valor foi de 58 mg.L^{-1} em Realeza (poço RZ1). A média foi de $160,75 \text{ mg.L}^{-1}$.

O menor valor de sódio foi de 18 mg.L^{-1} enquanto o maior valor é de 67 mg.L^{-1} . A média foi de $43,44 \text{ mg.L}^{-1}$.

O cátion mais abundante depois do sódio é o cálcio (FIGURA 32). Na amostra RN2 o cloreto está em maior quantidade que o bicarbonato (FIGURA 33). O ânion mais abundante é o bicarbonato. O cloreto é mais abundante nas amostras BV5, BJA, SGD, SGE, RZ1, EN7, RN2, NEA e NEB.

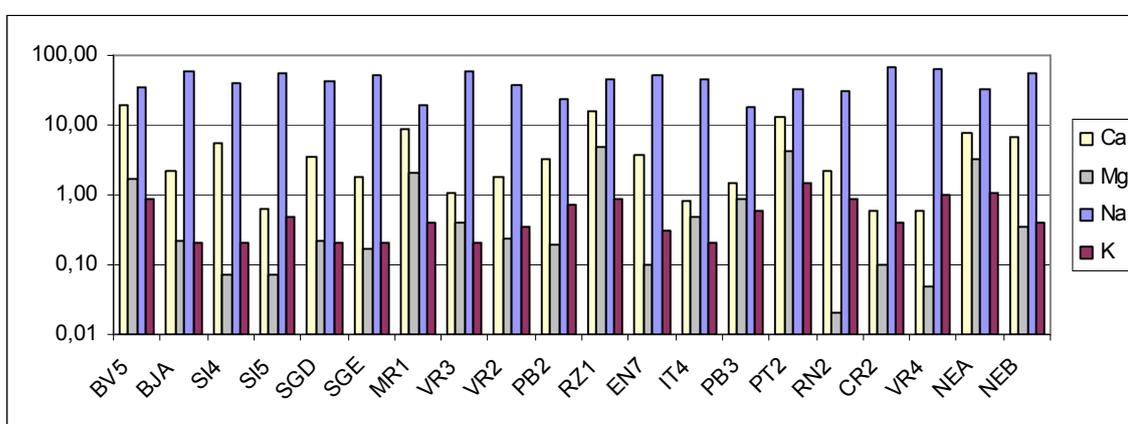


FIGURA 32. Relação entre os cátions para águas bicarbonatadas sódicas. Dados em escala logarítmica (mg.L^{-1}). No eixo das abcissas estão as amostras.

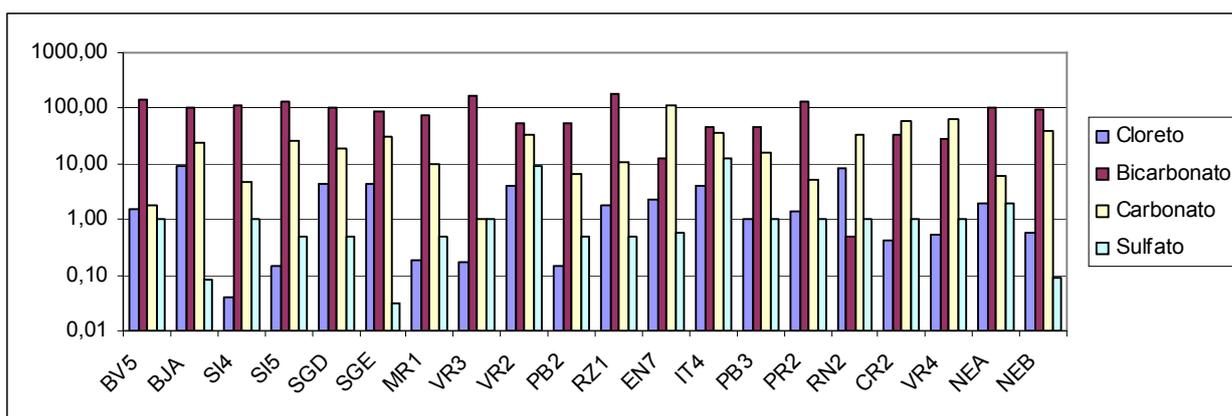


FIGURA 33. Relação entre os ânions para águas bicarbonatadas sódicas. Dados em escala logarítmica (mg.L^{-1}). No eixo das abcissas estão as amostras.

5.1.3.4.3 ÁGUAS BICARBONATADAS MISTAS

Esta classe de água inclui os tipos bicarbonatada cálcio-magnésiana, bicarbonatada cálcio-sódica, bicarbonatada magnésiana-cálcica, bicarbonatada sódica-cálcica e bicarbonatada sódica-magnésiana. Apresenta um total de 15 amostras o equivalente a 26,3% do total

O cátion mais abundante neste tipo de água foi o cálcio nas amostras PL1, BR5, RNB, DV1, SA2, BJ6, VTB, POA e CPB (FIGURA 34). O teor de potássio sempre está abaixo dos outros cátions, com exceção da amostra BJ6.

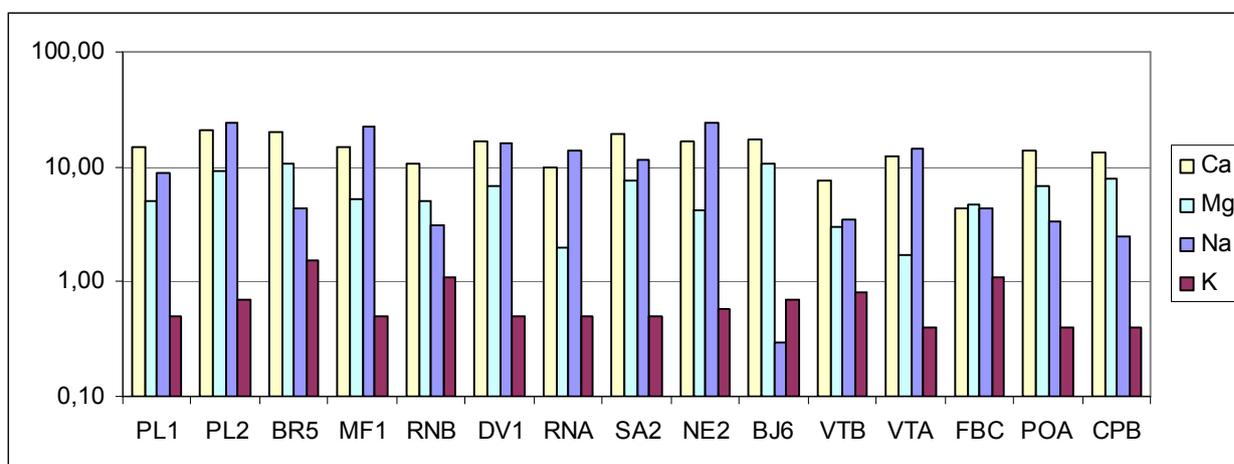


FIGURA 34. Relação dos cátions nas amostras de águas bicarbonatadas mistas. Dados em escala logarítmica (mg.L⁻¹). O eixo das abcissas representam a amostra.

O ânion mais comum depois do bicarbonato foi o cloreto nas amostras PL1, MF1, DV1, NE2, VTB, POA e CPB (FIGURA 35). Já o carbonato ocorre de forma significativa apenas na amostra BJ6.

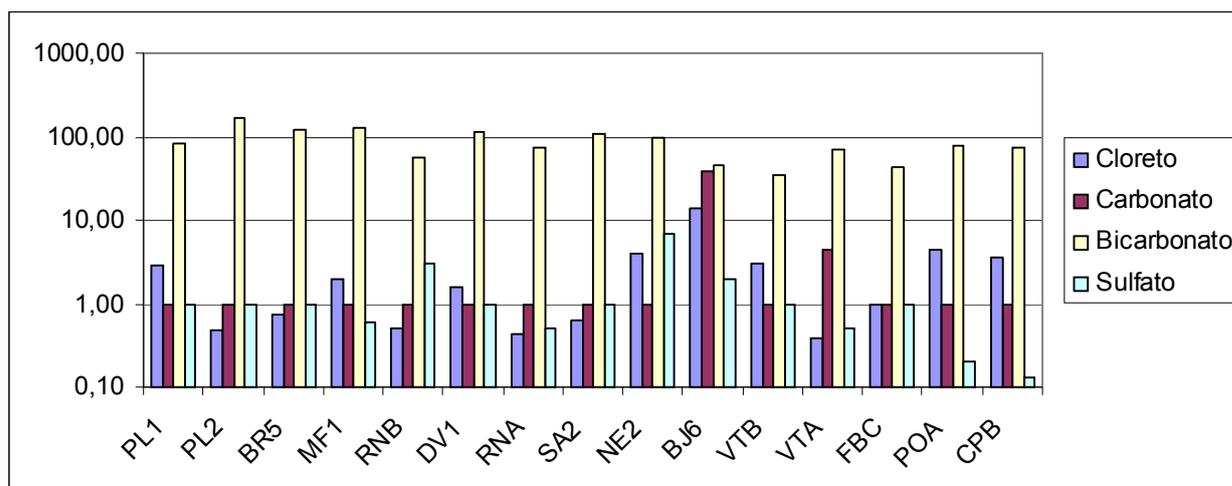


FIGURA 35. Relação dos ânions nas amostras de águas bicarbonatadas mistas. Dados em mg.L^{-1} . O eixo das abcissas indica a amostra.

O menor valor de STD verificado é de 52 mg.L^{-1} em Vitorino (poço VTB). O maior valor é de 169 mg.L^{-1} em Nova Esperança do Sudoeste (poço NE2). A média é de $122,47 \text{ mg.L}^{-1}$.

O maior valor de pH observado é de 9,95 em Bom Jesus (poço BJ6). Este poço apresenta o maior valor de pH entre todas as classes de água. Já o menor valor é de 6,69 em Vitorino (poço VTB). Este poço apresenta o menor valor de pH entre todas as classes de água.

5.1.3.4.4 ÁGUA SULFATADA SÓDICA

Enquadra-se nesta classificação apenas a amostra NPA na porção norte da área de estudo (FIGURA 26).

Os valores dos cátions e ânions estão mostrados na tabela 10.

TABELA 10. Parâmetros físico químicos para água sulfatada sódica. Dados em mg.L^{-1} (exceto pH).

| Na^+ | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Cl^- | CO_3^- | HCO_3^- | STD | SO_4^{2-} | pH |
|---------------|--------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|------------------|-------|--------------------|------|
| 134,00 | 0,79 | 25,35 | 1,95 | 37,24 | 11,88 | 42,27 | 423,0 | 252,20 | 8,81 |

A condutividade foi de $757 \mu\text{S.cm}^{-1}$ enquanto o valor da dureza foi de $203,31 \text{ mg.L}^{-1}$ (CaCO_3).

5.1.4 AVALIAÇÃO POR DIAGRAMA TERNÁRIO E AMOSTRAS DE ROCHA

Para esta classificação foram obtidas 25 análises químicas de rocha e plotadas em um diagrama ternário expresso em concentrações relativas (meq.L⁻¹) de cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺). Além destas amostras de rocha, foram plotadas as 57 amostras de água no mesmo diagrama (FIGURA 36).

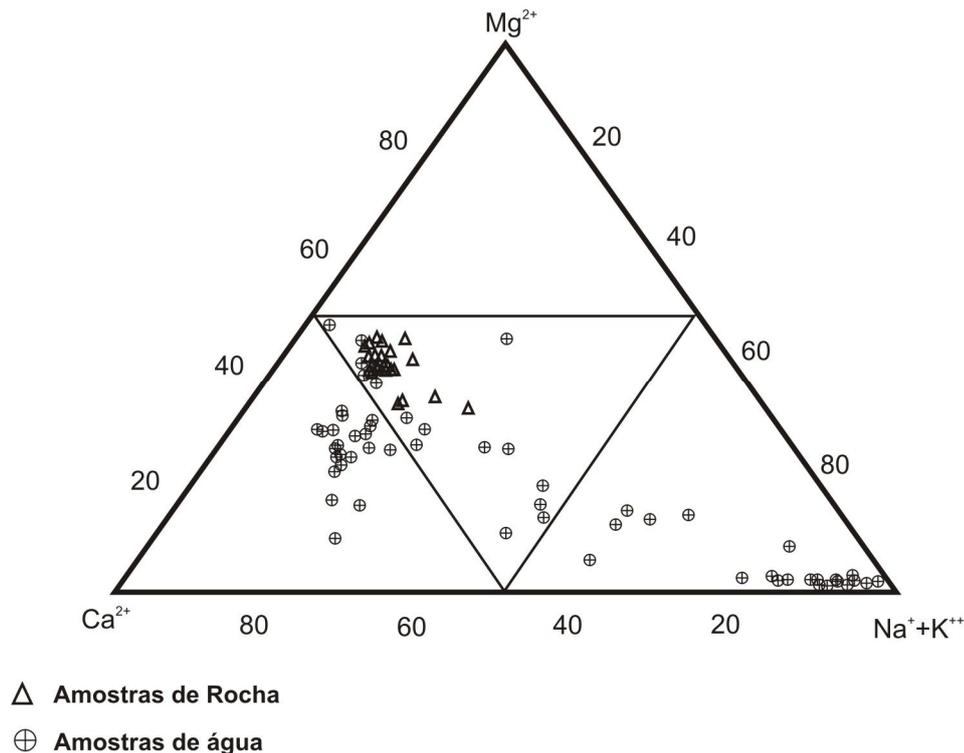


FIGURA 36. Diagrama ternário com amostras de rocha e água plotadas.

Com este diagrama, observa-se que as amostras de rocha têm de um modo geral valores mais elevados de magnésio e valores mais baixos de cálcio, sódio e potássio que as amostras de água. Também se observam que as amostras de rocha não apresentam dispersão horizontal em sentido ao Na⁺+K⁺, esta dispersão é notada somente nas amostras de água.

5.1.5 RAZÕES IÔNICAS

As razões iônicas são relações entre os íons dissolvidos na água, que podem indicar o grau de relacionamento da água com o tipo de material percolado. Para distinção dos aquíferos segundo sua composição química, são necessárias análises dos principais cátions e ânions e comparações das relações entre eles, tais como as razões rMg^{2+}/rCa^{2+} , rSO_4^{2-}/rCl^- , dentre outras. Custódio e Llamas (1983), descreveram que as razões iônicas mais freqüentes em estudos hidrogeoquímicos são as razões rMg^{2+}/rCa^{2+} e rK^+/rNa^+ .

No presente trabalho foram elaborados as razões iônicas rNa^+/rCa^{2+} , rK^+/rNa^+ e rMg^{2+}/rCa^{2+} .

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} em águas continentais em geral apresenta valores que variam de 0,3 a 1,5. Quando os valores são próximos de 1,0, tem-se que há influência de terrenos dolomíticos, e quando os valores são superiores a 1,0, podem indicar a associação de silicatos magnesianos, como a mineralogia dos basaltos. Quando ocorre a precipitação de carbonato de cálcio, há um aumento na razão iônica e o inverso ocorre em caso de dissolução da calcita (Custodio e Llamas, 1983). Neste trabalho apenas três amostras apresentam valores superiores a 1,0.

A razão rK^+/rNa^+ nas águas doces pode estar entre 0,001 e 1,0, sendo mais freqüente entre 0,004 e 0,30. Devido a fixação preferencial de K^+ no terreno, esta razão é menor na água que na rocha mãe e é tanto menor quanto mais concentrada em sais for a água. Esta razão apresentou um valor máximo de 1,37 na área de estudo.

Campos (1987), considerou que a relação rNa^+/rCa^{2+} pode variar muito em caso de trocas de bases. No entanto, as reações de dissolução e precipitação de carbonato de cálcio alteram as relações sem que ocorram trocas de bases. Na área de estudo estes valores oscilavam de 0,02 a 95,75 indicando uma grande variação destes elementos nas amostras da área de estudo, desde amostras com pouco a muito teor de sódio e cálcio.

5.1.6 ÍNDICES DE SATURAÇÃO

O índice de saturação (IS) representa o estado de equilíbrio de um mineral na solução aquosa, indicando se há possibilidade de ocorrer dissolução ou precipitação da fase sólida sem, no entanto, considerar a cinética química. O cálculo do IS leva em conta a presença de outros solutos na água, uma vez que o cálculo do coeficiente de atividade que determina a concentração termodinamicamente ativa do soluto, depende da força iônica da solução que, por sua vez depende da concentração e da carga das espécies em solução (HINDI, 2007).

Neste estudo, os índices de saturação mais próximos ao equilíbrio foram obtidos nas amostras de água dos seguintes minerais: calcita, calcedônia, aragonita e quartzo (TABELA 11).

TABELA 11. Índices de saturação dos minerais para as amostras.

| Amostra/ Mineral | ÍNDICES DE SATURAÇÃO | | | | |
|------------------|----------------------|----------|------------|---------|-----------|
| | CALCITA | DOLOMITA | CALCEDÔNIA | QUARTZO | ARAGONITA |
| BVA | -0,07 | -0,37 | 0,64 | 1,08 | -0,22 |
| BJA | -0,05 | -0,77 | 0,03 | 0,47 | -0,19 |
| CPA | 0,09 | -0,04 | -0,34 | 0,10 | -0,06 |
| CPB | -0,69 | -1,29 | 0,51 | 0,95 | -0,84 |
| DVA | -0,94 | -2,15 | 0,36 | 0,80 | -1,09 |
| EN7 | -0,21 | -1,67 | 0,16 | 0,59 | -0,36 |
| FB28 | -1,19 | -2,54 | -0,08 | 0,36 | -1,34 |
| MFA | 0,47 | 0,72 | 0,68 | 1,12 | 0,33 |
| NEB | 0,43 | -0,13 | 0,39 | 0,83 | 0,28 |
| POA | -0,69 | -1,38 | 0,53 | 0,97 | -0,83 |
| RZ1 | 0,13 | -0,65 | 0,02 | 0,46 | -0,02 |
| RNA | -1,23 | -2,80 | 0,24 | 0,67 | -1,37 |
| RNB | -1,58 | -3,18 | 0,21 | 0,65 | -1,73 |
| SGD | -0,11 | -1,11 | 0,41 | 0,86 | -0,25 |
| SA2 | -0,30 | -0,73 | 0,50 | 0,94 | -0,45 |

Verifica-se que apenas três amostras apresentam em equilíbrio com a calcita e calcedônia. Duas amostras estão em equilíbrio com a aragonita e uma amostra em equilíbrio com o quartzo e a dolomita (TABELA 12).

TABELA 12. Total de amostras para cada estado de saturação.

| Mineral/ Estado de saturação | CALCITA | DOLOMITA | CALCEDÔNIA | QUARTZO | ARAGONITA |
|------------------------------|---------|----------|------------|---------|-----------|
| Subsaturada | 9 | 13 | 1 | 0 | 11 |
| Equilíbrio | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| Supersaturado | 3 | 1 | 11 | 14 | 2 |

Desta tabela verifica-se que a água do aquífero é frequentemente subsaturada em relação aos carbonatos apresentando tendência geral à dissolução. O quartzo e calcedônia, tendem de um modo geral a precipitar.

5.1.7 DIAGRAMAS DE ESTABILIDADE

Os diagramas de estabilidade representam os campos de estabilidade de minerais aluminossilicatados e gibbsita em função dos teores de sílica, Na^+ , K^+ e Ca^{2+} . O conhecimento das condições de estabilidade de minerais em soluções aquosas é fator primordial para a compreensão da dinâmica composicional das águas em estado natural e alteradas pela ação antrópica quando em contato com as rochas. Os diagramas de estabilidade resultante são mostrados na FIGURA 37.

Os diagramas de equilíbrio permitem verificar com quais minerais primários e secundários as águas estão em equilíbrio.

No diagrama A (FIGURA 37), que representa o campo de estabilidade para o Ca^{2+} , indica que treze amostras estão dispostas no campo da Ca-montmorilonita. Apenas duas amostras estão em equilíbrio com a caulinita.

No diagrama B (FIGURA 37), que representa o campo de estabilidade para o K^+ , observa-se que treze amostras estão dispostas no campo da caulinita. Duas amostras estão no campo do microclínio. A caulinita representa o intemperismo intermediário das rochas (MARQUES, 2006).

O diagrama C (FIGURA 37), que representa o campo de estabilidade para o Na^+ , observa-se que doze amostras apresentam-se no campo da Na-montmorilonita. Apenas três amostras estão dispostas no campo da caulinita. A Na-montmorilonita representa o intemperismo precoce das rochas (MARQUES, 2006).

A amostra CPA apresenta-se próximo da linha de solubilidade do quartzo para o Ca^{2+} e K^+ . Para o parâmetro Na^+ , verifica-se que esta amostra cruza a linha.

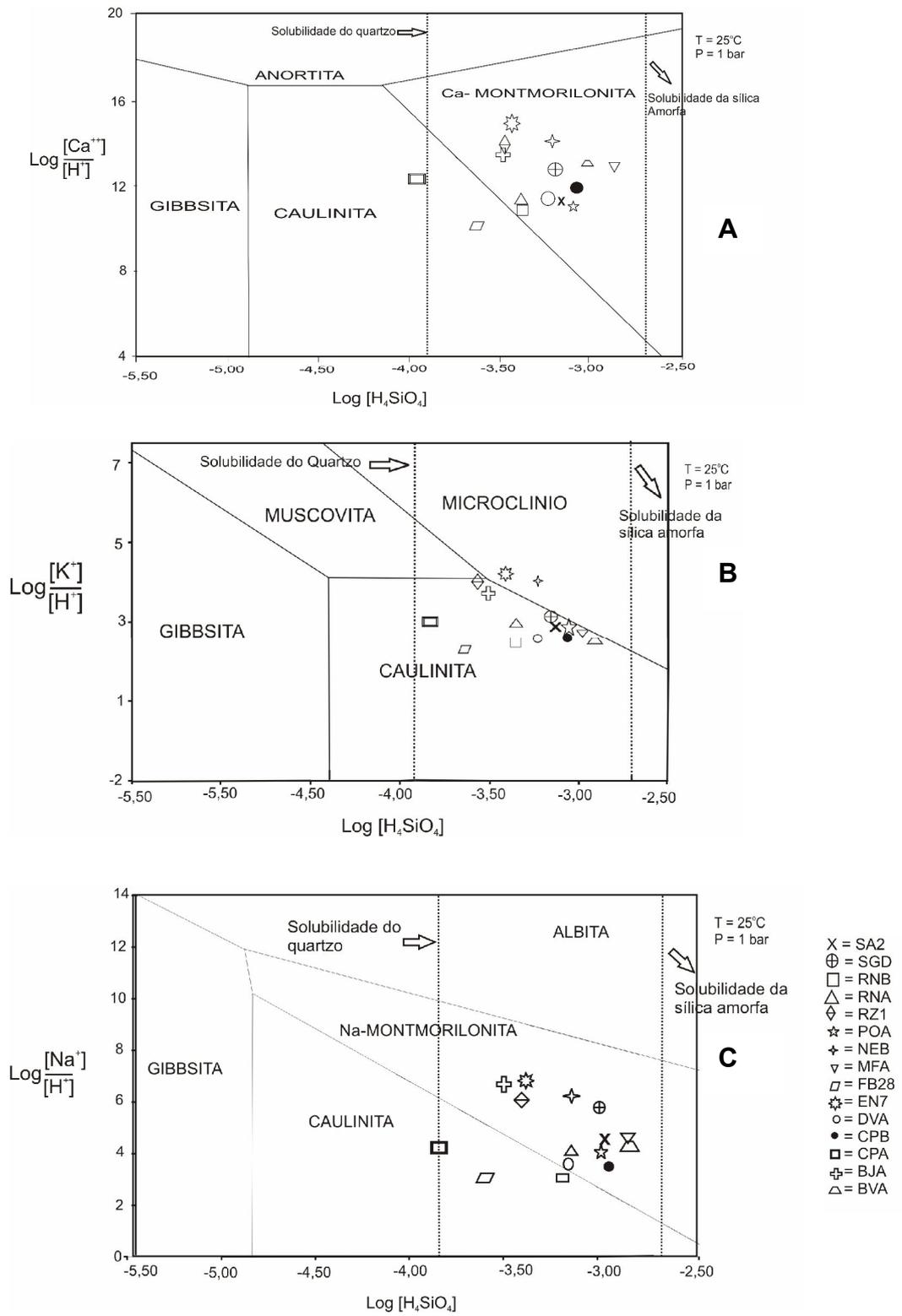


FIGURA 37. Diagramas de estabilidade de aluminossilicatos para as amostras analisadas. A – Parâmetro Ca^{2+} ; B – parâmetro K^+ ; C- parâmetro Na^+

5.2 CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

Com a finalidade de mostrar o comportamento geral das variáveis hidrodinâmicas dos poços analisados, foram apresentados os dados de profundidade de perfuração dos poços, profundidade de entradas de água, nível estático, nível dinâmico, vazão e capacidade específica.

5.2.1 PROFUNDIDADES DE PERFURAÇÃO

Observou-se uma média geral de 162 m, enquanto que a mediana é de 75,6 m. A profundidade máxima verificada foi de 350 m em dois poços, o primeiro localizado no município de Realeza (poço RZ1) e o segundo no município de Vitorino (poço VTB). A menor profundidade foi de 36 m em um poço localizado no município de Francisco Beltrão (poço FBC).

De acordo com os dados analisados, verificou-se que há uma grande variação de profundidade para os poços analisados (TABELA 13). Os intervalos mais comuns de profundidade dos poços observados na região, são entre 101 e 150 metros.

TABELA 13. Profundidade dos poços

| <i>Profundidade</i> | <i>Nº de poços</i> | <i>Frequência (%)</i> |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <i>até 50 m</i> | <i>4</i> | <i>7</i> |
| <i>51 a 100 m</i> | <i>9</i> | <i>16</i> |
| <i>101 a 150 m</i> | <i>18</i> | <i>32</i> |
| <i>151 a 200 m</i> | <i>10</i> | <i>18</i> |
| <i>201 a 250 m</i> | <i>10</i> | <i>18</i> |
| <i>251 a 300 m</i> | <i>4</i> | <i>7</i> |
| <i>301 a 350 m</i> | <i>2</i> | <i>4</i> |
| <i>Total</i> | <i>57</i> | <i>100</i> |

5.2.2 PROFUNDIDADES DAS ENTRADAS DE ÁGUA

Observou-se que 40 poços apresentam duas entradas de água e doze poços apresentam três entradas de água. Assim, as entradas de água variam de 5 a 237 m. A menor entrada de água foi registrada em um poço no município de Renascença, enquanto que a maior está localizada no município de Verê.

5.2.3 NÍVEL ESTÁTICO E NÍVEL DINÂMICO

O nível estático representa a profundidade do nível da água dentro do poço, quando este não está sendo bombeado. O nível estático apresentou-se variando de 1,37 m em um poço no município de Verê, a 133,61 m em um poço no município de Pinhal de São Bento (FIGURA 38).

O nível dinâmico indica a profundidade do nível da água quando este está sendo bombeado. Nos poços analisados os valores variavam de 7,5 m em um poço no município de Renascença a 237 m em um poço no município de Verê (FIGURA 38).

O rebaixamento é a diferença entre o nível estático e o dinâmico durante o bombeamento. Neste estudo, verificou-se um rebaixamento médio de 22 m. O menor rebaixamento foi observado em um poço no município de Bela Vista com valor de 0,72 m e o maior foi observado no município de Verê com valor de 235,63 m.

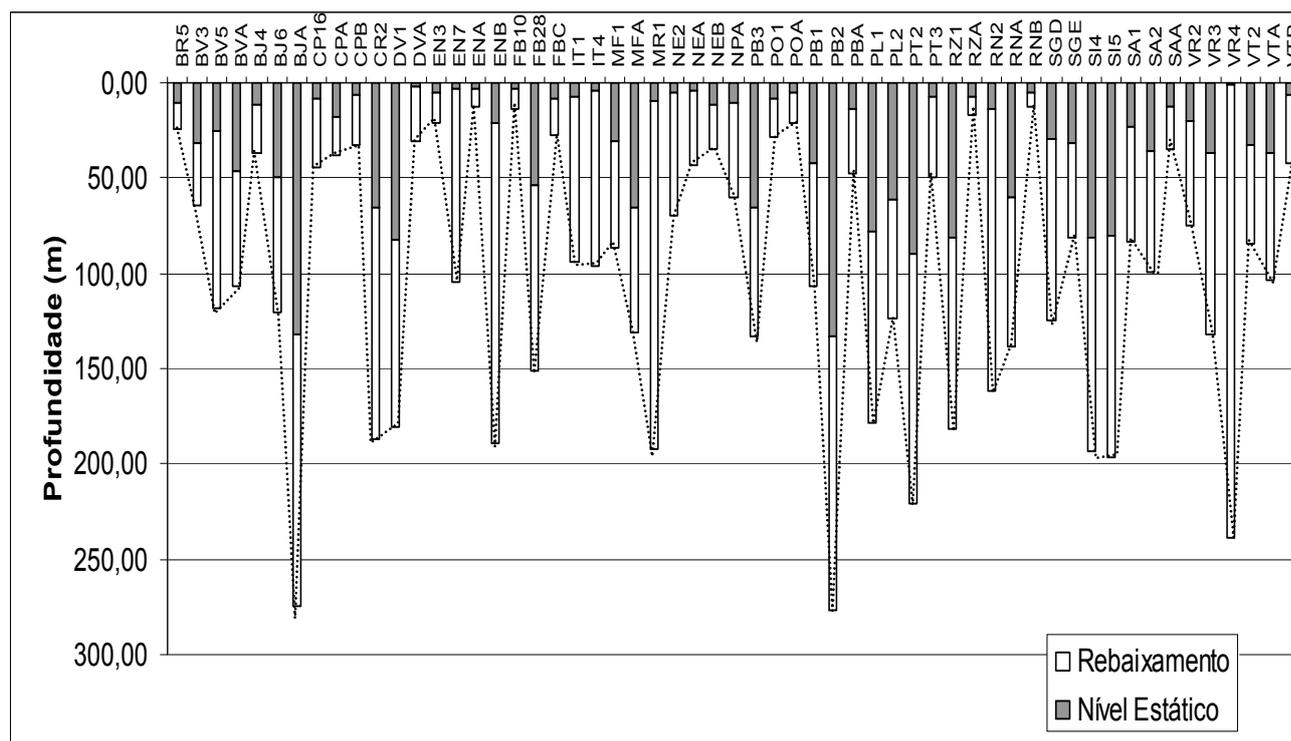


FIGURA 38. Nível e estático e rebaixamento para os poços. A linha tracejada indica o nível dinâmico. Dados em m. O eixo x indica os poços.

5.2.4 VAZÃO

Vazão é a medida do volume de água extraída do poço por determinado período de tempo. Geralmente é expressa em m^3/h ou litros/hora.

Verificou-se que a média de vazões entre os poços foi de $10,9 \text{ m}^3/\text{h}$ e a mediana de $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$. A maior vazão observada foi em um poço no município de Marmeleiro (poço MR1) com o valor de $45,0 \text{ m}^3/\text{h}$, enquanto a menor vazão observada foi de Pranchita com valor de $2 \text{ m}^3/\text{h}$. A maior frequência de vazão situou-se entre 3 e $6 \text{ m}^3/\text{h}$ (TABELA 14).

TABELA 14. Classes de vazão e sua respectiva quantidade e frequência.

| Vazão (m³/h) | N. de poços | Frequência (%) |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------|
| até 3,0 | 5 | 8,8 |
| 3,0 a 6,0 | 18 | 31,6 |
| 6,01 a 9,0 | 13 | 22,8 |
| 9,01 a 12,0 | 8 | 14 |
| 12,01 a 15,0 | 3 | 5,3 |
| 15,01 a 18,0 | 1 | 1,8 |
| 18,01 a 21,0 | 0 | 0 |
| 21,01 a 24,0 | 2 | 3,5 |
| 24,01 a 27,0 | 2 | 3,5 |
| 27,01 a 30,0 | 1 | 1,8 |
| 30,01 a 33,0 | 1 | 1,8 |
| 33,01 a 36,0 | 0 | 0 |
| 36,01 a 39,0 | 0 | 0 |
| 39,01 a 42,0 | 1 | 1,8 |
| 42,01 a 45,0 | 2 | 3,5 |
| Total | 57 | 100 |

5.2.5 CAPACIDADE ESPECÍFICA

Capacidade específica é a relação entre a vazão e o rebaixamento do nível da água em metros. Este conceito é a melhor forma de se comparar a produtividade de poços ou aquíferos distintos. As capacidades específicas observadas na área de estudo apresentam valor médio de 1,36 m³/h/m. O valor máximo registrado é de 19,29 m³/h/m em um poço no município de Bela Vista (poço BV3). Já os menores valores observados foram no município de Verê (poço VR4) e Renascença (poço RN2), ambos com 0,02 m³/h/h. Valores discrepantes demonstram a heterogeneidade do aquífero, sendo que um bom aquífero apresenta capacidade específica média de 3 m³/h/m e aquíferos mais pobres apresentam média de 0,5 m³/h/m, ou menos (SILVA, 2007).

6 DISCUSSÃO

A interação química da água de percolação com os minerais da rocha é o fator determinante para a ocorrência dos diferentes tipos de constituintes químicos na água subterrânea. A região de estudo está condicionada a litotipos compostos essencialmente de rochas básicas como basaltos e andesitos. Pela composição dos basaltos da Formação Serra Geral haveria de se esperar que o comportamento químico da água também devesse ser tão somente típico de águas em rochas básicas compostas essencialmente de plagioclásio (labradorita) e piroxênio (diopsídio ou augita). Porém, observou-se uma variação químico-mineralógica em todo este contexto configurando águas com características químicas diferentes. Então, observou-se a existência de quatro classes de água sendo elas: águas bicarbonatadas cálcicas, águas bicarbonatadas sódicas; águas bicarbonatadas mistas e água sulfatada sódica.

O processo de dissolução dos minerais é influenciado pelo pH, temperatura e grau de saturação de cada elemento. O pH, neste trabalho variou de 6,69 a 9,95. Assim o bicarbonato ocorre em todas as amostras e é o ânion mais comum nessas águas. Este ânion, pode ter sido gerado diretamente por decomposição do ácido carbônico ou como produto da hidrólise dos silicatos do basalto. Já o carbonato ocorre em amostras com pH levemente alcalino a alcalino com um máximo de 112 mg.L⁻¹ na amostra EN7 que apresenta pH de 9,69. Na amostra BJ6 o íon carbonato e bicarbonato ocorre em concentrações próximas (39,6 mg.L⁻¹ e 46,5 mg.L⁻¹) respectivamente. O pH nesta amostra é de 9,95.

Neste estudo os valores de STD variam 423 mg.L⁻¹ a 52 mg.L⁻¹. Os menores valores podem refletir em um tempo de residência potencialmente curto limitando o tempo de interação água-rocha e conseqüentemente dissolução dos elementos mais solúveis. Constatou-se que o poço com maior valor de STD é na amostra de água sulfatada sódica. As amostras que apresentam menores valores de STD são, de um modo geral, as águas bicarbonatadas cálcicas. Isto é reflexo de um tempo de residência menor, e como conseqüência há a liberação dos cátions mais “solúveis” como o cálcio. Águas mais ácidas, são características de amostras com STD menores. A amostra VTB apresenta o valor de pH mais baixo observado na região de estudo e o teor de STD foi de 52 mg.L⁻¹. Isto indica que a os íons responsáveis pela solução de percolação que infiltra no solo relaciona-se com o ácido carbônico

diminuindo o pH. Na medida em que a água subterrânea se move ao longo de sua linha de fluxo no aquífero ocorre uma diminuição da acidez, e conseqüente aumento do pH, pelas reações de intemperismo químico devido há um aumento na quantidade de sólidos dissolvidos na solução de lixiviação. Portanto, as águas com maior teor de STD, tendem a apresentar maior valor de pH. A amostra NPA apresenta STD de 423 mg.L^{-1} , considerado elevado em relação às demais amostras. Este fato corrobora para que o tempo de residência desta água seja maior, o que por sua vez, possibilitou um maior tempo de interação água rocha aumentando seus teores de STD, sulfato e cloreto.

Águas bicarbonatadas cálcicas podem ser resultantes do intemperismo químico do plagioclásio cálcico, como a labradorita, com uma pequena parcela de contribuição de carbonatos como a calcita. Na área de estudo esta classe foi associada a 21 amostras.

As águas bicarbonatadas sódicas não estão em equilíbrio com aquilo que seria de se esperar para um aquífero suportado por rochas basálticas. Este tipo de água foi determinada em 20 amostras. Estas águas podem evidenciar mistura das águas dos aquíferos sotopostos, através de condicionadores estruturais, principalmente o Guarani. Outra possibilidade é retratada pela diminuição da quantidade de cálcio e magnésio dissolvidos, assim, ocorre aumento dos valores de pH pela utilização dos íons H^+ e portanto, o aumento dos teores relativos em sódio é uma das conseqüências que pode resultar em águas bicarbonatadas sódicas. Nestas amostras o pH é superior a 7,0.

As águas de constituição mista ocorreram em 15 amostras na área de estudo. Composições tendendo para o pólo sódico podem indicar contribuição de fontes infrabasálticas, enquanto que teores maiores de magnésio podem perfeitamente se relacionar apenas com próprios basaltos pela própria composição mineralógica. Esta classe de água indica, de uma maneira geral, uma mistura de águas bicarbonatadas cálcicas com águas bicarbonatadas sódicas.

Os basaltos, na área de estudo, são muito pobres em sulfetos e em outras formas de enxofre e isto é refletido nos baixos teores de sulfato observado. Os teores mais elevados podem sugerir misturas por águas oriundas de aquíferos subjacentes, já que a formação Serra Geral não apresenta quantidades significativas de enxofre. Assim, águas sulfatadas sódicas não são comuns nesses litotipos Geral. A amostra NPA apresentou o teor de $252,20 \text{ mg.L}^{-1}$ de sulfato. A presença de pirita

(FeS₂) pode elevar o teor de sulfato na água. A Fácies Capanema, que representa a unidade determinada na região do poço, apresenta veios de pirita o que pode contribuir com concentrações anômalas de sulfato.

Os valores de cloreto, na área de estudo, são considerados normais para o aquífero Serra Geral. Os valores mais altos deste ânion podem indicar misturas com águas de aquíferos subjacentes, principalmente o Guarani, já que este é formado em ambiente desértico e flúvio-lacustre o que possibilitaria teores elevados de cloreto, como é o caso da amostra NPA, em que o teor de cloreto foi de 37,24 mg.L⁻¹, enquanto que a média verificada para as amostras foi de 3,22 mg.L⁻¹.

Os valores de nitrato observados estiveram próximos ao esperado para o aquífero Serra Geral, com um valor máximo de 12,91 mg.L⁻¹ na amostra PL1.

O íon magnésio pode ser proveniente principalmente de ferromagnesianos do basalto. Os valores observados para este íon na água são considerados normais para as rochas da formação Serra Geral.

O ferro ocorre em baixas concentrações com um máximo de 0,64 mg.L⁻¹. Estes valores são compatíveis com o esperado para o aquífero Serra Geral. Os valores baixos são atribuídos pelo fato de que apenas parte do ferro provinda dos minerais ferromagnesianos é colocado em solução, o restante compõe os minerais argilosos como resultado do intemperismo das rochas.

O maior valor de condutividade verificado nas amostras foi de 757 µS.cm⁻¹ na amostra NPA. Nesta amostra o valor de sulfato é de 252,0 mg.L⁻¹, de sódio igual a 134,0 mg.L⁻¹ e de cloreto igual a 37,24 mg.L⁻¹. Isto mostra que maiores valores de condutividade, também, estão associados à água com altas concentrações de sulfato.

Os valores de fluoreto variaram de 0,01 a 2,95 mg.L⁻¹. Os teores mais altos podem sugerir o enriquecimento em flúor em águas subterrâneas do aquífero Serra Geral é através da interação água-rocha em prolongado tempo. Outra hipótese baseia-se no controle estrutural e na conexão hidráulica entre diferentes aquíferos, por intermédio de estruturas tectônicas que possibilitam a ascensão de águas de aquíferos sotopostos ao aquífero Serra Geral (NANNI, 2006). Assim, os produtos resultantes são águas com teores acima do esperado para o fluoreto. A amostra NPA é a única que apresenta teor de fluoreto acima do esperado para o aquífero Serra Geral na área de estudo, com um valor de 2,95 mg.L⁻¹ que pode ser indicativa de mistura com aquíferos subjacentes ou interação água-rocha em prolongado

tempo, e por conseqüência aumento do teor de sólidos dissolvidos totais e o fluoreto.

As quinze amostras que apresentam o dado temperatura indicaram que treze amostras estiveram conforme o esperado segundo Buchmann (2002). Apenas duas amostras apresentavam temperaturas acima de 23,65 °C.

Quatro amostras não são adequadas para o consumo humano conforme a Portaria 518 do Ministério da Saúde e a Resolução 396/2008 do Conama. O parâmetro ferro indicou três amostras com valores acima dos permitidos, enquanto os parâmetros sulfato e fluoreto apresentam a amostra NPA como inadequada para o consumo humano.

A qualidade da água para irrigação indicou que três amostras apresentam risco de adsorção de sódio forte conforme a classificação do gráfico SAR. Para o parâmetro salinidade apenas a amostra NPA apresenta risco alto.

A classificação pela dureza indicou que a classe dominante de dureza é branda com vinte e cinco amostras.

O diagrama ternário com amostras de água e rochas da região de estudo indicou que as amostras de água apresentam-se com maior teor de cálcio que as amostras de rocha o que é atribuído a facilidade da água em remover este cátion dos minerais como labradorita da rocha devido sua alta solubilidade. Os altos teores de sódio em amostras de água não ocorrem em rochas da formação Serra Geral. Esta classe é representada pelas águas bicarbonatadas sódicas sendo o teor de sódio nesta classe varia entre 18 e 67 mg.L⁻¹. Estes valores podem sugerir contribuições infrabasálticas, realçado pelo fato de amostras de rocha da região não apresentarem estes teores de sódio. Observa-se que uma parcela do magnésio não foi disperso na água e o íon potássio é pouco presente nas amostras. A maior parte do potássio liberado por hidrólise é logo adsorvido por minerais argilosos. Assim, as amostras de rocha apresentam-se com menor teor de sódio e potássio que as amostras de água o que é comprovado pela baixa razão rK^+ / rNa^+ .

A classificação segundo Piper comprovou que águas bicarbonatadas cálcicas são a classe dominante no aquífero Serra Geral com 37% do total de amostras.

O cálcio é o mais abundante nas amostras, resultado de sua facilidade de remoção deste íon de plagioclásios do basalto, somado ao cálcio removido da calcita. A baixa razão rMg^{2+} / rCa^{2+} indica, também, a ocorrência da dissolução calcita que é comprovado pelo fato da calcita estar subsaturada nas amostras.

As águas com maiores valores de pH são águas, geralmente, do tipo bicarbonatadas sódicas. Nestas amostras, o pH variou de 7,37 a 9,88. Já as águas bicarbonatadas cálcicas e mistas apresentam, em geral, os menores valores de pH para a área de estudo.

A amostra que apresenta maior teor de sódio foi a NPA (água sulfatada sódica) com 134,00 mg.L⁻¹. Este valor é considerado acima do esperado para águas do aquífero Serra Geral.

As águas de composição diferenciada às bicarbonatadas cálcicas típicas do aquífero Serra Geral podem ser relacionadas a águas de zonas de maior tempo de confinamento no aquífero, ou a influência de águas de aquíferos sotopostos (BITTENCOURT *et al.*, 2003 e FRAGA, 1992). Assim, estas águas diferenciadas das bicarbonatadas cálcicas podem apresentar maiores valores de STD em relação às demais amostras. O valor da mediana de STD das amostras de águas bicarbonatadas cálcicas foi de 124,0 mg.L⁻¹, já para as amostras de águas bicarbonatadas mistas a mediana foi de 127,0 mg.L⁻¹ e para águas bicarbonatadas sódicas o valor da mediana foi de 163,0 mg.L⁻¹. Isto corrobora, para que o fato de águas bicarbonatadas cálcicas apresentem menor tempo de residência que os demais tipos de água.

Os valores mais baixos das razões iônicas rMg^{2+}/rCa^{2+} podem indicar a ocorrência de augita e diopsídio como provável fonte de magnésio nestas amostras. Assim, pode-se supor maiores teores de cálcio devido a procedência tanto dos plagioclásios cálcicos quanto de piroxênios.

A montmorilonita e a caulinita são os argilominerais mais estáveis neste ambiente geoquímico conforme mostrado pelo diagrama de estabilidade. Estes minerais podem ser resultantes do intemperismo químico sobre as rochas na região de estudo. Isto é resultado da hidrólise parcial do plagioclásio e piroxênio em pH próximo a neutralidade em que o alumínio é praticamente insolúvel. As amostras estáveis com a caulinita sugerem a ocorrência do processo de monossilificação. A indicação deste mineral representa que o processo intempérico sobre os minerais que contêm cálcio encontra-se em estado intermediário de intemperismo, pois parte do cálcio do mineral original se encontra em solução. Isto condiz com o intemperismo sobre minerais como os piroxênios e plagioclásio cálcico, pois são minerais mais susceptíveis à ação do intemperismo químico da área.

Já as amostras estáveis com a Na-montmorilonita sugerem o processo de bissialitização e indicam intemperismo precoce dessas rochas.

Uma variação no equilíbrio entre as espécies minerais caulinita e Ca-montmorilonita pode inferir uma evolução nos processos intempéricos para os minerais originais, partindo da base que Ca-montmorilonita que ainda contém cálcio e sílica em sua composição para a caulinita.

Quanto maior o tempo de residência da água mais enriquecida a mesma se torna em íons e sílica dissolvida e sólidos dissolvidos totais, fazendo com que a estabilidade mineral se desloque para o campo de minerais nos diagramas de estabilidade com maiores teores de sílica, como a montmorilonitas.

Apenas as amostras EN7 e NEB apresentaram-se estáveis para o microclínio no diagrama de estabilidade de aluminossilicatos para o parâmetro K^+ . Estas amostras apresentam valores de cálcio abaixo da média e sódio acima da média para a área de estudo e são classificadas como águas bicarbonatadas sódicas. O pH na amostra EN7 foi 9,58, temperatura de 23,80°C com STD de 214 mg.L⁻¹ enquanto na amostra NEB o pH foi 9,12, temperatura de 20,10°C e STD de 204 mg.L⁻¹. Isto pode ser indicativo de que rochas com componentes félsicos são configuradas na região, como a presença de arenitos e arenitos arcoseanos *intertraps*. O microclínio é um mineral mais resistente ao intemperismo, se comparado ao plagioclásio cálcico. A presença deste mineral, também, pode sugerir que o intemperismo, deste mineral está em estágio inicial.

No diagrama de estabilidade observa-se que a amostra CPA apresenta-se próxima da linha de solubilidade do quartzo para o Ca^{2+} e K^+ . Para o parâmetro Na^+ , esta amostra cruza esta linha e apresenta índice de saturação em equilíbrio com o quartzo. O quartzo não possui íons facilmente dissociáveis, sendo desta forma mais resistentes às situações de lixiviação e com uma baixa solubilidade.

Os índices de saturação das amostras configuram supersaturação de sílica sob a forma de calcedônia e quartzo em treze amostras o que pode indicar que o piroxênio e o plagioclásio constituem as fontes de sílica.

As amostras, apresentam, de um modo geral, tendência à dissolução para os carbonatos, que neste caso são a calcita, dolomita e aragonita. Parte do cálcio liberado em solução pode ter tido contribuição desses minerais, porém, acredita-se que a principal fonte deste elemento seja o plagioclásio cálcico, já que este é o mineral essencial dos basaltos da região. A calcita é o mineral carbonático acessório

mais comum observado nos basaltos da área de estudo e é o mineral que apresenta maior tendência a precipitação, dentre os carbonatos, representado por três amostras. Este, normalmente ocorre em veios ou preenchendo fraturas. A aragonita, apesar de ser polimorfo da calcita, é menos estável que o mesmo e configurou tendência à precipitação em apenas duas amostras.

Entre os minerais do grupo do plagioclásio, o plagioclásio cálcico intemperiza mais rapidamente que o plagioclásio sódico, liberando cálcio e sódio na água mais rapidamente que o potássio configurando valores mais baixos de potássio na água em relação ao cálcio e sódio o que é comprovado pela baixa razão rK^+/rNa^+ . Com os cátions liberados, as estruturas dos minerais são parcialmente decompostas e parcialmente reconstituídas nas estruturas dos minerais argilosos. Assim apenas uma parte do silício, sob a forma principal de ácido silícico e uma parte do alumínio são absorvidos pela solução aquosa.

Nenhuma das amostras de águas bicarbonatadas cálcicas apresenta carbonato em sua composição. Isto é refletido no pH que varia de 6,80 a 8,22 e desta forma não permite a ocorrência de carbonato. Assim, a água que atinge a rocha está inicialmente mais ácida, configurando amostras de águas mais ácidas, que de maneira geral, tendem a liberar da rocha os elementos mais solúveis como o cálcio.

Os lineamentos são considerados condicionantes do fluxo da água subterrânea. A interação água-rocha é incrementada em zonas fraturadas, aumentando o grau de alteração da rocha proporcionalmente com a densidade de fraturas, o que promove maior atividade nas reações de troca iônica. Por outro lado, se o lineamento é mineralizado o mesmo pode contribuir com elementos em concentrações anômalas. Assim, o enriquecimento de sulfato, na amostra NPA, ocorre em teor anormal se comparado a outras amostras, o que, por sua vez, pode indicar a presença de fraturas com alto teor de pirita.

A área de estudo apresentou-se como um aquífero com boas características físicas que proporcionam boas condições para o armazenamento da água.

A identificação em campo de sistemas de fraturamento e a medição destas estruturas ficam prejudicadas pela presença das coberturas de solos, por vezes espessas, condição característica de regiões com clima tropical a sub-tropical, onde o intemperismo químico das rochas predomina sobre o físico. Os resultados das medidas estruturais de campo representados em diagramas de roseta revelam

direções condizentes às descritas na literatura e utilizadas neste trabalho. Os lineamentos indicam, através de diagramas de roseta, direções N45-50W proeminentes e, em menor intensidade, N25-30W, N80-85E e N05-10W para a frequência. A direção N45-50W ocorre em toda a extensão da Bacia do Paraná e área de estudo.

Na área de estudo, as diferenças significativas das características hidrodinâmicas e hidroquímicas de poços relativamente próximos podem ser interpretadas como resultantes de condições estruturais particulares, as quais compartimentam e condicionam o fluxo da água subterrânea, mostrando que o aquífero é heterogêneo e anisotrópico. Os poços IT4 e IT1 apresentam distância aproximada de 4 km e mostram-se com características químicas diferentes. Notam-se, também, semelhanças químicas entre poços consideradamente próximos. Os poços EN3 e ENB apresentam distância aproximada de 1,5 km e verifica-se que estes poços são classificados como sendo de águas bicarbonatadas cálcicas. Os três poços no município de Verê, também apresentam características químicas semelhantes, sendo classificados como águas bicarbonatadas sódicas.

A região de estudo é caracterizada por intensos fraturamentos com direções condizentes ao esperado para a formação Serra Geral e a bacia do Paraná. Estes são as principais feições tectônicas que condicionam o fluxo e o quimismo das águas definindo um comportamento específico de circulação da água subterrânea na área.

De uma maneira geral todos os tipos de águas estão associadas principalmente a estruturas NW, já que está é a mais comum direção de fraturas da região. Os poços com amostras de águas bicarbonatadas cálcicas ocorrem associados a lineamentos NW principalmente. Do total de 21 poços tubulares desta classe, 19 estão localizados em estruturas com direção NW. Desses, 9 poços estão em estruturas entre N40-50W. Os outros 2 poços estão associados a estruturas N-S. Para águas bicarbonatadas sódicas verifica-se que dos 20 poços desta classe de água 18 estão associados a lineamentos NW com uma grande variação de azimute. Os restantes dos poços de amostras de águas bicarbonatadas sódicas estão localizados em lineamentos entre N20-30E. Nos poços de águas bicarbonatadas mistas observa-se que 5 poços estão associados a lineamentos E-W, 3 para NE e 7 para NW. A amostra de água sulfatada sódica ocorre em poço tubular localizado em um lineamento de direção aproximada N30W.

Os poços de maiores vazão, com 44 m³/h e 45 m³/h localizam-se em alinhamentos com direção NW. O primeiro é o poço localizado em Renascença (poço RNA), está locado em um lineamento de direção aproximada N25W. Já o segundo, é localizado em Marmeleiro (poço MR1) está locado em um lineamento de direção aproximada N80W. O poço de menor vazão da área está associado à direção N60W. A maior vazão da classe de águas bicarbonatadas cálcicas é observada em um poço no município de Pérola D'Oeste (poço PO1) com 38,3 m³/h. Já o menor valor foi de 2,4 m³/h em Vitorino (poço VT2) com média de vazão foi 10,96 m³/h.

O poço com maior vazão da classe de águas bicarbonatadas sódicas está localizado em Marmeleiro (poço MR1) com vazão de 45 m³/h associado a um lineamento de direção aproximada N75W. A menor vazão verificada é de 2 m³/h em Pranchita (poço PT2). A média de vazão dos poços é de 9,7 m³/h.

Para a classe de águas bicarbonatadas mistas verifica-se que a maior vazão observada é de 44 m³/h em Renascença (poço RNA). A menor vazão é de 3,5 m³/h em Francisco Beltrão (poço FBC). A média é de 13,23 m³/h.

Para o poço de amostra de água sulfatada sódica tem-se a vazão é de 4,65 m³/h. O poço apresenta duas entradas de água, a primeira de 54 e a segunda de 138 m de profundidade. A profundidade de perfuração do poço é de 250 m.

Os poços da área apresentam uma grande variação de profundidade de perfuração, variando do mínimo de 36 m a uma profundidade máxima de 350 m. Em muitos casos estas profundidades são fortemente influenciadas por fatores econômicos como custos da perfuração, necessidade de água não havendo, muitas vezes, uma relação direta com a produtividade dos poços.

Observa-se que as entradas de água nos poços ocorrem principalmente em duas entradas. 40 poços apresentam duas entradas de água e doze poços apresentam três entradas de água. As entradas de água variam de 5 a 237 m. Poços da classe de águas bicarbonatadas cálcicas apresentam uma variação de profundidades de entrada de água de 14 a 186 m. Os poços da classe de águas bicarbonatadas sódicas apresentam variação de profundidades de água de 22 a 237 m. As entradas de água nos poços variam de 12 a 88 m de profundidade, com média de 97 m. A menor profundidade de perfuração dos poços é de 36 m, em Francisco Beltrão (poço FBC) e a maior é de 350 m em Vitorino (poço VTB). Devido

a grande variação de profundidade de entradas de água é difícil estabelecer uma correlação com estes dados.

Os valores de capacidade específica dos poços utilizados mostram-se com variação de 0,02 m³/h/m a 19,29 m³/h/m. Isto indica a heterogeneidade do aquífero Serra Geral na área de estudo.

7 CONCLUSÕES

O aquífero Serra Geral na área de estudo mostrou-se capaz de abastecer comunidades com água de qualidade adequada para o consumo humano, exceto em quatro amostras. Para irrigação, o aquífero, também, demonstrou, que apresenta água com qualidade para esta finalidade em 53 amostras.

Os processos de fraturamento da rocha possibilitaram a geração de um sistema aquífero anisotrópico e heterogêneo. As fraturas permitiram a circulação de água nesta rocha, servindo como condutos e definindo um padrão de circulação para a região.

As principais direções de fraturas verificadas neste trabalho foram: N45-50W; N25-30W; N05-10W e N80-85E. Estas direções estão dentro do esperado para a bacia do Paraná e para a formação Serra Geral.

As influências das estruturas nas propriedades hidrodinâmicas e hidroquímicas do aquífero Serra Geral nem sempre são consideradas nos estudos de locação de poços. Assim a prospecção desse aquífero, em território paranaense, é em parte influenciada por fatores como localização dos poços na comunidade, distância da caixa de abastecimento, entre outros.

A exposição destas rochas a superfície desencadeou processos de intemperismo químico, como a bissialitização e monossialitização, que foram fundamentais para a definição das características químicas da região.

Os tipos químicos predominantes determinados nas amostras de água da região são: águas bicarbonatada cálcicas, águas bicarbonatadas sódica e águas bicarbonatadas mistas. Apenas uma amostra configurou sulfatada sódica.

O principal tipo de água observado na região de estudo é bicarbonatada cálcica. Esta classe de água é a mais comum e compatível com rochas basálticas da formação Serra geral. Águas bicarbonatadas sódicas podem indicar misturas de águas do Serra Geral com aquíferos subjacentes, bem como, podem representar variações litológicas no próprio contexto da formação Serra Geral.

A amostra de água sulfatada sódica é considerada incomum no aquífero Serra Geral. Este tipo de água pode indicar veios de pirita na região ou mistura de aquíferos subjacentes a este.

O íon mais comum nestas águas é o bicarbonato, seguido pela concentração de cálcio, o que mostra o controle litoquímico exercido pelas rochas vulcânicas da formação Serra Geral.

O processo de alteração sobre os minerais mais susceptíveis ao intemperismo tais como piroxênio e plagioclásio cálcico, pode fornecer, além de sílica na forma coloidal, íons cálcio e magnésio.

Os dados hidrodinâmicos dos poços tubulares da região mostraram-se com grande variação no que se refere aos quesitos vazão, profundidades de entrada de água, profundidade de perfuração, capacidade específica, nível estático e nível dinâmico.

Acredita-se que este estudo atingiu os objetivos propostos inicialmente e de que os resultados possibilitaram um entendimento maior do aquífero em questão.

Enfim, o Sistema Aquífero Serra Geral é um importante recurso hídrico do Paraná, em especial na região sudoeste do Estado, que pode e deve ser explorado de forma sustentável para assegurar água com qualidade e quantidade as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgar Blücher, 1983.

ARAÚJO, L.M., FRANÇA, A.B., POTTER, P.E. **Aqüífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Taquarembó**. Curitiba: UFPR, 1995.

ARIOLI, E. E LICHT O.A.B, VASCONCELLOS E.M.G, BONNET K.L, SANTOS E.M dos. **Faciologia Vulcânica da Formação Serra Geral na Região de Guarapuava, Paraná**. 2008, Boletim de Resumos do IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados

ARTUR, P. C. **Paleolineamentos na Bacia do Paraná: favorabilidade para a acumulação de hidrocarbonetos**. Curitiba, 1998. 202p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.

ASMUS, H. E. **Relacionamento Genético de feições geológicas de Margem Continental Sudeste Brasileira e de Área Continental emersa adjacente**. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, p 262-273, Curitiba, Atas Curitiba, SBG, Núcleo São Paulo, v1. 1981.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Editora da UFSC, Florianópolis, v. 1, 425 p., 1994.

BITTENCOURT, A.V.L., Sobre o controle do quimismo de águas termais da Bacia do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n.44, p. 117-129,1996.

BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. da ; HINDI. E. C. **Tópicos de Hidroquímica**. In Memória. *Curso Sudamericano sobre Evolucion y Conservacion de Acuiferos. Universidad Nacinal Del Assuncion. Assuncion. Cap.3, 2000.*

BITTENCOURT, A.V.L., ROSA FILHO, E. F., HINDI, E. C., BUCHMANN FILHO, A. C. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do rio Piquiri, Paraná – BR. **Revista de Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 17, p. 67-76, 2003.

BORGHETTI, N.R.B.; BORGUETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. **Aquífero Guarani: A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba. 214 p, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece normas e o padrão de portabilidade da água destinada ao consumo humano. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 59, p. 266-270, 26 mar. 2004, Seção 1.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 396 de 04 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. MMA. 2008

BUCHMANN FILHO, A. C. **Características das águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. Curitiba 2002. 150 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós Graduação em Geologia, - Universidade Federal do Paraná – UFPR

CAMPOS H.C.N.S. 1987. **Contribuição ao estudo hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. São Paulo, 134 p. (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

CELLIGOI, A; DUARTE. U. **Aspectos Hidrogeoquímicos da Formação Serra Geral em Londrina – PR –** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ., 8 Recife, Anais... Recife: ABAS. p. 425 – 433, 1994

CELLIGOI, A. ; DUARTE, U. Fortaleza. **Anais do Congresso**. São Paulo : ABAS, 2000. v.1.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 1983. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Omega.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica -. **Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativas 7, 8 e 9 - Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba**.Vol.I ,II e III. 1976

DAEE. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. Nota Explicativa. Governo do Estado de São Paulo 2005

DAVIS, S. N. e WIEST, R. J. M. 1966 - **Hydrogeology**, J. Wiley and sons, New York, 463 p.

FERNANDES, A.J.; MALDANER, C.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L.M.R.; PRESSINOTTI, M.M.N.; VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; HIRATA, R. **Modelo Conceitual preliminar de circulação da água subterrânea no aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP**. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Curitiba, 2006. Resumos expandidos. Curitiba: ABAS, 2007.

FERREIRA, C.H.N. ; GOMES, M.E.B. ; MESQUITA, M.J.M. ; DUTRA, C. R. ; BONGIOLO, E.M. ; ARIOLI, E.E. **Características estruturais de um derrame e estratigrafia da região de Salto Segredo**. In: IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, 2008, Foz do Iguaçu. Boletim de Resumos do IV Simpósio de Vulcanismo de Ambientes Associados, 2008

FERREIRA, F. J. F., MORAES, R. A. V., FERRARI, M. P., VIANNA, R. B. **Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara**. In: IV Simpósio Regional de Geologia, 3., Curitiba, 1981. Atas. Curitiba,, SBG, Núcleo São Paulo, v.1, p. 226-240, 1981.

FERREIRA F. J. F. 1982. **Alinhamentos estruturais – magnéticos da região centro oriental da Bacia do Paraná: reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos**. São Paulo: Consorcio CESP-IPT – Paulipetro, p. 144–166.

FRAGA, C. G. **Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. São Paulo, 1986, 125 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP).

FRAGA, C. G. **Origem dos fluoretos em águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucatu e Serra Geral**. São Paulo, 1992, 177 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP).

FREITAS, R. C. **Análise Estrutural Multitemática do Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito, Bacia do Paraná**. Curitiba, 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória). Departamento de Geologia. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

FREEZE, R. A & CHERRY, J. A. 1979. **Groundwater**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 604 p.

FÚLFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.; VIANNA, R.B. **Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, vol. 12, p. 590 – 611, 1982

FUNPAR. Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura. **Estudo de Impacto Ambiental de uma Usina Termoelétrica da Baía de Paranaguá e do Porto de Desembarque, subestação e linha de Transmissão Associados**, v.2. 1997

GALLO, G. SINNELLI, O. **Estudo Hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na Região de Ribeirão Preto**. São Paulo. Revista Brasileira de geociências v. 10, 1980, p 129-140

GONÇALES, V. G.; GIAMPÁ C. E. Q. 2006. **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. São Paulo, 502 p, Signus Editora.

HAWKESWORTH, C.J., GALLAGER, K., KELLEY, S., MANTOVANI, M.S.M., PEATE, D., REGELOUS, M., ROGERS, N. **Paraná magmatism and the opening of the**

South Atlantic. In: Storey, B.; Alabaster, A.; Pankhurst, R. (Eds.), *Magmatism and the Causes of Continental Break-up*. Geological Society Special Publication, v. 68, p. 221-240, 1992

HEM, J. D. 1985. *Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural water*. **Geological Survey Water- Supply Paper**. n. 2254, p1- 263.

HINDI, E. C. 1999. **Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das Bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo, PR.** Curitiba, 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

HINDI, E.C. **Hidroquímica e hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná.** 2007. 156p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná

IAPAR. 2000. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná.** Disponível em <[http:// www.iapar.br](http://www.iapar.br)> Acesso em 07 maio. 2008.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** 2007. Disponível em <<http://www.ibge.com.br>> Acesso em 10 março. 2008.

LICHT, O. A. B. 2001. **Análise multielementar na gestão ambiental – Identificação e caracterização de Províncias Geoquímicas naturais, alterações antrópica da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil.** Curitiba, V1-V2. 209 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná.

LLOYD J.W. & HETHCOTE J.A. **Natural Inorganic Hydrochemistry in relation to Groundwater.** An introduction. Oxford, Clarendon Press, 295p. 1985

LOGAN, J. 1961. Estimation of Electrical Conductivity from Chemical analysis of Natural Waters. **Journal of Geophysical Research**, Richmond, V. 66. 8: 2479-2483

MAACK, R. 1981. **Geografia física do Estado do Paraná.** 2., Rio de Janeiro: José Olímpio

MACHADO, J.L.F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. UNISINOS. São Leopoldo RS. 2005. 238p.

MARQUES, D. E. **Hidrogeoquímica nas Cavas da Produção de Areia na Região do Bairro Piranema – Distrito Areeiro Seropédica – Itaguaí RJ.** 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense.

MELFI, A. J. Potassium – **Argon Ages for core sample of basaltic rocks from southern Brazil**, *Geoch et Cosmoch, Acta*, 1976, p, 1079 -89

MILANI, E. J. 1997. **Evolução tecno-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. I.G/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, 255p.

MILANI, E. J. & RAMOS, V.A. 1998. **Orogenias paleozóicas no domínio sul ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná**. *Rev. Brasil. Geociências*, 28(4):473-484.

MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Escala 1:500.000. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2006

MINEROPAR, CPRM, **Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná**, Programa Geologia do Brasil. 101 p. 2006.

MONTANHEIRO T. J et .al., Serra **Geral Formation—São Paulo State, Brazil: a potential source for natural pozzolans**. *Materials Letters* 58 (2004) 876– 881

MOREIRA, A.A.N. & LIMA, G.R. 1977. Relevo. *In: Galvão, M.V. (Coord.). Geografia do Brasil: região sul*. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. p.134.

NANNI, A. S. **O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico.**/ Arthur Schmidt Nanni. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2008.

PIPER, A.M. 1944. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses**.*Am. Geophys. Union Trans.* 25:914-923.

PICCIRILO, E. M.; MELFI, A. J. **The Mesozoic flood volcanism of The Paraná Basin**. São Paulo, USP, 1988.

REBOUÇAS, A. C. **Potencialidades Hidrogeológicas dos Basaltos da Bacia do Paraná no Brasil**. *In. Congresso Brasileiro de Geologia*, 30, Recife, 1978. Anais., v. 6. Recife: SBG.P. 2963-1976

REBOUÇAS, A. C., FRAGA, C. G. Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil. **Revista de Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 12, p. , 1988.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C. 2006. Diagnóstico das águas subterrâneas no Estado do Paraná: quantidade e Qualidade. **Relatório Técnico**.

ROSA FILHO, E. F.; et al. Contribuição ao Estudo das Águas Subterrâneas nos Basaltos no Estado do Paraná. **Boletim Parananense de Geociências**, Curitiba, n 37, 1987, p 22-52

ROSTIROLLA, S.P., ASSINE, M.L., FERNANDEZ, L.A., ARTUR, P.C. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – O exemplo do Alto Estrutural do Quatiguá. **Revista Brasileira de Geociências**, 30(4): 639-648, 2000.

ROSTIROLLA, S.P.; MANCINI, F.; RIGOTI, A. **Reativação de Megalineamentos na Evolução Fanerozóica da Placa Sul-Americana**. In: **X SNET**, Curitiba, Resumo expandido, 2005.

RUEGG, N. A. **Aspectos Geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de Rochas Basálticas da Bacia do Paraná**. São Paulo, 1969, Dissertação de Doutorado, USP.

SANTOS, E. F. dos; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; CAMPONOGARA, I; CHAVES. A. **Vulnerabilidade a Contaminação das águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral / Guarani no Município de Quaraí / RS** | Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. 19p 2007

SALVE P. R, MAURYA A, KUMBHARE P. S, RAMTEKE D. S, WATE S. R. **Assessment of Groundwater Quality with Respect to Fluoride** Bull Environ Contam Toxicol 2008 81:289–293

SEMA. **Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. 2006. Bacia do Rio Iguaçu. Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná.

SILVA, A. **O Arco de Ponta Grossa e sua importância na correlação de estruturas continentais e oceânicas**. 4 Simp. Regional de Geol., SBG-São Paulo, Atas, p. 163 – 173. 1983.

SILVA, A.B.; SOARES A.P; BITTENCOURT, A.V.L.; FERREIRA, F.J.F. **Conectividade e Compartimentação Magnética Estrutural dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani na Região Central do Estado do Paraná** 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná.

SOARES, P.C. Divisão estratigráfica do Mesozóico do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, p. 229-251, 1975

SOARES, P. C et. al. Imagens de Radar e landsat na Bacia do Paraná In: **Simpósio Sul Regional de Geologia**, Curitiba, 1981, Anais SBG-NSP, p 201-216

SOARES, P.C.; Luz, M. E. R.; Redaelli, R.; Guerra, S. M. S. **Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos**

na **Bacia do Paraná**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., 1982, Brasília,. Anais... Brasília, DF: CNPQ, 1982. v. 1, p.157-168.

SOMMER, C.A.; LIMA, E.F.; NARDI, L.V.S.; FIGUEIREDO, A.M.G.; PIEROSAN, R. **Potassic and low- and high-Ti mildly alkaline volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau**, Southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 18, n. 3, p. 237-254, 2005

SUDERHSA, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental . Atlas de Recursos Hídricos, **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Governo do Paraná 1998.

TIRUMALESH K, SHIVANNA K, JALIHAL A. A 2007 **Isotope hydrochemical approach to understand fluoride release into groundwaters of Ilkal area, Bagalkot District, Karnataka, India**. *Hydrogeol J* 15:589–598.

TURNER, S., REGELOUS, M., KELLEY, S., HAWKESWORTH, S., E MANTOVANI, M.M.S. **Magmatism and Continental break-up in the South Atlantic: high precision 40 Ar- 39Ar geochronology**. *Earth Planetary Science Letter*, n. 124, p. 333-348, 1994

USGS. **United State Geological Servey**. 2007. Disponível em <<http://www.usgs.gov/>>.

VALENTE, S.; DUARTE, B.P.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H.; VALLADARES, C.S.; GUEDES, E.; WOLFRAM, T.; LOBO, J.; CORVAL, A.; DUTRA, T.; SOARES, L.H.; SOUZA, F.M.; VINHA, J.; FAMELLI, N. **Mapa do enxame de diques da Serra do Mar**, RJ. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. Anais...Cabo Frio, RJ: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 207-211. ZALÁN,

VIEIRA A.J **Geologia do Centro e Nordeste do Paraná e Centro Sul de São Paulo**. Congresso Brasileiro de Geologia, 27, São Paulo, 1973, Anais SBG v3, p 259- 277

ZALÁN, P. V; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. de J. **Tectônica e Sedimentação da Bacia Sedimentar** de Curitiba. In: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 3º, 1987, Curitiba. Atas...v.1; p. 441-474.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. & ZANOTTO, O.A. **Bacia do Paraná**. In: RajaGabaglia, G.P. & Milani, E.J. (coords.). **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Petrobrás, p. 135-168. 1990

ANEXO 1 – ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

| Nome | Município | DBI % | pH | STD | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Cl ⁻ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ |
|------|----------------------------|-------|------|--------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| BR5 | Barracão | 3,75 | 7,75 | 138,0 | 4,30 | 1,50 | 20,44 | 10,70 | 0,74 | 0,00 | 117,88 | 1,00 |
| BV3 | Bela Vista do Carobá | 1,26 | 7,44 | 122,4 | 6,00 | 0,90 | 17,50 | 5,30 | 1,55 | 0,00 | 91,50 | 0,57 |
| BV5 | Bela Vista do Carobá | 2,39 | 8,81 | 184,0 | 35,60 | 0,90 | 18,91 | 1,70 | 1,52 | 1,79 | 148,77 | 1,00 |
| BVA | Bela Vista do Carobá | 2,54 | 7,85 | 195,0 | 8,10 | 0,40 | 25,22 | 7,63 | 4,10 | 0,00 | 137,26 | 0,15 |
| BJ4 | Bom Jesus do Sul | 1,05 | 7,86 | 124,0 | 6,50 | 1,20 | 21,34 | 5,40 | 1,08 | 0,00 | 105,88 | 1,00 |
| BJ6 | Bom Jesus do Sul | 0,35 | 9,95 | 88,00 | 0,30 | 0,70 | 17,30 | 10,50 | 14,20 | 39,00 | 46,50 | 2,00 |
| BJA | Bom Jesus do Sul | 5,18 | 9,06 | 148,00 | 59,00 | 0,20 | 2,18 | 0,22 | 9,25 | 24,37 | 107,56 | 0,08 |
| CP16 | Capanema | 5,84 | 7,34 | 86,00 | 6,20 | 1,00 | 25,99 | 7,17 | 1,40 | 0,00 | 88,50 | 1,00 |
| CPA | Capanema | 3,34 | 8,01 | 196,00 | 6,70 | 0,50 | 26,77 | 7,83 | 4,60 | 0,00 | 122,47 | 0,09 |
| CPB | Capanema | 4,96 | 7,74 | 123,00 | 2,50 | 0,40 | 13,23 | 8,00 | 3,67 | 0,00 | 73,00 | 0,13 |
| CR2 | Cruzeiro do Iguaçu | 7,38 | 9,83 | 164,00 | 67,00 | 0,40 | 0,61 | 0,10 | 0,43 | 59,41 | 32,68 | 1,00 |
| DV1 | Dois Vizinhos | 5,04 | 7,29 | 162,0 | 16,2 | 0,50 | 16,89 | 6,83 | 1,58 | 0,00 | 113,14 | 1,00 |
| DVA | Dois Vizinhos | 0,02 | 7,44 | 119,00 | 6,10 | 0,60 | 16,59 | 4,74 | 11,38 | 0,00 | 71,29 | 0,50 |
| EN3 | Enéas Marques | 6,04 | 7,49 | 151,00 | 7,10 | 0,60 | 24,25 | 5,91 | 1,00 | 0,00 | 106,35 | 1,00 |
| EN7 | Enéas Marques | 7,55 | 9,58 | 214,00 | 52,60 | 0,30 | 3,80 | 0,10 | 2,28 | 112,00 | 12,20 | 0,57 |
| ENA | Enéas Marques | 5,53 | 6,90 | 95,00 | 3,22 | 0,64 | 12,49 | 3,35 | 3,00 | 0,00 | 50,00 | 2,00 |
| ENB | Enéas Marques | 0,11 | 6,8 | 83,0 | 5,80 | 0,90 | 18,74 | 2,82 | 0,16 | 0,00 | 87,00 | 0,50 |
| FB10 | Francisco Beltrão | 7,10 | 7,17 | 82,00 | 3,00 | 0,70 | 18,04 | 5,35 | 1,85 | 0,00 | 74,42 | 1,00 |
| FB28 | Francisco Beltrão | 1,99 | 7,03 | 166,0 | 5,10 | 0,80 | 22,95 | 8,15 | 1,38 | 0,00 | 93,00 | 20,00 |
| FBC | Francisco Beltrão | 5,28 | 7,30 | 66,00 | 4,39 | 1,08 | 4,32 | 4,62 | 1,00 | 0,00 | 43,00 | 0,01 |
| IT1 | Itapejara D'Oeste | 8,18 | 6,80 | 147,00 | 9,70 | 0,92 | 23,54 | 3,45 | 4,00 | 0,00 | 88,00 | 3,00 |
| IT4 | Itapejara D'Oeste | 8,81 | 8,81 | 137,00 | 44,40 | 0,20 | 0,80 | 0,48 | 4,13 | 34,76 | 44,44 | 12,70 |
| MF1 | Manfrinópolis | 0,03 | 8,16 | 168,0 | 22,40 | 0,50 | 15,10 | 5,20 | 1,99 | 0,00 | 128,10 | 0,60 |
| MFA | Manfrinópolis | 0,93 | 7,97 | 285,00 | 9,10 | 0,40 | 45,46 | 13,61 | 8,26 | 0,00 | 221,82 | 0,50 |
| MR1 | Marmeleiro | 3,15 | 8,68 | 87,0 | 19,80 | 0,40 | 8,77 | 2,06 | 0,18 | 9,70 | 73,91 | 0,50 |
| NE2 | Nova Esperança do Sudoeste | 7,93 | 7,50 | 169,00 | 24,00 | 0,57 | 16,50 | 4,15 | 4,00 | 0,00 | 100,00 | 7,00 |
| NEA | Nova Esperança do Sudoeste | 5,38 | 9,18 | 166,00 | 31,67 | 1,07 | 7,89 | 3,23 | 2,00 | 6,00 | 101,00 | 2,00 |
| NEB | Nova Esperança do Sudoeste | 8,93 | 9,12 | 204,00 | 54,40 | 0,40 | 6,59 | 0,34 | 0,60 | 38,93 | 98,66 | 0,09 |
| NPA | Nova Prata do Iguaçu | 0,55 | 8,87 | 423,0 | 134,00 | 0,79 | 25,35 | 1,95 | 37,24 | 11,88 | 42,27 | 252,20 |
| PB3 | Pata Branco | 7,12 | 8,94 | 93,00 | 18,00 | 0,60 | 1,46 | 0,86 | 1,00 | 16,00 | 47,00 | 1,00 |
| PO1 | Pérola D'Oeste | 2,14 | 7,35 | 96,0 | 6,06 | 0,90 | 21,15 | 4,52 | 1,62 | 0,00 | 96,23 | 1,00 |
| POA | Pérola D'Oeste | 0,28 | 7,72 | 127,0 | 3,40 | 0,40 | 13,66 | 6,73 | 4,49 | 0,00 | 77,60 | 0,20 |
| PB1 | Pinhal de São Bento | 0,29 | 8,22 | 162,0 | 8,00 | 1,10 | 22,84 | 7,44 | 0,41 | 0,00 | 127,21 | 1,00 |
| PB2 | Pinhal de São Bento | 0,68 | 8,79 | 240,0 | 46,00 | 0,90 | 15,63 | 4,89 | 1,79 | 10,46 | 178,63 | 0,50 |
| PBA | Pinhal de São Bento | 3,20 | 8,14 | 158,0 | 9,90 | 0,90 | 21,87 | 6,32 | 0,57 | 0,00 | 116,66 | 0,50 |
| PL1 | Planalto | 4,83 | 7,45 | 145,0 | 8,80 | 0,50 | 15,11 | 5,06 | 2,91 | 0,00 | 80,52 | 1,00 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------------------|------|------|--------|-------|------|-------|------|------|-------|--------|------|
| PL2 | Planalto | 2,44 | 8,1 | 145,0 | 24,00 | 0,70 | 21,07 | 9,09 | 0,47 | 0,00 | 164,24 | 1,00 |
| PT2 | Pranchita | 1,93 | 8,40 | 191,00 | 32,20 | 1,48 | 12,80 | 4,28 | 1,40 | 5,28 | 133,58 | 1,00 |
| PT3 | Pranchita | 1,86 | 7,35 | 176,0 | 8,00 | 1,95 | 23,81 | 8,45 | 0,98 | 0,00 | 131,27 | 1,00 |
| RZ1 | Realeza | 7,67 | 9,36 | 58,0 | 22,80 | 0,70 | 3,21 | 0,19 | 0,15 | 6,77 | 54,23 | 0,50 |
| RZA | Realeza | 0,74 | 7,89 | 115,0 | 3,50 | 0,30 | 13,70 | 4,72 | 5,09 | 0,00 | 65,22 | 0,13 |
| RN2 | Renascença | 7,82 | 9,88 | 107,00 | 31,00 | 0,90 | 2,15 | 0,02 | 8,10 | 33,65 | 0,50 | 1,00 |
| RNA | Renascença | 0,94 | 7,29 | 103,0 | 14,00 | 0,50 | 9,76 | 2,00 | 0,44 | 0,00 | 74,88 | 0,50 |
| RNB | Renascença | 4,40 | 7,10 | 112,0 | 3,08 | 1,08 | 10,57 | 5,03 | 0,50 | 0,00 | 57,00 | 3,00 |
| SGD | Salgado Filho | 2,55 | 8,82 | 155,00 | 42,00 | 0,20 | 3,41 | 0,22 | 4,54 | 19,02 | 101,87 | 0,50 |
| SGE | Salgado Filho | 8,81 | 8,93 | 148,00 | 53,00 | 0,20 | 1,82 | 0,17 | 4,43 | 30,83 | 84,43 | 0,03 |
| SI4 | Santa Isabel do Oeste | 3,21 | 8,53 | 162,0 | 40,00 | 0,20 | 5,37 | 0,07 | 0,04 | 4,84 | 109,20 | 1,00 |
| SI5 | Santa Isabel do Oeste | 1,56 | 9,18 | 210,0 | 57,00 | 0,50 | 0,64 | 0,07 | 0,14 | 25,88 | 131,95 | 0,50 |
| SA1 | Santo Antônio do Sudoeste | 3,59 | 7,61 | 123,0 | 4,90 | 1,20 | 14,82 | 5,28 | 0,87 | 0,00 | 72,34 | 5,30 |
| SA2 | Santo Antônio do Sudoeste | 6,51 | 7,83 | 158,0 | 11,50 | 0,50 | 19,41 | 7,51 | 0,62 | 0,00 | 110,18 | 1,00 |
| SAA | Santo Antônio do Sudoeste | 0,92 | 7,54 | 157,0 | 7,50 | 0,40 | 22,45 | 5,40 | 5,85 | 0,00 | 108,07 | 0,10 |
| VR2 | Verê | 2,95 | 9,05 | 142,0 | 38,40 | 0,36 | 1,80 | 0,24 | 4,00 | 32,00 | 52,00 | 9,00 |
| VR3 | Verê | 1,62 | 7,37 | 205,0 | 59,80 | 0,20 | 1,10 | 0,41 | 0,17 | 0,00 | 168,17 | 1,00 |
| VR4 | Verê | 4,66 | 9,77 | 188,00 | 64,20 | 1,00 | 0,59 | 0,05 | 0,55 | 62,05 | 29,39 | 1,00 |
| VT2 | Vitorino | 0,24 | 7,23 | 78,0 | 4,31 | 0,78 | 12,26 | 0,99 | 0,51 | 0,00 | 52,60 | 1,00 |
| VTA | Vitorino | 0,63 | 8,15 | 81,00 | 14,20 | 0,40 | 12,24 | 1,70 | 0,39 | 4,32 | 72,17 | 0,50 |
| VTB | Vitorino | 1,91 | 6,69 | 52,00 | 3,50 | 0,80 | 7,48 | 2,96 | 2,99 | 0,00 | 34,26 | 1,00 |

Dados em mg.L⁻¹
pH em unidades de pH

| Nome | Município | NO ₃ ⁻ | Sílica Dissolvida | Dureza | Dureza calculada | Ferro | Condutividade | Condutividade Calculada | F ⁻ | T (° C) | Condutividade – Logan-Rossum |
|------|----------------------------|------------------------------|-------------------|--------|------------------|-------|---------------|-------------------------|----------------|---------|------------------------------|
| BR5 | Barracão | 0,04 | 24,02 | 95,00 | 94,87 | 0,02 | 192,00 | 186,3 | 0,01 | | 191,37 |
| BV3 | Bela Vista do Carobá | 2,87 | 46,27 | 66,00 | 65,36 | 0,02 | | 165,24 | 0,21 | | 152,23 |
| BV5 | Bela Vista do Carobá | 3,01 | 31,50 | 51,82 | 54,07 | 0,06 | 232,00 | 248,4 | 0,08 | | 250,87 |
| BVA | Bela Vista do Carobá | | 65,50 | 93,96 | 94,16 | 0,01 | 197,00 | 263,25 | 0,17 | 20,60 | 217,34 |
| BJ4 | Bom Jesus do Sul | 2,70 | 21,30 | 72,28 | 75,33 | 0,03 | 145,40 | 167,4 | 0,28 | | 173,66 |
| BJ6 | Bom Jesus do Sul | 0,60 | 16,80 | 40,00 | 86,23 | 0,19 | 225,40 | 118,8 | 0,31 | | 263,54 |
| BJA | Bom Jesus do Sul | | 19,10 | 6,32 | 6,33 | 0,01 | 211,00 | 199,8 | 0,44 | 21,80 | 295,84 |
| CP16 | Capanema | 7,78 | 61,80 | 94,35 | 94,18 | 0,17 | 175,30 | 116,1 | 0,09 | | 187,27 |
| CPA | Capanema | | 70,30 | 98,60 | 98,84 | 0,01 | 192,00 | 264,6 | 0,28 | 22,20 | 209,98 |
| CPB | Capanema | | 50,50 | 65,50 | 65,82 | 0,01 | 110,00 | 166,05 | 0,16 | 21,80 | 129,96 |
| CR2 | Cruzeiro do Iguaçu | 0,04 | 49,30 | 1,90 | 1,93 | 0,04 | 252,00 | 221,4 | 0,48 | | 337,94 |
| DV1 | Dois Vizinhos | 4,24 | 47,90 | 69,74 | 70,13 | 0,10 | 170,00 | 218,7 | 0,01 | | 195,26 |
| DVA | Dois Vizinhos | | 33,80 | 60,66 | 60,79 | 0,05 | 120,00 | 160,65 | 0,19 | 20,20 | 149,99 |
| EN3 | Enéas Marques | 2,98 | 47,29 | 84,92 | 84,67 | 0,02 | 177,00 | 203,85 | 0,01 | | 183,90 |
| EN7 | Enéas Marques | 0,00 | 36,62 | 10,00 | 9,87 | 0,02 | | 288,9 | 0,33 | 23,80 | 452,47 |
| ENA | Enéas Marques | 0,45 | 25,00 | 45,00 | 44,87 | 0,10 | | 128,25 | 0,01 | | 98,33 |
| ENB | Enéas Marques | 3,09 | 47,70 | 58,09 | 58,25 | 0,17 | 139,70 | 112,05 | 0,01 | | 139,63 |
| FB10 | Francisco Beltrão | 0,17 | 34,55 | 67,00 | 66,91 | 0,41 | 116,00 | 110,7 | 0,09 | | 132,64 |
| FB28 | Francisco Beltrão | 0,61 | 12,59 | 91,00 | 90,64 | 0,00 | | 224,1 | 0,21 | 20,90 | 203,48 |
| FBC | Francisco Beltrão | 0,08 | 20,00 | 29,00 | 29,75 | 0,12 | | 89,1 | 0,01 | | 72,48 |
| IT1 | Itapejara D'Oeste | 0,55 | 18,00 | 73,00 | 72,79 | 0,05 | | 198,45 | 0,01 | | 172,05 |
| IT4 | Itapejara D'Oeste | 0,04 | 44,15 | 4,00 | 3,96 | 0,06 | 214,00 | 184,95 | 0,11 | | 256,63 |
| MF1 | Manfrinópolis | 1,10 | | 52,00 | 58,97 | 0,02 | | 226,8 | 0,25 | | 203,77 |
| MFA | Manfrinópolis | | 73,30 | 168,75 | 169,13 | 0,03 | 305,00 | 384,75 | 0,33 | 21,00 | 363,27 |
| MR1 | Marmeleiro | 1,24 | 30,30 | 30,45 | 30,30 | 0,03 | 145,30 | 117,45 | 0,06 | | 155,32 |
| NE2 | Nova Esperança do Sudoeste | 0,02 | 23,00 | 57,00 | 58,14 | 0,51 | | 228,15 | | | 200,20 |
| NEA | Nova Esperança do Sudoeste | 0,44 | | 10,00 | 32,92 | 0,00 | | 224,1 | 0,10 | | 197,58 |
| NEB | Nova Esperança do Sudoeste | | 42,40 | 17,87 | 17,81 | 0,17 | 205,00 | 275,4 | 0,20 | 20,10 | 314,77 |
| NPA | Nova Prata do Iguaçu | 1,90 | 29,00 | 71,45 | 71,14 | 0,29 | 757,00 | 571,05 | 2,95 | | 904,52 |
| PB3 | Pata Branco | 0,65 | 20,88 | 0,05 | 7,17 | 0,05 | | 125,55 | 0,10 | | 128,97 |
| PO1 | Pérola D'Oeste | 7,78 | 69,70 | 70,38 | 71,24 | 0,02 | 152,30 | 129,6 | 0,17 | | 169,94 |
| POA | Pérola D'Oeste | | 51,20 | 61,45 | 61,67 | 0,01 | 89,60 | 171,45 | 0,04 | 20,90 | 133,18 |
| PB1 | Pinhal de São Bento | 0,31 | 44,50 | 85,82 | 87,45 | 0,10 | 189,50 | 218,7 | 0,01 | | 198,44 |

| | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|--------|--------|------|-------|--------|
| PB2 | Pinhal de São Bento | 7,73 | 45,30 | 57,93 | 59,02 | 0,03 | 293,00 | 324 | 0,44 | | 328,44 |
| PBA | Pinhal de São Bento | 2,21 | 46,20 | 78,96 | 80,43 | 0,08 | 211,00 | 213,3 | 0,11 | | 190,19 |
| PL1 | Planalto | 12,91 | 51,50 | 57,68 | 58,42 | 0,01 | 170,30 | 195,75 | 0,23 | | 160,50 |
| PL2 | Planalto | 3,84 | 60,00 | 88,68 | 89,82 | 0,26 | 242,00 | 195,75 | 0,03 | | 264,44 |
| PT2 | Pranchita | 2,98 | 50,02 | 48,61 | 49,46 | 0,04 | 220,00 | 257,85 | 0,01 | | 237,67 |
| PT3 | Pranchita | 1,32 | 53,40 | 92,58 | 94,02 | 0,64 | 193,50 | 237,6 | 0,01 | | 211,86 |
| RZ1 | Realeza | 1,85 | 20,90 | 8,82 | 8,77 | 0,23 | 97,40 | 78,3 | 0,15 | 21,50 | 119,48 |
| RZA | Realeza | | 47,30 | 53,35 | 53,51 | 0,01 | 104,00 | 155,25 | 0,19 | | 118,15 |
| RN2 | Renascença | 0,04 | 34,20 | 5,33 | 5,44 | 0,03 | 129,60 | 144,45 | 0,10 | | 187,25 |
| RNA | Renascença | 1,90 | 29,30 | 0,00 | 32,52 | 0,06 | 113,40 | 139,05 | 0,01 | 25,00 | 120,35 |
| RNB | Renascença | 0,15 | 25,00 | 47,00 | 46,99 | 0,00 | | 151,2 | 0,56 | 21,40 | 101,03 |
| SGD | Salgado Filho | | 41,30 | 9,39 | 9,40 | 0,07 | 168,60 | 209,25 | 0,38 | 19,90 | 234,49 |
| SGE | Salgado Filho | | 41,10 | 5,24 | 5,23 | 0,01 | 198,00 | 199,8 | 0,03 | | 273,69 |
| SI4 | Santa Isabel do Oeste | 1,19 | 43,80 | 13,69 | 13,66 | 0,03 | 166,00 | 218,7 | 0,58 | | 192,83 |
| SI5 | Santa Isabel do Oeste | 0,04 | 36,00 | 1,88 | 1,88 | 0,04 | 273,00 | 283,5 | 0,29 | | 290,20 |
| SA1 | Santo Antônio do Sudoeste | 5,30 | 46,40 | 56,43 | 58,60 | 0,01 | 121,00 | 166,05 | 0,25 | | 139,55 |
| SA2 | Santo Antônio do Sudoeste | 4,64 | 47,20 | 78,78 | 79,20 | 0,01 | 160,90 | 213,3 | 0,11 | 20,20 | 190,87 |
| SAA | Santo Antônio do Sudoeste | | 47,70 | 77,96 | 78,09 | 0,01 | 169,00 | 211,95 | 0,01 | | 183,61 |
| VR2 | Verê | 0,17 | 47,00 | 6,00 | 5,47 | 0,00 | | 191,7 | 0,28 | | 237,37 |
| VR3 | Verê | 0,22 | 41,50 | 4,42 | 4,42 | 0,21 | 226,00 | 276,75 | 0,59 | | 251,57 |
| VR4 | Verê | 0,04 | 41,60 | 1,67 | 1,67 | 0,07 | 242,00 | 253,8 | 0,01 | | 338,24 |
| VT2 | Vitorino | 1,52 | 23,70 | 34,68 | 34,60 | | 80,00 | 105,3 | 0,08 | | 87,73 |
| VTA | Vitorino | 1,33 | 31,10 | 36,67 | 37,46 | 0,06 | 135,40 | 109,35 | 0,10 | | 135,24 |
| VTB | Vitorino | 10,43 | 15,80 | 30,33 | 30,79 | 0,01 | 85,60 | 70,2 | | | |

Dados em mg.L⁻¹

Dureza e dureza calculada em mg.L⁻¹ (CaCO₃)

Medidas de condutividade em µS.cm⁻¹

ANEXO 2 – DADOS HIDRODINÂMICOS

| Nome | Município | UTM N-S | UTM E-W | E.A | E.A 2 | E.A 3 | Vazão | Profundidade | N.E | N.D | Capacidade Específica |
|------|----------------------------|-----------|---------|--------|-------|-------|-------|--------------|--------|--------|-----------------------|
| BR5 | Barracão | 7093336 | 237010 | 18 | 23 | | 9,00 | 144,00 | 10,51 | 14,20 | 2,44 |
| BV3 | Bela Vista do Carobá | 7142960 | 234905 | 78 | 96 | | 13,89 | 138,00 | 32,09 | 32,81 | 19,29 |
| BV5 | Bela Vista do Carobá | 7131856 | 236251 | 143 | | | 6 | 172,00 | 25,07 | 93,57 | 0,09 |
| BVA | Bela Vista do Carobá | 7.134.921 | 230.737 | 60 | 167 | 24 | 21,98 | 216,00 | 46,00 | 60,28 | 1,54 |
| BJ4 | Bom Jesus do Sul | 7106806 | 242550 | 15 | 87 | | 6,00 | 154,00 | 11,87 | 24,90 | 0,46 |
| BJ6 | Bom Jesus do Sul | 7100750 | 242874 | 70,00 | 90,00 | | 4,50 | 150,00 | 50,00 | 70,00 | 0,23 |
| BJA | Bom Jesus do Sul | 7.100.210 | 240.485 | 187,00 | | | 2,22 | 204,00 | 132,20 | 142,66 | 0,21 |
| CP16 | Capanema | 7160353 | 215101 | 40,00 | 66,00 | | 14,94 | 108,00 | 8,75 | 35,33 | 0,56 |
| CPA | Capanema | 7.163.795 | 211.144 | 28,00 | 30,00 | 32,00 | 6,57 | 80,00 | 18,20 | 19,61 | 4,66 |
| CPB | Capanema | 7.166.045 | 204.785 | 23,00 | 44,00 | | 5,62 | 69,00 | 6,00 | 26,91 | 0,27 |
| CR2 | Cruzeiro do Iguaçu | 7165353 | 287406 | 121,00 | | | 27,31 | 240,00 | 65,20 | 121,95 | 0,48 |
| DV1 | Dois Vizinhos | 7158155 | 283585 | 84 | 188 | | 25,20 | 190,00 | 82,00 | 98,30 | 1,55 |
| DVA | Dois Vizinhos | 7.150.289 | 291.615 | 60 | 155 | | 11,00 | 203,00 | 2,00 | 28,78 | 0,41 |
| EN3 | Enéas Marques | 7129805 | 282757 | 17,00 | 75,00 | 85,00 | 5,00 | 150,00 | 5,50 | 16,00 | 0,48 |
| EN7 | Enéas Marques | 7134310 | 283239 | 147,00 | | | 3,00 | 156,00 | 2,70 | 102,00 | 0,03 |
| ENA | Enéas Marques | 7135730 | 287782 | 17,00 | 25,00 | | 7,00 | 45,00 | 3,00 | 10,00 | 1,00 |
| ENB | Enéas Marques | 7129407 | 283505 | 156 | 186 | | 24,75 | 256,00 | 21,07 | 168,37 | 0,17 |
| FB10 | Francisco Beltrão | 7113701 | 280743 | 24,00 | 40,00 | | 9,00 | 120,00 | 2,71 | 11,18 | 1,06 |
| FB28 | Francisco Beltrão | 7113559 | 293045 | 70 | 83 | | 11,00 | 114,00 | 54,00 | 97,00 | 0,26 |
| FBC | Francisco Beltrão | 7125414 | 299428 | 22,00 | | | 3,50 | 36,00 | 8,00 | 19,00 | 0,32 |
| IT1 | Itapejara D'Oeste | 7126758 | 318458 | 82,00 | | | 5,67 | 130,00 | 7,00 | 87,00 | 0,07 |
| IT4 | Itapejara D'Oeste | 7127808 | 321508 | 63,00 | 95,00 | | 22,00 | 300,00 | 4,70 | 91,77 | 0,25 |
| MF1 | Manfrinópolis | 7109104 | 263750 | 60 | | | 5,28 | 100,00 | 30,49 | 56,00 | 0,21 |
| MFA | Manfrinópolis | 7.106.370 | 268.766 | 72 | 175 | | 7,49 | 186,00 | 65,12 | 66,23 | 6,75 |
| MR1 | Marmeleiro | 7107170 | 297607 | 17 | 142 | 214 | 45,00 | 226,00 | 9,50 | 183,20 | 0,26 |
| NE2 | Nova Esperança do Sudoeste | 7134455 | 273307 | 60,00 | | | 9,60 | 100,00 | 5,10 | 65,10 | 0,16 |
| NEA | Nova Esperança do Sudoeste | 7141801 | 281054 | 36,50 | | | 7,20 | 44,00 | 4,14 | 38,85 | 0,21 |
| NEB | Nova Esperança do Sudoeste | 7.132.888 | 274.106 | 106,00 | 79,00 | 22,00 | 16,50 | 124,00 | 11,31 | 23,46 | 1,36 |
| NPA | Nova Prata do Iguaçu | 7170252 | 255131 | 54 | 138 | | 4,65 | 250,00 | 10,80 | 49,42 | 0,12 |
| PB3 | Pata Branco | 7108958 | 334708 | 135,00 | | | 8,80 | 144,00 | 66,00 | 67,00 | 8,80 |
| PO1 | Pérola D'Oeste | 7138492 | 225173 | 20 | 60 | | 39,30 | 234,00 | 8,42 | 20,49 | 3,26 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|
| POA | Pérola D'Oeste | 7134017 | 222.751 | 108 | | | 9,63 | 150,00 | 4,80 | 16,23 | 0,84 |
| PB1 | Pinhal de São Bento | 7122902 | 249977 | 70 | 72 | | 3,60 | 88,00 | 42,62 | 63,71 | 0,17 |
| PB2 | Pinhal de São Bento | 7122439 | 261415 | 201 | | | 4,00 | 220,00 | 133,61 | 143,22 | 0,42 |
| PBA | Pinhal de São Bento | 7117939 | 253056 | 42 | 120 | | 7,20 | 150,00 | 14,23 | 33,30 | 0,38 |
| PL1 | Planalto | 7155801 | 229635 | 114 | | | 12,00 | 129,00 | 78,00 | 100,00 | 0,55 |
| PL2 | Planalto | 7146904 | 219778 | 12/1 | 66,00 | | 10,12 | 200,00 | 60,85 | 62,86 | 5,03 |
| PT2 | Pranchita | 7125707 | 238650 | 134,00 | 215,00 | | 2,00 | 232,00 | 89,90 | 131,03 | 0,05 |
| PT3 | Pranchita | 7122382 | 229447 | 25 | 54 | 76 | 9,00 | 94,00 | 7,74 | 42,00 | 0,26 |
| RZ1 | Realeza | 7147627 | 247388 | 102 | | | 5,40 | 350,00 | 81,10 | 100,50 | 0,28 |
| RZA | Realeza | 7.154.361 | 247.529 | 14 | | | 3,66 | 150,00 | 7,55 | 9,00 | 2,52 |
| RN2 | Renascença | 7097598 | 311699 | 24,00 | 84,00 | | 2,93 | 264,00 | 13,30 | 148,81 | 0,02 |
| RNA | Renascença | 7104269 | 302802 | 18 | 5 | 158 | 44,00 | 162,00 | 60,00 | 77,96 | 2,45 |
| RNB | Renascença | 7109547 | 312025 | 27 | 33 | 38 | 6,55 | 42,00 | 5,45 | 7,50 | 3,20 |
| SGD | Salgado Filho | 7.100.628 | 263.772 | 72 | 116 | | 9,60 | 150,00 | 29,90 | 95,16 | 0,15 |
| SGE | Salgado Filho | 7.102.561 | 263.928 | 56 | | | 3,43 | 150,00 | 31,29 | 49,79 | 0,19 |
| SI4 | Santa Isabel do Oeste | 7147499 | 255862 | 124 | | | 3,40 | 154,00 | 81,78 | 111,89 | 0,11 |
| SI5 | Santa Isabel do Oeste | 7131626 | 263744 | 184 | 181 | | 9,00 | 190,00 | 80,04 | 116,28 | 0,25 |
| SA1 | Santo Antônio do Sudoeste | 7123955 | 238053 | 50 | | | 11,31 | 120,00 | 23,00 | 60,00 | 0,31 |
| SA2 | Santo Antônio do Sudoeste | 7117888 | 239026 | 36 | 54 | | 5,50 | 100,00 | 36,10 | 63,20 | 0,20 |
| SAA | Santo Antônio do Sudoeste | 7.115.391 | 226.953 | 36,5 | 77 | | 9,30 | 90,00 | 12,56 | 22,01 | 0,98 |
| VR2 | Verê | 7135900 | 309200 | 35 | 61 | | 6,32 | 105,00 | 20,50 | 55,00 | 0,18 |
| VR3 | Verê | 7138844 | 306641 | 50 | 120 | 150 | 4,50 | 164,00 | 37,20 | 95,00 | 0,08 |
| VR4 | Verê | 7140424 | 307801 | 45,00 | 74,00 | 237,00 | 4,00 | 300,00 | 1,37 | 237,00 | 0,02 |
| VT2 | Vitorino | 7096260 | 322899 | 54 | 57 | | 2,40 | 87,00 | 32,30 | 52,50 | 0,12 |
| VTA | Vitorino | 7098429 | 320979 | 219,00 | | | 33,00 | 220,00 | 37,01 | 67,00 | 1,10 |
| VTB | Vitorino | 7093544 | 322254 | 15,00 | 135,00 | | 15,00 | 350,00 | 6,58 | 36,00 | 0,51 |

Coordenadas UTM em metros (Datum SAD69)

E.A – Entradas de água (dados em metro)

Vazão em m³/h

N.E – nível estático (m)

N.D – nível dinâmico (m)

Profundidade em metros

Capacidade específica em m³/h/m

ANEXO 3 – FOTOS DA ÁREA DE ESTUDO



Foto 1. Rio Iguaçu na divisa do município de Capitão Leônidas Marques e Capanema; Foto 2. Afloramento de basalto próximo a Usina hidrelétrica Salto Caxias em Nova Prata do Iguaçu; Foto 3. Afloramento de basalto em Flor da Serra do Sul; Foto 4. Visão dos aspectos do relevo em Salgado Filho. A seta indica o norte.



Foto 5. Basalto fraturado com preenchimento de quartzo em Francisco Beltrão; Foto 6. Basalto fraturado com preenchimento de calcita em Francisco Beltrão; Foto 7. Basalto fraturado com preenchimento de quartzo em Renascença; Foto 8. Rio no município de Vitorino. A seta indica o norte.

