

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PÂMELA NATHALIA GERMANO TELLES**

**MAPEAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,  
RS**

**CAÇAPAVA DO SUL  
2016**

**PÂMELA NATHALIA GERMANO TELLES**

**MAPEAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,  
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Andréa Cristina Lima  
dos Santos-Matos

**Caçapava do Sul  
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

T274m Telles, Pâmela Nathalia Germano  
Mapeamento Hidrogeoquímico do Município de Caçapava  
do Sul / Pâmela Nathalia Germano Telles.  
78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2016.  
"Orientação: Andréa Cristina Lima dos Santos Matos".

1. Hidrogeoquímica. 2. Domínios Hidrogeológicos. 3.  
Sistemas Aquíferos. 4. Análises Químicas. I. Título.

**PÂMELA NATHALIA GERMANO TELLES**

**MAPEAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,  
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de dezembro de  
2016.

Banca examinadora:

---

Prof. Dra. Andréa Cristina Lima dos Santos-Matos  
Orientadora

---

Me. Rafael Lima Dessart

---

Me. Guilherme Casanova  
UNIPAMPA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram na minha jornada. A minha orientadora Andréa Lima dos Santos-Matos, que me auxiliou e orientou para que conseguíssemos realizar e finalizar este trabalho. Aos Motoristas e técnicos da UNIPAMPA que ajudaram na realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Liza e Paulo por sempre me apoiarem, incentivarem e darem suporte para que eu pudesse concluir a graduação. A minha irmã Michele que sempre esteve presente mesmo morando distante, por todo suporte e incentivo proporcionado.

Ao meu colega de graduação, amigo e companheiro Cesar por toda ajuda durante toda graduação, inclusive nas idas a campo e análises realizadas em meu TCC.

E um muito obrigada em especial para meu filho Arthur. Por todas as vezes que precisou frequentar as aulas comigo, os atrasos para buscá-lo na escola pois eu estava em aula, infinitas saídas de campo em que ficava alguns dias sem vê-lo. Por toda compreensão na hora em que eu tinha que estudar para provas e não podia dar a devida atenção. Obrigada pela ajuda no TCC em que escrevia no quadro siglas para que eu pudesse ficar analisando. Sem a compreensão dele este trabalho não seria possível.

Por fim mas não menos importante queria agradecer a Deus por todas as pessoas que ele colocou em meu caminho e por nunca deixar eu fraquejar e desistir.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o mapeamento hidrogeoquímico do município de Caçapava do Sul por meio da caracterização geoquímica e de potabilidade das águas. A metodologia empregada consistiu na realização de campanhas de amostragem e execução de análises e medidas físico-químicas da água subterrânea. Quase a totalidade dos domicílios da zona rural do município utilizam a água subterrânea como abastecimento, no entanto não existe nenhum controle quanto a qualidade e potabilidade dessas águas. A hidrogeoquímica é a ciência que estuda as propriedades químicas das águas subterrâneas e sua relação com a geologia local. Foram realizadas as seguintes análises físico-químicas da água dos poços tubulares: cor, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade total, pH, sólidos totais dissolvidos, dureza total, cálcio, magnésio, ferro, sulfato, cloreto e fluorescência de raios X. Caçapava do Sul abrange as bacias hidrográficas do Rio Camaquã, Baixo Jacuí e Vacacaí-Vacacaí Mirim com seus respectivos domínios hidrogeológicos e sistemas aquíferos. As rochas do Embasamento são metavulcânicas, metassedimentares e cristalinas, pertencentes à Província Mantiqueira. Na Bacia do Camaquã são encontradas rochas vulcânicas, vulcano-sedimentares e sequências sedimentares de idades ediacaranas, cambrianas até ordoviciano inferior. Por fim na Bacia do Paraná estão presentes arenitos, siltitos, conglomerados e folhelhos carbonosos. Os resultados apresentam os problemas de potabilidade das águas subterrâneas do município de Caçapava do Sul. Os parâmetros analisados apresentaram variação expressiva na composição das águas subterrâneas de Caçapava do Sul. Há presença das bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e alguns constituintes traço identificados qualitativamente através de fluorescência de raios X.

Palavras-Chave: Hidrogeoquímica, Caçapava do Sul, Domínios Hidrogeológicos e Sistemas Aquíferos.

## ABSTRACT

The objective of this work was the hydrogeochemical mapping of the municipality of Caçapava do Sul by means of the geochemical characterization and potability of the waters. The methodology used consisted in the realization of campaigns of sampling and execution of analyzes and physical-chemical measurements of groundwater. Almost all households in the rural area of the municipality use groundwater as a supply, however there is no control as to the quality and potability of these waters. Hydrogeochemistry is the science that studies the chemical properties of groundwater and its relation to local geology. The following physico-chemical analyzes of the water from the tubular wells were performed: color, turbidity, electrical conductivity, total alkalinity, pH, total dissolved solids, total hardness, calcium, magnesium, iron, sulfate, chloride and X-ray fluorescence. Caçapava do Sul includes the river basins of the Camaquã, Baixo Jacuí and Vacacaí-Vacacaí Mirim rivers with their respective hydrogeological domains and aquifer systems. The rocks of the Basement are metavolcanic, metasedimentary and crystalline, belonging to the Mantiqueira Province. In the Camaquã Basin volcanic rocks, volcano-sedimentary rocks and sedimentary sequences of Ediacaran, Cambrian and lower Ordovician ages are found. Finally, in the Paraná Basin there are sandstones, siltstones, conglomerates and carbonaceous shales. The results present the potability problems of the groundwater of the municipality of Caçapava do Sul. The analyzed parameters presented a significant variation in the composition of the groundwater of Caçapava do Sul. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and some trace constituents identified qualitatively through X-ray fluorescence.

Keywords: Hydrogeochemistry, Caçapava do Sul, Hydrogeological Domain, Aquifer system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de situação e localização do município de Caçapava do Sul. ....	17
Figura 2 – Bacias hidrográficas que contém porções no município de Caçapava do Sul. ....	18
Figura 3 – Mapa de Domínios Hidrogeológicos encontrados em Caçapava do Sul. ....	23
Figura 4 – Mapa geológico adaptado aos limites de Caçapava do Sul.....	28
Figura 5 – pHmetro de bancada marca Hanna Instruments, modelo HI2221. ....	30
Figura 6 – Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100N. ....	31
Figura 7 – Condutivímetro, marca GEHAKA, modelo CG-1800.....	32
Figura 8 – Espectrômetro, marca BEL, modelo SP 2000 UV.....	36
Figura 9 – Equipamento Brüker S1 TurboSD Handheld XRF Analyser. ....	40
Figura 10 – Fotografias de exemplos de coleta e tipos de poços onde recolhidas as amostras. .....	41
Figura 11 – Imagens do microscópio utilizando objetiva de 20X. Identificação dos tipos de coliformes. a) círculo roxo escuro Staphylococcus aureus, círculo vermelho difuso, Escherichia coli. b) diversas bactérias Escherichia coli em uma bolha na lâmina.....	61

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Identificação e comparação de Unidades, Subunidades, Litologias, Domínios Hidrogeológicos e Sistemas Aquíferos presentes no município de Caçapava do Sul.....	29
TABELA 2 - Tabela de pontos amostrados.....	42
TABELA 3 - Matriz de correlação dos poços tubulares .....	42
TABELA 4 - Matriz de correlação dos poços freáticos .....	43
TABELA 5 - Tabela com pontos e índices de pH.....	46
TABELA 6 - Representação dos valores de turbidez em NTU.....	48
TABELA 7 - Valores de condutividade .....	50
TABELA 8 - Valores de sólidos totais dissolvidos para poços freáticos e tubulares .....	51
TABELA 9 - Valores obtidos para alcalinidade.....	53
TABELA 10 - Valores adquiridos para dureza total nas amostras.....	54
TABELA 11 - Valores de cálcio para as amostras .....	56
TABELA 12 - Apresentação dos valores de absorvância medidos e valores de ferro calculados calculados através da curva padrão .....	58
TABELA 13 - Valores de cloretos medidos no pontos .....	59
TABELA 14 - dos poços que contém bactérias .....	61
TABELA 15 - Dados de fluorescência de raios x. Valores em ppm.....	63
TABELA 16 - Médias dos valores encontrados para os parâmetros analisados .....	64

## LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Sólidos Totais Dissolvidos.....	32
(2) Alcalinidade .....	33
(3) Dureza Total.....	34
(4) Cálcio .....	35
(5) Cloretos .....	37

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**AVI** – Acampamento Velho Inferior

**AVPSS** – Associação Vulcano-Plutono Sedimentar Seival

**AVS** – Acampamento Velho Superior

**BC** – Bacia do Camaquã

**BIF'S** – Formação Ferrífera Bandada

**CE** – Condutividade Elétrica

**CI** – Carbono Inorgânico

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CMPF** – Complexo Metamórfico Passo Feio

**CPRM** – Serviço Geológico do Brasil

**E** – Leste

**EDTA** - Ácido Etilenodiaminatetracético

**FEEDADOS** – Dados da Fundação de Economia Estatística Siegfried Emanuel Heuser

**Fm** - Formação

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**MS** – Ministério da Saúde

**N** – Norte

**NE** – Nordeste

**NW** – Noroeste

**pH** – Potencial Hidrogeniônico

**S** – Sul

**SE** – Sudeste

**SEMA** – Secretaria Estadual do Meio ambiente

**SIAGAS** – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

**STD** – Sólidos Totais Dissolvidos

**SW** – Sudoeste

**TMAP** - Terreno Metamórfico de Acreção Palma

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	14
1.1. Introdução .....	14
1.2. Objetivos .....	15
1.2.1. Objetivos Gerais .....	15
1.2.2. Objetivos Específicos .....	15
1.3. Justificativa .....	16
1.4. Área de estudo .....	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1. Classificação das águas no Brasil segundo o CONAMA .....	19
2.2. Hidrogeologia e Hidrogeoquímica.....	20
2.3. Domínios hidrogeológicos e sistemas aquíferos em Caçapava do Sul .....	21
2.4. Caracterização geológica do município de Caçapava do Sul .....	24
<b>3. METODOLOGIAS ANALÍTICAS APLICADAS</b> .....	29
3.1. pH.....	29
3.2. Turbidez .....	30
3.3. Condutividade Elétrica (CE).....	31
3.4. Sólidos Totais Dissolvidos (STD) .....	32
3.5. Alcalinidade Total.....	33
3.6. Dureza Total .....	33
3.7. Cálcio .....	34
3.8. Sulfatos .....	35
3.9. Ferro Total .....	35
3.10. Cloreto.....	37
3.11. Método de Coloração de Gram .....	38
3.12. Fluorescência de Raios X.....	39
<b>4. RESULTADOS</b> .....	40
4.1. Contexto Hidrogeológico.....	43
4.1.1. Domínio Formações Cenozóicas .....	43
4.1.2. Domínio Bacias Sedimentares .....	43
4.1.3. Domínio Poroso/Fissural .....	44
4.1.4. Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas .....	44
4.1.5. Domínio Vulcânicas .....	44
4.1.6. Domínio Cristalino .....	45
4.1.7. Constituintes iônicos tóxicos e carcinógenos .....	45
4.2. pH.....	45
4.3. Turbidez .....	47
4.4. Condutividade .....	49
4.5. Sólidos Totais Dissolvidos.....	50
4.6. Alcalinidade Total.....	52
4.7. Dureza Total .....	54
4.8. Cálcio .....	55
4.9. Sulfatos .....	57
4.10. Ferro Total.....	57
4.11. Cloretos .....	59
4.12. Coloração de Gram.....	60
4.13. Fluorescência de Raios X.....	62

<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	64
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66
<b>ANEXO 1</b> .....	71

## 1. APRESENTAÇÃO

### 1.1.Introdução

A água subterrânea está cada vez mais sendo utilizada. É uma importante fonte de abastecimento, principalmente em zonas rurais onde se torna mais difícil o abastecimento por água da rede de saneamento. Para garantir condições de potabilidade faz-se necessário compreender melhor como gerenciar seus usos para não alterar suas qualidades.

Segundo o FEEDADOS (2013), cerca de 87% dos domicílios da zona rural do município de Caçapava do Sul utiliza águas subterrâneas como forma de abastecimento. Com base nestes dados é essencial um aprimoramento dos estudos da natureza de conhecimento hidrogeológico, a fim de disponibilizar a população informações quanto à potabilidade e as características físicas químicas da água.

Ocorrendo em diferentes condições hidrogeológicas, cada domínio hidrogeológico impõem características específicas de interação físico-química e bioquímica do meio em que circula (NOSSA; LUZ, 2008). Ainda é escasso o conhecimento acerca dessas interações, especialmente ao considerar a evolução hidroquímica natural. Foster e Hirata (1991) e Hirata (1993) discorrem sobre a importância do monitoramento das águas subterrâneas em relação aos aspectos de quantidade e qualidade.

Ao falar em água é necessário discorrer quanto sua origem e o ciclo hidrológico. Segundo Filho (2000) o ciclo hidrológico é o sistema pelo qual circulam as águas do oceano para a atmosfera e por sua vez para o continente, de onde as mesmas retornam superficial e subterraneamente para o oceano. O ciclo da água é regido por fatores como a gravidade, tipo e densidade da cobertura vegetal, fatores climáticos e litologia. A origem das águas que são utilizadas ocorre de diferentes formas, podendo ser meteórica, fóssil ou juvenil.

A água de origem meteórica é superficial, e ao infiltrar-se no solo carrega características do meio em que esteve, ou seja, carrega consigo íons, sais, ácidos orgânicos e inorgânicos. De forma geral, introduzem poluentes e/ou contaminantes nas camadas aquíferas. A água do tipo fóssil é aquela que possui tempo de residência extremamente prolongado. Apresenta maior concentração de sais dissolvidos, de forma que estes estão relacionados diretamente ao continuado tempo em que permanecem no aquífero. Ocasionalmente ocasionando lixiviação das rochas destas formações através de sua movimentação e absorvendo suas composições químicas. Já as águas juvenis são aquelas de origem magmática, de formação residual decorrente da diferenciação, que ascendem das zonas mais profundas e que passam ao ciclo

hidrológico. São oriundas da condensação dos gases e vapores dos magmas e levam este nome por se acreditar que estejam ascendendo à superfície pela primeira vez (MESTRINHO e CASARINI, 2009).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desenvolveu um sistema de classes onde as mesmas são distribuídas entre superficiais (águas doces, salobras e salinas) e subterrâneas. As superficiais são separadas em treze classes e as subterrâneas são separadas em seis classes, ao passo que a Resolução nº 357/2005<sup>1</sup> é referente às águas superficiais e a Resolução nº 396/2008 para águas subterrâneas. Tal classificação para as águas obedece a uma ordem crescente. Quanto maior for a classe em que se encontra menor a potabilidade e mais restrita a sua utilização.

Com relação à potabilidade das águas o Ministério da Saúde tem como base a portaria nº 2914/2011, a qual se destina a dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos Gerais**

O presente trabalho teve como objetivo geral o mapeamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas no município de Caçapava do Sul, a caracterização das propriedades físicas e químicas dos recursos hídricos subterrâneos e análise do padrão de potabilidade para consumo humano.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Para realizar o estudo hidrogeoquímico proposto, foram realizadas as seguintes etapas:

- Campanha de amostragem e coleta de dados;
- Análises físico-químicas da água dos poços tubulares e cacimbas;
- Apresentação de dados e gráficos sobre potabilidade;
- Reconhecimento do potencial hídrico da região a partir de dados de poços cadastrados no SIAGAS – CPRM e de outros não cadastrados.

<sup>1</sup> Alterada pela Resolução 410/2009 e pela Resolução 430/2011

### **1.3. Justificativa**

A água é um dos recursos naturais mais consumidos, seja em meio urbano, rural ou industrial. No entanto, para tornar-se potável é necessário que sejam considerados determinados parâmetros. As águas subterrâneas devem obedecer às resoluções estabelecidas pelo CONAMA e pelo Ministério da Saúde.

O estudo realizado pode auxiliar a iniciativa pública, uma vez que o abastecimento de água em percentual de domicílios em Caçapava do Sul é por meio de poços ou nascentes. Em zona urbana representa 2,19%. Em zona rural esse número sobe consideravelmente para 87,32% dos domicílios. O tipo de esgotamento sanitário em zona rural em 82,98% dos domicílios é por meio de fossas rudimentares (sumidouros), em corpos hídricos ou despejados no solo, contaminando o lençol freático (FEEDADOS, 2013).

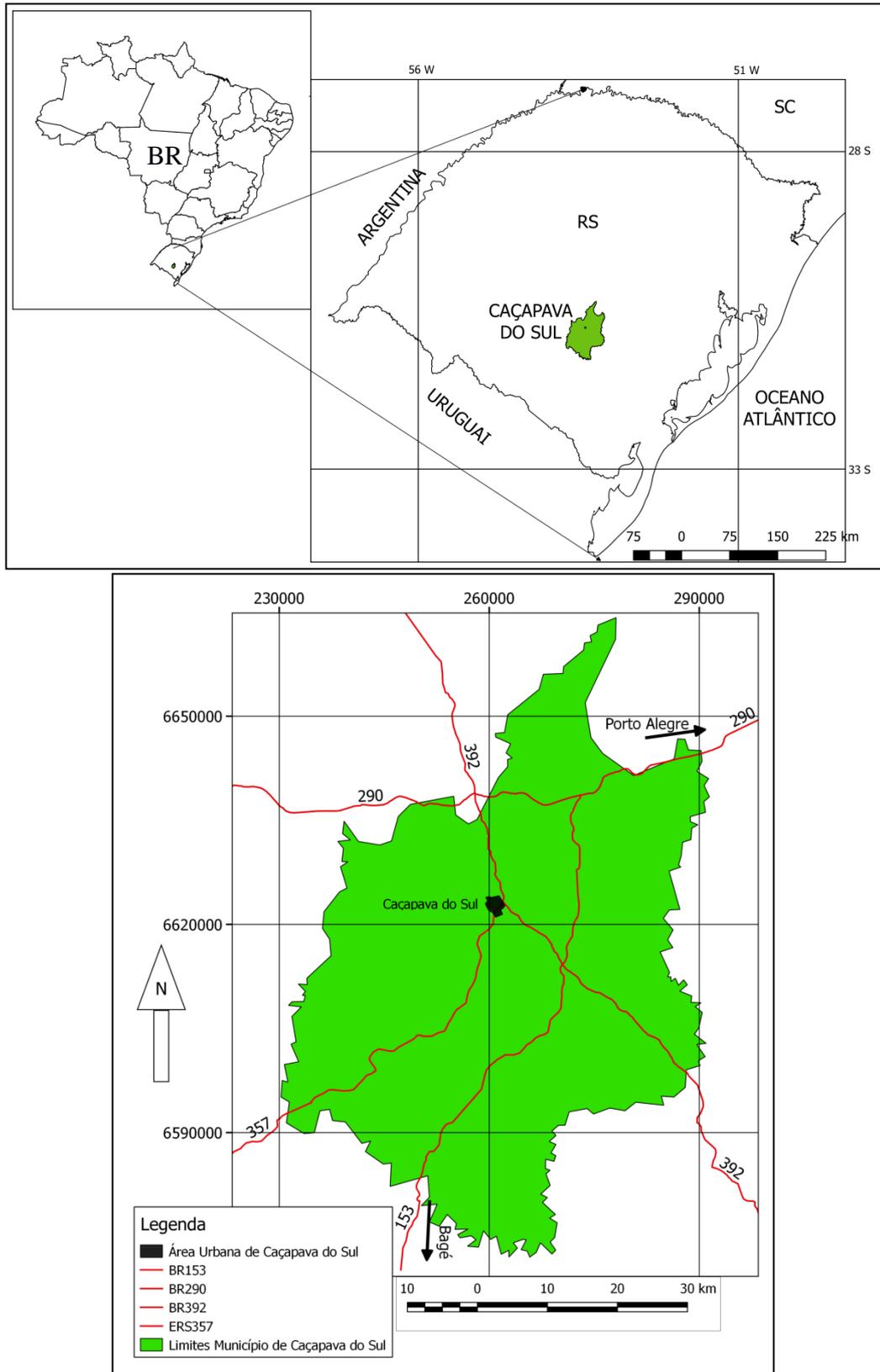
### **1.4. Área de estudo**

A área de estudo está localizada na porção central do estado do Rio Grande do Sul, no município de Caçapava do Sul (Figura 1). Com uma área territorial de 3.047,113 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2015), compreendendo as bacias hidrográficas (Figura 2) do rio Camaquã, Baixo Jacuí e Vacacaí-Vacacaí Mirim, (SEMA, 2007).

De acordo com Machado (2005), os principais Sistemas Aquíferos que compreendem a bacia hidrográfica do Rio Camaquã são Embasamento Cristalino II e Aquiclude Eopaleozoico. Na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí encontram-se o Embasamento Cristalino II, Aquiclude Eopaleozoico e Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito. Na bacia Vacacaí-Vacacaí Mirim os Sistemas Aquíferos aflorantes são Embasamento Cristalino II, Aquiclude Eopaleozoico, Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito e Aquitarado Permiano.

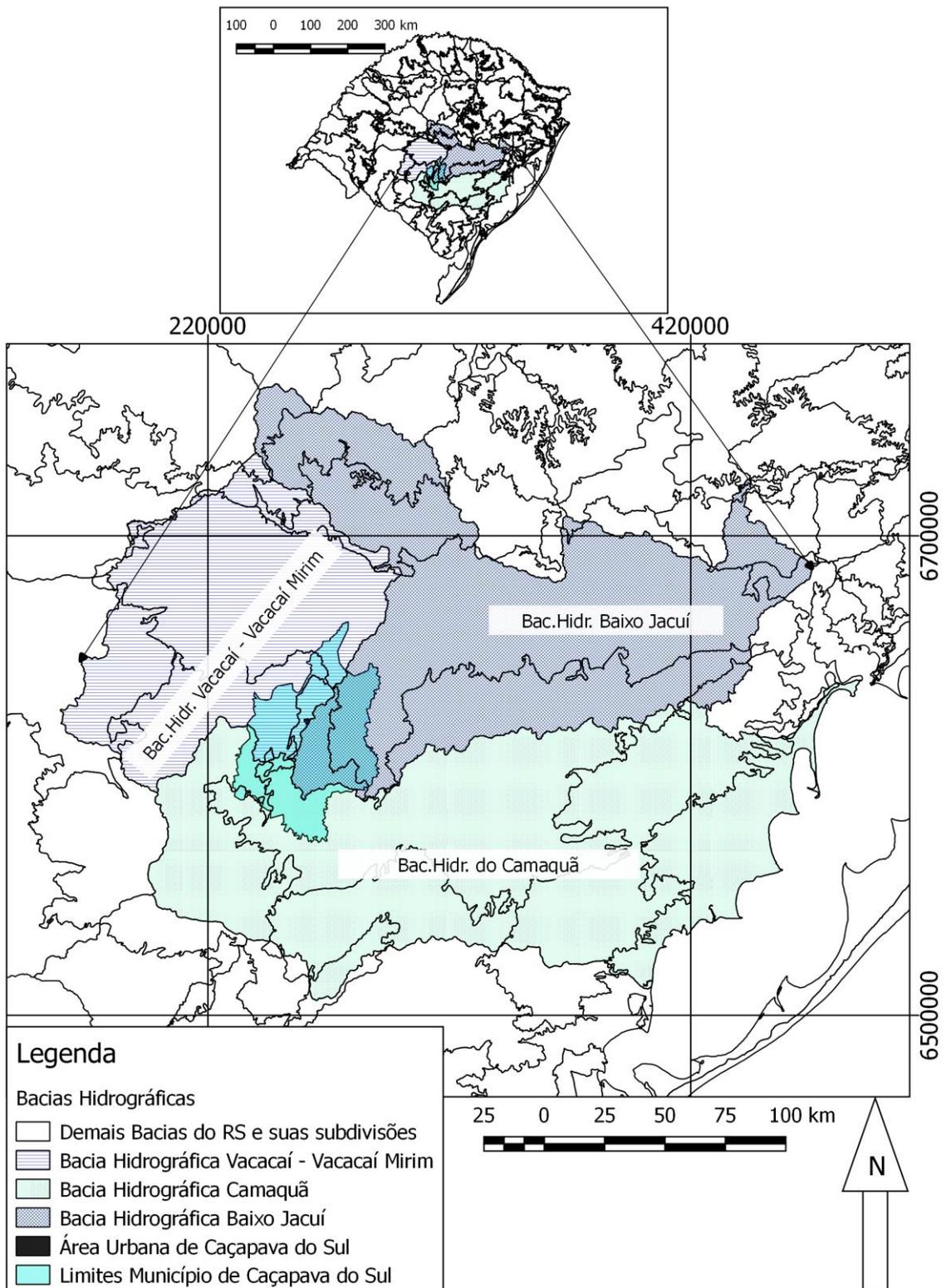
Estão presentes no município de Caçapava do Sul unidades do embasamento, bacia do Camaquã e bacia do Paraná. O Embasamento é composto por metavulcânicas, metassedimentares e cristalinas, pertencentes à Província Mantiqueira. Na bacia do Camaquã são encontradas rochas vulcânicas, vulcano-sedimentares e sequências sedimentares de idades ediacaranas até ordoviciano inferior. Na Bacia do Paraná estão presentes arenitos, siltitos, conglomerados e folhelhos carbonosos (CPRM, 2008). O mapa com os pontos levantados encontra-se no ANEXO 1, uma vez que a grande dimensão da área não permitiu a correta visualização dos pontos em único mapa.

Figura 1 – Mapa de situação e localização do município de Caçapava do Sul.



Fonte: Autora.

Figura 2 – Bacias hidrográficas que contém porções no município de Caçapava do Sul.



Fonte: Autora. Modificado de SEMA (2007).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Classificação das águas no Brasil segundo o CONAMA

Águas doces são aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ e estão definidas em cinco classes: Classe Especial; Classe 1; Classe 2; Classe 3 e Classe 4. Águas Salobras apresentam salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰ e estão definidas em quatro classes: Classe Especial; Classe 1; Classe 2 e Classe 3. Águas Salinas apresentam salinidade igual ou superior a 30‰ e estão dispostas em quatro classes: Classe Especial; Classe 1; Classe 2 e Classe 3. Classificação e usos das águas superficiais.

As águas subterrâneas são distribuídas em seis classes: Classe Especial; Classe 1; Classe 2; Classe 3; Classe 4 e Classe 5. As fontes de contaminação e poluição para as águas subterrâneas são diversas. Podendo ter origem antrópica ou estar relacionadas ao meio em que se encontram armazenadas ou transitando. A classificação das águas subterrâneas é dada como:

- Classe Especial são as águas de aquíferos destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de preservação e proteção, e que contribuam diretamente com os corpos de água superficial de classe especial.
- Classe 1 águas dos aquíferos que não exigem tratamento para quaisquer usos devido suas características hidrogeoquímicas naturais e sem alteração de sua qualidade devido a atividades antrópicas.
- Classe 2 são águas de aquíferos sem alteração de qualidade, mas que podem exigir tratamento adequado dependendo de seu uso e de suas características hidrogeoquímicas naturais.
- Classe 3 são águas de aquíferos com alteração de sua qualidade, que podem ou não exigir tratamento, dependendo de seu uso preponderante devido as características hidrogeoquímicas naturais.
- Classe 4 águas de aquíferos com alteração de qualidade, devido a atividades antrópicas e que somente possam ser utilizadas sem tratamento, para usos menos restritivos.
- Classe 5 águas dos aquíferos que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas e que só possam ser destinadas a atividades que não haja requisitos de qualidade para seu uso.

Para o controle das águas é necessário que se conheça seu armazenamento, transporte e características físico-químicas das mesmas. Para tal são feitos estudos hidrogeológicos

(mapeamentos pedológicos, litológicos, estruturais, de direção de fluxo e ensaios de bombeamento) para determinação da produtividade e estudos hidrogequímicos (parâmetros químicos) para determinação do tipo e qualidade da água.

## **2.2.Hidrogeologia e Hidrogeoquímica**

Segundo Cleary (2007) hidrogeologia é a ciência que estuda a ocorrência, movimentação e distribuição da água na porção subterrânea da Terra. Conforme a litologia, a água nela armazenada, comporta-se de maneira diferente e assim caracterizam-se os diferentes tipos de aquíferos. As informações acerca da litologia destinam-se a caracterizar a separação das rochas sob o ponto de vista hidrogeológico em quatro tipos distintos: aquífero, aquífero, aquífero e aquífero.

Aquíferos são unidades geológicas que podem armazenar e transmitir água, sendo cascalhos, arenitos, dolomitos, basaltos, rochas plutônicas e metamórficas fraturadas.

Aquífero é uma camada de baixa permeabilidade que pode armazenar e transmitir água lentamente de um aquífero para outro.

Aquífero é uma camada totalmente impermeável que não transmite água (FETTER, 2001).

Segundo Hiscock (2005) aquífero é uma unidade geológica de baixa permeabilidade que é incapaz de transmitir quantidades significativas de água.

Hidrogeoquímica é a ciência que relaciona a química da água aos processos e reações das rochas que ocorrem no ambiente subterrâneo, tendo como foco principal explicar a origem e o comportamento dos componentes presentes no fluxo subterrâneo. Estudos hidrogequímicos são de grande importância quando se tem água como objeto de pesquisa, por estudar as propriedades químicas das águas subterrâneas e sua relação com a geologia (MESTRINHO, 2006).

No presente trabalho foram analisados os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade total, dureza total, cálcio, sulfatos, ferro, cloretos e coliformes. Foram desenvolvidas análises nas amostras com fluorescência de raios X com a finalidade de uma maior abrangência dos elementos que as compõe.

### **2.3.Domínios hidrogeológicos e sistemas aquíferos em Caçapava do Sul.**

Com relação a conceitos hidrogeológicos, as rochas são classificadas em domínios hidrogeológicos e sistemas aquíferos. Machado (2005) determina que domínio hidrogeológico corresponde a uma área menor dentro de um grande domínio hidrogeológico. Para tal subdivisão observa-se a existência de pelo menos um dos critérios seguintes: litologia, estrutura, estratigrafia, potencimetria, geoquímica e hidráulica. Sistemas aquíferos correspondem a uma subdivisão vertical ou horizontal de um grande sistema aquífero. Para sua subdivisão observa-se a existência de pelo menos um dos critérios seguintes: litologia, estrutura, estratigrafia, potencimetria, geoquímica e hidráulica.

Segundo Bonfim (2010), os domínios hidrogeológicos são sete. No município de Caçapava do Sul, conforme o Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil, realizado pela CPRM (2007), são descritos seis domínios hidrogeológicos: Domínio Formações Cenozóicas, Domínio Bacias Sedimentares, Domínio Poroso/Fissural, Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas, Domínio Vulcânicas e Domínio Cristalino (Figura 3).

O Domínio Formações Cenozóicas abrange os aquíferos porosos e são definidos como pacotes de rochas sedimentares que recobrem rochas mais antigas. Apresenta comportamento de aquífero poroso. Em terrenos arenosos possui alta permeabilidade. Podem produzir boas vazões em poços tubulares, em virtude de sua espessura e da razão silte/argila. Entretanto é comum que poços pertencentes a este domínio captem água de aquíferos subjacentes. Estão relacionados temporalmente ao Quaternário e Terciário (BOMFIM, 2010).

O Domínio Bacias Sedimentares apresenta comportamento de aquífero poroso. Abrange as sequências de rochas sedimentares. Podem ou não estar associadas a vulcanismo, que constituem as entidades geotectônicas homônimas (bacias sedimentares), onde enquadram-se bacias fanerozoicas, cujo processos metamórficos não foram instalados. Estas bacias apresentam elevado potencial hidrogeológico constituindo importantes reservatórios, em virtude de sua grande espessura e elevada porosidade e permeabilidade (BOMFIM, 2010).

O Domínio Poroso/Fissural que apresenta características de aquífero misto ocorre em pacotes de rochas sedimentares que não tenham sofrido metamorfismo ou com baixo grau metamórfico. Sendo essencialmente pelitos e carbonatos com elevada compactação e fraturamento acentuado. Este fraturamento confere um comportamento misto, de aquífero granular de porosidade primária e de aquífero fissural com porosidade secundária (fendas e fraturas). Possuem baixo a médio potencial hidrogeológico (BOMFIM, 2010).

O Domínio Metassedimentos/Matavulcânicas, cujo, comportamento é de aquífero fissural, os litotipos associados reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfíbolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvacas e metavulcânicas diversas. Estão relacionadas ao aquífero fissural. Devido à ausência de porosidade primária, a ocorrência de água subterrânea nestas rochas está condicionada a porosidade secundária. A água circula através de fraturas e fendas que foram abertas devido a eventos tectônicos. Este tipo de aquífero caracteriza-se por apresentar baixas vazões e geralmente salinizado (BOMFIM, 2010).

O Domínio Vulcânicas está relacionado a aquíferos fissurais e compreende rochas vulcânicas e metavulcânicas de baixo grau metamórfico. De natureza ácida a básica, apresentam comportamento fissural e porosidade secundária (fendas e fraturas). Com estruturação acentuada de foliação e/ou acamadamento. Apresenta potencial hidrogeológico maior que o presente no domínio dos metassedimentos/metavulcânicas (BOMFIM, 2010).

O Domínio Cristalino é denominado como aquífero fissural com porosidade secundária. A litologia deste domínio é constituído por granitoides, gnaisses, granulitos, migmatitos e rochas básicas e ultrabásicas. A ocorrência da água subterrânea está condicionada a presença de fraturas e fendas. O domínio apresenta reservatórios aleatórios e descontínuos de pequena extensão com baixo potencial hidrogeológico de baixas vazões e geralmente salinizados (BOMFIM, 2010).

Os sistemas aquíferos são citados por Roisenberg et al. (2007) como em número de 21. No município de Caçapava do Sul são observados somente quatro:

Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II – Compõe aquíferos limitados de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas. Relacionados às rochas graníticas, gnáissicas, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados, que estão localmente afetados por fraturas e falhas. Apresentam capacidades específicas inferiores a  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . A salinidade nas áreas não cobertas por sedimentos de origem marinha é inferior a 300 mg/L.

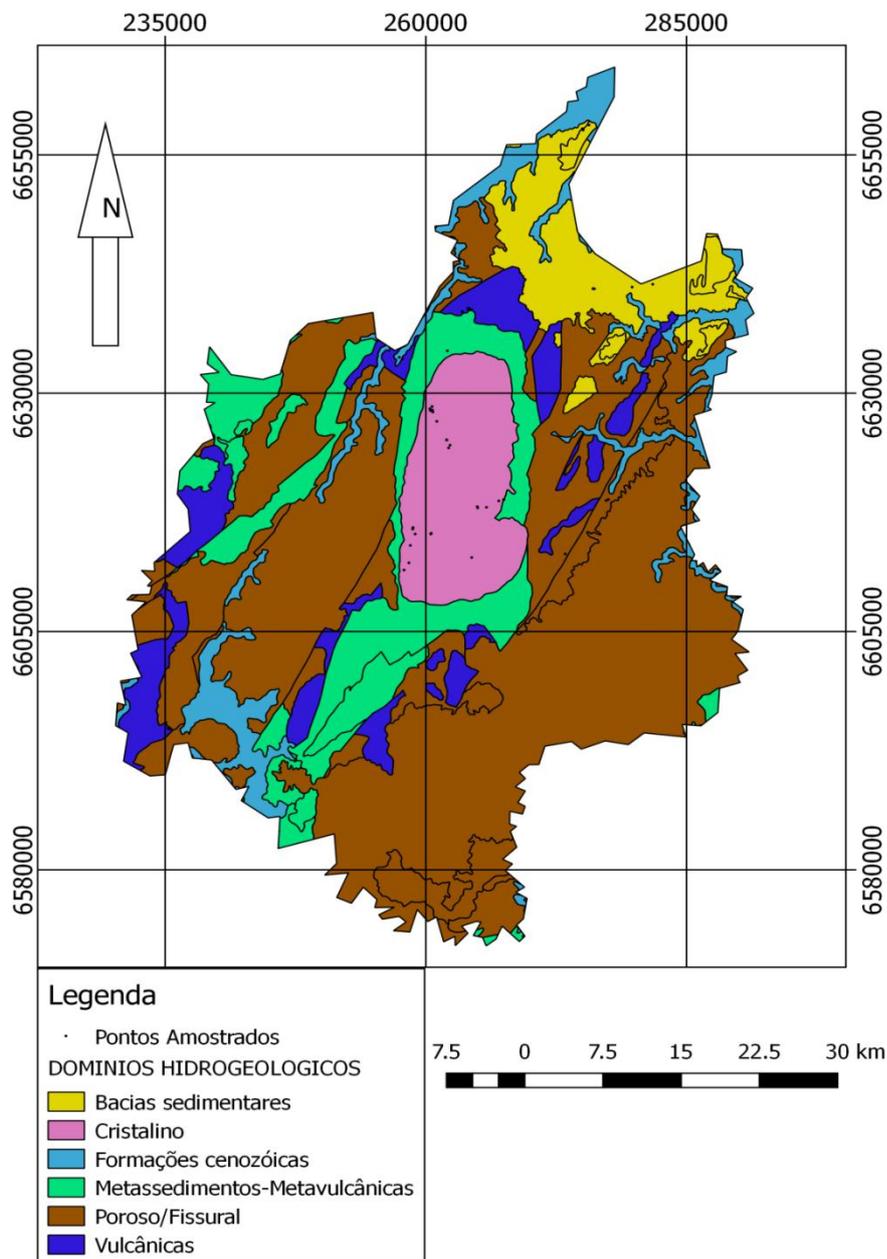
Sistema Aquífero Aquicludo Eo-Paleozóico – Corresponde a aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas. Representam os piores reservatórios de águas subterrâneas. São constituídos por arenitos finos a médios, bastante endurecidos por cimentação ferruginosa, calcítica e silicosa que conferem a este sistema porosidade muito baixa.

Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito – São aquíferos de média a baixa possibilidade para águas. Localiza-se em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. Representados por arenitos finos a médios e intercalados com camadas de siltitos argilosos e carbonosos. As

capacidades específicas desse aquífero são inferiores a  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e a salinidade varia entre 800 e 1500 mg/L. Em grandes profundidades as águas são salinas e com sólidos totais dissolvidos superiores a 10.000 mg/L.

Sistema Aquífero Aquitardo Permiano – Aquíferos de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas. Trata-se de siltitos argilosos, argilitos, folhelhos pirobetuminosos e pequenas camadas de margas e arenitos. Apresenta capacidade específica inferior a  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , contém elevados cálcio e magnésio.

Figura 3 – Mapa de Domínios Hidrogeológicos encontrados em Caçapava do Sul.



Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2007) e Bomfim (2010).

## 2.4. Caracterização geológica do município de Caçapava do Sul

O município de Caçapava do Sul se encontra sobre o Terreno São Gabriel (SG), que vem a ser uma das unidades da porção meridional da Província Mantiqueira. Este terreno é localizado na zona central do embasamento cristalino do Rio Grande do Sul. É limitado a N e NW pelas rochas da Bacia do Paraná, a E pelo Cinturão Porongos e a S e SW pelo Bloco Taquarembó.

As unidades do Terreno São Gabriel foram em grande parte formadas por acreção juvenil, com associações prototectônicas de ambientes de margem passiva e de retroarco, ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos (HARTMANN et al., 2007). Chemale Jr. (2000), nomeia este domínio como Cinturão Vila Nova, ao invés de São Gabriel. Separando-o como Terreno Metamórfico de Acreção Palma (TMAP) e Associação Vulcano-Plutono Sedimentar Seival (AVPSS).

O TMAP é subdividido em Complexo Cambaí e o Supercomplexo Vacacaí (constituído pelos Complexos Passo Feio, Bossoroca, Palma e Ibaré), as quais foram intrudidas por granitos (posteriormente cisalhados). O Supercomplexo Vacacaí é composto por rochas máfico-ultramáficas básicas a ácidas, intercaladas com epiclásticas, metabasaltos com lentes de mármore, metachert, metapelitos e formações ferríferas bandadas (BIF'S) (CHEMALE JR., 2000).

A AVPSS é constituída por sequências vulcano-sedimentares e granitos intrusivos, de idade aproximadamente 610 a 470 Ma relacionados aos processos tardi e pós-magmáticos. São separadas como vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã (BC) juntamente com seus Alogrupos e rochas graníticas que intrudem o TMAP e dependendo de sua posição estratigráfica intrudem também rochas da BC (PAIM, LOPES e CHEMALE JR, 1995).

O material mais antigo encontrado nos limites do município de Caçapava do Sul corresponde ao Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) ou Vacacaí, Formações Arroio Mudador e Arroio Marmeleiro.

O CMPF abrange xistos pelíticos, filitos, mármore, rochas anfíbolíticas, metavulcânicas e metavulcanoclásticas em uma sequência segundo uma megaestrutura antiformal, vinculadas a processos metamórficos nas fácies anfíbolito e xisto verde (NARDI e BITENCOURT, 1989).

As Formações menos expressivas em área do município de Caçapava do Sul são Arroio Mudador e Arroio Marmeleiro. A Formação Arroio Mudador é composta por metavulcânicas toleíticas básicas e metapelitos. A Formação Arroio Marmeleiro é composta

por ultramafitos, granitóides, metarenito, ardósia, meta-arenito conglomerático, mica xisto, mármore, filito e quartzito, com metamorfismo predominantemente na fácies xisto verde zona da biotita (CPRM, 2008).

Paim e Lopes (2000), desenvolveram a sucessão estratigráfica da Bacia do Camaquã, onde genericamente é possível afirmar que a BC caracterizou-se pela ciclicidade de episódios onde ocorreram subsidência/sedimentação e soerguimento/erosão. Os tipos de preenchimento expõem eventos alternados, predominando atividades vulcânicas (lavas, depósitos piroclásticos e epiclásticos) e deposição siliciclástica.

A BC está subdividida em cinco Alogrupos: Alogrupo Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas. Relacionados às fases tardi e pós-colisionais do Ciclo Brasileiro, (PAIM, CHEMALE JR. e LOPES, 2000).

O Alogrupo Maricá tem predominância de sedimentos fluviais a marinhos datados em (620-580 Ma). Inclui arenitos depositados em sistema fluvial entrelaçado e contribuição de material do embasamento granítico-gnaissico. Seguido por um sistema marinho de siltitos e folhelhos com camadas de turbiditos e por fim novos sistemas fluviais entrelaçados com material vulcânico e granítico-gnaissico. Registros vulcânicos são compostos por fluxos de lavas riolíticas e camadas piroclásticas, (BORBA, MARASCHIN e MIZUSAKI, 2004).

Paim, Chemale Jr. e Wildner (2014) descrevem a deposição do Alogrupo Bom Jardim como sendo siliciclástica e vulcanoclástica, fluxos piroclásticos e de lava, e intrusões hipabissais. Estimam idades entre  $593 \pm 6$  e  $580 \pm 3,6$  Ma. Composto litoestratigraficamente pelas Formações Cerro da Angélica, Hilário e Picada das Graças. A formação (Fm.) Cerro da Angélica consiste em arenitos finos, pelitos e arenitos conglomeráticos. A Fm. Hilário apresenta riolitos, tufos, brechas vulcânicas e rochas vulcânicas de composição predominantemente básica. A Fm. Picada das Graças é composta por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos além de intrusões rasas (*sills*) de vulcânicas básicas e tufos (JANIKIAN et al., 2003).

O Alogrupo Cerro do Bugio é subdividido como um intervalo vulcânico denominado de Acampamento Velho Inferior (AVI), sobreposto de outro intervalo vulcânico chamado de Acampamento Velho Superior (AVS) e cobertos pela Aloformação Santa Fé com idades entre 574 e 550 Ma (PAIM; CHEMALE JR; WILDNER, 2014).

A Aloformação AVI descrita por Almeida et al. (2002) é composta por andesitos, basaltos, brechas basálticas e andesíticas. Aloformação AVS consiste em lapili tufos, tufos e tufos soldados, que apresentam litoclastos de rochas vulcânicas félsicas e basaltos/andesitos, vitroclastos e cristaloclastos de quartzo e ainda fluxos riolíticos. A Aloformação Santa Fé é

composta por conglomerados e arenitos aluviais, além de intervalo de siltitos e arenitos finos interpretados como registro de incursão marinha (FAMBRINI; ALMEIDA; FRAGOSO-CESAR, 2006).

O Alogrupo Santa Bárbara é representado por um regime fluvio-lacustre com depósitos de leques aluviais com idades de deposição de aproximadamente 550 a 470 Ma (BORBA; MARASCHIN; MIZUSAKI, 2004). Subdividido por Paim, Chemale Jr e Lopes (2000) em duas Aloformações: a Serra dos Lanceiros e a Pedra do Segredo. Fambrini, Almeida e Fragoso-Cesar (2006), apresentam a Formação Serra dos Lanceiros como sendo composta por arenitos com estratificação cruzada acanalada e conglomerados sustentados pelos clastos, geralmente imbricados, de sistemas de rios entrelaçados. A Formação Pedra do Segredo é composta por arenitos e arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada e conglomerados com estratificação plano-paralela de rios entrelaçados, passando a conglomerados maciços de leques aluviais proximais.

O Alogrupo Guaritas, segundo Borba, Maraschin e Mizusaki (2004) é composto por materiais de regime fluvio-lacustre e eólicos, com idades em torno de 470 Ma. Paim, Chemale Jr. e Lopes (2000) dividiram este Alogrupo em duas Aloformações: Pedra Pintada e Varzinha. Almeida et al. (2005) descrevem como a última manifestação vulcânica na BC. Determinada pelo vulcanismo Rodeio Velho, este contemporâneo e levemente anterior as fases de deposição das rochas da Formação Pedra Pintada. Apresenta-se na forma de fluxos de lavas andesíticas levemente vesiculadas. A Formação Pedra Pintada é caracterizada predominantemente por arenitos finos a médios bem selecionados com lentes de arenitos conglomeráticos de fundo de rios efêmeros. A Fm. Varzinha é representada predominantemente por ritimitos na forma de depósitos distais de planícies de inundação e lentes de arenitos conglomeráticos de canais fluviais efêmeros (ALMEIDA et al., 2009).

O Complexo Granítico Caçapava do Sul é contemporâneo a alguns eventos da BC (aproximadamente 540 Ma), sendo um exemplo de corpos ígneos que intrudiram as unidades do CMPF. São formados por três fácies principais: os biotita granitóides, os leuco granitóides e os granitóides transicionais. Biotita granitóides são rochas de coloração cinza mudando para rosadas quando intemperizadas, distribuídas nas porções sul, sudoeste e oeste, com quantidades elevadas de biotita e allanita como acessório. Leuco granitóides predominam na porção norte e nordeste do corpo, sendo rochas de coloração rosa com quantidades diminutas de máficos. Os granitóides encontram-se na porção central e possuem características intermediárias a ambos os anteriormente citados. (NARDI e BITENCOURT, 1989)

O registro estratigráfico da Bacia do Paraná (BP) está definido por Milani (1997) em seis grandes unidades (ou Supersequências). As seis supersequências são: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As unidades pertencentes a Província do Paraná encontradas no município de Caçapava do Sul, são o Grupo Itararé (Formação Taciba) e o Grupo Guatá (Formações Rio Bonito e Palermo).

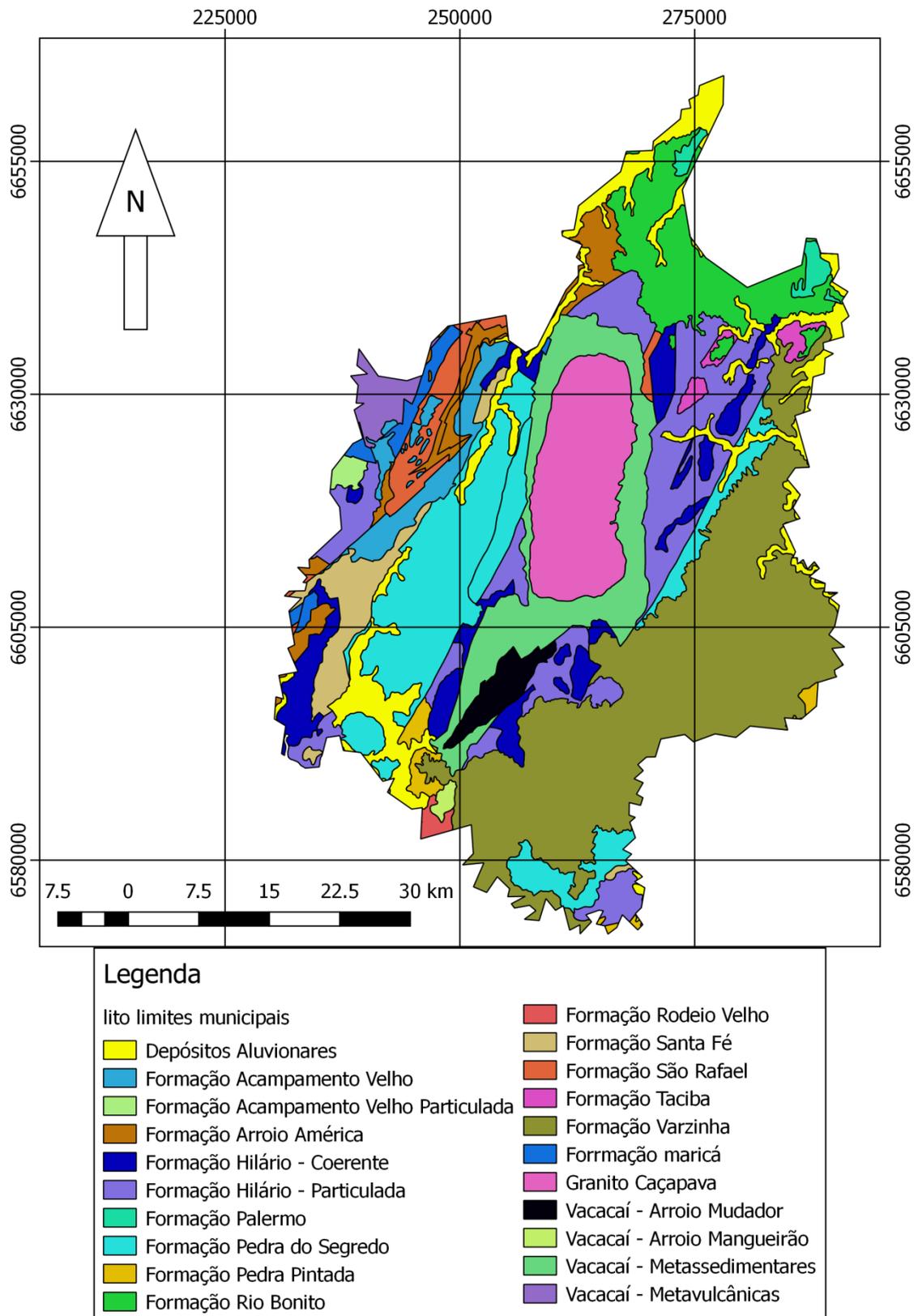
A Formação Taciba é representada como sendo composta por diamictitos (por vezes com intercalações arenosas), arenitos, siltitos e ritimitos delgados com liquefação e escorregamento, (WEINSCHÜTZ e CASTRO, 2006). Os diamictitos apresentam por vezes estruturas maciças em virtude de sua matriz lamítica e clastos medindo até 8 cm.

A Formação Rio Bonito é representada como estando em discordância erosiva com o Grupo Itararé em virtude de uma elevada queda do nível de base. A sucessão de eventos se dá através de um trato de sistemas de mar baixo seguido de um trato de sistemas transgressivo. Foram depositados arenitos, siltitos, folhelhos e folhelhos carbonosos, além de diamictitos de matriz carbonosa e margas segundo (MATOS, 2000).

A Formação Palermo é constituída por siltitos e argilitos, além de siltitos carbonosos, arenitos muito finos e lentes de arenitos grossos e conglomerados em seixos discoides, (MORI e SOUZA, 2010). Interpretados como de origem marinha plataformal representando os depósitos de máxima inundação da Supersequência Gondwana I.

A Figura 4 representa as litologias encontradas na área do município de Caçapava do Sul. A TABELA 1 demonstra um comparativo entre unidades, subunidades e litologias com relação aos domínios hidrogeológicos e sistemas aquíferos.

Figura 4 – Mapa geológico adaptado aos limites de Caçapava do Sul



Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).

TABELA 1

Identificação e comparação de Unidades, Subunidades, Litologias, Domínios Hidrogeológicos e Sistemas Aquíferos presentes no município de Caçapava do Sul.

UNIDADE	SUB-UNIDADE	LITOLOGIAS	DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS	SISTEMAS AQUÍFEROS
		Rochas sedimentares que recobrem rochas mais antigas.	Formações Cenozóicas	
Bacia do Paraná	Guatá	Arenitos finos a médios, siltitos argilosos e carbonosos, folhelhos, folhelhos carbonosos, diamictitos de matriz carbonosa e margas.	Bacias Sedimentares	Aquífero Palermo/Rio Bonito
Bacia do Camaquã	Guaritas	Arenito fino a médio, ritimitos, lentes de arenito conglomerático.	Poroso Fissural	Aquícluse Eo-Paleozóico
	Santa Bárbara	Arenito e conglomerados, arenitos conglomeráticos.	Poroso Fissural	Aquícluse Eo-Paleozóico
	Cerro do Bugio	Andesitos, basaltos, brechas, tufo, tufo soldados, riolitos, conglomerados, arenitos.	Vulcânicas e Poroso Fissural	Aquícluse Eo-Paleozóico
	Bom Jardim	Arenitos finos, pelitos, arenitos conglomeráticos, riolitos, tufo, brechas, andesitos, siltitos e argilitos.	Vulcânicas e Poroso Fissural	Aquícluse Eo-Paleozóico
	Maricá	Material granito/gnaissico, siltitos e folhelhos com camadas de turbiditos, riolitos e tufo.	Poroso Fissural	Aquícluse Eo-Paleozóico
Granito Caçapava do Sul		Granitóides (biotita, leuco e transicional).	Cristalino	Embasamento cristalino II
Complexo Passo Feio		Xistos pelíticos, filitos, mármore, rochas anfibolíticas, metavulcânicas e metavulcanoclásticas	Metassedimentos/ Metavulcânica	Embasamento cristalino II

Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2007, 2008) e Bomfim (2010).

### 3. METODOLOGIAS ANALÍTICAS APLICADAS

A seguir serão apresentados os métodos de análise que foram desenvolvidos no decorrer deste trabalho. Todas as análises foram realizadas no laboratório de química e no LATRAM (Laboratório de Tratamento de Minérios) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

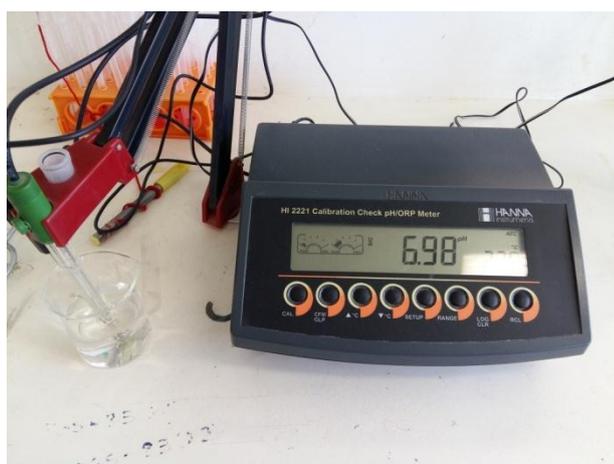
#### 3.1.pH

O pH consiste na medida de concentração hidrogeniônica da água ou solução. É em função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. O pH determina as relações de

equilíbrio entre água e rocha e a mobilidade iônica das águas subterrâneas. O balanço dos íons de hidrogênio e hidróxido determinam se a água será classificada como ácida ou básica, (PEDROSA e CAETANO, 2002). O pH varia de 1 a 14, sendo considerado ácido para valores inferiores a 7, considerado neutro no entorno de 7, e básico para valores superiores 7. O pH das águas subterrâneas geralmente está entre 6,0 e 9,0, sendo estes valores também recomendados pela resolução 357/2005 do CONAMA e 2914/2011 do MS.

As medições de pH foram realizadas com o pHmetro de bancada HI-2221 da Hanna Instruments de propriedade da UNIPAMPA, previamente calibrado, dotado de eletrodos específicos para cada um dos parâmetros (Figura 5). A precisão do aparelho depende da calibração do mesmo. A leitura do pH é afetada pela temperatura. Para medir o pH com precisão é necessário fazer a compensação automática da temperatura, fornecida pelo aparelho.

Figura 5 – pHmetro de bancada marca Hanna Instruments, modelo HI2221.



Fonte: Autora.

### 3.2. Turbidez

Turbidez é a medida do espalhamento de luz produzida pela presença de partículas em suspensão, isto é, a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma determinada quantidade de água, causada por materiais em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, etc.), (SANTOS, 2000). A turbidez foi medida através do turbidímetro da marca HACH modelo 2100N de propriedade da UNIPAMPA (Figura 6). Comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela água com o espalhamento de um feixe de mesma intensidade ao passar por uma

suspensão padrão. Quanto menor for esta característica, menor será a turbidez e consequentemente melhor a qualidade da água.

Figura 6 – Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100N.



Fonte: Autora.

### 3.3. Condutividade Elétrica (CE)

A CE é medida para estimar o total de sólidos dissolvidos. Os sólidos e sais dissolvidos e ionizados presentes na água são capazes de conduzir corrente elétrica. Como existe relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a CE, este método analítico é utilizado para detectar águas salobras e salinas (SANTOS, 2000). Os principais parâmetros que influenciam na condutividade elétrica são a quantidade de íons dissolvidos na solução, mobilidade destes íons e temperatura da água.

A condutividade elétrica é uma propriedade que depende expressamente da temperatura. Para propósitos comparativos de dados de CE estipulam-se temperaturas de referência, 20°C ou 25°C. No desenvolvimento deste trabalho o equipamento foi ajustado para temperaturas de 20°C. Para a medição de condutividade elétrica foi utilizado o condutivímetro CG 1800-GEHAKA de propriedade da UNIPAMPA, o qual expressa a temperatura da solução aquosa no momento da medição e a condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (Figura 7).

Figura 7 – Condutivímetro, marca GEHAKA, modelo CG-1800.



Fonte: Autora.

### 3.4.Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Sólidos totais dissolvidos representam a concentração de todos os constituintes minerais presentes na água (SANTOS, 2000). Águas com baixo teor de sólidos dissolvidos possuem qualidade superior de acordo com o padrão de potabilidade. O limite máximo permissível de STD na água é de 1000mg/L.

A metodologia empregada consiste na agitação da amostra, em seguida a pipetagem de 50 ml da mesma em um recipiente de porcelana devidamente higienizado e pesado. O recipiente foi levado para a estufa em uma temperatura de 55°C durante 24 horas. Após a total evaporação da água retirou-se a amostra da estufa. Decorrido o tempo de resfriamento foi executada uma nova pesagem. A diferença de peso do recipiente de porcelana representa a quantidade de sólidos totais dissolvidos na água. Caso a amostra contivesse material orgânico ou outros sólidos deveria ser feita a filtragem da amostra (GARCEZ, 2004).

Cálculo dos STD:

$$\text{mg de STD/L} = \frac{(A - B)}{V} * 1.000.000 \quad (1)$$

Onde, A = massa de resíduo seco + recipiente de pesagem.

B = massa do recipiente de pesagem.

V = ml de amostra

### 3.5. Alcalinidade Total

Alcalinidade total é definida como a capacidade da água neutralizar ácidos. É consequência direta da presença ou ausência de carbonatos e bicarbonatos, e secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia (GARCEZ, 2004).

A alcalinidade total é efeito de todos os íons presentes na água. É expressa em mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Águas que percolam rochas calcárias geralmente possuem elevada alcalinidade em virtude de a mesma retirar com mais facilidade os íons Ca<sup>+</sup> e Mg<sup>+</sup>.

A determinação da alcalinidade foi realizada pelo método titulométrico com ácido sulfúrico. O procedimento consiste em colocar 50 ml da amostra em um frasco Erlenmeyer. Adicionar três gotas de indicador misto verde de bromocresol e vermelho de metila. Neste momento a amostra ficará azul, após deve-se titular com a solução de ácido sulfúrico 0,02 M até ocorrer à mudança da cor azul esverdeada para rosa. Anota-se então o volume total em ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gasto (GARCEZ, 2004).

Calcula-se a alcalinidade da seguinte maneira:

$$\text{mg/L de CaCO}_3 = \frac{A \times N \times 50.000}{V} \quad (2)$$

Onde, A = mL do ácido utilizado;

N = normalidade do ácido padrão;

V = ml de amostra.

### 3.6. Dureza Total

A dureza total é definida como a dificuldade da água em dissolver sabão pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como o ferro. Para definir a dureza da água, usa-se o teor de cálcio e magnésio da água expresso em teores de carbonato de cálcio. A dureza pode ser classificada como dureza temporária, permanente e total. A dureza temporária ou dos carbonatos é devida aos íons de cálcio e magnésio. Devido ao aquecimento combina-se com íons de bicarbonato e carbonatos, podendo ser eliminada através do processo de ebulição da água. A dureza permanente é em virtude dos íons de cálcio e magnésio que combina com sulfatos, cloretos e nitratos que permaneceram mesmo após a ebulição. A dureza total é a soma da dureza temporária com a permanente, sendo expressas em mg/L ou meq/L de CaCO<sub>3</sub> (SANTOS, 2008).

O método utilizado para determinação de dureza total é o Titulométrico de EDTA, sendo o mais comumente empregado para determinação de dureza. Baseia-se na reação do ácido etilenodiaminatetracético sal dissódico (EDTA). Em um Erlenmeyer de 250ml pipetar 50 ml da amostra. Adicionar 2 ml da solução condicionante para cálcio e magnésio. Adicionar 4 gotas do indicador Eriocromo Black T e titular imediatamente com solução de EDTA 0,02 M padronizada, até a mudança da cor rosa-vinho para azul nítido. Para fins de cálculo anotar o volume gasto na titulação (GARCEZ, 2004).

Cálculos:

$$\text{Dureza Total} = \frac{V \times M \times 50000}{A} \text{ mg CaCO}_3/\text{L} \quad (3)$$

Onde, V = Volume da solução padrão de EDTA gasto na titulação da amostra (ml);

M = Molaridade da solução de EDTA (M);

A = Volume da amostra utilizado para análise (ml).

### 3.7.Cálcio

O cálcio é um dos elementos mais abundantes das águas naturais e grande responsável pela dureza nas águas. As principais fontes de cálcio presente na água subterrânea são predominantemente minerais cálcicos, calcita, aragonita e dolomita, em rochas calcárias, em rochas ígneas os principais contribuintes são plagioclásios e apatitas (SANTOS, 2000). O carbonato de cálcio é pouco solúvel em água. Ocorre na forma de bicarbonato e sua solubilidade é devida a quantidade de gás carbônico dissolvido, dependendo da temperatura e pressão. O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia de 10 a 100 mg/L.

O método para determinação de Cálcio é o Titulométrico. O princípio do método é o mesmo utilizado para determinação da dureza, no entanto, com alteração do indicador. Geralmente utiliza-se o indicador Murexida. Neste trabalho o indicador utilizado foi o Calcon. Em Erlenmeyer de 250 ml coloca-se 50 ml da amostra. Adicionar cinco ml de Hidróxido de Potássio (KOH) e uma gota de Calcon. A adição deste indicador deve ocasionar uma mudança de coloração, do incolor para tons de roxo. Titular esta solução com EDTA a 0,02 M até uma nova mudança de coloração passando para tons de azul, exato momento em que se anota a quantidade de EDTA gasto. A partir desses valores, realizar cálculos para encontrar a quantidade de cálcio presente na água (GARCEZ, 2004).

Cálculos:

$$\text{Cálcio} = \frac{V \times M \times 50000}{A} \text{ mg CaCO}_3/\text{L} \quad (4)$$

Onde, V = Volume da solução padrão de EDTA gasto na titulação da amostra (ml);

M = Molaridade da solução de EDTA (M);

A = Volume da amostra utilizado para análise (ml).

### 3.8.Sulfatos

A presença de sulfato na água subterrânea está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e a lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita (CELLIGOI, 1999). Nas águas para abastecimento público o sulfato é um parâmetro que deve ser controlado, uma vez que causa efeitos laxativos. Os sulfatos são amplamente distribuídos na natureza e podem estar presentes na água em concentrações na ordem de dezenas a milhares de mg/L. As águas subterrâneas apresentam teores inferiores a 100 mg/L (SANTOS, 2008). Segundo Celligoi (1999) nas águas subterrâneas que circulam por rochas ígneas a concentração de sulfato é inferior a 30 mg/L.

O procedimento utilizado em laboratório foi um teste qualitativo para presença de sulfato. Utilizando-se uma solução de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>) adicionada a amostra, espera-se encontrar corpo de fundo na solução, demonstrando assim a presença de íons SO<sub>4</sub>. Caso o teste seja positivo, deverá se observar o precipitado de BaSO<sub>4</sub>.

### 3.9.Ferro Total

O ferro é o elemento presente na maioria das águas subterrâneas em teores abaixo de 0,3 mg/L. Ocorre principalmente em magnetita, biotita, pirita, piroxênio, anfibólios. Devido sua afinidade geoquímica quase sempre está associado ao manganês, conferindo sabor amargo e coloração amarelada. O material de cimentação é constituído em diversas ocasiões por óxidos, carbonatos e hidróxidos de ferro em arenitos e folhelhos. Altos teores de ferro na água subterrânea podem estar associados à ocorrência de ferrobactérias e/ou à corrosão, devido aos processos de perfuração e revestimento dos poços (SANTOS, 2008).

A determinação de ferro nas amostras foi realizada conforme NBR 13934 (1997) pelo método colorimétrico da ortofenantrolina. Em um balão volumétrico de 25 ml deve-se colocar 5 ml de amostra de água. Pipetar 0,5 ml de hidróxilamina, em seguida adicionar 2,5 ml de

solução tampão (acetato de amônio) e 1 ml de ortofenantrolina. Completar o balão volumétrico com a amostra. Agitar bem e esperar 10 minutos para que ocorra o desenvolvimento da cor. Em outro balão volumétrico deve-se repetir o procedimento com excessão da ortofenantrolina, essa amostra “branco” deve ser utilizada para ajustar a transmitância de absorção zero. Levar as amostras para o espectrômetro e anotar a absorvância. O espectrômetro utilizado é o SP 2000 UV da marca BEL de propriedade da UNIPAMPA (Figura 8).

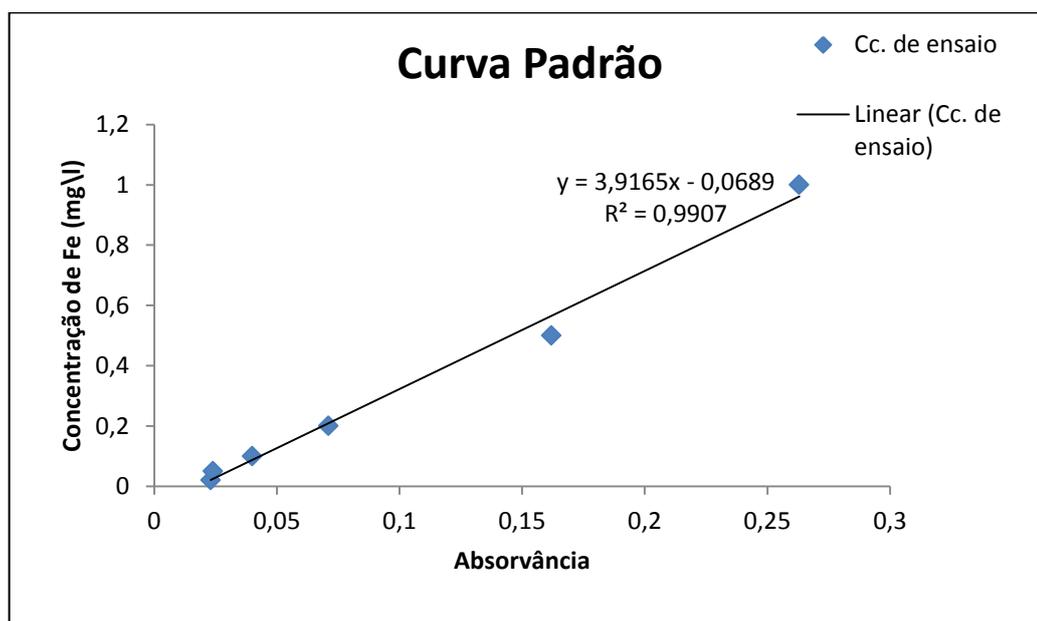
Figura 8 – Espectrômetro, marca BEL, modelo SP 2000 UV.



Fonte: Autora.

Para fins de cálculo deve-se construir a curva padrão (Gráfico 1), obtida através da passagem pelo espectrômetro de soluções de ferro com quantidade em mg/L conhecida. Monta-se o gráfico inserindo a absorvância e a quantidade em mg/L de ferro a qual representa. Acha-se a curva, a reta e a equação de regressão linear. Posteriormente insere-se na equação obtida os valores de absorvância do equipamento para então efetuar o cálculo e encontrar a quantidade em mg/L de ferro na amostra.

Gráfico 1 - Curva Padrão de Absorvância do Ferro.



Fonte: Autora.

### 3.10. Cloreto

O cloreto é muito solúvel e estável, logo, dificilmente precipita. Conforme Gomes (2012) suas fontes estão relacionadas à presença de minerais ferromagnesianos e evaporitos. Está presente na água subterrânea em teores inferiores a 100 mg/L, altos teores são indicadores de contaminação por água do mar ou poluição por aterros sanitários. Mesmo em elevadas concentrações os cloretos não são prejudiciais a saúde.

A análise de cloreto obtém-se realizando o método argentométrico. A solução neutra de cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) é usada como indicador para titulação com Nitrato de prata ( $AgNO_3$ ). Para a realização do procedimento foram utilizados 25 ml de amostra colocada em um erlenmeyer. Foram adicionadas 10 gotas de cromato de potássio. A titulação com nitrato de prata foi realizada até a mudança de coloração. Para fins de cálculo foram anotados os valores gastos em ml de nitrato de prata (GARCEZ, 2004).

Cálculo:

$$\text{mg/l Cl} = \frac{(N_{AgNO_3}) \times B \times 35450}{V} \quad (5)$$

Onde, N= Normalidade do nitrato de prata;

B = Volume (ml) da solução de nitrato de prata gastos na titulação;

V = Volume da amostra.

### 3.11. Método de Coloração de Gram

Este método criado pelo médico dinamarquês Hans Cristhian Joachim Gram no ano de 1884. A técnica consiste em identificar por meio da coloração de diferentes paredes celulares os diferentes tipos de bactérias, as gram positivas como *Staphylococcus aureus* e as gram negativas *Escherichia coli* (SANTIAGO, 2003).

As bactérias gram positivas possuem uma espessa camada de peptidoglicano e ácido teicóico, enquanto as bactérias gram negativas possuem uma fina camada de peptidoglicano, na qual encontra-se uma camada composta por lipoproteínas, fosfolipídeos, proteínas e lipopolissacarídeos. A diferença entre as composições e espessuras das paredes celulares é o que permite as diferentes colorações, inclusive pelo fato de que as paredes celulares das bactérias *Escherichia coli* literalmente explodem, fazendo com que a coloração vermelha fique espalhada quando observado na lâmina (NOGUEIRA e MIGUEL, 2010).

O procedimento consiste em um Becker pequeno colocar uma pequena quantidade de amostra (entre 2 e 4ml) e adicionar 1 ml de cada uma das seguintes soluções: cristal violeta, lugol, mistura de álcool-acetona na mesma proporção e fucsina. Posteriormente, colocar uma gota da água a ser analisada já com todos os reagentes em uma lâmina higienizada e sobre a amostra uma lamínula. Observar em microscópio se ocorre a presença de bactérias gram positivas (coloração roxa e arredondadas) e/ou a presença de bactérias gram negativas (coloração vermelha e dispersa) (CERQUEIRA, 2016).

De acordo com Ishii e Sadowsky (2008) as bactérias do tipo *E. coli* possuem capacidade de manter-se vivas mesmo fora do corpo do hospedeiro por tempo indeterminado, desde que haja nutrientes e temperatura não muito fria. Estes mesmos autores afirmam que este tipo de bactéria se encontra nos intestinos de todos os animais endotérmicos, ou seja, na grande parcela da população da região (humanos e animais como bovinos, cães, ovinos, etc.).

Rodrigues, Santos e Gelatti (2012) expõem que as bactérias da espécie *Staphylococcus aureus* encontram-se normalmente na pele e mucosas dos seres humanos. A infecção através destas bactérias ocorre quando do rompimento da barreira epitelial, sendo por traumas, inoculação de medicamentos com agulhas e procedimentos médicos. Ao entrar em contato com tecidos internos do organismo humano pode desencadear processos infecciosos simples como acne, celulite e furúnculos ou até mesmo graves como pneumonia, meningite, endocardite entre outras.

### 3.12. Fluorescência de Raios X

A fluorescência de raios-X foi utilizada para a obtenção de maior quantidade de elementos químicos presentes nas amostras. O equipamento de propriedade da UNIPAMPA é o S1 Brüker TurboSD Handheld XRF Analyser.

Este aparelho obtém através da emissão de um feixe de raios X na amostra um resultado do espectro e composição dos elementos químicos, de modo que a energia emitida excita os elétrons dos átomos fazendo com que estes se desloquem para uma órbita eletrônica acima. O processo ocasiona uma instabilidade energética nestes átomos os quais não conseguem manter esta situação momentânea por não ser a de equilíbrio. Com o retorno dos elétrons para suas posições de origem a energia emitida pelos mesmos corresponde a um comprimento de onda específico para cada átomo, sendo assim, possível distinguir qual elemento está presente (JENKINS, 1999).

De acordo com o manual do equipamento, a presença é detectada com bastante acurácia, contudo a quantificação é menos precisa. Outro fator de relevância é o fato de o S1 Turbo SD possuir restrição quanto a capacidade de detecção de elementos com número atômico menor que 12 e maior que 92 ( $12 \leq Z \leq 92$ ), identificando os elementos do Mg (magnésio) ao U (urânio).

A imagem composta abaixo (Figura 9) representa o equipamento Brüker S1 TurboSD Handheld XRF Analyser. No lado direito da imagem é possível observar como que foi colocada a amostra para a realização da análise e no lado esquerdo o equipamento com a tampa de proteção fechada para evitar a dispersão dos raios X.

Figura 9 – Equipamento Brüker S1 TurboSD Handheld XRF Analyser.



Fonte: Autora.

#### 4. RESULTADOS

Com o desenvolvimento deste estudo foi possível obter informações acerca da qualidade das águas subterrâneas do município de Caçapava do Sul. Verificar a potabilidade para consumo humano mediante análises e processamento dos dados. Foram analisadas 33 amostras de água, sendo 23 amostras de poços tubulares, duas dessas provenientes do mesmo poço, uma após passar por clorador e outra retirada diretamente do poço. Nove amostras foram retiradas de poços freáticos (cacimba). A figura 10 traz exemplos dos poços.

Existem variações sazonais na composição físico-química das águas subterrâneas, sendo estas variações principalmente em decorrência das composições e concentrações de cátions e ânions na água subterrânea.

Todas as considerações a cerca da potabilidade das águas foram feitas com base na portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde na qual expressa os parâmetros máximos de potabilidade para águas em geral. Conforme o CONAMA a resolução nº 396/2008 apresenta os valores máximos permitidos para águas subterrâneas.

Com a finalidade de facilitar a observação dos dados e o resumo estatístico, optou-se por apresentá-los através de tabelas, inseridas em cada subitem dos resultados. Os pontos amostrados com suas respectivas coordenadas estão listados abaixo (TABELA2).

Figura 10 – Fotografias de exemplos de coleta e tipos de poços onde recolhidas as amostras.



Fonte: Autora.

TABELA2  
Tabela de pontos amostrados.

Ponto	X	Y	Ponto	X	Y
P2	260384	6628377	P38	274990	6657741
P5	260623	6628234	P39	275070	6657604
P11	263499	6638568	P40	275636	6658125
P12	264021	6638867	P41	273364	6613140
P13	264109	6638921	P45	262065	6634441
P14	264212	6638767	P46	257743	6633566
P19	276080	6640949	P47	235455	6594778
P20	276011	6640969	P48	235296	6594824
P29	262179	6624268	P49	258300	6613956
P30	264962	6617979	P50	264687	6612840
P31	260590	6628606	P51	262065	6634441
P32	264926	6618105	P52	260581	6615322
P33	260465	6615233	P53	267444	6618844
P34	260509	6615322	P54	266975	6618699
P35	258972	6615236	P55	268998	6616936
P36	257898	6611461	P56	263877	6621621
P37	281746	6641431	---	---	---

Fonte: Autora.

Uma forma de identificação de correlação entre as análises executadas é através do desenvolvimento de uma matriz de correlação. São apresentadas abaixo duas matrizes de correlação, uma referente a poços tubulares e outra a poços freáticos (TABELA3) e(TABELA 4).

TABELA3  
Matriz de correlação dos poços tubulares.

	Dureza	Cálcio	Ferro	Alcalinidade	Cloreto	pH	Condutividade	STD	Turbidez
Dureza	1,0000								
Cálcio	0,4740	1,0000							
Ferro	-0,2884	-0,3377	1,0000						
Alcalinidade	0,8312	0,1527	-0,1874	1,0000					
Cloreto	0,5164	0,2306	-0,2065	0,5172	1,0000				
pH	0,4573	0,4603	-0,3150	0,5039	0,6176	1,0000			
Condutividade	0,6589	0,7058	-0,2757	0,5816	0,6073	0,8589	1,0000		
STD	0,3983	0,5229	-0,4033	0,4590	0,3755	0,6494	0,7176	1,0000	
Turbidez	-0,1253	-0,1914	0,6711	-0,1644	-0,2971	-0,4237	-0,2560	-0,3473	1,0000

Fonte: Autora.

TABELA 4  
Matriz de correlação dos poços freáticos.

	Dureza	Cálcio	Ferro	Alcalinidade	Cloreto	pH	Condutividade	STD	Turbidez
Dureza	1,0000								
Cálcio	0,9659	1,0000							
Ferro	-0,2924	-0,3981	1,0000						
Alcalinidade	0,5639	0,5037	-0,0156	1,0000					
Cloreto	0,4023	0,4458	0,0710	0,4392	1,0000				
pH	0,8733	0,9389	-0,3526	0,3820	0,4265	1,0000			
Condutividade	0,9557	0,9783	-0,4290	0,5234	0,4784	0,9325	1,0000		
STD	0,6497	0,5219	-0,0043	0,2541	0,2261	0,5368	0,5239	1,0000	
Turbidez	-0,4802	-0,4343	0,3561	-0,3559	-0,3083	-0,4219	-0,5788	-0,1431	1,0000

Fonte: Autora.

#### 4.1.Contexto Hidrogeológico.

Quanto ao reconhecimento das unidades hidrogeológicas foram enfatizadas áreas que correspondam aos domínios hidrogeológicos encontrados no município. Os Domínios Hidrogeológicos encontrados em Caçapava do Sul diferenciam-se não só por em função de litologias. As diferenças entre os tipos de domínios hidrogeológicos ocorrem também em virtude da idade de formação e composição das rochas. A variedade encontrada figura desde rochas intrusivas até epiclásticas, de idades neoproterozóicas até o permiano, contendo porções cenozóicas inconsolidadas.

A seguir, encontram-se descrições litológicas encontradas em cada domínio hidrogeológico na região de Caçapava do Sul de acordo com o mapa de CPRM 2008.

##### 4.1.1. Domínio Formações Cenozóicas

No município de Caçapava do Sul conforme o mapa de domínios (Figura 3) observa-se que o mesmo está associado à presença de corpos de água. Na área estudada não foram encontrados poços pertencentes ao Domínio das Formações Cenozóicas.

##### 4.1.2. Domínio Bacias Sedimentares

Foram encontrados no domínio das bacias sedimentares seis poços em funcionamento. Cinco poços tubulares e um freático, pertencentes ao sistema aquífero Palermo/Rio bonito. As amostras P19, P20 (freático), P37 e P38 fazem parte da formação Rio Bonito. As amostras P39 e P40 são pertencente à formação Palermo.

Formação Rio Bonito—unidade pertencente ao Grupo Guatá na Bacia do Paraná. Apresenta em sua litologia arcóseos, siltitos, siltitos carbonosos e quartzarenito, folhelhos, folhelhos carbonosos e carvão, tonstein, diamictito com matriz carbonosa e marga. De ambientes flúvio-deltaico, litorâneo e marinho plataformais.

Formação Palermo—litologicamente composto por siltitos, siltito arenoso, arenito fino a muito fino e folhelho, lentes de arenito grosso e conglomerado com seixos discóides, ambiente marinho de costa-afora com influência de tempestades.

#### **4.1.3. Domínio Poroso/Fissural**

No domínio poroso/fissural foi encontrado somente um poço (P41), sendo este tubular. Relacionado à formação Varzinha pertencentes ao Grupo Guaritas (BC). Neste domínio estão situados aquícludes eo-paleozóicos.

Formação Varzinha (O2vz) - conglomerado polimítico, arenito fino a médio e pelito relacionados a sistemas fluvial e desértico.

#### **4.1.4. Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas**

Neste domínio foram encontrados cinco poços, todos tubulares. P45, P51, P53, P54 e P55. Todos pertencentes ao complexo metamórfico Passo Feio e ao sistema aquífero embasamento cristalino II. Consiste em rochas metavulcânicas e metassedimentares.

Metavulcânicas (NP2vcv) - metandesito, metatufo, metavulcanoclástica e níveis de sedimentos vulcanogênicos metamorfizados nas fácies xisto verde a anfibolito;

Metassedimentares (Metavulcanossedimentar)(NP2vcs) - constituída por xistos provenientes de metapelito, grafita xisto, quartzitos, anfibolito e níveis de metavulcânicas intermediárias, todo o conjunto metamorfizado na fácies xisto verde superior a anfibolito.

#### **4.1.5. Domínio Vulcânicas**

Neste domínio foram encontrados somente poços tubulares, pertencentes à formação Hilário, de fácies particuladas (rochas piroclásticas e epiclásticas) e fácies coerente (derrames). São os poços P11, P12, P13, P14, P47(hilário coerente)e P48. Todos pertencentes ao sistema aquífero aquíclude eo-paleozóico, inseridos no Grupo Bom Jardim da bacia do camaquã.

Formação Hilário – consiste em depósitos vulcanogênicos de afinidade shoshonítica , onde predominam depósitos vulcânicos acumulados tanto em ambiente subaéreo quanto subaquoso, representados por:

Fácies particulada (NP3 hip) - onde intercalam-se aos derrames, depósitos piroclásticos relacionados a queda e fluxo, com tufos lapilíticos, tufos, brechas e ignimbritos, seguidos de depósitos sedimentares vulcanogênicos;

Facies coerente (NP3 hic) - contendo derrames de traquibasaltos a traquiandesitos, sucedendo-se andesito, localmente dacito e intrusivas representadas por domos de lamprófiros espessartíticos e de monzonitos e quartzomonzonitos.

#### **4.1.6. Domínio Cristalino**

No domínio cristalino foram encontrados o maior número de poços. Sete tubulares e oito freáticos. As amostras P2, P29, P35, P36, P46, P50 e P56 são de poços tubulares. P5, P30, P31, P32, P33, P34, P49 e P52 são freáticos. Todos pertencentes ao sistema aquífero cristalino II. Inseridos no granito Caçapava.

Suíte Granítica Caçapava do Sul (NP3 – está representada por sienogranitos, contornando e intrudindo monzogranito a granodiorito , médio a fino, dominante na porção central, com foliação protomilonítica ao longo das bordas do corpo granítico.

#### **4.1.7. Constituintes iônicos tóxicos e carcinógenos**

**Cádmio:** encontra-se principalmente em minerais de zinco.

**Cobre:** os principais minerais de cobre são calcopirita, calcosita, covelita, malaquita e azurita.

#### **4.2.pH**

O anexo IV da portaria nº 2914/2011 determina que os valores de pH a 20°C estejam entre 6,0 e 9,0. Dentre as amostras analisadas oito apresentaram valores abaixo de 6,0 e nenhuma delas retornou valores acima de 9,0. As amostras P20, P30, P32, P33, P34, P37, P49 e P52 foram aquelas que exibiram índices abaixo de 6,0.

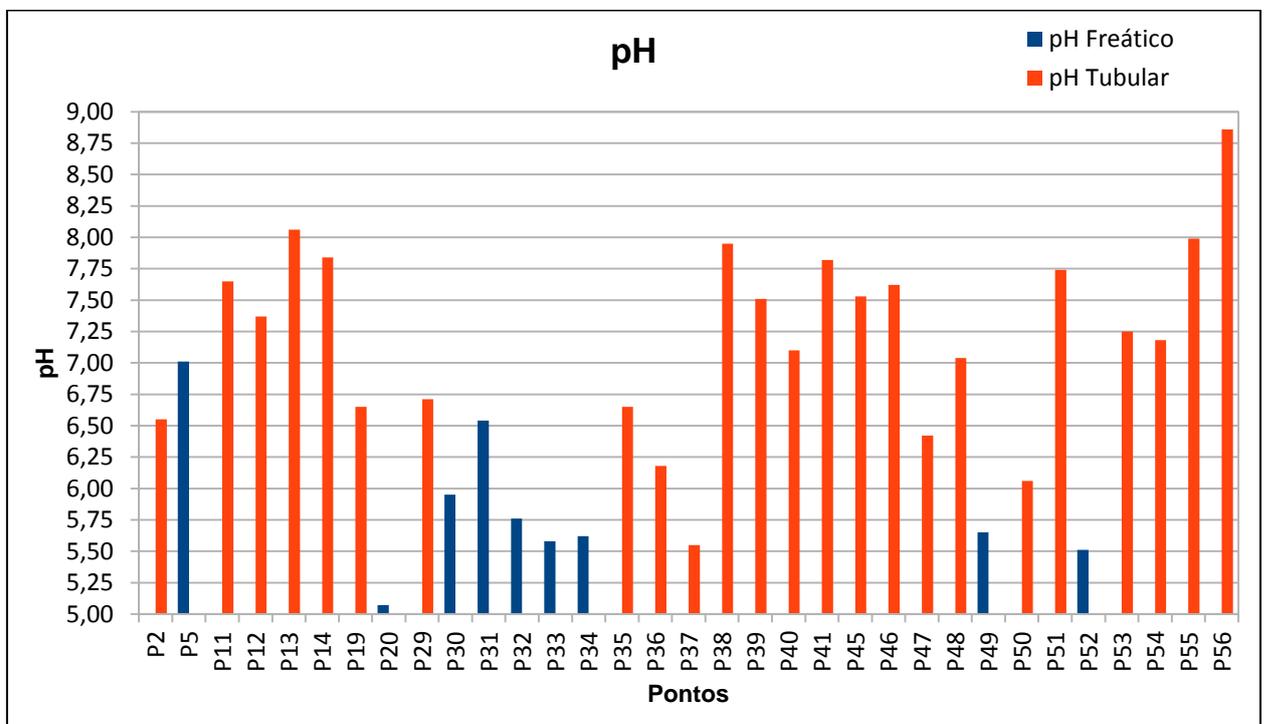
Através da matriz de correlação vemos que o pH possui forte correlação com a dureza, o cálcio e condutividade nos poços freáticos. Para os tubulares a correlação deste parâmetro é maior com a condutividade e os sólidos totais dissolvidos. Podendo comprovar que este parâmetro possui relação com o ambiente em que se encontra a água. A tabela abaixo (TABELA 5) contém os valores encontrados de pH para as amostras analisadas. O Gráfico 2 representa a distribuição do pH com relação aos pontos.

TABELA 5  
Tabela com pontos e índices de pH.

Ponto	pH Tubular	pH Freático	Ponto	pH Tubular	pH Freático
P2	6,55		P38	7,95	
P5		7,01	P39	7,51	
P11	7,65		P40	7,10	
P12	7,37		P41	7,82	
P13	8,06		P45	7,53	
P14	7,84		P46	7,62	
P19	6,65		P47	6,42	
P20		5,07	P48	7,04	
P29	6,71		P49		5,65
P30		5,95	P50	6,06	
P31		6,54	P51	7,74	
P32		5,76	P52		5,51
P33		5,58	P53	7,25	
P34		5,62	P54	7,18	
P35	6,65		P55	7,99	
P36	6,18		P56	8,86	
P37	5,55		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 2 – Gráfico com índices de pH para poços tubulares e freáticos.



Fonte: Autora.

### 4.3. Turbidez

Os valores para turbidez obtidos no equipamento da Unipampa, é dado em NTU (*Neftalometric Turbidity Unit*) ou UNT (Unidade Neftalometrica de Turbidez) em português, são diretamente proporcionais ao uT (Unidade de Turbidez) presente na dita portaria.

A tabela presente no anexo II da portaria nº 2914/2011, aponta valores de turbidez para amostras de água subterrânea pós-filtração e pré-desinfecção. O número máximo em uT mantém-se em torno de 1,0 e 0,5 uT, sendo aceito como máximo extrapolado 5,0 UNT. A resolução nº 396/2008 não aborda quantificações para este parâmetro.

Dentre os valores observados, estão destacadas 15 amostras que apresentaram valores acima de 1,0 uT (TABELA 6). O Gráfico 3 apresenta os valores de turbidez para os pontos amostrados.

A turbidez pode ocorrer nas águas através de diversos fatores. O excesso de sólidos totais dissolvidos, concentração de ferro e concentração de cálcio, figuram como causas principais dessa condição.

Com base nas TABELA 3 e TABELA 4 que apresentam as correlações entre os parâmetros analisados, as amostras com maior turbidez apresentam conteúdo elevado de ferro e baixo STD. Dessa forma podemos afirmar que a turbidez é decorrente do ferro. As amostras P2, P19, P36 e P47 apresentam-se acima do limite permitido pelo MS que aceita um valor máximo de 5,0 UNT. As demais amostras estão de acordo com o MS.

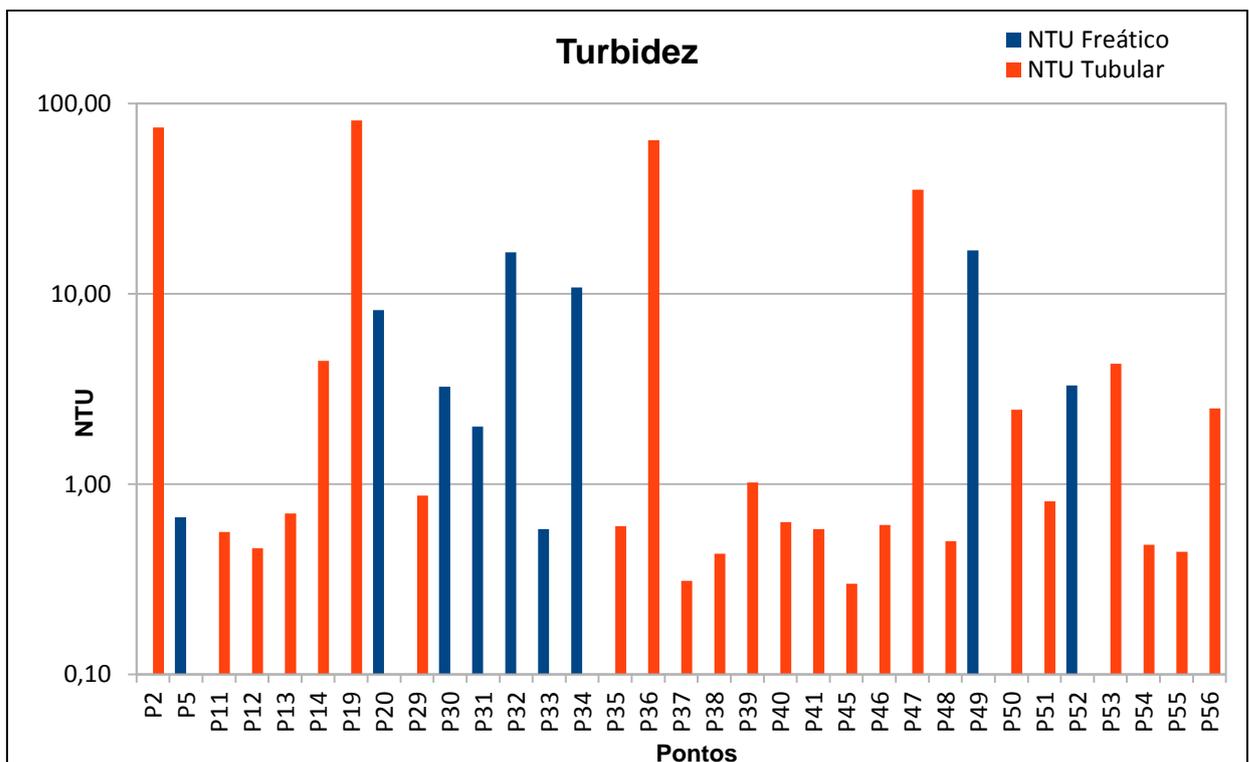
As amostras dos poços freáticos P20, P32, P34 e P49 apresentam valores de turbidez acima do aceito pela resolução nº 2914/2011. O restante das amostras está dentro do limite. Os poços freáticos estão quase todos no domínio cristalino, a exceção é o P20, que se encontra no Domínio Bacias Sedimentares (Formação Rio Bonito). Os poços freáticos possuem baixa correlação turbidez/ferro se comparados aos tubulares. Possivelmente a turbidez acima do permitido se dê em virtude da presença de sólidos em suspensão. A falta de proteção e conservação desse tipo de poço é o principal motivo de inserção deste tipo de poluentes ou até mesmo contaminantes.

TABELA 6  
Representação dos valores de turbidez em NTU.

Ponto	Turbidez NTU		Ponto	Turbidez NTU	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	74,90		P38	0,43	
P5		0,67	P39	1,02	
P11	0,56		P40	0,63	
P12	0,46		P41	0,58	
P13	0,70		P45	0,30	
P14	4,44		P46	0,61	
P19	81,40		P47	35,20	
P20		8,20	P48	0,50	
P29	0,87		P49		16,90
P30		3,25	P50	2,46	
P31		2,00	P51	0,81	
P32		16,50	P52		3,30
P33		0,58	P53	4,28	
P34		10,80	P54	0,48	
P35	0,60		P55	0,44	
P36	64,00		P56	2,50	
P37	0,31		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 3 – Gráfico representando a turbidez em NTU para os pontos amostrados.



Fonte: Autora.

#### 4.4. Condutividade

Este parâmetro depende da quantidade de íons presentes na água. A quantidade de íons está intimamente relacionada aos sais dissolvidos na amostra. A condutividade da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (FENZEL, 1986).

Todas as considerações a cerca da potabilidade das águas foram feitas com base na portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde e da resolução nº 396/2008 do CONAMA. Nesta portaria e resolução, não está abordado à quantificação para este parâmetro. Celligoi (1999) utiliza em seu trabalho para água potável o valor de referência entre 50 e 1500 mmhos/cm, ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). As amostras P34, P37, P49 e P52 apresentaram valores abaixo de 50 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), as demais amostras encontram-se dentro dos valores de referência (TABELA 7 e Gráfico 4).

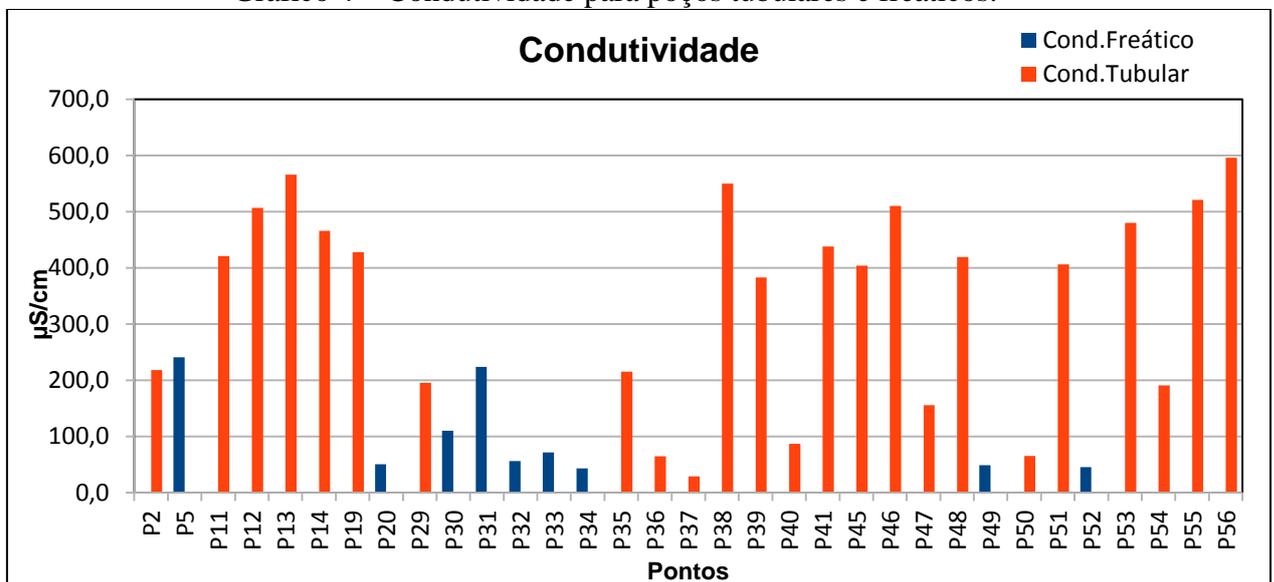
Ao observarmos a matriz das TABELA 3 e TABELA 4, vemos que o parâmetro de sólidos totais dissolvidos possui boa correlação com a condutividade, assim como o cálcio, a dureza e a alcalinidade, além do pH. Torres e Gama (2005) afirmam que a condutividade e a quantidade de sais dissolvidos são diretamente proporcionais, corroborando assim o que apresentado na matriz de correlação. Conclui-se que a condutividade elevada nos poços seja proveniente da dissolução de cátions como o  $\text{Ca}^{2+}$ , fator este que gera também a correlação elevada com a dureza, alcalinidade e o pH.

TABELA 7  
Valores de Condutividade.

Ponto	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Ponto	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	218,0		P38	550,0	
P5		241,0	P39	383,0	
P11	421,0		P40	86,5	
P12	507,0		P41	438,0	
P13	566,0		P45	404,0	
P14	466,0		P46	510,0	
P19	428,0		P47	155,3	
P20		50,4	P48	419,0	
P29	195,6		P49		48,6
P30		110,0	P50	64,9	
P31		224,0	P51	406,0	
P32		56,3	P52		45,2
P33		71,6	P53	480,0	
P34		43,0	P54	190,6	
P35	215,0		P55	521,0	
P36	64,8		P56	596,0	
P37	28,7		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 4 – Condutividade para poços tubulares e freáticos.



Fonte: Autora.

#### 4.5.Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos representam a concentração total do material dissolvido na água, seja volátil ou não (SANTOS, 2008).

O MS na Portaria n° 2914/2011, anexo X apresenta como limite máximo permitido valores até 1000 mg/L. A Resolução n° 396/2008 do CONAMA aceita como limite máximo permitido a mesma quantidade de sólidos totais dissolvidos. Todas as 33 amostras apresentaram-se bem abaixo do limite máximo permitido (Gráfico 5 e TABELA 8 Valores de sólidos totais dissolvidos para poços tubulares e freáticos.).

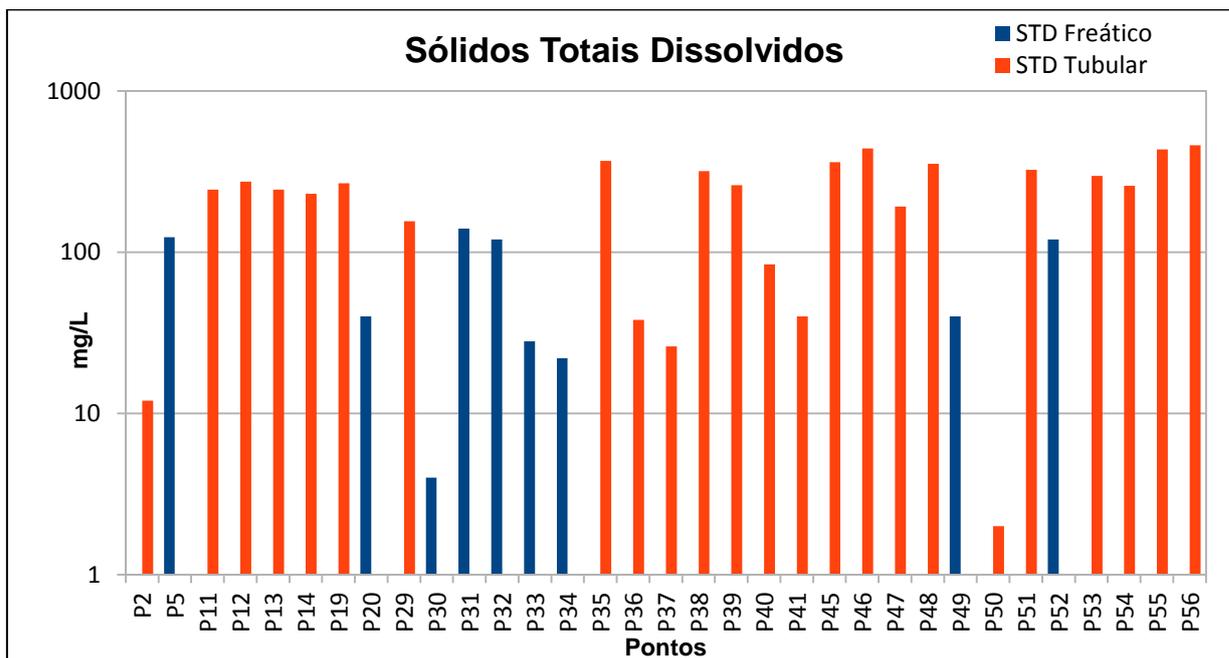
Assim como esperado, a correlação entre STD e condutividade é forte nos poços tubulares. Nestes poços observa-se também a relação positiva da quantidade de STD com o pH, o que é aceito e entendido por Torres e Gama (2005) como padrão em águas subterrâneas. Nos poços freáticos os STD não apresentam valores altos de correlação com condutividade. Também não possuem alta correlação com os outros parâmetros, mantendo-se medianos e negativa com o ferro, uma vez que este não altera este tipo de parâmetro.

TABELA 8  
Valores de sólidos totais dissolvidos para poços tubulares e freáticos.

Ponto	STD		Ponto	STD	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	12		P38	318	
P5		124	P39	260	
P11	244		P40	84	
P12	274		P41	40	
P13	244		P45	362	
P14	230		P46	440	
P19	268		P47	192	
P20		40	P48	354	
P29	156		P49		40
P30		4	P50	2	
P31		140	P51	324	
P32		120	P52		120
P33		28	P53	298	
P34		22	P54	258	
P35	368		P55	434	
P36	38		P56	460	
P37	26		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 5 – Distribuição dos valores de STD.



Fonte: Autora.

#### 4.6. Alcalinidade Total

Conforme Celligoi (1999) alcalinidade é a capacidade que a água tem em neutralizar ácidos e baseia-se na quantidade de íons hidrogênio e carbonatos e bicarbonatos dissolvidos na água.

Os teores de alcalinidade são expressos mg CaCO<sub>3</sub>/L. O limite permitido para este parâmetro não está estabelecido na portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde nem na resolução n° 396/2008 do CONAMA. Os valores são apresentados na TABELA 9 e Gráfico 6.

A alcalinidade total de forma generalista possui, como esperado, forte correlação com a dureza total. Sua correlação com o cálcio é fraca, permitindo acreditar que o agente responsável pela dureza nestas águas seja o magnésio.

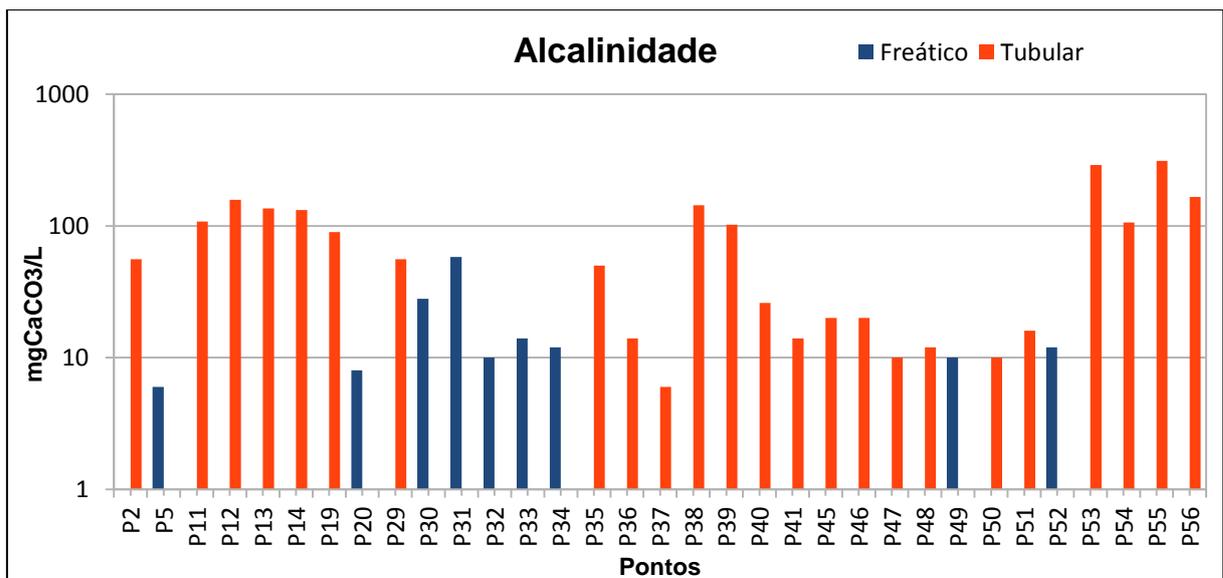
Santos (2008) apresenta a classificação entre os diferentes tipos de alcalinidade relacionada ao pH. Para as amostras coletadas, 32 ficaram com pH entre 4,6 e 8,3, o que é classificado como alcalinidade de bicarbonatos. Uma amostra configurou entre 8,3 e 9,4, sendo assim classificada como alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos. Esta classificação permite a observação dos tipos de íons dissolvidos na água uma vez que não é possível que a mesma contenha altas concentrações de hidróxidos e bicarbonatos ao mesmo tempo. A reação entre as parcelas OH<sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ... (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e H<sub>2</sub>O.

TABELA 9  
Valores obtidos para alcalinidade.

Ponto	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)		Ponto	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	56		P38	144	
P5		6	P39	102	
P11	108		P40	26	
P12	158		P41	14	
P13	136		P45	20	
P14	132		P46	20	
P19	90		P47	10	
P20		8	P48	12	
P29	56		P49		10
P30		28	P50	10	
P31		58	P51	16	
P32		10	P52		12
P33		14	P53	290	
P34		12	P54	106	
P35	50		P55	312	
P36	14		P56	166	
P37	6		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 6 – Distribuição dos valores de alcalinidade de acordo com os pontos amostrados.



Fonte: Autora.

#### 4.7.Dureza Total

A dureza é a medida da capacidade da água precipitar sabão, (CELLIGOI, 1999). Em geral usam-se principalmente os teores de cálcio e magnésio para definir a dureza. A dureza total é mais comumente expressa em mg/L de  $CaCO_3$ .

Conforme o anexo X da Portaria n° 2914/2011 do MS, o valor máximo permitido é de 500 mg/L  $CaCO_3$ . A resolução n° 396/2008 CONAMA não especifica limites máximos para dureza total.

Todas as amostras estão dentro do limite máximo permitido pelo MS (TABELA 10 e Gráfico 7).

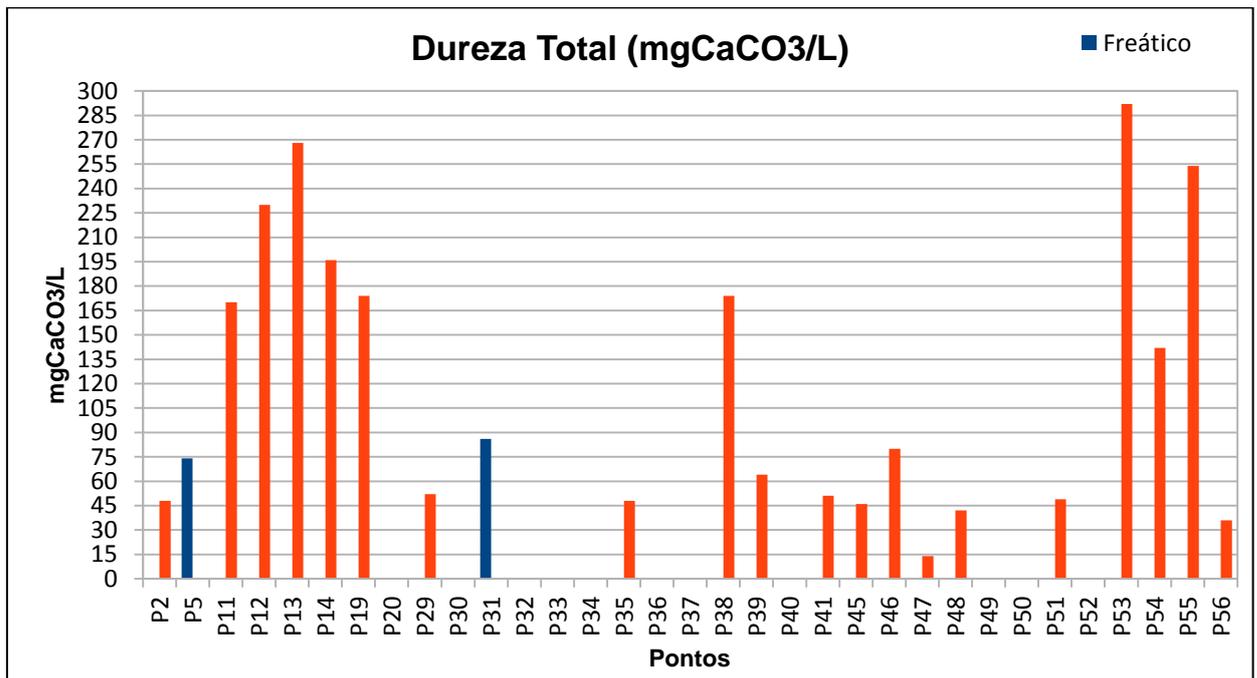
Ao observarmos a dureza nas matrizes de correlação para águas de poços tubulares e freáticos, vemos que este parâmetro possui maior correlação com o cálcio nos freáticos do que nos tubulares. Para poços freáticos os valores de pH e condutividade elétrica apresentam maior correlação com a dureza. Nos poços tubulares a correlação destes parâmetros é menor. A dureza tem correlação forte com a alcalinidade nos poços tubulares.

TABELA 10  
Valores adquiridos para dureza total nas amostras.

Ponto	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)		Ponto	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	48		P38	174	
P5		74	P39	64	
P11	170		P40	0	
P12	230		P41	51	
P13	268		P45	46	
P14	196		P46	80	
P19	174		P47	14	
P20		0	P48	42	
P29	52		P49		0
P30		0	P50	0	
P31		86	P51	49	
P32		0	P52		0
P33		0	P53	292	
P34		0	P54	142	
P35	48		P55	254	
P36	0		P56	36	
P37	0		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 7 – Representação dos valores de dureza total encontrados.



Fonte: Autora.

#### 4.8.Cálcio

O cálcio é o cátion mais comum em águas doces, sendo um dos principais motivos para a dureza das águas. É encontrado em plagioclásios, anfibólios e piroxênios (CELLIGOI, 1999).

A Portaria n° 2914/2011 do MS e a resolução n° 396/2008 não apresentam valores máximos permitido para análises de Cálcio. Contudo, os valores encontrados, juntamente de depoimentos dados por alguns moradores do município, apontam uma elevada concentração deste elemento em algumas amostras(TABELA11 eGráfico 8).

O cálcio possui correlação muito forte com a condutividade e o pH das águas coletadas em poços freáticos e negativa com o ferro e a turbidez. A relação do cálcio com a condutividade é forte nos poços tubulares, mas para os outros parâmetros restantes é moderado a baixo, sendo inclusive negativa com o ferro e turbidez.

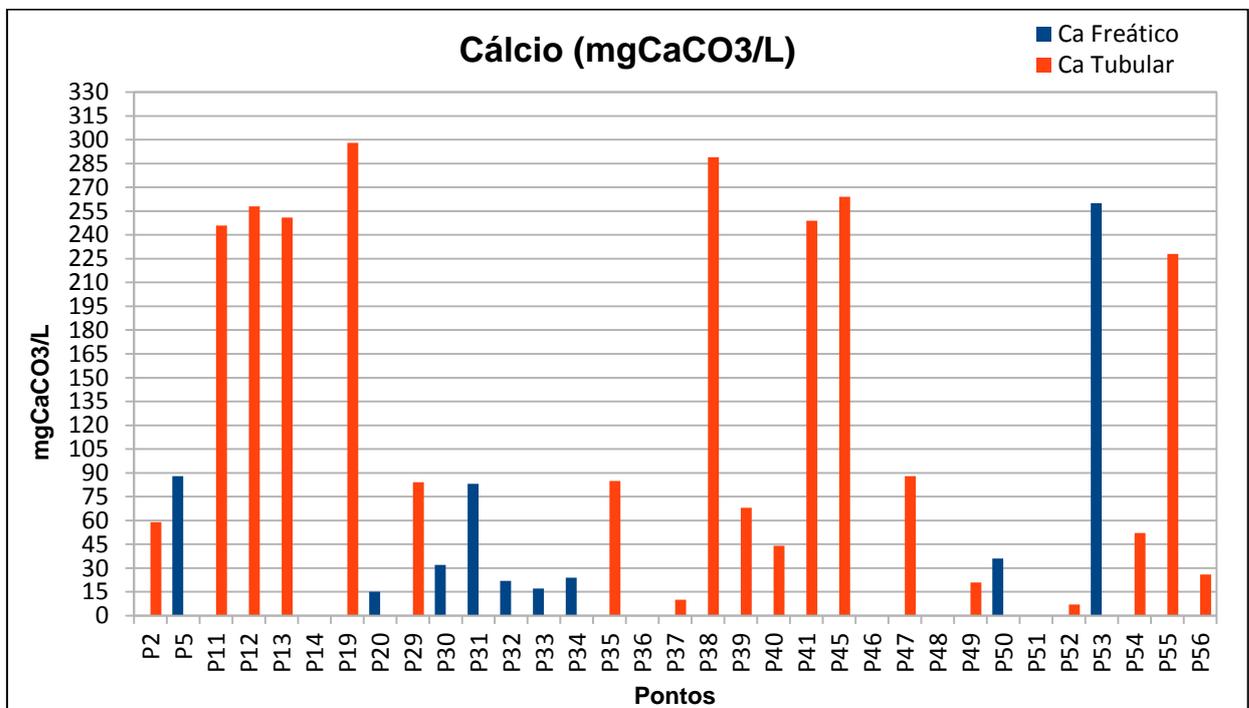
A característica de correlação forte e muito forte da dureza, cálcio, alcalinidade e pH, permite a interpretação de que nas águas do freático o cálcio seja o responsável por estes comportamentos.

TABELA11  
Valores de cálcio para as amostras.

Ponto	Cálcio (mgCaCO <sub>3</sub> /L)		Ponto	Cálcio (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	59		P38	289	
P5		88	P39	68	
P11	246		P40	44	
P12	258		P41	249	
P13	251		P45	264	
P14			P46		
P19	298		P47	88	
P20		15	P48		
P29	84		P49	21	
P30		32	P50		36
P31		83	P51		
P32		22	P52	7	
P33		17	P53		260
P34		24	P54	52	
P35	85		P55	228	
P36	0		P56	26	
P37	10		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 8 – Representa os valores de Ca para as amostras.



Fonte: Autora.

#### 4.9.Sulfatos

A metodologia adotada para a detecção de sulfatos utilizada no laboratório de química do Campus Caçapava do Sul não permitiu a detecção desse tipo de ânion. O produto de solubilidade (K<sub>ps</sub>) do sulfato de bário é  $1 \times 10^{-10}$ . Concentrações abaixo desse valor não formarão corpo de fundo nas soluções. O K<sub>ps</sub> é o resultado das concentrações dos íons de um mesmo tipo existentes em uma solução saturada. Quanto menor o k<sub>ps</sub> menor a solubilidade. Não foi observada a criação de corpo de fundo ( $\text{BaSO}_4$ ) nas amostras quando adicionado o cloreto de bário, onde todas as análises apresentaram-se abaixo do limite de detecção do método.

Ao analisar as amostras no equipamento de fluorescência de raios X foram detectados íons de enxofre (S). Este enxofre em contato com o oxigênio na água aumenta a possibilidade de que se encontrem compostos sulfatados, contudo, não se pode dar a certeza de que tais compostos existam.

O anexo X da Portaria 2914/2011 do MS para efeitos de potabilidade indica como valor máximo permitido de 250 mg/L de sulfato. Conforme o anexo I da Resolução nº 396/2008 do CONAMA o limite máximo permitido para consumo humano é de 250 mg/L de  $\text{SO}_4$ .

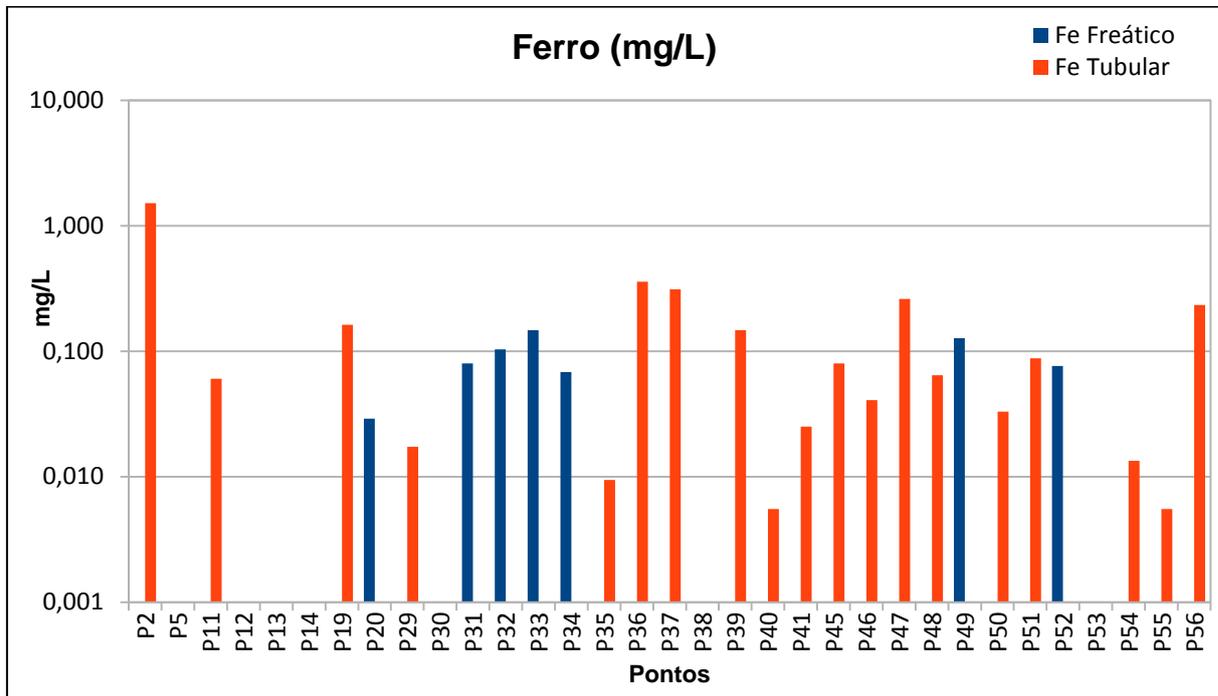
#### 4.10. Ferro Total

A Portaria nº 2914/2011 do MS traz no anexo X valores de referência para o limite máximo permitido de 0,3 mg/L de ferro. Contudo, se obedecidas as normas presente no artigo 39º do capítulo V desta mesma portaria, os valores de ferro podem ser superiores a 0,3 mg/L, desde que não ultrapasse 2,4 mg/L. Isto, desde que, o ferro não esteja complexado com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde e por fim, os demais parâmetros de potabilidade não podem ser violados. A Resolução nº 396/2008 CONAMA traz como limite máximo permitido para águas subterrâneas o valor de 0,3 mg/L de ferro.

As amostras P2, P36 e P37 apresentam quantidades de ferro acima do limite máximo permitido, citado acima, e exposto na portaria e resolução citados (Gráfico 9 e TABELA 12).

A matriz de correlação aponta tanto para poços tubulares quanto freáticos uma forte correlação das quantidades de ferro com a turbidez. Essa turbidez não necessariamente está associada a sólidos totais dissolvidos, podendo este ferro estar presente na água como pequenas porções coloidais.

Gráfico 9 – Representa os valores de Fe presente nas amostras.



Fonte: Autora.

TABELA12

Apresentação dos valores de absorvância medidos e valores de ferro calculados através da curva padrão.

Ponto	Ferro ABS	Ferro Tubular (mg/L)	Ferro Freático (mg/L)	Ponto	Ferro ABS	Ferro Tubular (mg/L)	Ferro Freático (mg/L)
P2	0,404	1,513		P38	0,015	0,000	
P5	0,012		0,000	P39	0,055	0,147	
P11	0,033	0,060		P40	0,019	0,006	
P12	0,016	0,000		P41	0,024	0,025	
P13	0,008	0,000		P45	0,038	0,080	
P14	0,011	0,000		P46	0,028	0,041	
P19	0,059	0,162		P47	0,084	0,260	
P20	0,025		0,029	P48	0,034	0,064	
P29	0,022	0,017		P49	0,050		0,127
P30	0,014		0,000	P50	0,026	0,033	
P31	0,038		0,080	P51	0,040	0,088	
P32	0,044		0,103	P52	0,037		0,076
P33	0,055		0,147	P53	0,006	0,000	
P34	0,035		0,068	P54	0,021	0,013	
P35	0,020	0,009		P55	0,019	0,006	
P36	0,109	0,358		P56	0,077	0,233	
P37	0,097	0,311		XXX			

Fonte: Autora.

#### 4.11. Cloretos

A portaria nº 2914/2011 do MS em seu anexo X, traz a tabela de padrão organoléptico de potabilidade. Esta contém os valores máximos permitidos para as concentrações de cloreto em 250 mg/L. A resolução nº 396/2008 do CONAMA aponta valores de cloreto em 250.000 µg/L, ou seja 250mg/L, assim como na portaria anteriormente citada.

As concentrações de cloreto como se pode ver na tabela abaixo (TABELA13 e Gráfico 10), estão muito abaixo dos 250 mg/L fazendo com que esta água não seja cloretada. As águas subterrâneas apresentam concentração de cloreto inferior a 100 mg/L (SANTOS, 2008).

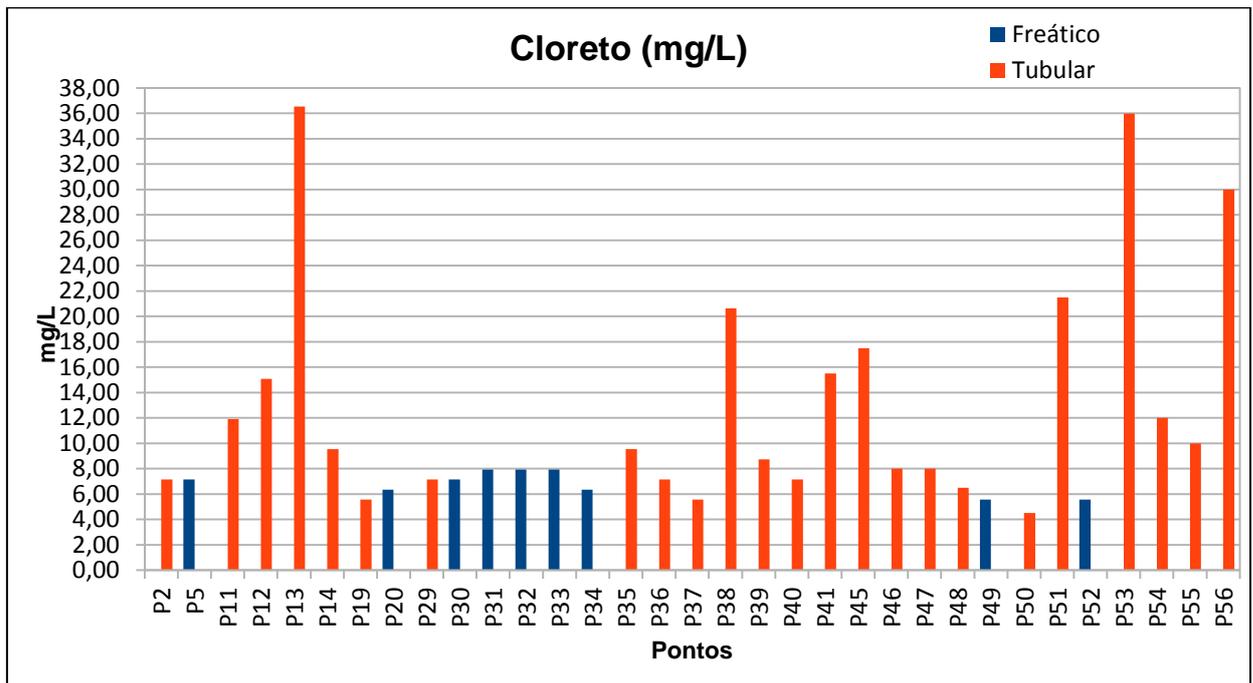
Os cloretos na matriz de correlação possuem afinidade moderada com o pH, alcalinidade, dureza e condutividade em ambos os tipos de poços. Nos freáticos há maior relação com a condutividade e o pH. Nos tubulares há maior correlação com a dureza.

TABELA13  
Valores de cloretos medidos para os pontos.

Ponto	Cloreto (mg/L)		Ponto	Cloreto (mg/L)	
	Tubular	Freático		Tubular	Freático
P2	7,15		P38	20,65	
P5		7,15	P39	8,73	
P11	11,91		P40	7,15	
P12	15,09		P41	15,50	
P13	36,53		P45	17,49	
P14	9,53		P46	8,00	
P19	5,56		P47	8,00	
P20		6,35	P48	6,50	
P29	7,15		P49		5,56
P30		7,15	P50	4,50	
P31		7,94	P51	21,49	
P32		7,94	P52		5,56
P33		7,94	P53	35,99	
P34		6,35	P54	12,00	
P35	9,53		P55	10,00	
P36	7,15		P56	29,99	
P37	5,56		XXX		

Fonte: Autora.

Gráfico 10 – Representa os teores de Cloreto presentes nas amostras.



Fonte: Autora.

#### 4.12. Coloração de Gram

Dentre as 33 amostras analisadas através do método colorimétrico de Gram, seis unidades não demonstraram conter conteúdo bacteriano.

Das 27 amostras que contém coliformes, todas apresentam *Escherichia coli*, possivelmente isto se dê pela atividade antrópica, material orgânico infiltrado nos aquíferos da região juntamente com material fecal, permitindo que estas bactérias permaneçam vivas e ativas mesmo fora de um hospedeiro.

Todas as análises feitas com as amostras de aquífero freático indicaram a presença da bactéria *Escherichia coli*. As amostras P30, P31, P32, P33 e P34 apresentam também a bactéria *Staphylococcus aureus*.

As amostras dos poços tubulares n°s P46, P48, P53, P54, P55 e P56 não indicaram a presença das bactérias de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. As amostras P2, P11, P12, P13, P36, P37, P38, P39, P40, P41, P45, indicaram somente a presença de *Escherichia coli*. Por fim as amostras P14, P19, P29, P35, P47, P50 e P51 contêm as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

A Portaria n° 2914/2011 do MS e a Resolução n° 396/2008 do CONAMA trazem que as amostras não devem conter presença da bactéria *Escherichia coli* em 100 ml de água.

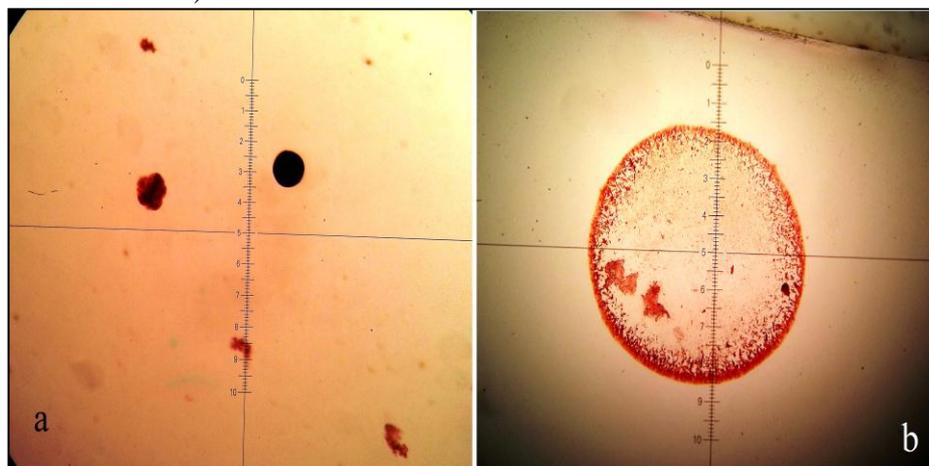
Do total de amostras, 12 estão contaminadas com bactérias do tipo *Staphylococcus aureus*. Esta contaminação é diretamente ligada à ação antrópica uma vez que estas bactérias são presentes principalmente no tecido epitelial humano. A seguir a TABELA 14 demonstra aquelas amostras que contém ou não os coliformes. A Figura 11 apresenta imagens de como foi feita a identificação dos tipos de bactérias encontradas nas amostras com o microscópio, posteriormente a técnica de coloração de Gram.

TABELA 14  
Apresentação dos poços que contém bactérias.

Ponto	Gram Positiva		Gram Negativa		Ponto	Gram Positiva		Gram Negativa	
	Staphylococcus aureus		Escherichia coli			Staphylococcus aureus		Escherichia coli	
	Tubular	Freático	Tubular	Freático		Tubular	Freático	Tubular	Freático
P2			X		P38			X	
P5				X	P39			X	
P11			X		P40			X	
P12			X		P41			X	
P13			X		P45			X	
P14	X		X		P46	N/C			
P19	X		X		P47	X		X	
P20				X	P48	N/C			
P29	X		X		P49		X		X
P30		X		X	P50	X		X	
P31		X		X	P51	X		X	
P32		X		X	P52				X
P33		X		X	P53	N/C			
P34		X		X	P54	N/C			
P35	X		X		P55	N/C			
P36			X		P56	N/C			
P37			X		XXX				

Fonte: Autora.

Figura 11 – Imagens do microscópio utilizando objetiva de 20X. Identificação dos tipos de coliformes. a) círculo roxo escuro *Staphylococcus aureus*, círculo vermelho difuso, *Escherichia coli*. b) diversas bactérias *Escherichia coli* em uma bolha na lâmina.



Fonte: Autora.

#### 4.13. Fluorescência de Raios X

As análises de fluorescência de raios x serviram para a detecção dos elementos que compõe a água. Uma vez que o equipamento possui a característica de ser mais qualitativo do que quantitativo, optou-se por manter as análises executadas no laboratório de química da UNIPAMPA como fator preponderante para a quantitatividade dos elementos.

Conforme observado na TABELA15, as amostras dos poços tubulares pertencentes ao domínio cristalino apresentam em sua composição os seguintes elementos: Mg, K, Al, Si, Fe, Cd, Cu, Sr, Zr, Pd, Ca, Y. Nos poços freáticos os elementos constituintes são: Mg, K, Al, Cu, Cd, Sr, Pd, Ag, Fe, Nb, Zr, Si, Th, Rb e Y. No domínio metassedimentos/metavulcânicas estão presentes os elementos: Mg, K, Ca, Al, Fe, Cd, Cu, Zr, Sr, Y, Rb, Ni. Presentes no domínio poroso/fissural encontram-se na água: Mg, K, Ca, Al, Cd, Cu, Nb, Zr. O domínio das rochas vulcânicas apresenta: Mg, K, Ca, Al, Si, Fe, Cu, Cd, Nb, Zr, Rb, Sn. No domínio das bacias sedimentares podemos observar a presença nos poços freáticos: Mg, K, Fe e Cu. Nos poços tubulares: Mg, K, Ca, Si, Fe, Cu, Ni, Cd, Sr, Zr, Y, Pd.

Os íons de Mg, K, Ca, Fe, Sr e Si são ditos íons principais, estão em maior disponibilidade nas águas subterrâneas. Nas análises realizadas foram detectadas a presença de alguns constituintes considerados tóxicos e carcinógenos (Cd e Cu). O Cd é um metal raro, prejudicial a saúde. Desenvolve ação cumulativa sobre o organismo, em excesso pode provocar anemia, retardamento no crescimento e morte (SANTOS, 2008). Os demais constituintes encontrados são chamados de Traços, conforme demonstrado por Santos (2008).

Apesar de o Potássio (K) ser um elemento de grande concentração em rochas ígneas Santos (2008), apresenta distribuição geral, estando presente em todas as águas analisadas.

Se observarmos o Estrôncio (Sr) nota-se que a distribuição deste elemento se dá no granito Caçapava, na Fm. Palermo e nas metassedimentares do CMPF, mais precisamente nas amostras oriundas de região com mármore. O estrôncio é encontrado na natureza sob a forma de carbonatos (SANTOS, 2008). Sua presença nas águas desta região pode estar associada ao cálcio.

TABELA15  
Dados de fluorescência de raios X. Valores em ppm.

Ponto	Mg	K	Ca	Al2	Si	Fe2	Cd	Cu	Sr	Nb	Ni	Zr	Y	Rb	Pd	Th	Ag	Sn
P2	39036	2640		3112	1098	979	10200	78	267			201			599			
P5	35067	1486		2456				56										
P11	44931	2283	7577	3112				71				253		149				
P12	44630	2117	5704	3478			9200	58				316						645
P13	37533	2474	1272	2879	771	65		43										
P14	39457	1909	7127					84		309		265						
P19	34766	2607	1394		1196	76		46			1							
P20	25323	1818				70		62										
P29		1801					9620	69										
P30	32240	2939					11800	79	257						1080		971	
P31	39818	2383				85	9880		251	225		275						
P32	42224	2665		3049	902		9220	62										
P33	42284	2067					8550	83		257			231	158				
P34	33202	1743			1327			72					211					
P35	17804	2598		3314			10400	70										
P36	34886	2109		2557	2159	163		48										
P37	31458	2773					9680	75					204		529			
P38	52991	1743	2852				8410	47				288						
P39	42284	1793				83		68	251			227	164					
P40	42766	1569						59	216									
P41	49021	2192	5783	3097			8930	56		273		230						
P45	31337	1785	5747	2324				89			1	249	225	124				
P46	47878	2117	11365	3335			8590	69										
P47	34345	2524		3949	1879	120		69										
P48	36029	1718	4796					68						136				
P49	28571	2358			762	66		74										
P50	28270	2507		2991	1360	88	9550	59					194					
P51	37412	1818	4982	2737		94	9270	72				277						
P52	59727	2499			846			59					204					
P53	33503	1851	682	4658				65	233				197					
P54	35247	2067				87	9560	77										
P55	33803	1777	3803	2752		80		67				282		171				
P56	26947	2092				94		100	221									

Fonte: Autora.

## 5. CONCLUSÕES

As águas subterrâneas do município de Caçapava do Sul apresentam composição química variada. Padrões de distribuição de elementos químicos encontrados nos aquíferos juntamente com suas abundâncias, não ocorrem nos aquíferos de Caçapava do Sul.

Aproximadamente 80% dos poços analisados contém coliformes. Tal fator contribui para que as águas de Caçapava não sejam definidas como potáveis. Seis poços não contém coliformes e estes mesmos poços possuem características físico-químicas aceitáveis para os padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria nº 2914/2011 e resolução nº 396/2008.

Para uma mais fácil observação de como se comportam os dados obtidos com as análises em cada uma das unidades geológicas, desenvolveu-se a TABELA 16.

TABELA 16  
Médias dos valores encontrados para os parâmetros analisados.

MÉDIAS	pH	STD	Condutividade	Turbidez	Alcalinidade	Dureza	Cloreto	Cálcio	Ferro
Granito Caçapava	6,42	138,27	180,27	13,33	34,80	28,27	8,60	66,33	33,62
Passo Feio	7,54	335,20	400,32	1,26	148,80	156,60	19,39	235,80	75,89
Hilário Cerente	6,42	192,00	155,30	35,20	10,00	14,00	8,00	88,00	31,25
Hilário Particulada	7,59	269,20	475,80	1,33	109,20	181,20	15,91	301,40	62,25
Rio Bonito	6,31	163,00	264,28	22,59	62,00	87,00	9,53	153,00	37,25
Palermo	7,31	172,00	234,75	0,83	64,00	32,00	7,94	56,00	31,03
Varzinha	7,82	40,00	438,00	0,58	14,00	51,00	15,50	249,00	60,62

Fonte: Autora.

Os teores de pH estiveram abaixo dos valores permitidos, classificados como ácidos em amostras captadas da formação rio bonito e da suíte granítica Caçapava do Sul. Das oito amostras com pH abaixo de 6,0, sete são oriundas de poços freáticos. Interpreta-se esta condição como sendo ocasionada pela inserção de poluentes e/ou contaminantes orgânicos, aliado a não aeração desta água. Estes fatores em conjunto ocasionam a redução do pH, mantendo as águas ácidas.

Os teores para turbidez estão em sua maioria elevados nas águas captadas no granito, na formação rio bonito e uma amostra apresenta teor elevado de turbidez no CMPF. É admitido o aumento de turbidez no granito em virtude de argilominerais que se encontram presentes nas zonas de falhas serem lixiviados e carreados para os locais bombeamento. No Passo Feio Passo o poço em questão fica em uma zona de mármore, sendo explicado o aumento da turbidez pela ação do cálcio, um dos maiores responsáveis para o aumento deste parâmetro. Naqueles poços da Fm. Rio Bonito, interpretou-se a turbidez oriunda de

compostos ferrosos e ferruginosos presentes na cimentação das rochas em que armazenada a água.

A condutividade das águas não revelou valores acima do permitido. Foram encontradas águas no Granito Caçapava e na Fm. Rio Bonito com valores abaixo de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Tal condição não traz problemas com relação ao consumo, destacam-se pelo fato de estarem abaixo do normal para estas rochas.

Os sólidos totais dissolvidos mantêm-se dentro do permitido.

Pode-se observar na matriz de correlação montada que a alcalinidade se dá em maior quantidade nas águas mais duras. Se observarmos a relação cálcio/dureza, vemos que na verdade a porção de dureza relacionada ao magnésio. Isto pode ser afirmado, pois a dependência da dureza é comprovadamente não advinda do cálcio. Esta característica faz com que as águas do município de Caçapava do Sul sejam alcalinas e sejam classificadas como alcalinidade de bicarbonatos.

A dureza total das águas manteve-se dentro dos padrões estipulados pela portaria 2914/2011 do MS.

Os teores mais elevados de cálcio ocorrem nas amostras pertencentes a formação Rio Bonito, ao CMPF, formação Varzinha (grupo Guaritas) e Bom Jardim. A suíte intrusiva Caçapava do Sul não apresentou elevados teores de cálcio.

Elevados teores de ferro foram identificados na formação Rio Bonito e no granito. A presença de ferro nas formações sedimentares é admitida como oriunda dos processos de cimentação por óxidos de ferro. Na formação Rio Bonito são encontrados arenitos e pelitos avermelhados, os quais assumem esta coloração pela presença daquele íon. No granito acredita-se que o ferro seja advindo da dissolução de minerais ferromagnesianos como, por exemplo, das biotitas, presentes em grande quantidade. Outra interpretação é a de que o ferro esteja presente devido a assimilação de rochas básicas que os granitóides cortaram durante sua intrusão.

As concentrações de cloreto mantêm-se bem abaixo do máximo estipulado em todas as unidades estudadas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. P. M., ZERFASS, H., BASEI, M. A., PETRY, K., GOMES, C. H., **The Acampamento Velho Formation, a Lower Cambrian Bimodal Volcanic Package: geochemical and stratigraphic studies from the Cerro do Bugio, Perau and Serra de Santa Bárbara (Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, RS - Brazil)**. Gondwana Research, v. 5, n. 3, p. 721 -733.2002.

\_\_\_\_\_, CONCEIÇÃO, R. V., CHEMALE JR., F., KOESTER, E., BORBA, A. W., PETRY, K. **Evolution of heterogeneous mantle in the Acampamento Velho and Rodeio Velho volcanic events, Camaquã Basin, Southern Brazil**.Gondwana Research, v. 8, n. 4, p. 479-492. 2005.

ALMEIDA, R. P., JANIKIAN, L., FRAGOSO-CESAR, A. R. S., MARCONATO, A. **Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: The Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brazil**.Sedimentary Geology, v. 217, p. 30-51. 2009.

BOMFIM L. F. C., **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: Concepção e Metodologia**. XVI Congresso Brasileiro de Água Subterrânea e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços p. 8-10. 2010.

BORBA, A. W. de, MARASCHIN, A. J., MIZUSAKI, A. M. P. **Stratigraphic Analysis and Depositional Evolution of the Neoproterozoic Maricá Formation (Southern Brazil): Constraints from Field Data and Sandstone Petrography**.Gondwana Research, v. 7, n. 3, p. 871-886. 2004.

CELLIGOI, A. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas**. Geografia, Revista do Departamento de Geociências, Londrina, v. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.

CERQUEIRA, A. **Apostila de Aulas Práticas: Disciplina de Bacteriologia**. Universidade Federal Fluminense Instituto Biomédico Departamento de Microbiologia e Parasitologia. <[http://www.uff.br/labac/Apostila\\_Pratica\\_Farm-Odonto](http://www.uff.br/labac/Apostila_Pratica_Farm-Odonto)>. Acesso em 29/11/2016.

CHEMALE JR., F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**, In HOLZ M. Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS. p 03-44. 2000.

CLEARY, R. W. **Águas subterrâneas**.Princeton Groundwater, Inc. e Clean Environment Brasil® 2007. Disponível em: <<http://www.clean.com.br/cleary.pdf>> Acesso em: 15/10/2015, 3:17.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. **RESOLUÇÃO 357 de 17 de março de 2005**. Classes das águas superficiais. Publicada no DOU nº 053, p. 58-63, 18/03/2005.

\_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO 396 de 3 de abril de 2008**. Classes das águas subterrâneas. Publicada no DOU nº 066, p. 64-68, 07/04/2008.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. **Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Sistema de Informações Geográficas de Disponibilidade Hídrica.** Escala 1:2.500.000. Brasília, DF. 2007.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Escala 1:750.000. Porto Alegre RS. 2008.

FAMBRINI, G. L., ALMEIDA, R. P. de, FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Estratigrafia e evolução paleogeográfica do grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na Sub-bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 36, n. 3, p. 550-565. 2006.

FETTER C. W. **Applied Hydrogeology** 4<sup>a</sup> ed. New Jersey, EUA. Prentice Hall, p. 95-97. 2001.

FENZEL, N. **Introdução á hidrogeoquímica.** Belém: UFP, 1986. 189 p.

FILHO, J. M. **Ocorrência das águas subterrâneas.** In. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, Org. FEITOSA, F. A. C., FILHO, J. M. 2<sup>a</sup>ed, Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID-UFPE, p.13. 2000.

FOSTER S., HIRATA R. **Determinacion del riesgo de contaminacion de aguas subterraneas. Una metodología basada en datos existentes.** Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 2<sup>a</sup> ed, Lima, Peru.1991.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HEUSER – FEEDADOS. **Índice de Desenvolvimento Socioeconômico.** 2013.

GARCEZ, L.N. **Manual de Procedimentos e Técnicas Laboratoriais Voltados para Análises de Águas e Esgotos Sanitários.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Laboratório de Saneamento. 2004.

GOMES O. V. O. **Hidrogeoquímica dos aquíferos da bacia sedimentar do Macacu - Itaboraí, RJ.** Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense. Tese. Centro de Estudos Gerais, Instituto de Química. UFF. 2012.

GOOGLE EARTH PRO – MAPAS™. <[HTTP://mapas.google.com](http://mapas.google.com)>. 2015. Consulta realizada em 15/11/2015.

HANNA® INSTRUMENTS.<[www.hannacom.pt](http://www.hannacom.pt)>.Acessoem 18/11/2015.

HISCOCK K. **Hidrogeology Principles and Practice.**Blackwell Publishing 1<sup>a</sup>ed, p. 25. 2005.

HIRATA, R. C. A. **Os Recursos Hídricos Subterrâneos e as Novas Exigências Ambientais.** Revista IG, São Paulo, 14 (1), p 39-62, julho/dezembro. pág 39-40. 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **IBGE Cidades.** Caçapava do Sul, Infográficos e dados gerais do município. 2014. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233TR>> Acesso em: 02/11/2015. 01:12.

ISHII, S.; SADOWSKY, M. ***Escherichia coli* in the Environment: Implications for Water Quality and Human Health**. Microbes and Environment. vol.23. n.2. p. 101-108. 2008.

JANIKIAN, L., ALMEIDA, R.P. de, FRAGOSO-CESAR, A.R.S. & FAMBRINI G.L. **Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico**. Revista Brasileira de Geociências 33(4): p 349-362. 2003.

JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry**. V. 152, 2ª Ed. 1999.

KLEIN A. C. **Cromatografia Iônica como Método Analítico Alternativo para análise quantitativa de analitos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Monografia em Química Industrial. 2010.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Tese. 2005

MATOS, S. L. F., YAMAMOTO, J. K., HACHIRO, J., COIMBRA, A. M., **Tonsteins da Formação Rio Bonito no depósito de carvão Candiota, RS**. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 4, p. 679-684. 2000.

MESTRINHO, S. S. P. **Aspectos da hidrogeoquímica voltados para Classificação das águas subterrâneas**. 8ª reunião GT CONAMA “Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas”. Natal-RN, julho. 2006.

\_\_\_\_\_, CASARINI, D. **Classificação, enquadramento e monitoramento de águas subterrâneas**. ABAS – Associação Brasileira de Águas. São Paulo. 2009.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica da Gondwana Sul-Occidental**. Curso de Pós-Graduação em Geociências, 2v. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências, UFRGS. 1997.

MORI, A. L. O., SOUZA, P. A., **Palinologia das formações Rio Bonito e Palermo (Permiano Inferior, Bacia do Paraná) em Candiota, Rio Grande do Sul, Brasil: novos dados e implicações bioestratigráficas**. Ameghiniana, v.47, n.1, 2010.

NARDI, L.V.S., BITTENCOURT, M.F. **Geologia, Petrologia e Geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, v19, n 2, p. 153-169. 1989.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS IN TECHNOLOGY, NIST/SEMATECH. **e-Handbook of Statistical Methods**. <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>>. Acesso em 30/11/2016.

NOGUEIRA, J. M. R., MIGUEL, L. F. S. **Bacteriologia**. In. Conceitos e Métodos para Formação de Profissionais em Laboratórios de Saúde. Org. MOLINARO, E. M., CAPUTO, L. F. G., AMENDOEIRA, M. R. R. Vol. 4. Rio de Janeiro. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio / Fundação Oswaldo Cruz. p. 221 – 398. 2010.

NOSSA, T. C. B., LUZ, J. G. A. **Avaliação Preliminar da Qualidade das Águas nos Municípios de Irecê e Lapão-BA.**XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008.

PAIM, P. S. G, LOPES, R. C., CHEMALE JR., F. **Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã – Vendiano superior/ordoviciano inferior do RS.**6º Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia / 1º Encontro de Geologia do Cone Sul. p 39-50. 1995.

\_\_\_\_\_, CHEMALE JR., F., LOPES, R.C. **A Bacia do Camaquã**, in: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO-UFRGS, Porto Alegre, p. 231-274. 2000.

\_\_\_\_\_, LOPES, R.C.**Geologia da região das Minas do Camaquã**. in: RONCHI, L. H.; LOBATO, A. O. C. (Org.), Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar. São Leopoldo: UNISINOS, p. 111-132. 2000.

\_\_\_\_\_, CHEMALE JR., F. WILDNER, W. **Estágios Evolutivos da Bacia do Camaquã (RS)**. Ciência e Natura, v. 36, n. 3, p. 183-193. 2014.

PEDROSA, C.A., CAETANO, F.A. **Águas Subterrâneas**. Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH. 2002.

RODRIGUES, F. M., SANTOS, O., GELATTI, L. C. **Staphylococcus aureus: um revisão**. Revista Eletrônica de Ciências Humanas, Saúde e Tecnologia. v.2. n.2. 2012.

ROISENBERG, A., VIERO, A. P., FREITAS, M. A., MACHADO, J. L. F. **Os recursos hídricos subterrâneos no Rio Grande do Sul: Uma visão sobre a saúde das águas e implicações na saúde das populações**. In. 50 Anos de Geologia: Instituto de Geociências, Contribuições. Editores IANNUZZI, R., FRANTZ, J. C. Ed. Comunicação e Identidade, Porto Alegre, RS. 2007.

SANTIAGO, A. R. **Genios de la Microbiologia: Hans Christian Joachim Gram**. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiologia. v.23. n.2. Caracas. 2003.

SANTOS, A. C. **Noções de hidroquímica**. In. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, Org. FEITOSA, F. A. C., FILHO, J. M.. 2ªed, Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID-UFPE, p. 81 - 107. 2000.

\_\_\_\_\_. **Noções de hidroquímica**. In. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, Org. FEITOSA, F. A. C., FILHO, J. M., FEITOSA, E. C., DEMÉTRIO, J. G. A. 3ªed, Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, p. 325 - 357. 2008.

SCHUMACHER B. A. **Methods for the determination of total organic carbon (toc) in soils and sediments**.Ecological Risk Assessment Support Center Office of Research and Development.United States Environmental Protection Agency.Las Vegas, NV. USA. 2002.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. SEMA. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul**. 2007.

TORRES, V. F. N., GAMA, C. D. **Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações**. Ed. Roberto C. Villas Bôas. CETEM/CYTED/CNPq. Rio de Janeiro. p.27. 2005.

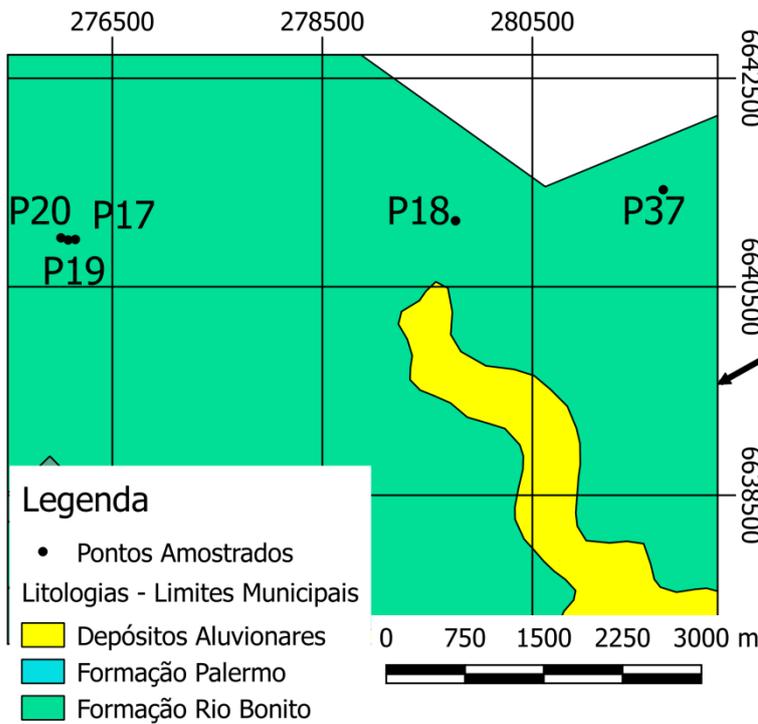
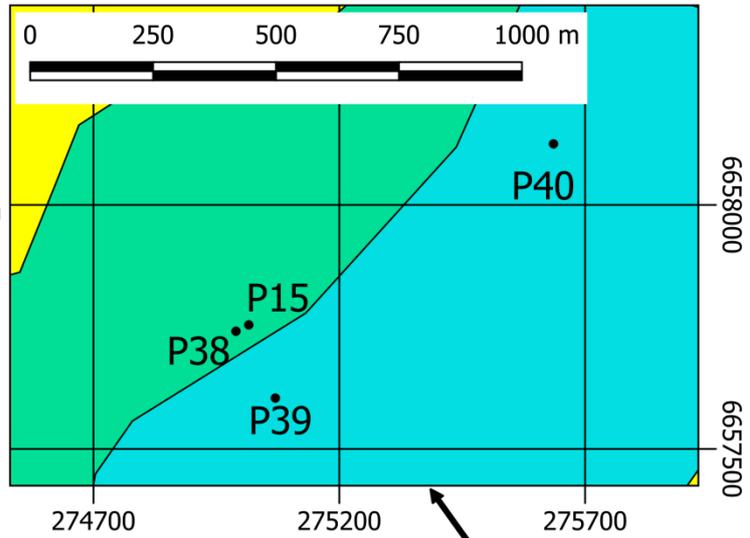
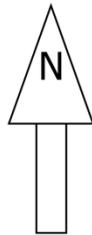
WEINSCHÜTZ, L. C., CASTRO, J. C. **Sequências deposicionais da Formação Taciba (Grupo Itararé, neocarbonífero a eopermiano) na região de Mafra (SC) Bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, v. 36, n. 2, p. 243-252. 2006.

ANEXO 1

Mapas de pontos amostrados contendo litologias.

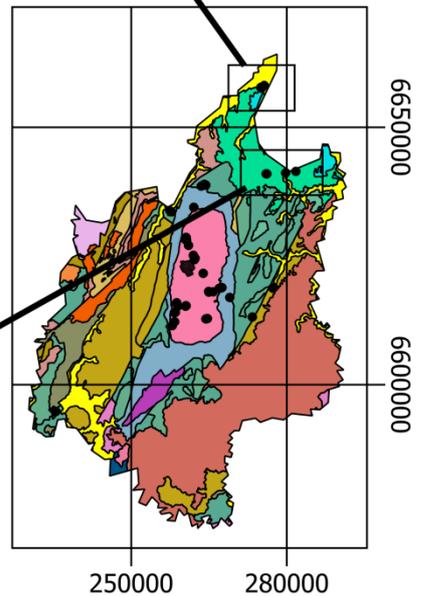
Legenda

- Pontos Amostrados
- Litologias - Limites Municipais
- Depósitos Aluvionares
- Formação Hilário - Particulada
- Formação Rio Bonito

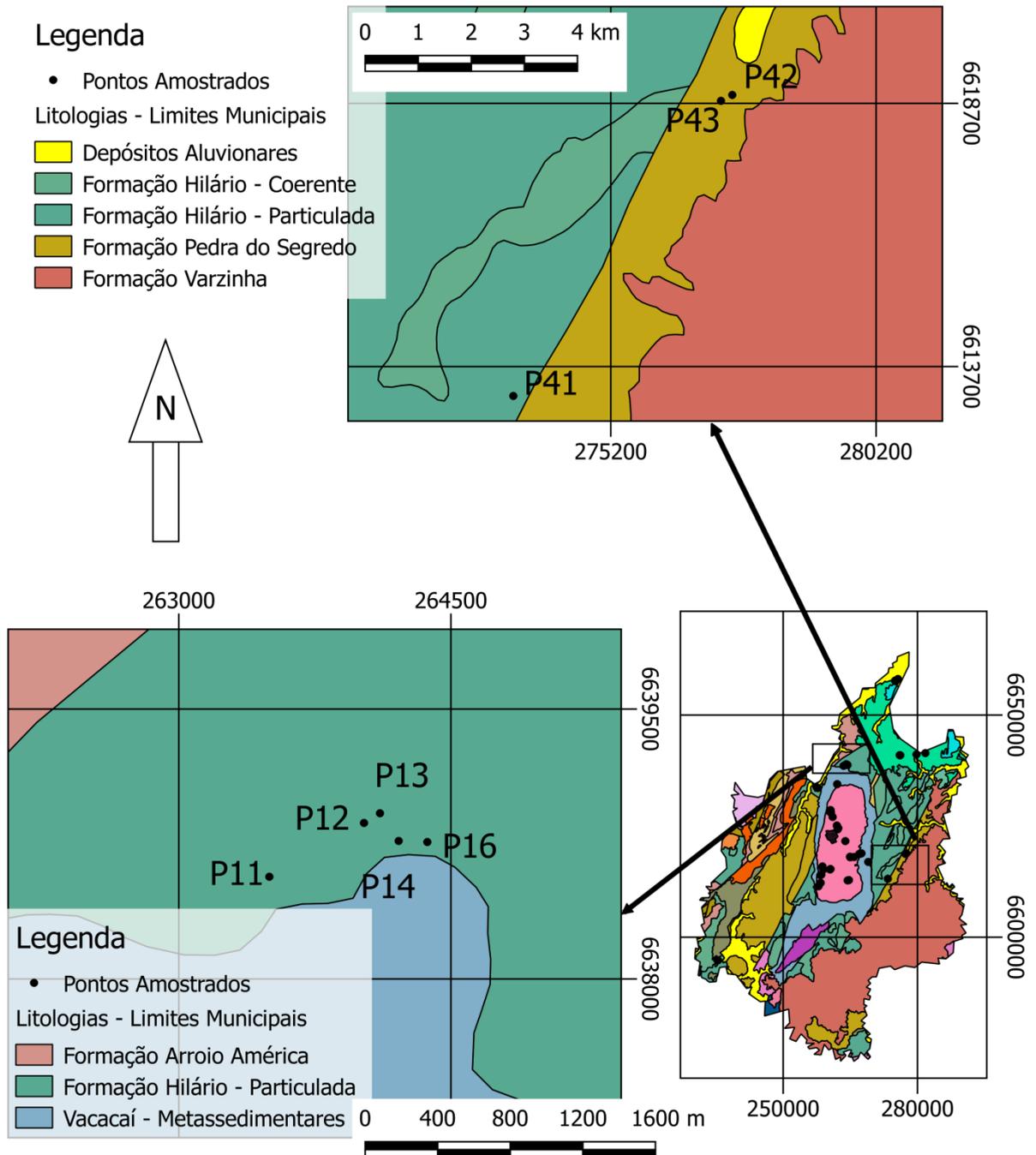


Legenda

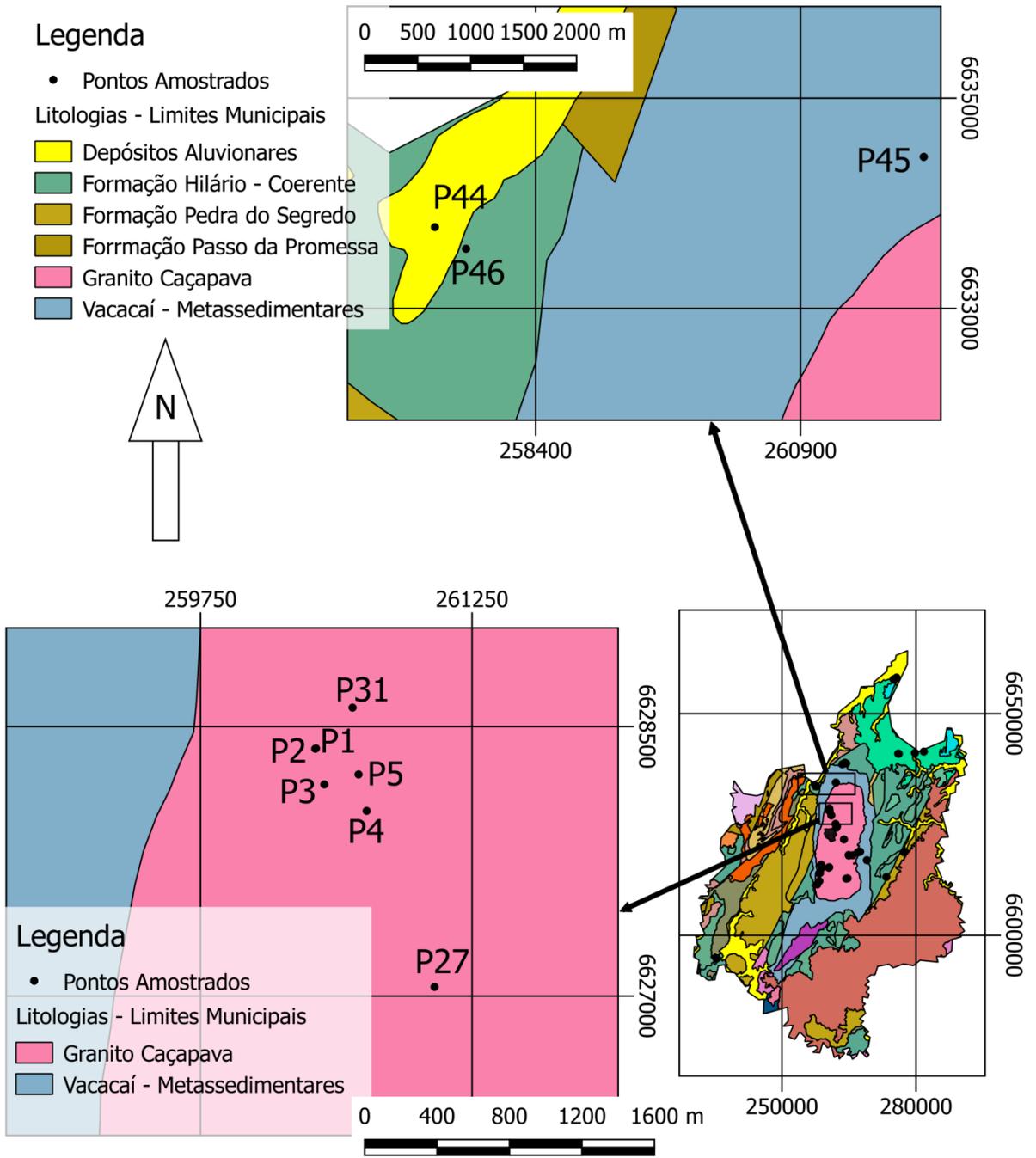
- Pontos Amostrados
- Litologias - Limites Municipais
- Depósitos Aluvionares
- Formação Palermo
- Formação Rio Bonito



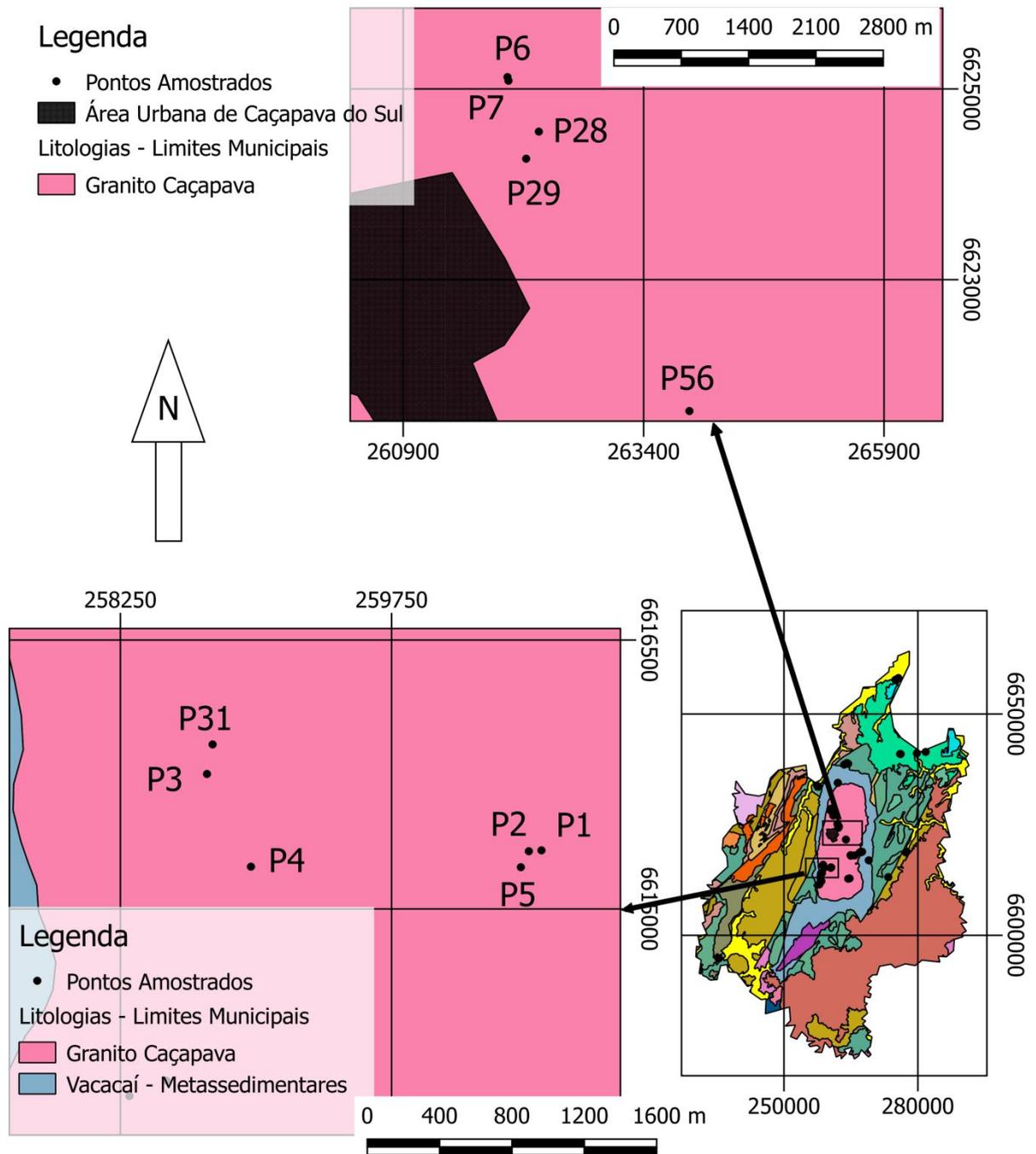
Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



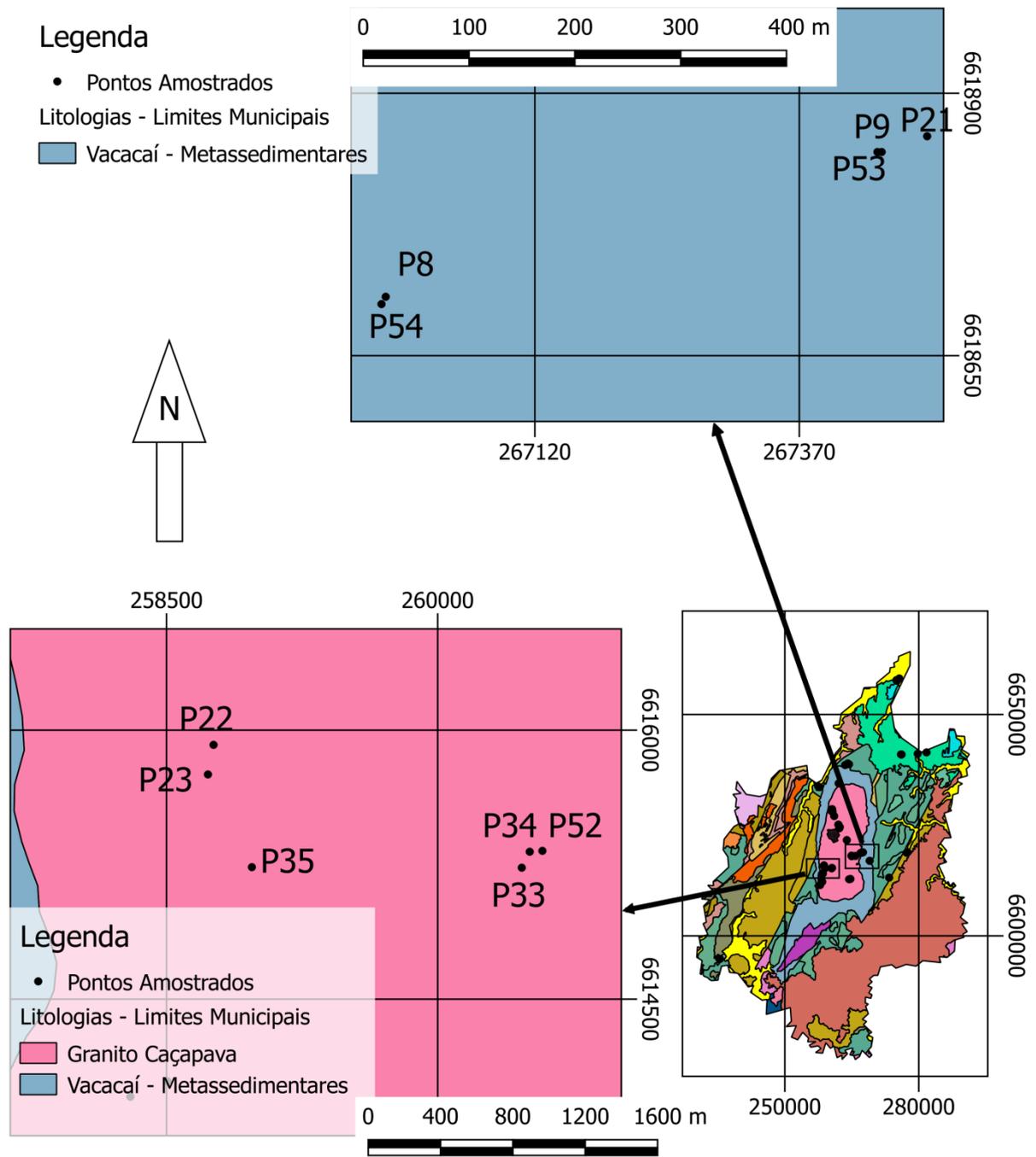
Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



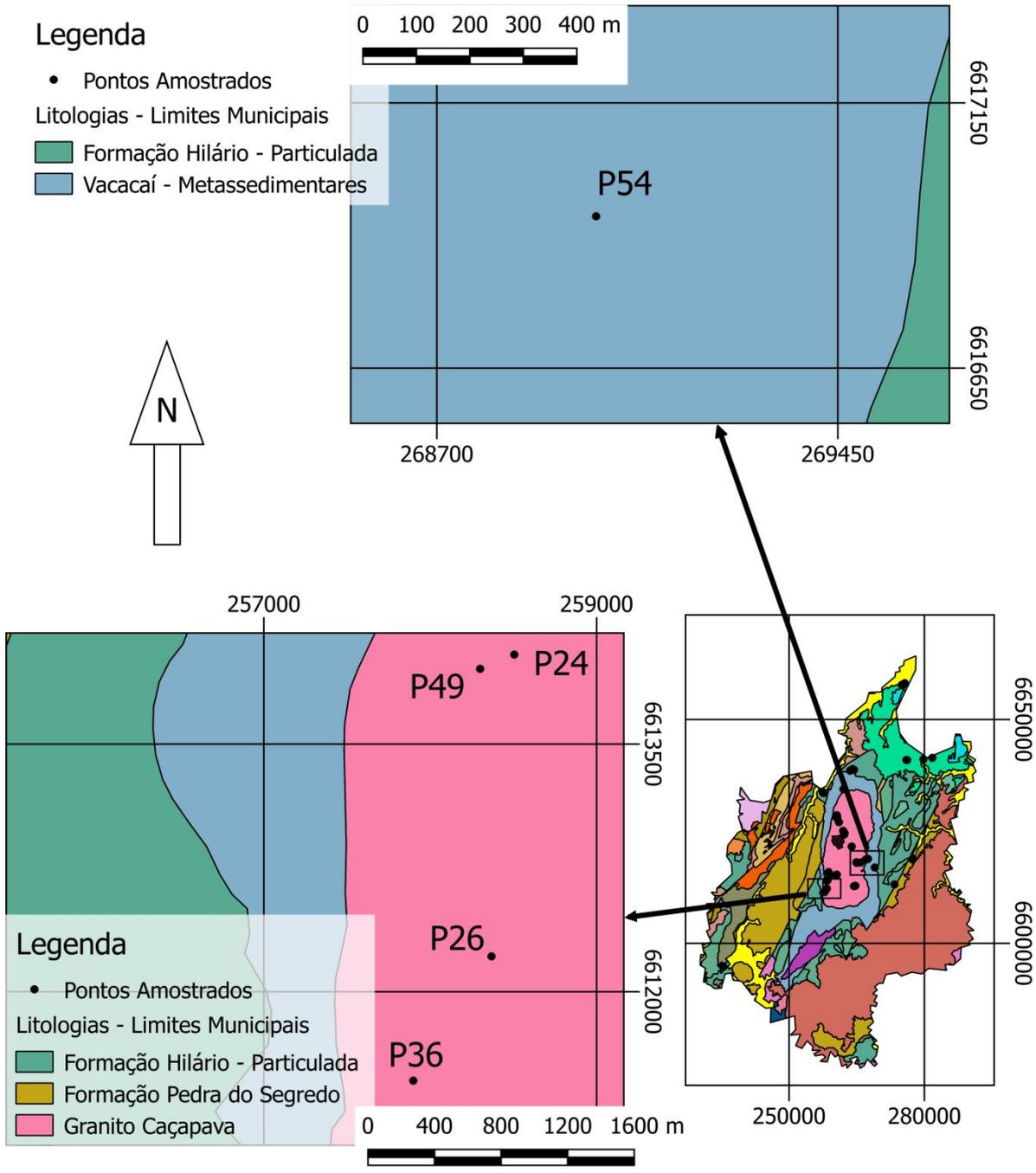
Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



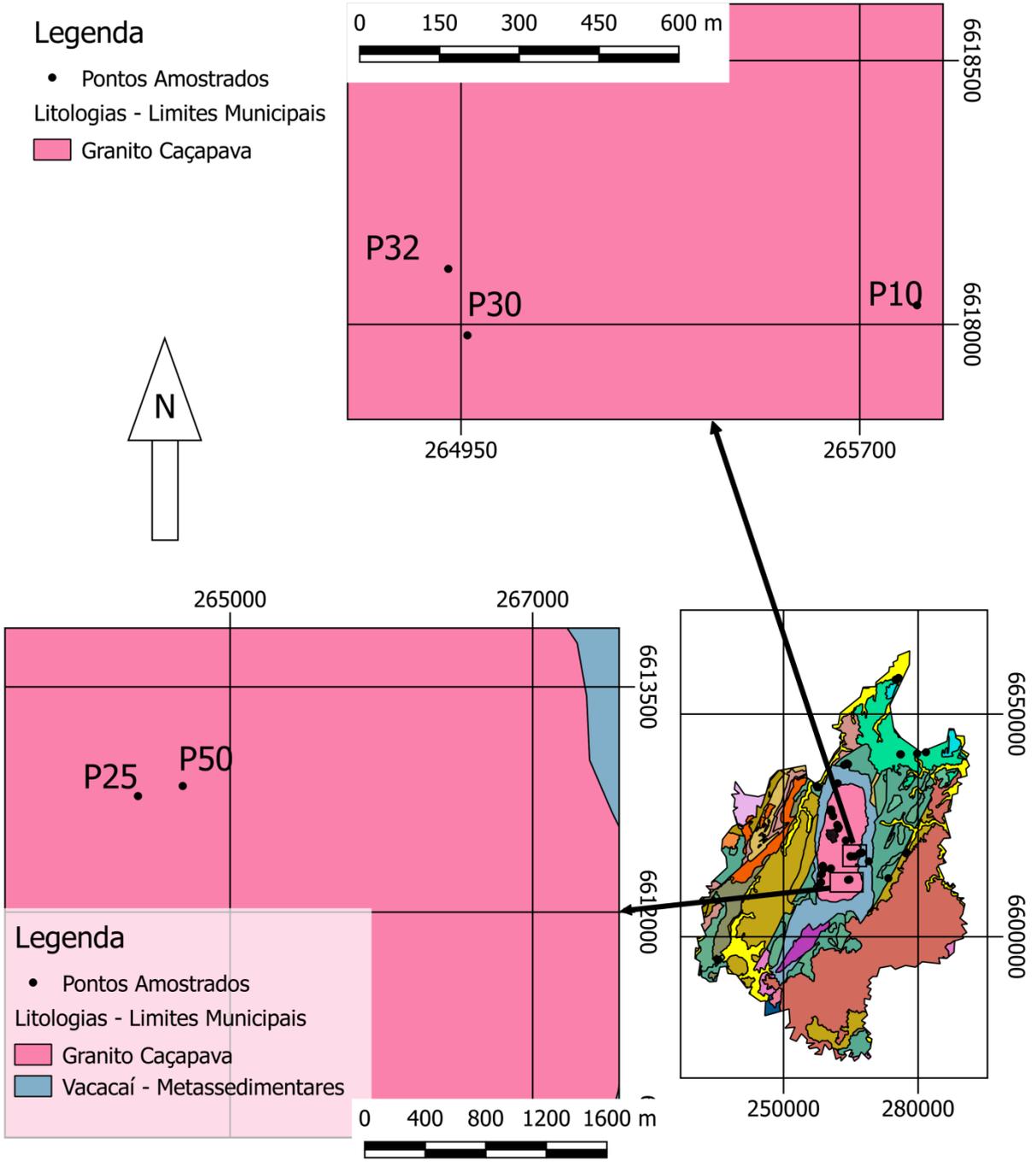
Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



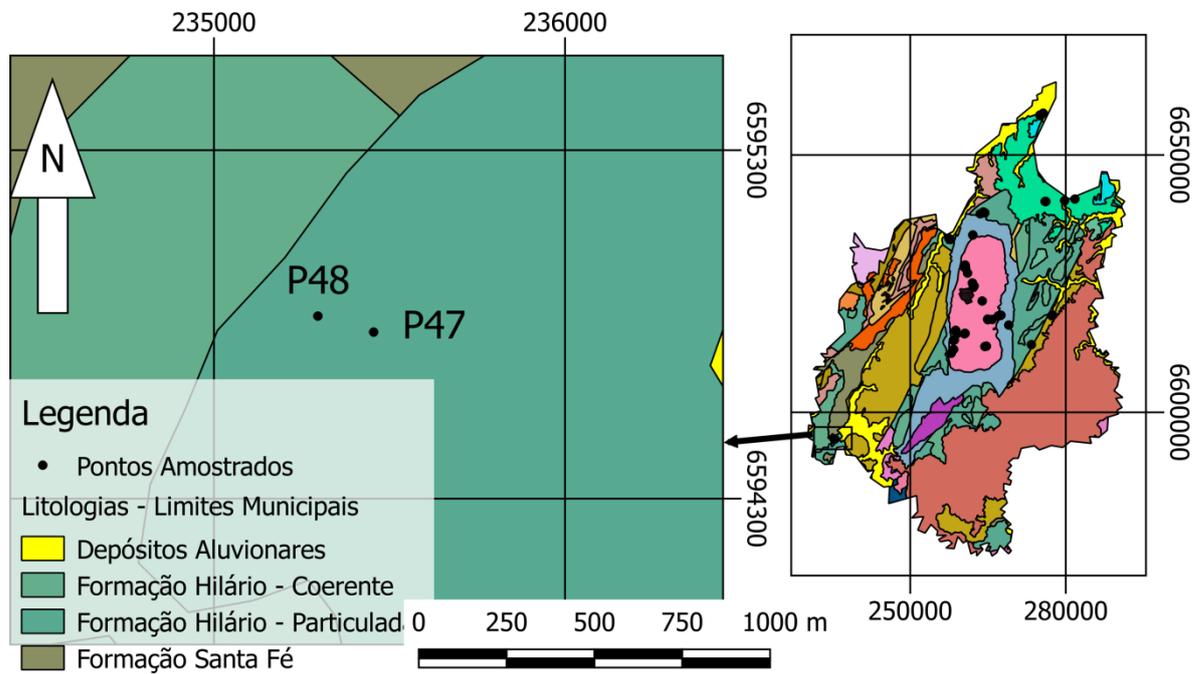
Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).



Fonte: Autora. Modificado de CPRM (2008).