

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DIMITRI TALLEMBERG SOARES

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ASSOCIADOS AS
ROCHAS PLUTÔNICAS E METAVULCANO-SEDIMENTARES NO
MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Caçapava do Sul

2021

DIMITRI TALLEMBERG SOARES

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ASSOCIADOS
AS ROCHAS PLUTÔNICAS E METAVULCANO-
SEDIMENTARES NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,
RS**

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

Orientador: Prof. Cristiane Heredia Gomes

Caçapava do Sul

2021

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).

S676 Soares, Dimitri

Qualidade das águas subterrâneas associados as rochas plutônicas e metavulcano-sedimentares no município de Caçapava do Sul, RS.

Orientadora: Cristiane Heredia Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Geologia, Campus Caçapava do Sul, 2021.

1. Bacias Hidrográficas. 2. Superfície Potenciométrica. 3. Hidroquímica.

DIMITRI TALLEMBERG SOARES

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ASSOCIADOS
AS ROCHAS PLUTÔNICAS E METAVULCANO-
SEDIMENTARES NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso 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: 27, de setembro de 2021.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Cristiane Heredia Gomes
Orientadora
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Marco Antônio Hansen
(UNIPAMPA)

Geóloga Flávia Ávila Dias
(SEMA)



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/10/2021, às 12:52, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Flávia Avila Dias, Usuário Externo**, em 08/10/2021, às 08:01, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCO ANTONIO FONTOURA HANSEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/10/2021, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0633474** e o código CRC **D5695D4E**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, Cristiane Heredia Gomes, que me acolheu na minha primeira monitoria e tive o prazer de ter ela presente no último momento da minha graduação.

Quero agradecer ao Xande e Claudia, meus pais, por todo o carinho, ajuda, advertências e alguns gritos que me ajudaram a crescer e construir a pessoa que sou hoje.

Quero agradecer a minha irmã, Maria Alice, que me ensinou a seguir meus sonhos e lutar por eles. Alice, sem você nada seria possível.

Sou muito grato a todas as amizades que construí nos últimos anos, seja em Caçapava do Sul, Porto Alegre ou Rio de Janeiro. Não importa a distância ou o tempo que estamos distantes, o importante é como aproveitamos o tempo juntos.

À República Conselho, meus irmãos! Alex e Donzinho que nossa irmandade dure muitos e muitos anos.

RESUMO

Este estudo buscou a caracterização hidroquímica a partir do inventário de poços tubulares existentes no município de Caçapava do Sul, do levantamento e interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos, além da coleta e análise de amostras. A área de estudo compreende os aquíferos fraturados do Complexo Granítico Caçapava do Sul e do Complexo Metamórfico Vacacaí associado as rochas plutônicas ácidas e metavulcano-sedimentares. Considerando que o município se encontra entre três bacias hidrográficas (Baixo Jacuí, Camaquã e Vacacaí — Vacacaí Mirim), identificou-se o fluxo dessas águas subterrâneas. Neste estudo foi realizado a identificação do fluxo subterrâneo por meio da interpolação de dados hidrogeológicos obtidos na plataforma SIAGAS, analisou-se quimicamente as águas subterrâneas e averiguou-se a influência entre os sistemas água e rocha. Como resultados foram obtidos os mapas de hipsometria, declividade, superfície potenciométrica e potenciométrico, e foi obtido a classificação hidroquímica das águas subterrâneas da área de estudo. Na qual, foi observado a presença de cones de rebaixamento, fluxo subterrâneo de sentido radial e classificadas como apresentando caráter bicarbonatados cálcicos.

Palavras-chave: Bacias Hidrográficas; Superfície Potenciométrica; Hidroquímica.

ABSTRACT

This study sought the hydrochemical characterization from the inventory of tubular wells existing in the of Caçapava do Sul municipality, from the survey and interpretation of geological and hydrogeological data, in addition to the collection and analysis of samples. The study area to comprises the fracture aquifers in the Granitic Complex of the Caçapava do Sul and Metamorphic Complex Vacacaí associated with acid plutonic and metavulcano-sedimentary rocks. From the fact that the municipality is surrounded by three hydrographic basins (Baixo Jacuí, Camaquã and Vacacaí — Vacacaí Mirim), search for understanding of the flow of these underground waters. In this study accomplished the understanding of the underground waters flow by integrated hydrogeological data obtained from SIAGAS platform, the chemical analyzed groundwater and made notes about the influences between the system water and rock. As results were obtained the hypsometry, slope, potentiometric surface and potentiometric, maps and obtained the hydrochemical classification of the underground water in the studied area. Which was saw the presence of drawdown cone, underground flow in the radial direction and was classified as calcium bicarbonate.

Keywords: Hydrographic Basins; Potentiometric Surface; Hydrochemical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização de Caçapava do Sul.....	14
Figura 2: Mapa geológico de Caçapava do Sul.....	19
Figura 3: Regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul.....	20
Figura 4: Mapa de bacias hidrográficas de Caçapava do Sul.....	20
Figura 5: Mapa hidrogeológico de Caçapava do Sul.....	21
Figura 6: UNESCO, Ciclo hidrológico.....	22
Figura 7: Aquíferos de acordo com a porosidade.....	25
Figura 8: Aquíferos de acordo com a hidráulica.....	26
Figura 9: Mapa hipsométrico abrangendo o município de Caçapava do Sul.....	37
Figura 10: Mapa de declividade abrangendo o município de Caçapava do Sul.....	38
Figura 11: Mapa de curvas potenciométricas na área de estudo.....	39
Figura 12: Mapa potenciométrico do município de Caçapava do Sul.....	40
Figura 13: Diagrama Piper.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Poços de captação cadastrados pelo SIAGAS em Caçapava do Sul.	31
Tabela 2: Poços amostrados.....	32
Tabela 3: Parâmetros químicos analisado.	41
Tabela 4: Parâmetros físico-químicos analisados.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BC – Bacia do Camaquã

CGCS – Complexo Granítico Caçapava do Sul

CMPF – Complexo Metamórfico Passo Feio

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ESRG – Escudo Sul Rio-grandense

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Km – Quilômetro

Ma – Milhões de Anos

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial Hidrogeniônico

RS – Rio Grande do Sul

SEMA – Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.2. ÁREA DE ESTUDO E LOCALIZAÇÃO	13
1.3. JUSTIFICATIVA	14
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	15
2.1. COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO (CMPF)	18
2.2. COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL (CGCS)	18
3. ASPECTOS HIDROLÓGICOS	19
4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	20
5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
5.1. CICLO HIDROLOGICO	22
5.2. HIDROGEOLOGIA	23
5.3. HIDROGEOQUÍMICA	24
5.4. HIDROGEO MECÂNICA	24
5.5. CLASSIFICAÇÃO DE AQUÍFEROS	24
5.6. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	27
5.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	28
6. MATERIAIS E MÉTODOS	30
6.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
6.2. MORFOMETRIA DO TERRENO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA	32
6.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	33
6.3.1. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)	33
6.3.2. ALCALINIDADE	34
6.3.3. OXIGÊNIO DISSOLVIDO	34
6.4. ANÁLISE QUÍMICA	35
6.4.1. MÉTODO DA ARGENTOMETRIA	35
6.4.2. MÉTODO DE TITULAÇÃO	35
6.4.3. MÉTODO DA DIGESTÃO DE ÁCIDO NÍTRICO	35
6.4.4. MÉTODO ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA	36
6.4.5. MÉTODO DA ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS	36
7. RESULTADOS	37
8. DISCUSSÕES	42
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso finito, inestimável para a manutenção da vida, a qual é utilizada para inúmeros fins, tais como: consumo humano, abastecimento industrial, irrigação, entre outros. De acordo com Baima (2010), cerca de 12% da água doce do planeta está em território brasileiro e grande parte deste recurso se encontra em reservas subterrâneas, portanto, conforme Menezes et al. (2008), o Brasil possui grande parte da reserva mundial de água doce, que frente aos episódios de escassez hídrica superficial reiterados, tem aumentado o uso das águas subterrâneas como possível alternativa.

O constante aumento da demanda por água, oriundo do crescimento e concentração populacional em função da urbanização e industrialização agrícola, tem gerado pressão sobre as fontes de águas superficiais, tais como rios, riachos, lagos e córregos (TUBBS FILHO, 1994). Com isso, tal recurso tem se tornado escasso forçando o aumento da extração de águas subterrâneas, as quais surgem como uma opção possível para sanar o abastecimento hídrico (HIRATA et al., 2019). Neste sentido, TUBBS FILHO (1994), sugere que águas subterrâneas sejam usadas, particularmente, como um complemento às águas superficiais e não como um substituto, principalmente no que tange ao abastecimento à produção industrial.

No Brasil, a maioria dos estados utilizam águas subterrâneas como abastecimento majoritário (HIRATA et al., 2019). Em especial, no Rio Grande do Sul (RS), cerca de 55% do sistema de abastecimento é atendido total ou parcialmente com águas subterrâneas (SOUZA & MENTE, 2009).

Décadas atrás, o abastecimento no município era realizado exclusivamente por águas de subsuperfície, sendo estas extraídas por meio de poços tubulares e/ou poços rasos. Atualmente, o abastecimento público urbano é preferencialmente realizado pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), uma companhia pública estatal que, ao realizar seu papel social, promove o abastecimento através da captação de água em barragens situadas em áreas próximas a zona urbana. Todavia, na zona rural e na área industrial grande parte dos moradores não são abastecidos pela rede pública, logo, optando pelo abastecimento através de poços, na qual muitos deles não possuem outorga.

Neste cenário, Caçapava do Sul possui apenas 32 poços cadastrados na plataforma SIAGAS.

Devido a grande quantidade de poços irregulares, se fazem necessários estudos que busquem compreender a diversidade química da qualidade da água do aquífero, em função do perigo de contaminação ligado ao fato de que estes múltiplos poços irregulares podem tornar-se meios para entrada de substâncias e sua dissolução na água. Desta forma este trabalho busca avaliar parâmetros químicos para fomentar decisões sobre o uso para o consumo humano visando a não promoção de risco à saúde.

1.1. OBJETIVOS

Para a realização deste trabalho foram definidos os seguintes objetivos:

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Realizar a análise hidroquímica e da qualidade da água do aquífero associado aos Complexo Granítico Caçapava do Sul e Complexo Metamórfico Passo Feio.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar quimicamente as águas subterrâneas na região do Complexo Granítico Caçapava do Sul e Complexo Metamórfico Passo Feio.

Identificar o sentido vetorial hidrodinâmico da área de estudos, buscando compreender a influência do seu comportamento hidrogeológico a respeito da recarga do aquífero, vazão, velocidade e continuidade.

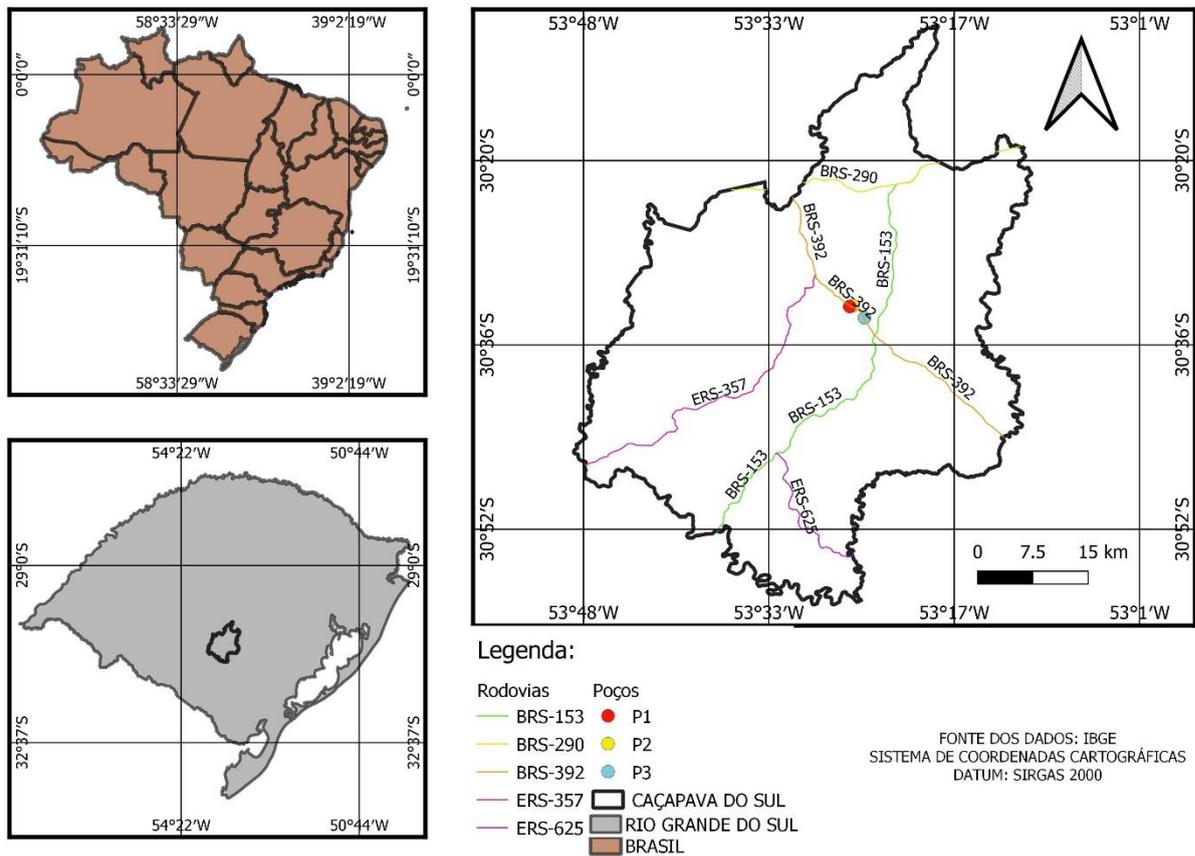
Correlacionar as análises químicas com o meio geológico o qual essa água percola e averiguar a influência que as rochas encontradas na região possuem nas águas subterrâneas e classificar essas águas, quanto a sua assinatura hidroquímica.

1.2. ÁREA DE ESTUDO E LOCALIZAÇÃO

O município de Caçapava do Sul se encontra na porção central do estado do Rio Grande do Sul, na qual apresenta uma área de 3.047,113 km² e uma população de aproximadamente 33.624 habitantes (IBGE, 2019). A área de estudo dista da capital, Porto Alegre, cerca de 260 km. O acesso pode ser feito a partir da capital pela

BR-290 com sentido a oeste até o cruzamento com a BR-392 e posteriormente seguindo pela BR-392 com sentido a sul até o quilômetro 252 (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização de Caçapava do Sul.



Fonte: Autor, modificado IBGE (2019).

1.3. JUSTIFICATIVA

Considera-se que águas subterrâneas usualmente apresentam maior qualidade do que as águas superficiais, sendo promovidos menos operações de tratamento quando o objetivo é a sua utilização para o consumo humano (HIRATA et al., 2019). A qualidade das águas subterrâneas é decorrente dos inúmeros processos físico-químicos e de filtragem que a água sofre, tais como troca iônica, neutralização do pH, remoção de partículas em suspensão, eliminação de patógenos que, de maneira geral, melhoram a qualidade das águas subterrâneas. Entretanto, quando negativamente impactada, ações de mitigação são necessários.

No âmbito nacional, apenas a minoria dos usuários de águas subterrâneas

encontra-se em situação regular, isto é pouco mais de 1% do total dos 2,5 milhões de poços existentes apresentam outorga, registro ou cadastro em órgão ambiental (HIRATA et al., 2019). O Censo Agropecuário do IBGE (2017) contabilizou que no Brasil que cerca de 1,03 milhão de propriedades rurais possuem pelo menos um poço tubular, que indica um alto contingente de poços que se encontram invisíveis à gestão destes recursos. Isso reflete um elevado descontrole no que tange ao gerenciamento destes recursos, pois tais números resultam na falta de acurácia na do uso das águas subterrâneas. Isto também denota uma elevada fragilidade dos aquíferos em função da inexistência de informações acerca das condições de construção e manutenção destes dispositivos de captação, podendo estes servir como meios para a contaminação do manancial hídrico.

Neste contexto, verifica-se que Caçapava do Sul não foge dessa regra. Junto a zona urbana, tem-se a premissa que o aquífero existente no Complexo Granítico Caçapava do Sul e no Complexo Metamórfico Passo Feio ocorre na forma de acumulação de água em cavidades, fissuras e fraturas destas litologias, contudo, há pouca informação hidrogeológica sobre os poços localizados na zona rural, podendo existir poços mal locados ou construídos, o que originam poços secos que podem servir como fonte de contaminação, caso não sejam tamponados. Assim, se faz necessário estudos que busquem compreender a composição química da qualidade da água.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O Rio Grande do Sul é constituído por cinco províncias geomorfológicas, sendo elas: Cuesta do Haedo, Planalto Meridional, Depressão Central, Planície Costeira e Escudo Sul-rio-grandense - ESRG (COUTO, 2004). O município de Caçapava do Sul se encontra inserido no Escudo Sul-rio-grandense, que apresenta sua gênese e evolução ligados a processos de geração e deformação da crosta continental, principalmente no período Neoproterozóico, devido aos ciclos orogênicos, Transamazônico (2,2 — 2,0 Ga) e Brasiliano (900 — 535 Ma) (CHEMALE JR, 2000). Segundo Oyhantçabal et al. (2011) e Rapela et al. (2011) o ESRG é constituído por unidades tectono-estratigráficas de todo o éon proterozóico, na qual sua geologia é composta por fragmentos do Terreno Nico Perez, composto por rochas metamórficas e graníticas de idade proterozóica circundadas por associações

neoproterozóicas do Cinturão Dom Feliciano (PHILIPP et al., 2016a).

O Cinturão Dom Feliciano é a porção meridional da Província da Mantiqueira, na qual representa um segmento intensamente deformado e migmatizado (PHILIPP et al. 2016b). Este cinturão pode ser dividido em quatro porções distintas de oeste para leste, sendo elas: Terreno Tijucas, Terreno São Gabriel, Batólitos de Florianópolis-Pelotas-Aigua, Terreno Rocha e Punta del Leste (PHILIPP et al., 2016a).

O Terreno São Gabriel é o único terreno Neoproterozóico de assinatura juvenil no ESRG. O Complexo Cambaí, é composto de gnaisses e granitóides de composição tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica (TTG), intercalados tectonicamente a rochas metavulcânicas e metassedimentares. O Supercomplexo Vacacaí (CHEMALE JR, 2000), é composto por metatoleiítos máfico-ultramáficos, metapelitos, anfibolitos e rochas metavulcanoclásticas (BORBA, 2006).

Philipp et al. (2016a) descreve as seguintes associações petrotectônicas para o Terreno São Gabriel:

Prisma Acrescionário Palmas; representado por complexos ofiolíticos, compostos de anfibolitos e metaultramáficas, incluindo harzburgitos serpentinizados, metapiroxenitos, metagabros, e xistos magnesianos de assinatura toleítica (LEITE et al., 1998; REMUS et al., 1999a; CHEMALE JR, 2000).

Associação vulcano-plutono-sedimentar Seival, representada pelos estágios tardi e pós-orogênicos da Orogenia Dom Feliciano (CHEMALE JR, 2000). Estas associações petrotectônicas registram um ciclo completo de geração de crosta oceânica, formação e colisão de arcos magmáticos e fechamento do oceano, seguido por um período pós-colisional marcado por uma intensa sedimentação e intensa atividade magmática, onde foram originados o Granito Santo Ferreira e o Granito Caçapava do Sul (SANTANA, 2019).

O Domínio São Gabriel, no município de Caçapava do Sul, é representado pela Bacia do Camaquã (BC), o Complexo Granítico Caçapava do Sul e o Complexo Metamórfico do Passo Feio (CMPF).

A BC se divide em cinco grupos, sendo eles: Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas, na qual estas unidades se limitam devido a discordâncias angulares e erosivas. De acordo com Paim et al. (2000), perante as características supracitadas a nomenclatura a ser utilizada é de alogrupos.

Entretanto, neste trabalho foi adotada a nomenclatura clássica de grupos adotado por Feitosa et al. (2008) e baseado nos conceitos de Jackson (2005).

O Grupo Maricá tem predominância de sedimentos fluviais e marinhos, que incluem arenitos depositados em sistema fluvial entrelaçado e contribuição de material do embasamento granítico-gnáissico. 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-gnáissico. Registros vulcânicos são compostos por fluxos de lavas riolíticas e camadas piroclásticas, (BORBA, MARASCHIN e MIZUSAKI, 2004).

O Grupo Bom Jardim apresenta características geológicas diversificadas (RIBEIRO et al., 1966). Na região de Lavras do Sul, afloram rochas vulcânicas e vulcanoclásticas, de composição predominantemente intermediária (andesitos) e afinidade shoshonítica, pertencentes à Formação Hilário (LIMA & NARDI, 1998). Os depósitos de sedimentos do grupo estão agrupados na Formação Arroio dos Nobres, que é caracterizada por intercalações de conglomerados vulcanogênicos, arenitos e siltitos subordinados, em geral com geometria tabular, ondulações assimétricas e marcas de ressecamento.

O Grupo Cerro do Bugio que compõe a Formação Acampamento Velho trata-se de uma sucessão vulcânica bimodal, com rochas basálticas na base e riolíticas (tanto piroclásticas como lavas) no topo (ALMEIDA et al., 2002).

O Grupo Santa Bárbara é composto por arenitos, conglomerados e siltitos avermelhados e de elevada imaturidade tanto textural como composicional. Nesta unidade, de origem claramente continental (ROBERTSON, 1966; PAIM, 1994; PAIM et al., 2000), ocorrem associações de fácies de leques aluviais (BORBA & MIZUSAKI, 2002), frente deltaica aluvial, lacustre e de canais fluviais entrelaçados, arenosos e cascalhosos (BORBA, 2001; BORBA & MIZUSAKI, 2003).

O Grupo Guaritas (GOÑI et al., 1962) é igualmente caracterizado por arenitos, conglomerados e siltitos, organizados em duas sequências deposicionais eólicas (Formação Pedra Pintada) e uma sequência de origem fluvial (Formação Varzinha), discordante, com paleocorrentes para SW, no topo (SCHERER et al., 2003). Intercalados à base da Formação Guaritas encontram-se derrames de rochas basálticas alcalinas, denominadas de Membro Rodeio Velho (RIBEIRO et al., 1966).

2.1. COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO (CMPF)

O CMPF é constituído por xistos pelíticos, anfibolitos ou rochas composicionalmente equivalentes, filitos e rochas metavulcanoclásticas como tipos litológicos mais comuns. Constituem litologias menos representativas, os gnaisses quartzofeldspáticos, meta-arcóseos, metagrauvas, mármore e rochas calciossilicatadas, quartzitos e rochas magnesianas metamorfizadas e, mais raramente metariolitos e riodacitos (BITENCOURT, 1983).

O CMPF se caracteriza por um metamorfismo regional desde fácies xisto verde até a fácies anfibolito, na qual é observado um aumento do grau metamórfico em direção aos plútons que intrudem o complexo, como o Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS). Bitencourt (1983) descreve dois eventos de metamorfismo regional, M1 e M2. Em M1, o metamorfismo atingiu fácies mais elevadas como a fácies anfibolito, zona da estauroлита. As associações de andaluzita relacionadas a esse evento sugerem que o mesmo foi de baixa pressão. O segundo evento (M2) é retrogressivo, de fácies xisto verde. Também são descritos três eventos deformacionais, D1 e D2 que acompanham os eventos de metamorfismo. O terceiro evento deformacional (D3), é reconhecido como o gerador da estrutura antiformal a qual mergulha para noroeste com caimento do eixo alternando entre os sentidos nordeste e sudoeste, sendo o seu núcleo o CGCS.

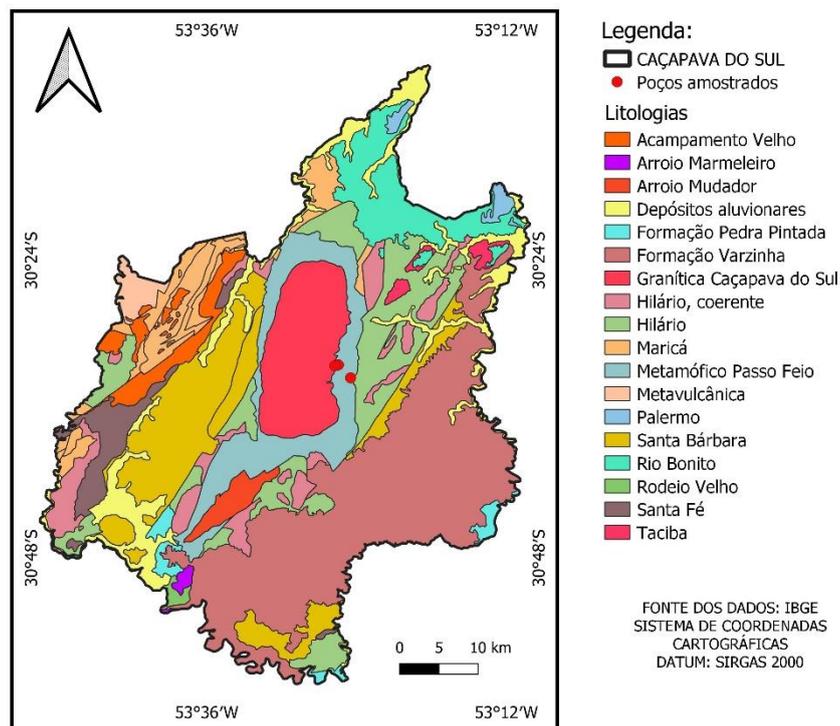
2.2. COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL (CGCS)

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. É formado por três fácies principais: biotita granitóides, leucogranitóide e granitóide transicional. Os biotita granitóides são rochas de coloração cinza mudando para rosadas quando intemperizados, distribuídas nas porções sul, sudoeste e oeste, com quantidades elevadas de biotita e allanita como acessório. Os leucogranitóides predominam na porção norte e nordeste do corpo, sendo rochas de coloração rosa com quantidades baixas de máficos, porém, localmente é possível observar granada e/ou muscovita e se encontram predominantes na porção norte-nordeste do complexo (NARDI & BITENCOURT, 1989).

Os granitóides transicionais ocorrem de forma marcante na região central e leste (situado na área de estudo) do complexo e apresentam características intermediárias entre as outras duas fácies.

Nas porções próximas ao contato com o CMPF é possível observar falhas e fraturas com orientação preferencial no sentido NW-SE, oriundos do evento de ascensão da apófise granítica gerando um evento de deformação rúptil e dúctil localmente. As unidades supracitadas se encontram na Figura 2.

Figura 2: Mapa geológico de Caçapava do Sul



Fonte: Autor, adaptado de IBGE (2019).

3. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

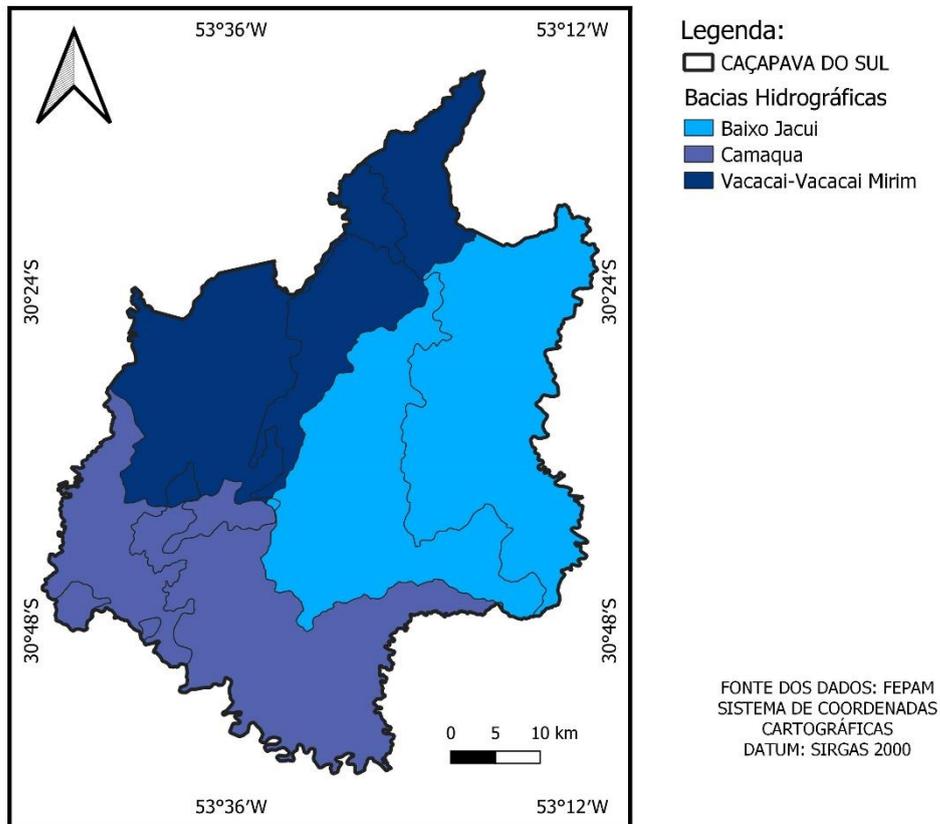
De acordo com o ANA (2015), o Brasil é dividido em 12 regiões hidrográficas. As quais são formadas por bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas com características semelhantes. Este critério de divisão em regiões buscou facilitar, orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos no país. De acordo com a Lei Estadual 10.350/1994, que em seu artigo 38 classifica o RS em três regiões hidrográficas: Uruguai, Litoral e Guaíba (Figura 3; SEMA, 2007). Seguindo a classificação estadual, Caçapava do Sul se encontra entre as regiões Litoral e Guaíba, que compreende as bacias hidrográficas do Camaquã, Baixo Jacuí e Vacacaí- Vacacaí Mirim (Figura 4).

Figura 3: Regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul.



Fonte: SEMA, 2007.

Figura 4: Mapa de bacias hidrográficas de Caçapava do Sul.

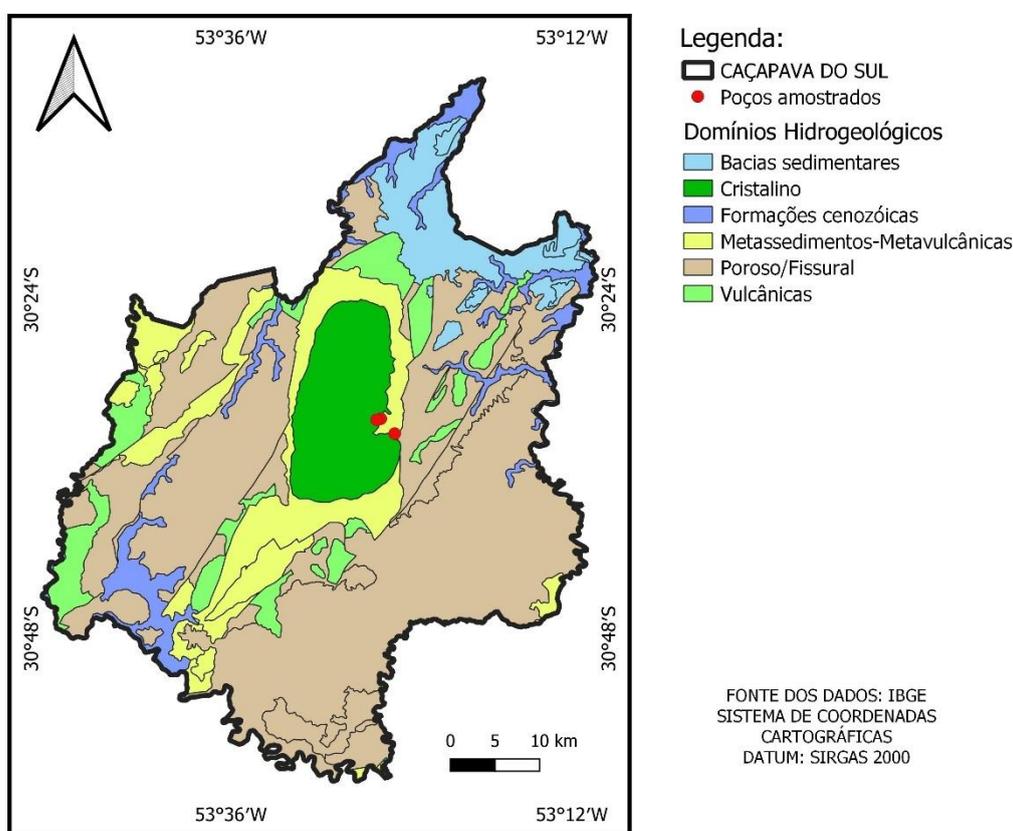


Fonte: Autor, modificado de FEPAM 2012.

4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

No município de Caçapava do Sul, conforme o Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (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 5). Os domínios que abrangem a área de estudo são os domínios cristalino e metassedimentos/metavulcânicas, descritos a seguir.

Figura 5: Mapa hidrogeológico de Caçapava do Sul.



Fonte: Autor, modificado da CPRM, 2007.

O Domínio Cristalino é denominado de aquífero fissural com porosidade secundária. A litologia deste domínio é constituída 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).

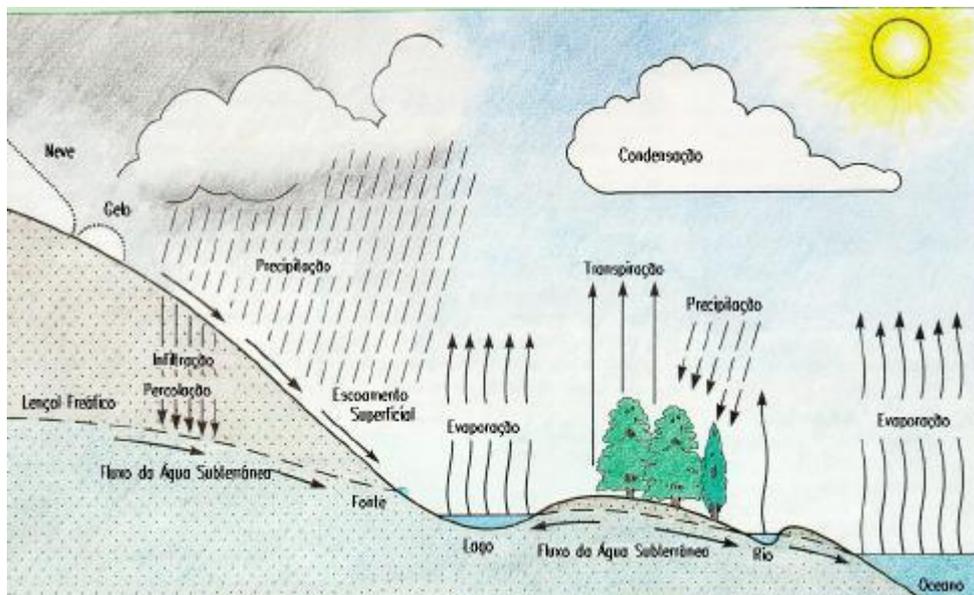
No Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas, cujo, comportamento é de aquífero fissural, os litotipos associados reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfibolitos, quartzitos, ardósias e metavulcânicas diversas. Devido à ausência de porosidade primária, a ocorrência de água subterrânea nestas rochas está condicionada a porosidade secundária. A água circula através de fraturas e fendas que foram abertas devido aos eventos tectônicos, na região. Este tipo de aquífero caracteriza-se por apresentar baixas vazões e geralmente salinizado (BOMFIM, 2010).

5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

5.1. CICLO HIDROLOGICO

Teoricamente o ciclo hidrológico é considerado um ciclo fechado, logo não apresenta início ou fim. Entretanto, para fins explicativos será tomado como ponto de início os oceanos, nos quais a radiação solar incide sobre suas águas, causando a evaporação de parte dessas águas (Figura 6).

Figura 6: UNESCO, Ciclo hidrológico.



Fonte: UNESCO, 1992.

Segundo GONÇALVES & GIAMPÁ (2006), a evaporação nas porções continentais também tem que ser levada em consideração como a de águas de

lagos, cursos superficiais e transpiração das folhas, pois mesmo contribuindo menos do que a evaporação oceânica, ainda assim agrega fortemente para o ciclo. O vapor de água na atmosfera ao entrar em contato com correntes de ar frias se condensa e precipita comumente na forma de chuva. Entretanto, pode também, ocorrer na forma de neve e granizo, tanto na superfície continental quanto na superfície oceânica, sendo denominada como água meteórica.

A água meteórica ao atingir o solo parte sofre escoamento superficial, parte se infiltra no solo e outra parte consiste na recarga dos aquíferos. A porção que escoar superficialmente escoar por gravidade de uma região mais elevada para mais baixas, como rios, lagos, entre outros em geral iniciando novamente o ciclo evaporando, condensando e precipitando. Entretanto, a porção de água que infiltra no solo fica a mercê da própria radiação solar que permite que a água presente no solo seja evaporada ou seja utilizada pela vegetação retornando para a atmosfera pela evapotranspiração, ou percolar no solo para níveis mais profundos. A porção de água que transpassa os limites superiores, chega em uma região denominada de zona saturada. Nesta região, a água se move lentamente, por ação da gravidade em direção a pontos de descarga de origem natural ou artificial. Essa descarga natural dos aquíferos pode ocorrer em dias, meses ou séculos (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005). A descarga natural pode ser feita por meio de fontes, permeada ao longo dos leitos dos rios ou diretamente para os oceanos. Retiradas artificiais acontecem mediante a extração das águas subterrâneas através de diversos tipos de poços (TUBBS FILHO, 1994).

Compreender o ciclo hidrológico é fundamental, pois é ele que fornece a entrada de água em subsuperfície possibilitando junto a geologia a formação de aquíferos. Os aquíferos são formações geológicas capazes de armazenar água em seus espaços vazios e permitir que parte significativa desta água se movimente nestes espaços (FEITOSA et al., 2008).

5.2. HIDROGEOLOGIA

A hidrogeologia é a parte da hidrologia que lida com a ocorrência, movimentação e qualidade da água em subsuperfície (ALLER et al., 1987). A hidrogeologia consiste no estudo da zona saturada, região esta onde os poros ou fraturas da rocha estão totalmente preenchidos por água. As águas atingem esta zona

por gravidade, através dos poros ou fraturas até alcançar uma profundidade limite, onde as rochas estão tão saturadas que a água não pode penetrar mais. Para que haja infiltração até a zona saturada, é necessário primeiro satisfazer as necessidades da força de adesão na zona não saturada. Nesta zona, a água corresponde ao excedente de água da zona não saturada que se move em velocidades muito lentas, formando o manancial subterrâneo propriamente dito. Uma parcela dessa água irá desaguar na superfície dos terrenos, formando as fontes, olhos de água. A outra parcela desse fluxo subterrâneo forma o caudal basal que deságua nos rios, perenizando-os durante os períodos de estiagem, com uma contribuição multianual ou deságua diretamente nos lagos e oceanos (REBOUÇAS, 1996).

5.3. HIDROGEOQUÍMICA

Segundo Feitosa et al. (2008), a hidrogeoquímica é a ciência que busca análise qualitativa e quantitativa das águas subterrâneas por meio de suas características físico-químicas. Visa as relações entre os sistemas água e rocha tendo como foco principal a migração de substâncias entre eles.

5.4. HIDROGEO MECÂNICA

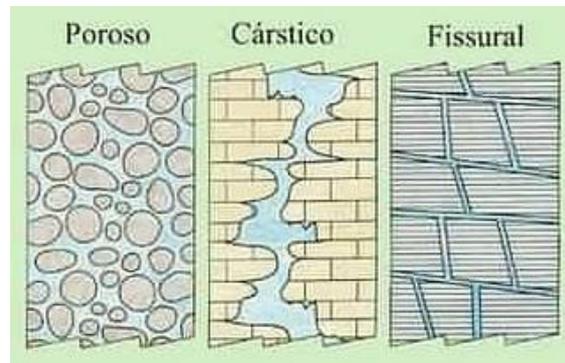
Feitosa et al. (2008) definem a hidrogeomecânica como o ramo da hidrogeologia que trata das forças atuantes sobre as águas subterrâneas e suas reações. Tendo como foco a intensidade de fluxo, velocidade de fluxo e suas implicações, na qual quando integrado com modelagem de aquíferos e hidrogeoquímica permite criar modelos para visualizar de que maneira a água flui, de que forma a migração de elementos ocorre e principalmente qual a direção do fluxo.

5.5. CLASSIFICAÇÃO DE AQUÍFEROS

Segundo Feitosa et al. (2008), os aquíferos podem ser classificados quanto a sua geometria e hidráulica, porosidade e transmissividade. Quando classificado em termos de sua geometria e hidráulica é levado em consideração como se encontra as camadas selantes e a pressão d'água dentro do aquífero. Os aquíferos quando

caracterizados em termos de seus espaços vazios (porosidade), são classificados como fraturado, poroso e cárstico (Figura 7).

Figura 7: Aquíferos de acordo com a porosidade.



Fonte: UNESCO, 1992.

Aquífero fraturado ou fissural: formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas. A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais.

Aquífero poroso ou sedimentar: formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos. A circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos pelo grande volume de água que armazenam e por sua ocorrência em grandes áreas. Ocorrem em bacias sedimentares e em várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Possuem porosidade quase sempre homoganeamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente.

Aquífero cárstico: formado em rochas calcárias ou carbonáticas onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões criando verdadeiros rios subterrâneos. São, portanto, aquíferos

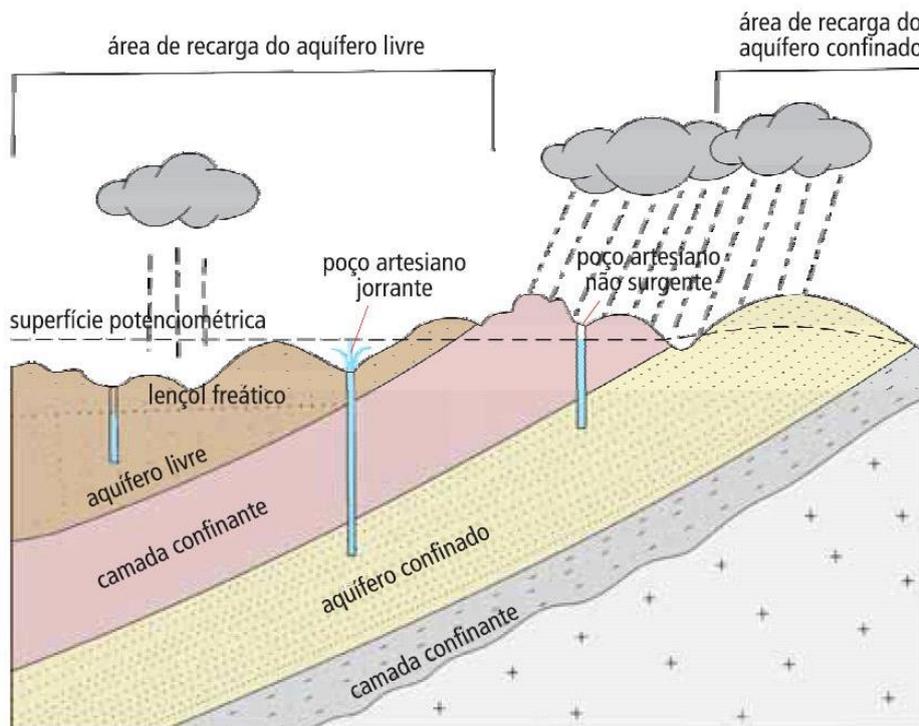
heterogêneos, descontínuos, com águas duras e fluxo em canais (SILVA, 1984).

Os aquíferos quando classificados quanto a suas características hidráulicas podem ser classificados como livres ou confinado (Figura 8).

Aquífero Livre: consiste naquele aquífero, cujo limite superior é a superfície de saturação ou freático na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica e seu limite inferior é uma superfície parcialmente ou totalmente selante.

Aquífero Confinado: consiste naquele aquífero, onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. Em função das camadas limítrofes superior e inferior que não permitem a transmissão de água ou permite transmitir muito pouco.

Figura 8: Aquíferos de acordo com a hidráulica.



Fonte: IRITANI e EZAKI, 2008.

Quando classificados em termos da transmissividade, sendo caracterizadas a partir da capacidade das camadas limítrofes em permitir a passagem e circulação de água, intimamente ligada às suas características geológicas, são denominadas:

Aquitardos – armazenam água, mas permitem a circulação apenas de formamuito lenta. Estão associadas a argilas siltosas e arenosas.

Aquicludes — armazenam água, mas não permitem sua circulação. Estão associados essencialmente, a argilas.

Aquifugos – não contém e não transmitem água. Está associado a rochas duras, cristalinas, metamórficas e vulcânicas, sem fraturamento ou alteração.

5.6. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Segundo a resolução nº 396/2008 do CONAMA, as águas subterrâneas são classificadas em:

Classe Especial: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

Classe 1: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

Classe 2: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

Classe 3: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

Classe 4: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;

Classe 5: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

5.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

As águas subterrâneas apresentam características físico-químicas distintas das águas superficiais principalmente por passarem por um maior número de processos. Desta maneira, quando comparadas às águas de aquíferos são mais apropriadas para o consumo. Quando comentado sobre suas características físicas pode-se citar sua temperatura relativamente constante, pois quem controla esta variável é o gradiente geotérmico do local onde se encontram, ou seja, em que profundidade está situado este aquífero. Outro fator é a turbidez que consiste na quantidade de sólidos em suspensão, a qual em águas subterrâneas geralmente não apresentam sólidos em suspensão, principalmente pelo fato de passarem por processos de filtração até se estabelecerem na zona saturada. Então, os principais materiais que se encontram em suspensão, como silte, argila, matéria orgânica, entre outros, em geral, não são observados. Exceto em caso como poços mal desenvolvidos com produção de sedimentos e águas que circulam em aquíferos cársticos, pois principalmente ocorre a dissolução de parte deste material que pode culminar em alterações na turbidez deste recurso (KRESIC, 2006).

Em termos de pH a maioria das águas subterrâneas se encontram em um intervalo de 5,5 a 8,5. Em questões de atividade microbiana as águas subterrâneas apresentam problemas sobre isso apenas quando ocorre a sua contaminação, por meio de ação antrópica por descarte de dejetos indevidamente tratados ou por material fecal de animais. Outros fatores importantes a serem analisados são seus constituintes iônicos, como: sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{-2}) bicarbonato (HCO_3^-) e sulfato (SO_4^{-2}). Estes constituintes iônicos são os principais e mais importantes, pois a soma deles representa quase a totalidade dos íons presentes nas águas, sendo um reflexo do meio rochoso pela qual percolam (KRESIC, 2006).

O sódio é um metal alcalino abundante em águas subterrâneas devido a grande distribuição de seus minerais e sua instabilidade, suas principais fontes são piroxênios, feldspatos, anfíbios e feldspatóides minerais estes pouco resistentes ao intemperismo químico. Também ocorre associado a cloretos e brometos (KRESIC, 2006).

O potássio é um elemento abundante nas rochas e forma sais solúveis, micas

e feldspatos potássicos. As reações químicas do íon potássio na água natural são difíceis de analisar com precisão, assim o potássio é agrupado ao sódio nos principais constituintes catiônicos das águas subterrâneas na elaboração dos resultados analíticos, principalmente quando se utiliza o diagrama Piper. A diferença entre o potássio e o sódio está associada ao fato de que os minerais potássicos apresentam um elevado grau de estabilidade, difícil remoção nos processos de troca iônica e sua adsorção por argilominerais (KRESIC, 2006).

O cálcio é o mais abundante dos metais alcalino-terrosos e é um dos principais constituintes de muitos minerais das rochas, além de ser um elemento essencial para plantas e animais e um importante componente dos solutos na maior parte das águas naturais. As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, aragonita, entre outros. A forma mais comum do cálcio nas rochas sedimentares é o carbonato e é pouco solúvel em água pura. O seu comportamento em sistemas aquosos naturais é geralmente regulado pela disponibilidade dos sólidos contendo cálcio mais solúveis, ocorrendo nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está em função da quantidade de gás carbônico dissolvido (HEM, 1985).

O magnésio é um elemento essencial na nutrição de vegetais e animais. Em alguns aspectos, o magnésio tem efeitos semelhantes ao cálcio, como em sua contribuição para a dureza da água, apesar de ser mais solúvel e mais difícil de se precipitar (HEM, 1985). Seus minerais fonte são mais estáveis ao intemperismo, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor em relação ao cálcio. Em rochas carbonáticas o mineral dolomita é o principal fornecedor de magnésio (FILGUEIRAS, 2016).

O cloreto, em geral, é muito solúvel e estável, logo, uma vez dissolvido permanece em solução e dificilmente precipita. Os íons cloreto, significativamente, não entram em reações de oxidação ou redução. Não formam complexos de soluto importantes com outros íons e não são adsorvidos em superfícies minerais, com exceção de extremas concentrações em águas naturais. Têm nas rochas sedimentares uma importante fonte por meio da lixiviação de rochas evaporíticas, porém valores elevados normalmente podem indicar mistura da água salina em aquíferos costeiros ou poluição antropogênica (KRESIC, 2006).

A quantidade de carbonato em águas naturais está relacionada a função do pH e do gás carbônico dissolvido. A fonte de íon carbonato são as rochas calcárias,

constituídas predominantemente de carbonato de cálcio, embora quase insolúvel pequena quantidade se dissolve em contato com água produzindo íons bicarbonatos (FILGUEIRAS, 2016).

O bicarbonato (HCO_3^-) é produto da dissolução de rochas carbonáticas, principalmente calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), mediante uma reação de hidrólise, por águas contendo ácido carbônico e ácidos húmicos e fúlvicos presentes no solo. A predominância do bicarbonato sobre os outros ânions indica que a água não é de circulação regional com longos tempos de residência (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

O gás carbônico (CO_2) está presente no solo e na água de diversas formas, seja carregado pelo ar e incorporado pela chuva, pela decomposição da matéria orgânica, incorporado na interface água e ar. Também pode ser encontrado na água, no estado de carbonatos e bicarbonatos de metais alcalino e alcalino terrosos. O gás carbônico em contato com a água combina-se formando um ácido fraco, o ácido carbônico (H_2CO_3), ocasionado a queda do pH. Entretanto, em áreas de rochas calcárias, o ácido carbônico reage com o meio carbonático formando os bicarbonatos (solúveis), que funcionam como uma solução tampão e com maior capacidade de manter um quadro mediano do pH (PÁDUA, 2002). Em águas naturais o bicarbonato predomina em faixas de pH entre 6 a 10.

O enxofre, elemento essencial nos processos de vida de animais e vegetais, está amplamente distribuído na forma reduzida como sulfeto metálico. Por meio das intempéries em contato com as águas o enxofre é oxidado produzindo íons sulfatos, nas rochas ígneas e sedimentares, além da lixiviação dos compostos sulfatados (gipsita e anidrita) (HEM, 1985). Os constituintes iônicos e traços estão dissolvidos nas águas em concentrações inferiores a 1% em relação aos íons maiores e secundários, e em águas contaminadas, os contaminantes podem atingir altas concentrações (FILGUEIRAS, 2016).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente, foram realizados os levantamentos de dados, sobretudo a respeito das características físicas da área de estudo consistindo em dados geológicos e organização da base de dados dos poços cadastrados no sistema

SIAGAS (Tabela 1). Visto que, no sistema existem dados de poços que atualmente se encontram secos ou desativados, estes poços foram excluídos da amostragem. Os poços amostrados se encontram na Tabela 2. A partir do detalhamento das informações dos poços é crucial, foi realizada a construção do modelo, estimado, deste aquífero. Segundo FETTER (1994), a transmissividade (T) é um parâmetro hidráulico diretamente relacionado à condutividade hidráulica (K) e espessura da camada (b), seguindo a equação: $T=K.b \text{ cm}^2.s$. Ao correlacionar este modelo com as análises químicas foi possível estabelecer um modelo de transporte dos elementos e do fluxo da água subterrânea.

Tabela 1: Poços de captação cadastrados pelo SIAGAS em Caçapava do Sul.

Número do Ponto	Situação	Localidade	Natureza
4300017787	Não Informado	Trevo Das Estradas RS e Guaritas	Poço tubular
4300020715	Parado	BR 392 Km 191 Inducal Indústria De Alimentos	Poço tubular
4300020716	Bombeando	RS 357 Km 45 Fonte CerroDo Posto	Poço tubular
4300020717	Seco	RS 357 Km 45 Fazenda Seival	Poço tubular
4300020757	Abandonado	Fazenda Morada Tio Geraldo	Poço tubular
4300020758	Abandonado	RS 357 Km 7,5 Fazenda DePedra	Poço tubular
4300020759	Bombeando	Estrada Pinheiro Chácara Queimada	Poço tubular
4300020760	Abandonado	BR 392 Frigorífico	Poço tubular
4300020761	Abandonado	BR 392 Frigorífico	Poço tubular
4300020762	Bombeando	Rodovia BR 392 Km 247	Poço tubular
4300020763	Abandonado	Vila Pereirinha	Poço tubular
4300020764	Abandonado	Passo Da Canoa	Poço tubular
4300020766	Bombeando	Fazenda Pouso Alegre Pitangueira	Poço tubular
4300020767	Bombeando	Vila Progresso Pátio Da Capela	Poço tubular
4300020768	Bombeando	Vila Progresso	Poço tubular
4300020769	Abandonado	Vila Progresso Margem Br 290	Poço tubular
4300020770	Bombeando	BR 392 Km 253	Poço tubular
4300020771	Bombeando	Vila Belo Soares AADB	Poço tubular
4300002184	Equipado	Prox.Br.392	Poço tubular
4300002185	Equipado	Prox.Ao Poço 1561-1	Poço tubular
4300021428	Não Informado	Comunidade Do Posto Da Fonte	Poço tubular
4300021445	Não Informado	Vai Mirim	Poço tubular
4300022738	Não Informado	Vila Sta Barbara	Poço tubular
4300022739	Não Informado	BR-392	Poço tubular
4300022740	Não Informado	Faxinal-Quarto Distrito	Poço tubular
4300023324	Não Informado	Durasnal	Poço tubular
4300023794	Seco	Vila Pereirinha	Poço tubular

4300023795	Seco	Rincão Dos Seixas	Poço tubular
4300023796	Seco	Rincão Dos Seixas	Poço tubular
4300023803	Seco	Coxilha São José	Poço tubular
4300023876	Não Informado	Vai Mirim	Não Informado
4300024105	Abandonado	Caieiras	Poço tubular

Fonte: Modificado de JUNGES (2016).

Tabela 2: Poços amostrados.

Número do Ponto	Situação	Localidade	Natureza
4300020762	Bombeando	RODOVIA BR 392 KM 247	Poço tubular
4300020770	Bombeando	BR 392 Km 253	Poço tubular
4300020771	Bombeando	Vila Belo Soares AADB	Poço tubular

Fonte: Modificado de JUNGES (2016).

Os métodos de análises utilizados no trabalho foram dispostos da seguinte forma. Nos locais de amostragem, as amostras foram separadas em dois grupos para a determinação de seus parâmetros físico-químicos, o primeiro grupo foi direcionado ao Laboratório de Química da Unipampa para determinar o pH, alcalinidade e oxigênio dissolvido. O segundo grupo de amostras foi encaminhado à empresa Química Pura Laboratório de Análises e Consultoria Ltda na qual foi responsável por realizar a análise química das amostras informando as concentrações dos íons de cálcio, sódio, potássio, magnésio, bicarbonato, carbonato, cloreto e sulfato.

6.2. MORFOMETRIA DO TERRENO E SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

A caracterização morfométrica da área foi realizada a partir de mapas hipsométrico e de declividade. O mapa hipsométrico foi produzido a partir da composição entre modelo digital de elevação (obtido através da plataforma TOPODATA-INPE, com resolução espacial de 90 metros) e o mapa de relevo sombreado. Estes dados (hipsometria e declividade) foram trabalhados em plataforma SIG (QGIS 3.18), recortados pela extensão dos limites do município de Caçapava do Sul.

Para avaliar o fluxo subterrâneo foi utilizado o mapa de superfície potenciométrica. Este mapa é um lugar geométrico no qual há determinação dos pontos da altura do nível d'água de um aquífero e a cota da superfície do terreno. A partir da diferença entre o nível d'água (nível estático) e a cota do terreno é obtido

como resultado o valor da carga hidráulica em um determinado ponto do aquífero (DEMÉTRIO, 2006). De maneira geral o mapa da superfície potenciométrica consiste na direção do fluxo da água subterrânea (BARROS, 2016).

No mapa potenciométrico são observados linhas equipotenciais e linhas de fluxo. As linhas equipotenciais ou isoietas representam a superfície do lençol freático em diferentes pontos. Quando essas linhas se encontram com a altura vertical do lençol d'água, esse lugar indica o local de recarga total do aquífero. Linhas de fluxo representam os caminhos ao longo do aquífero em que a água percorre e indicam as áreas com maior potencial hídrico para as de menor potencial hídrico (*apud* Filho e Alencar, 2010).

O objetivo de utilizar as superfícies potenciométricas como ferramenta de estudo é para estabelecer espacialmente as áreas de recarga do aquífero, geralmente associadas a pontos de maior altitude, ou a zona de descarga do aquífero, que pode se situar em canais, rios ou ambos. Desta maneira, é possível identificar a ligação destes mananciais subterrâneos e discorrer acerca de algum tipo de migração dos elementos durante o trajeto.

Para confecção deste mapa foram definidas as diferenças entre a cota do terreno e o nível estático do poço para obtenção da carga hidráulica. Estas informações foram elencadas a partir dos dados do servidor SIAGAS. Para gerar este mapa foi utilizado o programa QGIS 3.18, a fim de traçar as linhas que compõe o mapa por meio da interpolação da variável carga hidráulica deste aquífero. Este valor de carga hidráulica foi interpolado, utilizando o método inverso da distância ponderada com células de tamanho 0,01, para elaboração do mapa de isolinhas de cargas hidráulicas representado pela superfície potenciométrica.

6.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

6.3.1. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O pH de uma solução é a medida de concentração do íon hidrogênio, classificando a solução devido a intensidade de seu caráter ácido, ou de maneira mais correta, é o logaritmo negativo da atividade iônica em moles por litro, (HEM, 1985). A escala de pH, compreendida entre 0 e 14, indica se o meio é ácido, básico ou neutro,

quando o pH for menor, maior ou igual a 7, respectivamente. Para a medição do pH foi utilizado o método eletrométrico, através do Peagâmetro (H Calibration Check pH/ORP Meter) da Hanna Instruments constituído por um potenciômetro, um eletrodo de referência e um dispositivo de compensação de temperatura. O método consiste em calibrar o aparelho com a solução de pH conhecida, então aguardar a estabilização. Após lavar e secar o eletrodo com água destilada, inicia-se as medidas de pH das amostras de água esperando a estabilização e, então, gravando os resultados obtidos.

6.3.2. ALCALINIDADE

A alcalinidade é a medida total das substâncias presentes na água, e capazes de neutralizar ácidos. Em outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes na água e que atuam como tampão. Se em uma água quimicamente pura (pH=7) for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará a elevação de seu pH, porque os íons presentes irão neutralizar o ácido (COUTO, 2004). Para a determinação da alcalinidade foi realizada a titulação usando ácido sulfúrico 0,01 mol L⁻¹ com titulante de indicador misto vermelho de metila e verde bromocresol (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005, BRASIL, 1990; 2012).

6.3.3. OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O oxigênio dissolvido (OD) é responsável por realizar a oxidação da matéria orgânica presente na água e promover a respiração de peixes, porém como não é esperado a existência de animais aquáticos sobrevivendo entre as fraturas da rocha, este viés para manutenção da vida aquática será desconsiderado. Todavia, o OD nos traz uma informação relevante em consideração a bactérias anaeróbicas, pois a ausência de OD na água abre precedentes para o desenvolvimento destas bactérias. O problema com a presença destas bactérias é que ao decompor compostos como aminas, amônias e sulfato de hidrogênio geram odores desagradáveis na água (ESTEVES, 1998). Foi feito a partir da demanda biológica de oxigênio (DBO), que quantifica o oxigênio por titulação (Azida e manganês na coleta e depois titular com

tiosulfato).

6.4. ANÁLISE QUÍMICA

6.4.1. MÉTODO DA ARGENTOMETRIA

Para analisar o cloreto foi utilizado o método da argentometria, descrito por Baird et al. (2017) no método 4500-Cl B. O princípio do método consiste em uma solução neutra ou ligeiramente alcalina, que utiliza o cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador para o ponto final da titulação do cloreto pelo nitrato de prata. O cloreto de prata é menos solúvel do que o cromato de prata, ou seja, precipita mais facilmente.

No procedimento de preparação das amostras foram utilizados 100 ml de cada amostra. As amostras para titulação direta devem se encontrar com o pH na faixa de 7 a 10, caso estejam fora deste intervalo é necessário o ajuste de pH utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou hidróxido de sódio (NaOH). Após os ajustes serem realizados foi adicionado o cromato de potássio (K_2CrO_4) na solução indicadora, e iniciou-se o processo de formação do material precipitado.

6.4.2. MÉTODO DE TITULAÇÃO

Para analisar o bicarbonato foi utilizado o método de titulação, descrito por Baird et al. (2017) no método 2320 B. O princípio do método se baseia nos íons presentes de hidroxila na amostra como resultado da dissociação ou hidrólise dos solutos que reagem com adições de ácido padrão.

No procedimento, seguiu-se a curva de titulação potenciométrica para o procedimento de determinação de acidez, substituindo a apropriada normalidade da solução ácida padrão para o NaOH padrão, e continuar a titulação até o pH 4,5 ou menor.

6.4.3. MÉTODO DA DIGESTÃO DE ÁCIDO NÍTRICO

Para analisar metais como sódio, potássio e magnésio e o íon carbonato foi utilizado o método da digestão de ácido nítrico descrito por Baird et al. (2017) no método 3030 E.

Este método consiste em preparar as amostras para as demais análises. Na qual remove materiais particulados ou orgânicos das amostras, pois estes contaminantes comprometem a análise pelos instrumentos técnicos.

O procedimento consiste em transferir um volume medido de amostra, preservada por ácido apropriado para as concentrações de metais esperadas para um frasco e adiciona 5 mL concentrado de ácido nítrico (HNO₃). Posteriormente, se aquece a mistura a uma temperatura de refluxo, de aproximadamente 95°C, para obter uma fervura lenta e evaporar em uma placa quente para o menor volume possível (cerca de 10 a 20 mL) antes da precipitação ocorrer. Transfere-se a solução filtrada para um frasco volumétrico de 100 mL com duas porções de água reagente. Por fim, toma-se partes desta solução para determinar os metais necessários.

6.4.4. MÉTODO ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Para analisar metais como sódio, potássio e magnésio e o íon de carbonato foi utilizado o método espectrometria de absorção atômica da chama descrito por Baird et al. (2017) no método 3030 E.

O princípio do método consiste de uma amostra aspirada em uma chama e atomizada. O feixe de luz direciona-se à chama, em um monocromatizador, na qual o detector mede a quantidade de luz absorvida pelo elemento atomizado na chama. A quantidade de energia absorvida na chama é proporcional a concentração do elemento na amostra sobre uma determinada faixa de concentração.

6.4.5. MÉTODO DA ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

O método da espectrofotometria UV-VIS foi utilizado para analisar o sulfato nas amostras. Este método é descrito por LATIMER JUNIOR (2016) no método 973.57. A Espectrofotometria de UV-VIS consiste na incidência de um feixe de luz na amostra, onde parte da luz emitida é absorvida e outra parte é refletida. A luz refletida é quantificada de acordo com o comprimento de onda, conforme lei de Lambert-Beer, que estabelece que a absorvância é diretamente proporcional a concentração da solução da amostra. Esta lei pode ser expressa na equação 1;

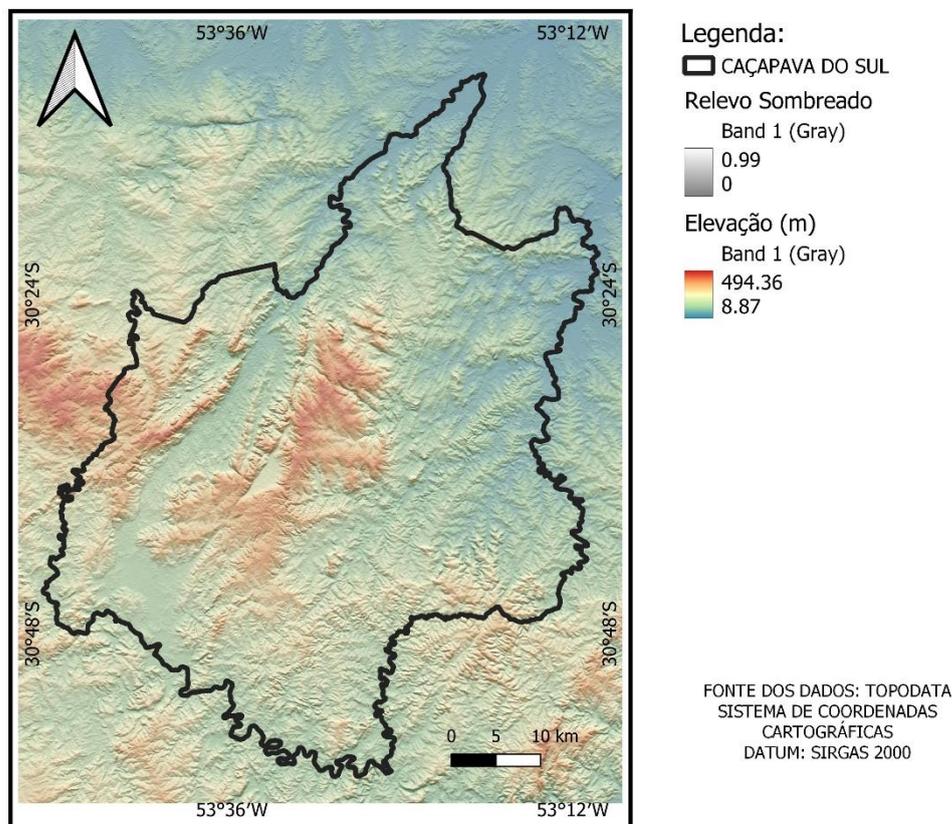
$$\text{Log} \left(\frac{I}{I_0} \right) = \epsilon c l A = \epsilon c l,$$

onde, A é a absorvância, ϵ é o coeficiente de extinção molar, c é a velocidade da luz no vácuo e l é o comprimento da cubeta.

7. RESULTADOS

A análise do mapa hipsométrico (Figura 9) da área de estudos permite inferir que dentro do domínio territorial estudado ocorre uma variação de elevação entre 33 e 450 metros. Maiores elevações são verificadas em um trend NNE-SSO, dispostos na diagonal principal de Caçapava do Sul e na sua borda oeste. Essas zonas de maior elevação são separadas por uma depressão coincidente com a posição da formação geológica Santa Bárbara (Figura 2). Ainda na comparação entre morfoescultura e geologia do terreno percebe-se que os terrenos cristalinos (ígneos e metamórficos) destacam-se no relevo, funcionando como divisores de águas para as águas superficiais. A borda leste do município, portanto apresenta menor elevação do terreno, funcionando como bacia de captação hidrográfica.

Figura 9: Mapa hipsométrico abrangendo o município de Caçapava do Sul.

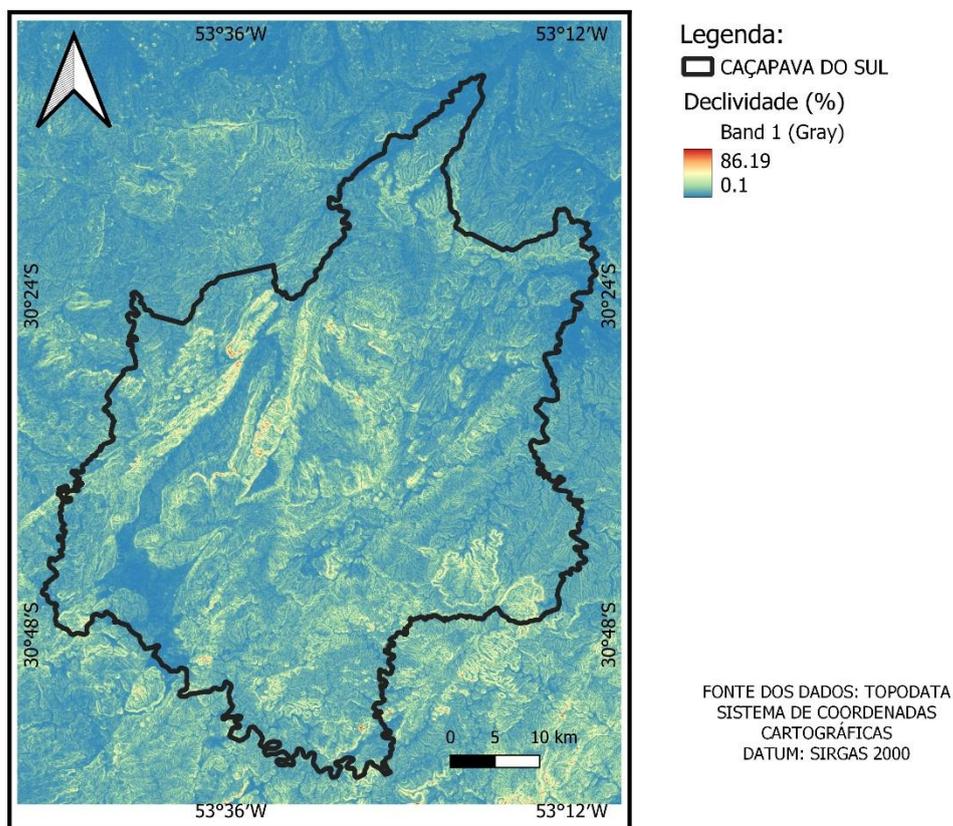


Fonte: Autor.

Quanto a declividade do terreno (Figura 10), genericamente as maiores

diferenças de nível topográfico são verificadas no contato entre as formações Santa Bárbara e Acampamento Velho, bem como Formação Santa Bárbara e Membro Rodeio Velho. Subordinadamente, declividades elevadas também são observadas entre as os complexos CGCS e CMPF. Desta maneira, zonas de baixa declividade são observadas sobre a Formação Santa Barbara e sobre CGCS, também verificado uma zona de baixa declividade, junto ao Arroio Seival (depósitos aluvionares).

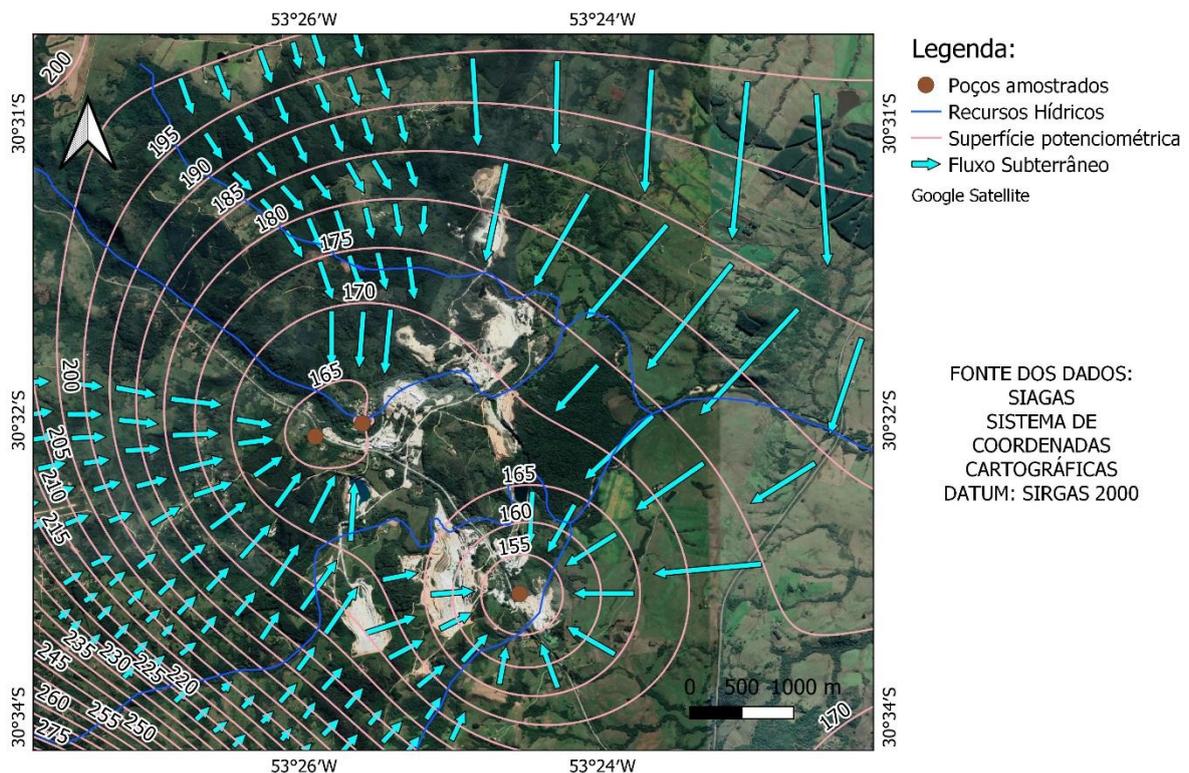
Figura 10: Mapa de declividade abrangendo o município de Caçapava do Sul.



Fonte: Autor.

A superfície potenciométrica do aquífero para os valores de níveis estáticos obtidos durante este estudo evidenciam, que o fluxo subterrâneo em todas as direção e sentido convergem à área de estudo (Figura 11). Observa-se curvas na porção central da Figura 11 que se comportam geometricamente semelhante a circunferências. De maneira geral, as curvas potenciométricas tendem a apresentar um comportamento de uma elipse. Estruturas estas semelhantes a circunferências sugerem anomalias.

Figura 11: Mapa de curvas potenciométricas na área de estudo.

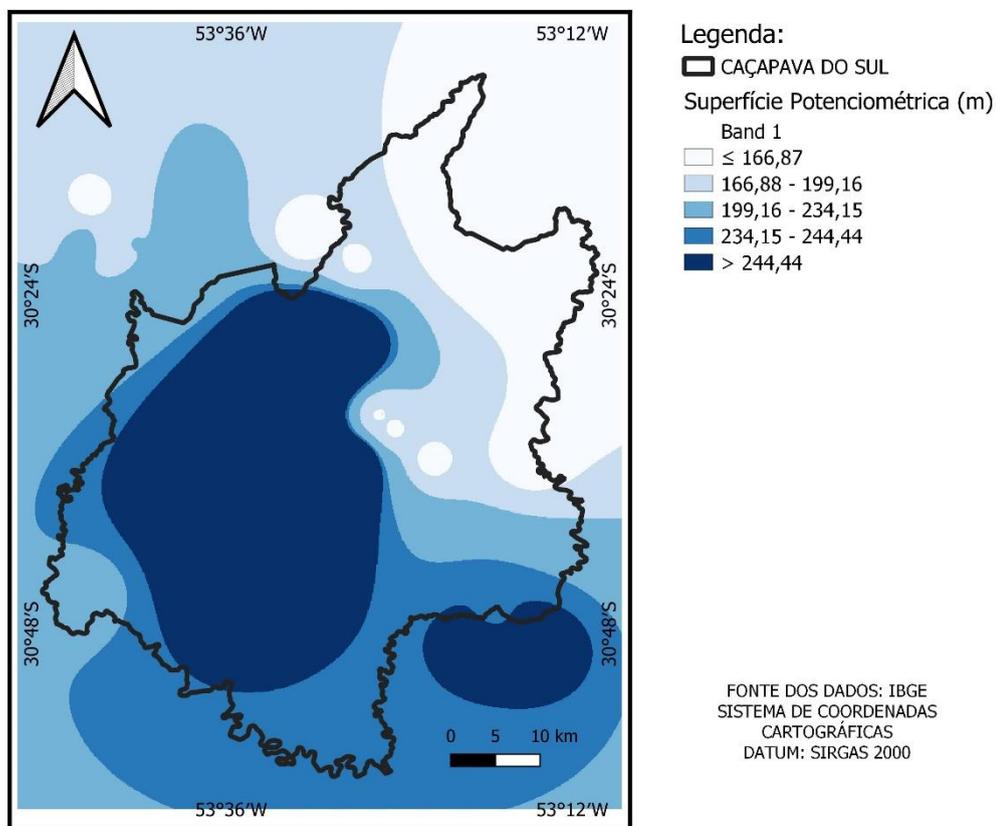


Fonte: Autor.

Com o intuito de compreender a anomalia na área de estudo foi produzido um novo mapa potenciométrico, porém desta vez com foco em analisar o fluxo subterrâneo geral no município. Na figura 12 os níveis potenciométricos foram divididos em cinco quartis diferentes. O quartil em coloração azul escuro representa os maiores potenciais do município e em coloração branca, o quartil, com os menores potenciais do município. De maneira que o fluxo é orientado da região de maior potencial para a de menor potencial. Foi observado que a anomalia se manteve, porém agora foi observado que a anomalia se apresenta localmente na área de estudo e na porção ao norte do município. A região localizada a nordeste do município apresentou aspecto semelhante a anomalia com um potencial baixo. Entretanto, neste caso, possivelmente deve se tratar de uma distorção do interpolador, oriundo da falta de amostras nesta região. Matematicamente, verificam-se valores máximos e mínimos respectivamente iguais a 413,76 e 54,71 metros. Assim verifica-se uma amplitude potenciométrica de 359,05 metros, perfazendo a máxima declividade do nível freático no domínio estudado. Do ponto de vista da estatística univariada verifica-se como medida de tendência central o valor médio de 210,02 metros, sendo também verificado uma diferença padrão entre as amostras e a média aritmética das

amostras (desvio padrão) de 51,66 metros.

Figura 12: Mapa potenciométrico do município de Caçapava do Sul.



Fonte: Autor.

Os resultados das amostras de água coletadas dos três poços (P1, P2 e P3) são apresentados nas tabelas 3 e 4. Na tabela 3 é apresentado os resultados de bicarbonato, cálcio, carbonato, cloreto, magnésio, potássio, sódio e sulfato. Em relação as análises químicas os teores de bicarbonato para as amostras P2 e P3 apresentam 53,9 e 50,5 mg HCO_3^-/L , respectivamente. Já a amostra P1 apresenta 161 mg HCO_3^-/L . Em termos de cálcio, as amostras P1 apresenta 60,1, a P2 apresenta 19,3 e a P3 108 mg/L. Não foi detectado em nenhuma das amostras teores de carbonato.

A análise de cloreto para a amostra P1 demonstrou 7,2 mg Cl^-/L , na amostra P2 não foi detectado conteúdo de cloreto e na amostra P3 a quantidade de cloreto obtida foi de 7,24 mg Cl^-/L .

Os valores de magnésio obtidos para as amostras P1, P2 e P3 foram 32,2 mg/L, 5,95 mg/L e 45,3 mg/L, respectivamente. Para o quantitativo de potássio,

obteve-se 1,87 mg/L na amostra P1, 1,54 mg/L na amostra P2 e 7,48 mg/L na amostra P3. Os valores de sódio variaram de 11,6 mg/L para a amostra P1, 10,2 mg/L para a amostra P2 e 2,77 mg/L para a amostra P3. A variável sulfato foi detectado somente na amostra P3, com 12,2 mg SO_4^{2-} /L.

Tabela 3: Parâmetros químicos analisado.

Amostra	P1	P2	P3
Bicarbonato (mg HCO_3^- /L)	161	53,9	50,5
Cálcio (mg/L)	60,1	19,3	108
Carbonato (mg CO_3^{2-} /L)	Não Detectado	Não Detectado	Não Detectado
Cloreto (mg Cl^- /L)	7,2	Não Detectado	7,24
Magnésio (mg/L)	32,2	5,95	45,3
Potássio (mg/L)	1,87	1,54	7,48
Sódio (mg/L)	11,6	10,2	2,77
Sulfato (mg SO_4^{2-} /L)	Não Detectado	Não Detectado	12,2

Fonte: Autor.

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos de pH, alcalinidade e oxigênio dissolvido para as amostras P1, P2 e P3. Os valores de pH variaram de 7,01 na amostra P1, 7,55 na amostra P2 e 7,14 na amostra P3. Em termos de alcalinidade as amostras apresentaram 20,73 mg CaCO_3 /L (P1), 6,00 mg CaCO_3 /L (P2) e 453 mg CaCO_3 /L (P3). A quantidade de oxigênio dissolvido obtido foi de 11,4 mg/L para a amostra P1, 3,30 mg/L para a amostra P2 e não detectado para a amostra P3.

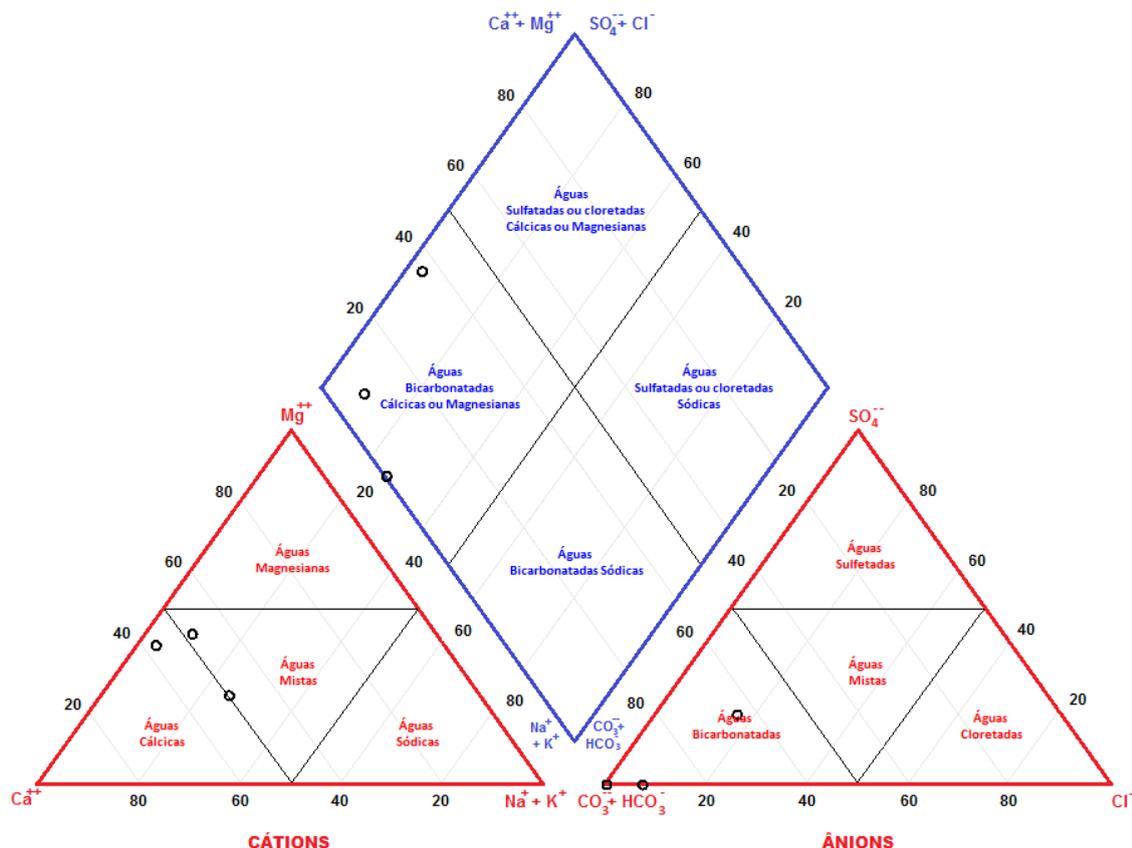
Tabela 4: Parâmetros físico-químicos analisados.

Amostra	pH	Alcalinidade (mg CaCO_3 /L)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
P1	7,01	20,73	11,4
P2	7,55	6,00	3,30
P3	7,14	453	-

Fonte: Autor.

As amostras, também, foram classificadas de acordo com o diagrama de Piper, no qual foram categorizadas como bicarbonatadas cálcicas e mistas (Figura 13).

Figura 13: Diagrama Piper.



Fonte: QUALIGRAF.

8. DISCUSSÕES

A análise do mapa potenciométrico permite inferir que as zonas com valores interpolados inferiores a média menos um desvio padrão caracterizam-se como anomalias estatísticas na interpolação do nível potenciométrico. Neste sentido tais anomalias conformam indícios de depleções no nível freático, o que pode sinalizar para a presença de excessiva extração, aprofundando e expandindo os cones de rebaixamento do nível d'água decorrentes das captações existentes. Neste sentido tais anomalias representam comportamentos que matematicamente excedem o esperado para estas condições, indicando uma região distinta, delimitada por isoietas que apresenta formato circunferenciais.

Esta estrutura do cone de rebaixamento, indica que a interferência entre poços tem afetado a capacidade de recuperação do aquífero, impondo que, mesmo que o bombeamento fosse cessado o nível estático ainda se comporta de maneira semelhante ao nível dinâmico, mantendo-se localmente rebaixado até o ambiente estabelecer o equilíbrio hídrico.

Comparando os mapas geológico, potenciométrico, hipsométrico e declividade se observa que depleções no potenciométrico coincidem com zonas de elevada altitude esculpidas sobre o CGCS. Nesse sentido, a diferença entre topografia e a potenciometria torna evidente os efeitos da extração de água, pois em condições normais a curvatura do nível potenciométrico acompanharia a geometria do terreno. Portanto, a inflexão do nível potenciométrica na borda leste do CGCS demonstra um impacto ao meio através da alteração do sentido local de fluxo. Ao coincidir com uma zona de alta declividade, tal localidade apresenta favorecimento ao escoamento superficial direto, em detrimento da infiltração de água que recarregaria o aquífero.

Por sua vez, localmente, as zonas de baixa declividade seja por elevada (CGCS) ou baixa (Formação Santa Bárbara) topografia funcionam como áreas de recarga para os aquíferos existentes na área de estudo. Desta maneira, nas zonas onde a infiltração é favorecida são verificados níveis potenciométricos mais elevados. Na conjectura hídrica atual não é possível relatar quem é o principal influente entre aquífero e escoamento superficial, entretanto é possível observar um domo potenciométrico na região centro-oeste do município impondo sentido de fluxo radial.

Em termos hidroquímicos as águas amostradas demonstram um reflexo do meio por onde percolam. Em consonância com o posto por Assunção (2016) nas águas subterrâneas, os solutos e suas concentrações apresentaram-se como consequência dos litotipos que compõem os sistemas aquíferos. Desta maneira, também refletem o tipo de alteração mineral, pelo qual as rochas foram submetidas. Por fim, concentração de solutos apresentam-se como resultados da taxa de fluxo de águas subterrâneas (transmissividade do meio) e da taxa de recarga do aquífero, conformando maiores concentrações de soluto em zonas de menor dissolução (menor recarga e taxa de transmissão).

Assim, verifica-se uma estreita relação entre a composição da água e das rochas no entorno da área de estudos. As águas amostradas, geralmente apresentam química próxima das litologias observadas, demonstrando estreita relação com mármore e metamargas do CMPF. Todavia, em detalhe, em termos das variáveis aniônicas (bicarbonato, cloro e sulfato), os valores apresentados, respectivamente, de 7,2, 7,24 mg/L para o cloro e 12,2 mg/L para o sulfato, apresentam-se abaixo dos valores máximos permitidos pela resolução do CONAMA n° 396/2008 (250 mgCl⁻/L e 250 mgSO₄⁻²/L). Porém mostram-se subordinados as concentrações de bicarbonato (161, 53,9 e 50,5 mg/L). De acordo com Roisenberg et al. (2008), ao tratar das águas

subterrâneas de Candiota, sulfato e cloretos em menor proporção podem estar relacionados ao pH da água. Nas condições de Candiota (Formação Rio Bonito), em pH mais baixo (pH=4,5), o percentual de bicarbonato é equivalente aos demais ânions. Com o incremento do pH, no entanto, o percentual de bicarbonato aumenta, principalmente no intervalo de valores entre 6,2 e 7,0. Esse comportamento observado é indicativo do controle de pH sobre o sistema carbonato-bicarbonato.

Desta maneira, uma vez verificadas em Caçapava do Sul o pH em torno de 7 sugere-se um controle da proporção aniônica favorecendo a presença de íons de bicarbonato. Com isso, é possível estabelecer um nexo de causalidade que determina que, a rocha carbonática favorece o pH e, por sua vez, o pH favorece a entrada em solução do bicarbonato. Assim, este fenômeno pode ser explicado pela dissolução do carbonato de cálcio, na forma de calcita, que reage com o ácido carbônico, presente na água meteórica, liberando os íons Ca^{+2} e HCO_3^- no meio. Reação esta que apresenta implicações na classificação destas águas, apresentando no diagrama de Piper (Figura 13) tendência para um comportamento bicarbonático cálcico. Portanto, no que se refere aos valores encontrados para o pH, todas as amostras apresentaram valores dentro do padrão permitido na Portaria GM/MS Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, que determina que o pH esteja entre 6 a 9,5. As amostras apresentam características ligeiramente alcalinas, com o pH próximo do neutro.

A alcalinidade não se trata de um parâmetro que indica potabilidade da água, porém a amostra P3 apresentou um valor de alcalinidade alto (453 mg CaCO_3/L). Segundo Oliveira (2021) valores altos de alcalinidade podem causar problemas em águas que são utilizadas para o abastecimento industrial, pois geralmente possuem a tendência de entupir e corroer tubulações.

Em relação ao oxigênio dissolvido, águas com concentrações próximas de zero podem indicar seu consumo em função da degradação da matéria orgânica (demanda química ou bioquímica de oxigênio). A decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água (TARTARI et al., 2014). Águas subterrâneas podem apresentar teores baixos de oxigênio mesmo que não tenham entrado em contato com bactérias heterotróficas. Analogamente, tratando de águas superficiais, de acordo com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA valores mínimos de oxigênio dissolvido para preservação da vida aquática flutua em torno de 5 mg/L. Valores abaixo deste limite, dificultam a manutenção da vida e o equilíbrio do ecossistema. Entre as amostras de

água, uma delas apresentou valor de 3,3 mg/L de OD, indicando que há consumo deste oxigênio, talvez para a degradação de matéria orgânica. Isto pode ser um indicativo de contaminação do meio.

Quanto ao sódio os valores 11,6, 10,2, 2,77 mg/L demonstram variabilidade nas concentrações deste elemento, indicando dependência espacial. Os valores 11,6 e 10,2 são relativos a amostras coletas. Litologicamente, as amostras que apresentam uma maior concentração de sódio foram tomadas numa região mais próxima do CGCS. Segundo Lopes (2012) não é proeminente a presença de minerais sódicos nas rochas que constituem o CMPF, portanto, supõem-se que a fonte destas concentrações potássio se encontre, principalmente, em plagioclásio e feldspatos presentes no CGCS.

O potássio apresenta concentrações de 1,87, 1,54, 7,48 mg/L, assim ocorre, praticamente, em inversa proporcionalidade em relação ao sódio. Este elemento ocorre em pequenas quantidades ou se encontra ausente em águas subterrâneas, em geral possui teores menores 10 mg/L. Isto ocorre, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, facilidade de adsorção pelos minerais de argila e de seus sais serem amplamente utilizados pelos vegetais (FEITOSA et al., 2008).

Com relação aos sais de cálcio, são verificados valores de 60,1, 19,3, 108 mg/L, sendo percebida uma direta correlação entre uma mais elevada concentração deste elemento e sua ocorrência no domínio de litologias carbonáticas. Assim, observa-se que o mármore está cedendo íons de cálcio em maior proporção do que outras litologias. Sais de cálcio possuem moderada a alta solubilidade, precipitando como carbonato de cálcio, na qual sua solubilidade aumenta em presença de íons de sódio e potássio. Os teores de cálcio em águas subterrâneas variam, em geral, entre 10 e 100 mg/L. O elemento ocorre, em rochas de origem calcárias na forma de calcita, aragonita e dolomita, em origem ígnea sua fonte se encontra em plagioclásios e apatitas (FEITOSA et al., 2008). Como na área de estudo, verifica-se rochas metamórfica de origem carbonática da CMPF (mármore e metamargas), presume-se que a origem destes íons esteja relacionada a dissolução de calcitas e dolomitas.

Por sua vez, o magnésio apresenta propriedades similares ao cálcio, todavia, sendo mais solúvel e de difícil precipitação. Em águas subterrâneas os teores variam de 1 a 40 mg/L e se encontra associado a rochas carbonatadas. As amostras P1 e P2 se encontram dentro do intervalo de variabilidade do cálcio e do magnésio, apesar da amostra P3 apresentar valores ligeiramente fora deste padrão para o cálcio e

magnésio, 108 e 45,3 mg/L, respectivamente.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que o sentido do fluxo subterrâneo ocorre em direção aos pontos amostrados, fato este que decorre da presença de cones de rebaixamento do nível potenciométrico que localmente, devido a extração de água, chegam a produzir anomalias na superfície freática. Na conjectura hídrica atual não é possível relatar quem é o principal influente entre aquífero e escoamento superficial, entretanto é possível observar um domo potenciométrico na região centro-oeste do município impondo sentido de fluxo radial. Na borda noroeste deste domo ocorre uma depleção proeminente que promove uma inflexão em sua direção preferencial. A principal causa para esta inflexão é extração excessiva de água na região da área de estudos.

Em termos de padrões de qualidade de água, as amostras indicaram que nenhum parâmetro fora da normalidade prevista pelos órgãos gestores. Entretanto ressalva-se as concentrações moderadas a elevadas de bicarbonato e cálcio, dependentes do pH e da litologia atravessada, possivelmente conduzindo a dureza e a alcalinidade elevadas.

Assim, as águas amostradas apresentam uma tendência bicarbonata cálcica, reflexo dos íons com maior frequência nas análises. Por fim, a química subterrânea está diretamente associada com as rochas que a contém se mostrando um reflexo dos mármores e metamargas através dos quais percolam.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J. and Hackett, G. 1987 **DRASTIC: A Standardised System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings**. EPA/600/2-85/018, US Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma, 455 pp.

ALMEIDA, D.P.M.; Zeffass, H.; Basei, M.A.S.; Petry, K.; Gomes, C.H. (2002) **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, Brazil). *Gondwana Research*, v. 5 (3), pp. 721-733.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, 2005.

ANA—Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos No Brasil: Regiões hidrográficas Brasileiras. Edição Especial;** Agência Nacional de Águas, Ministério do Meio Ambiente: Brasília, Brasil, 2015; 162p, ISBN 978-85-8210-027-1.

ASSUNÇÃO, Aryane Leonídio do Carmo. **Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas do sistema aquífero dunas-barreira na região de Parnamirim, RN.** 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

BAIMA, Cesar. **Brasil tem cerca de 12% das reservas mundiais de água doce do planeta.** 2010. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/brasil-tem-cerca-de-12-das-reservas-mundiais-de-a.2019-03-15.1088913117>. Acesso em: 25 ago. 2021.

BAIRD, Rodger B.; EATON, Andrew D.; RICE, Eugene W. (ed.). **Standard Methods:** for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washinton: American Public Health Association, 2017. 1545 p.

BARROS, C. G. D. *et al.* **Superfície Potenciométrica e Possíveis Fontes de Contaminação do Aquífero Parecis no Município de Vilhena – RO, BR.** Revista de Monografias Ambientais – REMOA, v. 15, n. 1, p. 74-84, jan-abr, 2016.

BITENCOURT, M.F. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Geologia e relações com o corpo granítico.** Simp. Sul-Bras. Geologia, I, P. Alegre,p. 37-48. 1983.

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, André Weissheimer de. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã”** (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. 2006. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Ufrgs, Porto Alegre, 2006.

BORBA, A.W. (2001) **Formação Santa Bárbara (Eo-paleozóico da região de Caçapava do Sul):** uma nova visão através de técnicas estratigráficas e geocronológicas. Dissertação de Mestrado, inédita, Universidade Federal do Rio

Grande do Sul, 131 p.

BORBA, A.W.; Maraschin, A.J.; Mizusaki, A.M.P. (2004) **Stratigraphic analysis and depositional evolution of the Neoproterozoic Maricá Formation (southern Brazil):** constraints from field data and sandstone petrography. *Gondwana Research*, v. 7(3), pp. 871-886.

BORBA, A.W.; Mizusaki, A.M.P. (2002) **Significado tectônico dos depósitos de leques aluviais da Formação Santa Bárbara (Eo-paleozóico) na região de Caçapava do Sul (RS, Brasil).** *Pesquisas em Geociências*, v. 29 (1), pp. 31-41.

BORBA, A.W.; Mizusaki, A.M.P. (2003) **Santa Bárbara Formation (Caçapava do Sul, southern Brazil):** depositional sequences and evolution of an Early Paleozoic post- collisional basin. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16 (5), pp. 365-380.

BRASIL. Portaria n° 36/GM de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e o padrão de Potabilidade da Água destinada ao consumo humano. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 23 jan. 1990.

BRASIL. Portaria MS n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 27 jan. 2012.

BRASIL. *Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 Conselho Nacional de Meio Ambiente.* Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 8 out. 2010.

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.

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

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

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. RESOLUÇÃO 396 de 3 de abril de 2008. **Classes das águas subterrâneas.** Publicada no DOU n° 066, p. 64-68, 07/04/2008.

COUTO, José Luiz Viana de. (2004) **Riscos de acidentes na zona rural**. UFRRJ. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/alc.htm>. Acesso em: 16 nov. 2020.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Ediciones òmega, 1983. v. 1, 845 p.

DEMÉTRIO, J. G. A.; CORREIA, L. C.; SARAIVA, A. L. **Utilização de imagens SRTM na Confecção de Mapas Potenciométricos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006. *Anais*. São Paulo, 2006.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 226 p. Disponível em: http://professor.ufop.br/sites/default/files/roberthfagundes/files/fundamentos_de_limnologia_-_francisco_de_assis_esteves.pdf. Acesso em: 16 nov.2020.

FETTER, C.W. (1994) **Applied hydrogeology**. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall, p. 592.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro. CPRM. LABHID. 2008. 812p.

FILGUEIRAS, Conceição Maria. **CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ILHA DE BOIPEBA LITORAL DA BAHIA BRASIL**. 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2016.

GONÇALVES, Válter Galdiano; GIAMPA, Carlos Eduardo Quaglia. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. IV, Sept. 2009. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000300002&lng=en&nrm=iso>. access on 24 Nov. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522009000300002>.

GOÑI, j.c.; Goso, H.; Issler, R.S. **Estratigrafia e geologia econômica do pré-Cambriano e Eopaleozóico Uruguaio e Sul-rio-grandense**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 16, 1962, pp. 5-33.

HEM, John D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. 3. ed. Universidade da Califórnia: Department Of The Interior, U.s. Geological Survey, 1985. 263 p.

HIRATA, RICARDO CESAR AOKI; SUHOGUSOFF, Alexandra Vieira;

MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. 1 ed. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019. v. 1. 64p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em 17/10/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, **Perfil do Municípios brasileiros**, 2017. Censo Agropecuário. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censoagropecuario.html?=&t=downloads>. Acesso em 24/11/2020.

IRITANI, M. A. e EZAKI, S. - **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Cadernos e Educação Ambiental**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2008.104p.

JACKSON, julia. (2005) **Glossary of Geology** by J. A. Jackson. 2005 Approx. 900 p. 5th revised and enlarged ed. ISBN 3-540-27951-2. Berlin: Springer, 2005.

JUNGES, Karine Gomes. **ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE ATIVIDADE MINEIRA NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Unipampa, Caçapava do Sul, 2016.

KRESIC, N. **Hydrogeology and Groundwater Modeling**. 2 ed. Flórida: CRC Press, 2006. 828 p.

LATIMER JUNIOR, George W. (ed.). **Official Methods of Analysis: of aoac international**. 20. ed. Maryland: Aoac International, 2016. 3172 p.

LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J.; CHEMALE Jr., F. **SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil**. International Geology Review, v. 40: p. 688-705, 1998.

LIMA, e.f.; Nardi, L.V.S. (1998) **O vulcanismo shoshonítico e alcalino da Bacia do Camaquã: Estado do Rio Grande do Sul — Brasil**. In: II Congreso Uruguayo de Geología, 263-268.

LOPES, Carina Graciniana. **Proveniência das rochas metassedimentares detríticas do complexo passo feio - terreno São Gabriel, Caçapava do Sul - RS**. 2012. 78 f. Monografia - Curso de Geologia, Instituto de Geociências,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MENEZES, Juliana Magalhães; SILVA JUNIOR, Gerson Cardoso da; SANTOS, Rodrigo Tavares dos. **HIDROGEOQUÍMICA DE AQÜÍFEROS FRATURADOS**: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio são domingos, noroeste do estado do rio de janeiro. *Águas Subterrâneas*, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 75-90, 15 nov. 2008. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v22i1.8614>.

Ministério da Saúde. Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 139, n. 1-E, 2 jan. 2001, Seção 1, p. 19-23. Republicada no DO, v. 139, n. 38-E, 22 fev. 2001. Seção 1, p. 39.

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.

OYHANTÇABAL, P.; SIEGESMUND, S.; WEMMER, K. **The Rio de la Plata Craton, a review of units, boundaries, ages and isotopic signature**. *International Journal of Earth Sciences*, v.100: p. 201-220, 2011.

OLIVEIRA, Aline Maxiline Pereira. **Alcalinidade e Dureza das Águas**. Disponível em: <https://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/alcalinidade-e-dureza-das-aguas/>. Acesso em: 12 set. 2021.

PÁDUA, H. B. **Águas com dureza e alcalinidade elevada**: observações iniciais na Região de Bonito/MS.Br. registro de dados - 2001/2 - alguns conceitos e comportamentos ambientais (parte 01). [S.l.: s.n.], 2002. 64 p. Disponível em: <www.abrappesq.com.br/apostila_helcias.doc>. Acesso em: 24/11/2020.

PAIM, p.s.g. (1994) **Depositional systems and palaeogeographical evolution of the Camaquã and Santa Bárbara basins, Brazil**. PhD. Thesis, University of Oxford, 277 p.

PAIM, P.S.G. 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.

PHILIPP, R. P.; BOM, F. M.; PIMENTEL, M. M.; JUNGES, S. L.; ZVIRTES, G. **SHRIMP U-Pb age and high temperature conditions of the collisional metamorphism in the Várzea do Capivarita Complex**: implications for the origin of

Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.66:p. 196-207, 2016b.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JR, F. **Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil**: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, p. 83-104, 2016a.

RAPELA, C. W.; FANNING, C. M.; CASQUET, C.; PANKHURST, R. J.; SPALLETTI, L.; POIRÉ, D.; BALDO, E. G. **The Rio de la Plata craton and the adjoining Pan- African/brasiliano terranes**: Their origins and incorporation into south- west Gondwana. *Gondwana Research*, v. 20: p. 673-690, 2011.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Águas subterrâneas nas grandes metrópoles: água subterrânea no novo modelo do saneamento básico**, 1996.

REMUS, M. V. D.; MCNAUGHTON, N. J.; HARTMANN, L. A.; KOPPE, J. C.; FLETCHER, I. R.; GROVES, D. I.; PINTO, V. M. **Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca volcanic arc of southernmost Brazil, isotopic constraints on timing and sources**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 12: p. 349-366, 1999a.

RIBEIRO, m.; Bocchi, P.R.; Figueiredo Fo., P.M.; Tessari, R.I. (1966) **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, RS**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 232 pp. (Boletim 127).

ROBERTSON, j.f. (1966) **Revision of the stratigraphy and nomenclature of rock units in the Caçapava-Lavras region, State of Rio Grande do Sul, Brazil**. *Notas e Estudos - IG/UFRGS*, v. 1 (2), pp. 41-54.

ROISENBERG, Cláudio; FORMOSO, Milton Luiz Laquintinie; DANI, Norberto; LOUBET Michel; POZOCCO Ezequiel. **Caracterização e evolução geoquímica das águas subterrâneas da mina de Candiota (RS), Brasil**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, SP, v. 38 n. 4, p 618-628, dez. 2008.

SANTANA, João Pedro de Jesus. **MAGMATISMO PÓS-COLISIONAL NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL, RS: PETROLOGIA DO GRANITO SANTO FERREIRA**. 2019. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Unipampa, Caçapava do Sul, 2019.

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.

SCHERER, c.m.s.; Paim, P.S.G.; Melo, M.A. (2003) **Estratigrafia de alta resolução em sucessões flúvio-eólicas**: o exemplo do Alogrupo Guaritas (Bacia do

Camaquã) na localidade da Pedra Pintada, Rio Grande do Sul, Brasil. I Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias. Porto Alegre, Anais, pp. 99-104.

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

SILVA, A.B, Tese de Doutorado - **Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais**. São Paulo, 1984, 180p.

SOUZA, José Mendo Mizael de; MENTE, Albert. **ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO PAÍS**. Recife: Ministério de Minas e Energia - MME, 2009. 111 p. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448399/P07_RT15_Analise_das_Informacoes_sobre_Recurso_Hidricos_Subterraneos.pdf/7d943b35-cde1-d984-80ba-cdf12aecff79?version=1.0. Acesso em: 08 set. 2021.

TARTARI, R.; NASCIMENTO, I. L.; FROZZI, J. C.; NASCIMENTO, L. J. L. N.; FIGUEIREDO, M. C.; FABIANO, M. (2014). **Avaliação da qualidade físico-química da água em uma escola localizada ao sul do Amazonas: proposta de ensino e conscientização ambiental**. *Revista EDUCamazônia*. v. 12. n. 1. P. 127-146.

TUBBS FILHO, Decio. **CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO LITORÂNEA DO MUNICÍPIO DE NITERÓI, ESTADO DO RIO DE JANEIRO**. 1994. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 1994.

UNESCO. GroundWater. **Environment and Development Briefs**. 1992.