

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

SOFIA DALMAZ QUILLFELDT

ANÁLISE HIDROQUÍMICA, DA QUALIDADE E DA OCORRÊNCIA DE ARSÊNIO
NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL (RS)

PORTO ALEGRE
2022

SOFIA DALMAZ QUILLFELDT

ANÁLISE HIDROQUÍMICA, DA QUALIDADE E DA OCORRÊNCIA DE ARSÊNIO
NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL (RS)

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato
Supervisor: Geólogo Gabriel Drago

PORTO ALEGRE

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Quillfeldt, Sofia Dalmaz
ANÁLISE HIDROQUÍMICA, DA QUALIDADE E DA OCORRÊNCIA
DE ARSÊNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE SÃO
PEDRO DO SUL (RS) / Sofia Dalmaz Quillfeldt. -- 2022.
159 f.
Orientador: Pedro Antonio Reginato Roehe.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2022.

1. Hidrogeologia. 2. Contaminação. 3. Sistema
Aquífero Guarani. 4. Águas subterrâneas. 5. Arsênio.
I. Roehe, Pedro Antonio Reginato, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **ANÁLISE HIDROQUÍMICA, DA QUALIDADE E DA OCORRÊNCIA DE ARSÊNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL (RS)**, elaborado por Sofia Dalmaz Quillfeldt, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Franciéle Schwanck Carlos

Prof. Dr. Antonio Pedro Viero

Prof. Dr. Alfonso Risso

Aos meus pais, Carla e Jorge.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é o resultado de, além do meu trabalho e esforço, do trabalho, ajuda, dedicação, carinho e amor de muitas pessoas. Ele contém, portanto, o toque de diversas mãos.

Primeiramente, o toque carinhoso e dedicado dos meus pais, Carla e Jorge, a quem eu devo tudo que tenho e sou.

Dos meus avós, Gema, Henrique (in memoriam), Olga (in memoriam) e Remi, que são a forma física do amor na minha vida.

Da minha irmã, Camila, que com muitos abraços e brigas me moldou com muitos ensinamentos, me tornando uma pessoa cada vez melhor.

Do meu parceiro, amigo e amor, Leonardo, que caminha ao meu lado todos os dias construindo um futuro juntos.

Da minha amiga, Tami, que me acompanhou durante toda a vida sempre me dando o apoio e colo que precisei.

Do Professor Pedro Reginato, que me orientou com extrema paciência e carinho, me acompanhando na rota final da graduação e contribuindo imensamente à minha formação.

Da Secretária de Agricultura, Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente, Regina, e do geólogo, Victor, da Prefeitura Municipal de São Pedro do Sul, que contribuíram com esse trabalho visando a saúde da população do seu município.

Do colega, Gabriel Drago, que levantou o problema, dando propósito ao meu trabalho de conclusão de curso.

Da CORSAN, através do geólogo Maiquel Kochhann Lunkes, que disponibilizou os dados necessários para a realização desse estudo.

E, por fim, mas claramente não menos importante, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que tornou possível a minha formação, sendo uma universidade pública, gratuita e de qualidade impecável.

“Eau, tu n'as ni goût, ni couleur, ni arôme, on ne peut pas te définir, on te goûte sans te connaître. Tu n'es pas nécessaire à la vie: tu es la vie. Tu nous pénètres d'un plaisir qui ne s'explique point par les sens. Avec toi rentrent en nous tous les pouvoirs auxquels nous avons renoncé. Par ta grâce s'ouvrent en nous toutes les sources tarées de notre cœur.

Tu es la plus grande richesse qui soit au monde, et tu es aussi la plus délicate, toi si pure au ventre de la terre. Tu n'acceptes point de mélanges, tu ne supportes point d'altération, tu es une ombrageuse divinité...

Mais tu répands en nous un bonheur, infiniment simple.”

Antoine de Saint-Exupéry, Terre des hommes.

RESUMO

No estado do Rio Grande do Sul, 59% dos municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, como é o caso de São Pedro do Sul, localizado no centro-oeste do estado, onde foram identificados teores do semimetal arsênio acima do Valor Máximo Permitido pela legislação vigente. O presente trabalho caracterizou a geologia e a hidrogeologia da área de estudo, assim como a hidroquímica, qualidade das águas subterrâneas e a ocorrência de arsênio na região. Os resultados indicaram que as águas subterrâneas do município estão associadas a dois sistemas aquíferos: Guarani (SAG) e Serra Geral (SASG). Os poços do SASG apresentam uma média de 114 m de profundidade, 10,57 m³/h de vazão e 20,44 m de profundidade dos níveis estáticos. As águas subterrâneas pertencentes ao SASG são predominantemente Bicarbonatadas Cálcicas, com pH preponderantemente neutro, sendo que não foram identificados parâmetros acima dos valores máximos permitidos (VMP). O SAG é constituído pelas unidades hidroestratigráfica Santa Maria, Sanga do Cabral, Caturrita e Botucatu na área de estudo, apresentando poços com profundidades médias de 87,34 m, vazões médias de 24,48 m³/h e níveis estáticos médios de 28,53 m. As águas subterrâneas pertencentes ao SAG também são predominantemente Bicarbonatadas Cálcicas com pH preponderantemente neutro. Foi observado que todos os parâmetros analisados se enquadram dentro do VMP estabelecido para as águas do Sistema Aquífero Guarani, *com exceção de arsênio, alumínio e ferro*. Foram identificados também outros poços localizados em municípios dos arredores com distintos teores de arsênio, sendo possível classificá-los em dois grupos distintos: o primeiro grupo com altitudes de entrada de água menores, apresentou teores de arsênio mais elevados, e o segundo, com altitudes de entrada de água maiores, apresentou teores mais baixos. É possível que os dois grupos pertençam a camadas aquíferas distintas, contendo estruturas que liguem as duas camadas devido a diferença de altitude das camadas aquíferas, ou a uma única camada aquífera, que pode ter sido basculada. A proximidade dos poços com lineamentos que possuem a mesma orientação do Sistema de Falhas Jaguari-Mata (orientação NW-SE) e a ausência de arsênio em um poço escavado na região corroboram a hipótese de que a compartimentação hidroestratigráfica do SAG pela conhecida falha de Jaguari-Mata, pode ter levado à mistura de águas de aquíferos sotopostos, podendo ser responsável pelo aumento da concentração detectada de arsênio nas águas subterrâneas. Recomenda-se a realização de mais estudos a respeito da presença de arsênio e outros elementos nas águas subterrâneas do SAG no município de São Pedro do Sul.

Palavras-Chave: Hidrogeologia; Água Subterrânea; Sistema Aquífero Guarani; Sistema Aquífero Serra Geral; Contaminação; Arsênio.

ABSTRACT

In the state of Rio Grande do Sul, 59% of the cities are supplied exclusively by these waters, as is the case of São Pedro do Sul, located in the center-west Rio Grande do Sul, where were found levels of the semimetal arsenic above the Maximum Allowed Value according to the current legislation (BRAZIL, 2021). This study characterized the geology and hydrogeology of the area under study, as well as the hydrochemistry, groundwater quality and the occurrence of arsenic in the region. The results indicated that the groundwater of the São Pedro do Sul is associated to two Aquifer Systems: Guarani (GAS) and Serra Geral (SGAS). The SGAS wells have an average depth of 114 meters, 10.57 m³/h of flow and 20.44 meters of static levels depth. The groundwater associated to the SGAS is predominantly calcium bicarbonated, usually with a close to neutral pH. No parameters were identified above the maximum allowed value established for the water of this Aquifer System. The GAS comprises the Santa Maria, Sanga do Cabral, Caturrita and Botucatu hydrostratigraphic units in the area under study, with wells with an average of 87.34 meters in depth, 24.48 m³/h of flow, average depth of static levels of 28.53 meters and filters with an average thickness of 8.46 meters. The groundwater associated to the GAS is also predominantly calcium bicarbonate, usually with pH close to neutral. It was observed that the parameters analyzed are within the maximum allowed value established for the waters of the Guarani Aquifer System, *with the exception of arsenic, aluminum and iron*. Other wells located in surrounding areas with different arsenic levels were also identified, making it possible to classify them into two distinct groups: the first group with lower water inlet altitudes, which presented higher arsenic levels, and the second group, with altitudes of higher water inlet, which presented lower levels. It is possible that the two groups belong to distinct aquifer layers, containing structures that connect both layers due to the difference in altitude of the aquifer layers, or to a single aquifer layer, which may have been tilted. The proximity of the wells with lineament with the same orientation of the Jaguari-Mata Faults System (NW-SE orientation) and the absence of arsenic in an excavated well in the region corroborate the hypothesis that the hydrostratigraphic compartmentalization of the GAS by the well-known Jaguari-Mata fault, may have led to the mixing of water from underlying aquifers, which could be responsible for increasing the concentration of arsenic detected in groundwater. It is recommended to carry out further studies regarding the presence of arsenic and other elements in the groundwater of the GAS in the area of São Pedro do Sul.

Key words: Hydrogeology; Groundwater; Guarani Aquifer System; Serra Geral Aquifer System; Contamination; Arsenic.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de elaboração própria de localização do município de São Pedro do Sul, RS, Brasil, malha digital IBGE (2018)..... | 24 |
| Figura 2. Mapa de localização da Bacia do Paraná no Brasil (MORELATTO, 2017)..... | 26 |
| Figura 3. Mapa Geológico do Município de São Pedro do Sul, elaboração própria. Malha Digital IBGE (2018) e CPRM (2008)..... | 28 |
| Figura 4. Mapa hidrogeológico do Município de São Pedro do Sul, RS. | 30 |
| Figura 5. Mapa esquemático hidrogeológico do Sistema Aquífero Guarani, editado de (FOSTER et al., 2009)..... | 31 |
| Figura 6. Diagrama parcial de Piper classificando as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (BONOTTO, 2006). | 36 |
| Figura 7. Diagrama de Piper classificando as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (REGINATO, 2003). | 38 |
| Figura 8. Enfermidades causadas pela ingestão de arsênio por humanos e animais (traduzido de LENA et al., 2014 em SHANKAR et al., 2014). | 42 |
| Figura 9. Análise de amostra de água em campo utilizando a sonda multiparâmetros modelo Eutech PCTestr 35..... | 45 |
| Figura 10. Coleta de amostra de água de poço cacimba para posterior análise química em laboratório. | 46 |
| Figura 11. Coleta de amostra de água para posterior análise química em laboratório. | 46 |
| Figura 12. Armazenamento das amostras em isopor com gelo..... | 47 |
| Figura 13. Banco de dados de poços encontrados no SIAGAS exportados para o software Microsoft Excel..... | 48 |
| Figura 14. Exemplos de perfis construtivos e litológicos de poços utilizados na caracterização hidrogeológica do município. | 50 |
| Figura 15. Mapa de localização dos pontos de captação cadastrados, identificados por seus respectivos usos da água. Elaboração própria. | 55 |
| Figura 16. Distribuição das diferentes naturezas dos poços cadastrados no banco de dados..... | 55 |
| Figura 17. Poços tubulares no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora. | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 18. Sistema isolado de abastecimento de São Pedro do Sul. Modificado de Atlas do Abastecimento (ANA, 2009). | 56 |
| Figura 19. Poço da CORSAN que capta água para abastecimento público urbano do município de São Pedro do Sul. Fotografia da autora..... | 57 |
| Figura 20. Sistema de desinfecção e fluoretação das águas da CORSAN no município de São Pedro do Sul. Fotografia da autora..... | 58 |
| Figura 21. Poços de pequeno diâmetro no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora. | 59 |
| Figura 22. Poços escavados no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora..... | 60 |
| Figura 23. Distribuição das unidades geológicas de acordo com os Sistemas Aquíferos de onde as águas subterrâneas são captadas. | 61 |
| Figura 24. Distribuição dos Usos da Água dos poços cadastrados no banco de dados. | 62 |
| Figura 25. Distribuição da Situação dos poços cadastrados no banco de dados. | 62 |
| Figura 26. Mapa Geológico do Município de São Pedro do Sul com os afloramentos visitados no trabalho de campo e localização do perfil longitudinal gerado (CPRM, 2008; IBGE, 2018)..... | 63 |
| Figura 27. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando disjunções colunares nas rochas basálticas da Formação Serra Geral no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora. | 65 |
| Figura 28. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando disjunções colunares nas rochas basálticas da Formação Serra Geral no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora. | 65 |
| Figura 29. Afloramento em paredão apresentando laminação plano-paralela e podendo-se ver o contato entre dois pacotes de arenito da Formação Botucatu (demarcação na cor amarela). Fotografia da autora. | 66 |
| Figura 30. Afloramento em paredão apresentando laminação plano-paralela e pinturas rupestres nos arenitos da Formação Botucatu. Fotografia da autora. | 67 |
| Figura 31. Detalhe de laminação plano-paralela em arenito da Formação Botucatu. Fotografia da autora. | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura 32. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando basculamento e laminação plano-paralela em arenito da Formação Botucatu. Fotografia da autora. | 68 |
| Figura 33. Afloramento em vala apresentando estratificação plano-paralela, cruzada e pacotes maciços sobrepostos em arenitos da Formação Caturrita. Fotografia da autora. | 69 |
| Figura 34. Afloramento em vala apresentando estratificação cruzada e plano-paralela em arenitos da Formação Caturrita. Fotografia da autora. | 69 |
| Figura 35. Detalhe em afloramento de corte de beira de estrada apresentando contato entre conglomerados arenito-suportados com seixos e fragmentos abundantes de troncos fossilizados da Formação Santa Maria e arenitos argilosos da Formação Sanga do Cabral (demarcado na cor amarela). Fotografia da autora. | 70 |
| Figura 36. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando contato entre conglomerados arenito-suportados com seixos e fragmentos abundantes de troncos fossilizados da Formação Santa Maria e arenitos argilosos da Formação Sanga do Cabral. Fotografia da autora. | 71 |
| Figura 37. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando contato entre conglomerados arenito-suportados com seixos e fragmentos abundantes de troncos fossilizados da Formação Santa Maria e arenitos argilosos da Formação Sanga do Cabral. Fotografia da autora. | 71 |
| Figura 38. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando laminação plano-paralela em arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora. | 73 |
| Figura 39. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando clastos de argilito em arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora. | 73 |
| Figura 40. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando lentes de pelito em meio à estrutura dos arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora. | 74 |
| Figura 41. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando níveis oxidados por óxidos de manganês em arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora. | 74 |
| Figura 42. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando tronco fossilizado em meio à rocha da Formação Santa Maria. Fotografia da autora. | 75 |
| Figura 43. Perfil Longitudinal A-A' | 77 |

| | |
|--|----|
| Figura 44. Mapa de lineamentos do município de São Pedro do Sul. A) Hillshade aplicado à imagem ALOS PALSAR utilizado como auxílio ao traçado dos lineamentos; B) Mapa de Lineamentos do Município de São Pedro do Sul. | 79 |
| Figura 45. Mapa de densidade de lineamentos do município de São Pedro do Sul. | 80 |
| Figura 46. Diagramas de Rosetas representando os lineamentos traçados. A) Diagrama de Rosetas com atribuição de pesos - método do comprimento (com intervalo padrão sugerido pelo AzimuthFinder), conferindo maior representatividade aos lineamentos mais extensos; e B) Diagrama de Rosetas pelo método da frequência, conferindo mesma representatividade aos lineamentos menores e maiores. | 80 |
| Figura 47. Mapa geológico e estrutural do município de São Pedro do Sul, RS. | 81 |
| Figura 48. Mapa Hidrogeológico de São Pedro do Sul evidenciando os poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. Malha Digital: CPRM (2006). Elaboração própria. | 85 |
| Figura 49. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de profundidade do Sistema Aquífero Guarani. | 86 |
| Figura 50. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de vazão do Sistema Aquífero Guarani. | 87 |
| Figura 51. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de capacidade específica do Sistema Aquífero Guarani. | 88 |
| Figura 52. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de nível estático do Sistema Aquífero Guarani. | 89 |
| Figura 53. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de nível estático do Sistema Aquífero Guarani. | 90 |
| Figura 54. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de espessura dos filtros do Sistema Aquífero Guarani. | 90 |
| Figura 55. Mapa geológico de São Pedro do Sul evidenciando os poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral. Malha Digital: CPRM (2006). Elaboração própria. | 92 |
| Figura 56. Número de poços por intervalo de pH das águas do Sistema Aquífero Guarani. | 95 |

| | |
|---|-----|
| Figura 57. Número de poços por intervalo de condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Guarani. | 97 |
| Figura 58. Diagrama de Piper para as águas do SAG no município de São Pedro do Sul. Os círculos vazados representam os poços em função das concentrações dos diversos íons em suas águas. | 100 |
| Figura 59. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff. | 102 |
| Figura 60. Perfil geológico e construtivo do poço JC639 – MUSEU MUNICIPAL, mostrando as quatro secções filtrantes presentes. Fonte: SIAGAS (2022). | 103 |
| Figura 61. Diagrama de Schoeller para as águas do SAG no município de São Pedro do Sul. | 104 |
| Figura 62. Diagrama USSL (Classificação das águas para Irrigação) para as águas do SAG no município de São Pedro do Sul. | 105 |
| Figura 63. Poços com parâmetros acima do VMP no município de São Pedro do Sul, RS. | 107 |
| Figura 64. Perfil geológico e construtivo do poço COR SPS 02 - NG 0261. Fonte: SIAGAS (2022). | 108 |
| Figura 65. Diagrama de Piper para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul. Os círculos vazados representam os poços em função das concentrações dos diversos íons em suas águas. | 112 |
| Figura 66. Diagrama de Stiff para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul. | 113 |
| Figura 67. Diagrama de Schoeller para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul. | 114 |
| Figura 68. Diagrama USSL (Qualidade das águas para Irrigação) para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul. | 115 |
| Figura 69. Mapa de pontos de coleta para análise de arsênio. | 118 |
| Figura 70. Mapa de localização dos poços com teores de arsênio no município de São Pedro do Sul, Mata, São Vicente do Sul, Cacequi e Dilermando de Aguiar. | 120 |
| Figura 71. Variação do teor de arsênio do poço MAT-03 no município de Mata. | 121 |
| Figura 72. Variação do teor de arsênio do poço DIL-05 no município de Dilermando de Aguiar. | 122 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73. Mapa de densidade de lineamentos do município de São Pedro do Sul com a localização dos poços Passo de Clara 01 e Passo de Clara 02..... | 124 |
| Figura 74. Série histórica de quantidade de arroz produzida no município de São Pedro do Sul (tonelada x anos). Fonte: IBGE (2020)..... | 126 |
| Figura 75. Série histórica de quantidade de arroz produzida no município de São Pedro do Sul (tonelada x anos). Fonte: IBGE (2020)..... | 127 |
| Figura 76. Imagem de satélite da região do poço Passo de Clara 01. | 128 |
| Figura 77. Foto do uso do solo nos arredores do poço Passo de Clara 01 mostrando área de criação de gado e de abelha. | 129 |
| Figura 78. Imagem de satélite da região do poço Passo de Clara 02. | 129 |
| Figura 79. Foto do uso do solo nos arredores do poço Passo de Clara 02 mostrando área de criação de gado cultivo de milho. | 130 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Contaminação global por arsênio em águas subterrâneas, tradução própria (NORDSTROM, 2002). | 41 |
| Tabela 2. Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde. Extraído de Portaria de Consolidação nº888, Anexo 11, Ministério da Saúde, Brasil (2021). | 52 |
| Tabela 3. Dados estatísticos da profundidade dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. | 86 |
| Tabela 4. Dados estatísticos da vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. | 87 |
| Tabela 5. Dados estatísticos da capacidade específica dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. | 88 |
| Tabela 6. Dados estatísticos do nível estático dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. | 89 |
| Tabela 7. Dados estatísticos da espessura dos filtros dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. | 91 |
| Tabela 8. Profundidade dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral. | 93 |
| Tabela 9. Vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral. | 93 |
| Tabela 10. Capacidade específica dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral. | 93 |
| Tabela 11. Nível estático dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral. | 94 |
| Tabela 12. Análise estatística para os valores de pH das águas do Sistema Aquífero Guarani. | 96 |
| Tabela 13. Associação do ponto de coleta de água do SAG que apresentam valores de pH acima de 7,5 e suas respectivas profundidades, o tipo de aquífero e a litologia presente na profundidade onde está instalado o(s) filtro(s). | 96 |
| Tabela 14. Análise estatística para os valores de condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Guarani. | 98 |
| Tabela 15. Associação do ponto de coleta de água do SAG que apresentam valores de condutividade elétrica abaixo e acima da média e suas respectivas | |

| | |
|--|-----|
| profundidades, o tipo de aquífero e a litologia presente na profundidade onde está instalado o(s) filtro(s)..... | 98 |
| Tabela 16. Concentração dos parâmetros utilizados para a geração do Diagrama de Piper em mg/L e a classificação das águas designada por ele. | 101 |
| Tabela 17. Avaliação da qualidade das águas do Sistema Aquífero Guarani a partir da comparação dos valores máximos encontrados com os valores máximos permitidos (VMPs) para cada parâmetro..... | 106 |
| Tabela 18. Valores encontrados para o parâmetro arsênio nos poços Passo de Clara 01, Passo de Clara 02 e Passo de Clara 03. | 107 |
| Tabela 19. pH das águas do Sistema Aquífero Serra Geral. | 109 |
| Tabela 20. Associação dos pontos de coleta de água do SASG que apresentam valores de pH acima de 7,5 e suas respectivas profundidades..... | 109 |
| Tabela 21. Condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral. | 110 |
| Tabela 22. Associação dos pontos de coleta de água do SASG que apresentam valores de condutividade elétrica abaixo e acima da média e suas respectivas profundidades..... | 110 |
| Tabela 23. Concentração dos parâmetros utilizados para a geração do Diagrama de Piper em mg/L e a classificação das águas designada por ele. | 112 |
| Tabela 24. Avaliação da qualidade das águas do Sistema Aquífero Guarani a partir da comparação dos valores máximos encontrados com os valores máximos permitidos (VMPs) para cada parâmetro..... | 116 |
| Tabela 25. Resultado das análises de arsênio para as seis amostras de água coletadas. | 118 |
| Tabela 26. Teores de arsênio dos poços situados em municípios vizinhos de São Pedro do Sul. | 120 |
| Tabela 27. Dados geológicos e construtivos dos poços que contêm arsênio no município de São Pedro do Sul e arredores..... | 122 |
| Tabela 28. Divisão de clusters de altitude de entrada de água, mostrando o teor máximo de arsênio registrado para cada poço..... | 123 |
| Tabela 29. Lavoura temporária cultivada no município de São Pedro do Sul (IBGE, 2020). | 125 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 30. Lavoura permanente cultivada no município de São Pedro do Sul (IBGE, 2020). | 126 |
| Tabela 31. Principais defensivos agrícolas utilizados na produção de arroz e soja e suas respectivas composições químicas. | 131 |

LISTA DE ABREVIATURAS

CE – Condutividade Elétrica.

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento.

CPRM - Serviço Geológico Brasileiro.

DRH/SEMA - Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Rio Grande do Sul.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

LAPAM - Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais da Universidade de Caxias do Sul

SASG - Sistema Aquífero Serra Geral.

SAG - Sistema Aquífero Guarani.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.

SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico Brasileiro.

SIOUT-RS - Sistema de Outorga de Águas do Estado do Rio Grande do Sul.

STD – Sólidos Totais Dissolvidos.

VMP - Valor Máximo Permitido.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 22 |
| 1.1 | Delineamento da Hipótese | 23 |
| 1.2 | Localização | 24 |
| 1.3 | Objetivos | 25 |
| 2 | ESTADO DA ARTE | 26 |
| 2.1 | Contexto Geológico..... | 26 |
| 2.2 | Contexto Hidrogeológico | 28 |
| 2.2.1 | Sistema Aquífero Guarani | 30 |
| 2.2.2 | Sistema Aquífero Serra Geral..... | 34 |
| 2.3 | Contexto Hidroquímico e Qualidade da Água Subterrânea..... | 34 |
| 2.3.1 | Hidroquímica Do Sistema Aquífero Guarani..... | 36 |
| 2.3.2 | Hidroquímica Do Sistema Aquífero Serra Geral | 37 |
| 2.4 | Ocorrência de Arsênio nas Águas Subterrâneas | 39 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 44 |
| 3.1 | Levantamento de Dados Existentes..... | 44 |
| 3.2 | Trabalho de Campo..... | 44 |
| 3.3 | Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação..... | 47 |
| 3.4 | Caracterização Geológica | 49 |
| 3.5 | Caracterização Hidrogeológica | 50 |
| 3.6 | Avaliação Hidroquímica e da Qualidade da Água | 51 |
| 3.7 | Avaliação da Ocorrência de Arsênio | 53 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 54 |
| 4.1 | Recursos Hídricos Subterrâneos no Município | 54 |
| 4.2 | Caracterização Geológica da Área de Estudo | 63 |
| 4.2.1 | Unidades Geológicas..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1.1 Formação Serra Geral | 64 |
| 4.2.1.2 Formação Botucatu | 66 |
| 4.2.1.3 Formação Caturrita | 68 |
| 4.2.1.4 Formação Sanga do Cabral | 70 |
| 4.2.1.5 Formação Santa Maria..... | 72 |
| 4.2.1.6 Depósitos Aluvionares | 75 |
| 4.2.2 Análise de perfis e correlação longitudinal | 75 |
| 4.2.3 Análise dos Lineamentos..... | 78 |
| 4.2.4 Estruturas Regionais | 81 |
| 4.3 Caracterização Hidrogeológica | 83 |
| 4.3.1 Sistema Aquífero Guarani | 83 |
| 4.3.2 Sistema Aquífero Serra Geral..... | 91 |
| 4.4 Avaliação Hidroquímica e da Qualidade da Água Subterrânea | 95 |
| 4.4.1 Hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Guarani | 95 |
| 4.4.2 Hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral | 108 |
| 4.5 Avaliação da Ocorrência de Arsênio | 117 |
| 4.5.1 Análises de arsênio em águas subterrâneas do município de São Pedro do Sul | 117 |
| 4.5.2 Poços com teores de arsênio no município de São Pedro do Sul e arredores..... | 119 |
| 4.5.3 Mistura de Águas no Sistema Aquífero Guarani..... | 123 |
| 4.5.4 Uso e Ocupação do Solo..... | 125 |
| 4.5.5 Defensivos agrícolas e o arsênio..... | 130 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 134 |
| REFERÊNCIAS | 137 |
| APÊNDICES..... | 143 |
| ANEXOS..... | 153 |

1 INTRODUÇÃO

O primeiro recurso a ser procurado na exploração de vida em outros planetas é a água: indicador e fonte de vida. A água é essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos. Ela está amplamente presente no uso doméstico, assim como no setor industrial e na agricultura. Sem a água a vida na Terra não seria possível. Assim como a falta desse recurso precioso é uma ameaça, a poluição da água subterrânea deveria ser de maior preocupação para a população, dado que no Brasil, mais de 60% da população é abastecida por águas subterrâneas (IBGE, 2010).

O uso da água subterrânea está aumentando cada vez mais, principalmente devido à grande contaminação das águas superficiais. Originadas em grande parte da infiltração da precipitação no solo, as águas subterrâneas apresentam 29% do volume total de água doce no nosso planeta e atuam na recarga de lagos, rios e outros corpos aquosos. No Estado do Rio Grande do Sul, a água subterrânea abastece com exclusividade 59% dos municípios (286 municípios; ANA, 2021) e é amplamente utilizada na irrigação, no abastecimento humano, em fins industriais e entre outros.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um dos maiores aquíferos granulares do mundo, com uma área de 890.899 km² em territórios brasileiros. O aquífero apresenta-se como recurso hídrico para o Brasil, a Argentina, o Paraguai e o Uruguai, e é composto por águas classificadas predominantemente como bicarbonatadas cálcicas ou mistas em sua área aflorante e bicarbonatadas sódicas, localmente sulfatadas ou cloretadas sódicas, em sua área confinada (MACHADO, 2005).

Em diversos trabalhos, autores indicam a ocorrência de arsênio no Sistema Aquífero Guarani e no Sistema Aquífero Serra Geral (BUNDSCHUH et al., 2008; GASTMANS et al., 2010; SILVEIRA, 2019). No Rio Grande do Sul, o SAG supre inteiramente muitos municípios, dentre eles, o município de São Pedro do Sul, localizado no centro-oeste do Estado, onde há algumas evidências de ocorrência do elemento.

No município de São Pedro do Sul, foi suspenso o uso de um poço tubular na localidade de Passo de Clara, na porção noroeste do município, cuja água foi categorizada como imprópria para consumo devido ao alto teor de arsênio na mesma, sendo ele 0,026 mg/L (acima do dobro do valor máximo permitido estabelecido pela legislação).

Segundo Bundschuh et al. (2008), mais de quatro milhões de pessoas dependem de uma água que é contaminada por arsênio na América Latina. O semimetal pode ter origem natural ou antrópica. No caso de origem natural, ele pode originar-se por dissolução e intemperismo de rochas que contêm minerais com arsênio, como por exemplo, arsenopirita. No caso de origem antrópica, pode ocorrer por atividades de mineração ou agricultura (agrotóxicos que contêm arsênio).

O consumo de uma água de qualidade está diretamente ligado com a saúde da população e a contaminação por determinadas substâncias, como por exemplo o arsênio, pode causar grandes danos à saúde, como câncer, e outros tipos de patologias causadas por sua alta toxicidade (SHANKAR et al., 2014).

Este trabalho está sendo proposto devido à extrema importância da água subterrânea atualmente, em especial na área de estudo, que abastece sua população exclusivamente através de poços, além da necessidade de realização de estudos sobre a qualidade de água e ocorrência de arsênio no município de São Pedro do Sul, considerando os potenciais malefícios à saúde da população causados pela ingestão de elementos como este.

1.1 Delineamento da Hipótese

Neste cenário, considerando que o município de São Pedro do Sul utiliza águas subterrâneas originárias do Sistema Aquífero Guarani, um sistema que abrange um grande número de formações geológicas e grande variedade litológica, é possível que as camadas aquíferas que formam o SAG tenham influência na composição da água. Além disso, a presença de estruturas geológicas na região, como por exemplo, a conhecida falha de Jaguari-Mata, pode ter gerado a compartimentação do Sistema Aquífero, possivelmente levando à mistura de águas de aquíferos sotopostos, que podem ser responsáveis pelo

aumento da concentração de arsênio na água, bem como de outros elementos. O presente trabalho pretende testar a hipótese de que a compartimentação hidroestratigráfica e estrutural da área de estudo tem reflexo na composição e qualidade natural da água, bem como na ocorrência de arsênio.

1.2 Localização

A área de estudo se localiza no município de São Pedro do Sul, na região centro-oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29° 23' 48" e 29° 48' 35" Latitude Sul e 54° 03' 09" e 54° 23' 32" Latitude Oeste (Figura 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o município possui uma área de 873.734 km² e uma população de 16.148 habitantes. A principal atividade agrícola da região é a lavoura de arroz, mas a mandioca, a soja, o milho e o fumo também são importantes nesse setor (IBGE, 2010). A água subterrânea é usada na região para abastecimento múltiplo (43,5%), doméstico (2,5%), urbano (20,5%) e para a irrigação (2,5%; SIAGAS, 2021). Com acesso pela BR287, a área de estudo localiza-se a 358 km da capital Porto Alegre.



Figura 1. Mapa de elaboração própria de localização do município de São Pedro do Sul, RS, Brasil, malha digital IBGE (2018).

1.3 Objetivos

O presente projeto tem como objetivo geral analisar a composição hidroquímica, a qualidade da água e a ocorrência de arsênio nas águas subterrâneas do município de São Pedro do Sul/RS. Para a realização do objetivo proposto, especificam-se como metas:

- Avaliar a captação e usos da água subterrânea na área de estudo;
- Identificar e caracterizar o Sistema Aquífero Guarani e o Sistema Aquífero Serra Geral na região de estudo;
- Caracterizar a composição e a qualidade da água subterrânea do município;
- Avaliar a ocorrência de arsênio na água subterrânea.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Contexto Geológico

A Bacia do Paraná foi uma grande região de sedimentação no continente da América do Sul (Figura 2). Localizada a centro-leste do continente, possui sua área quase predominantemente no Brasil, com extensões desde o estado de Goiás até o estado do Rio Grande do Sul. Sua área de ocorrência atravessa as fronteiras brasileiras, também ocorrendo nos países Argentina, Uruguai e Paraguai. Formada durante o Paleozoico e o Mesozoico, com uma área aproximada de 1,5 milhão de quilômetros quadrados, a bacia engloba rochas sedimentares e ígneas de diversos grupos e formações, com uma espessura total máxima de sete mil metros (MILANI et al., 2007).

Nessa bacia, seis unidades alostratigráficas de segunda ordem ou supersequências foram estipuladas por Milani (1997): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

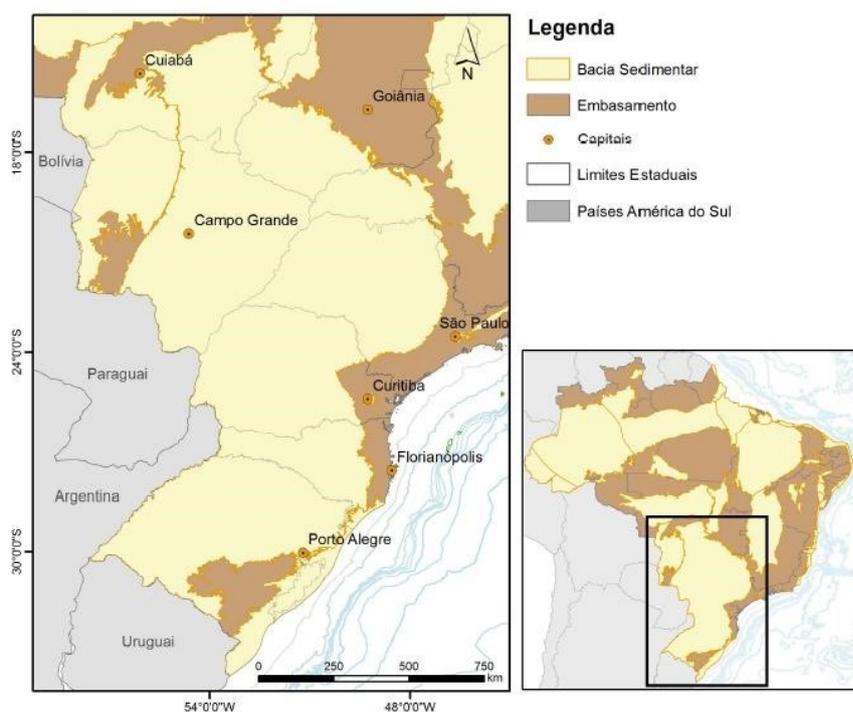


Figura 2. Mapa de localização da Bacia do Paraná no Brasil (MORELATTO, 2017).

A supersequência Gondwana III da Bacia do Paraná, depositada durante o período Neojurássico até o Eocretácio, é constituída em sua base pelos sedimentos eólicos da Formação Botucatu, sotopostos pelos basaltos da Formação Serra Geral, formando o Grupo São Bento (MILANI et al., 2007).

A Formação Botucatu é uma unidade aflorante na margem da Bacia do Paraná, composta por arenitos eólicos finos a médios, grãos bem arredondados e com alta esfericidade (CPRM, 2008), que possui depósitos correlativos no continente africano. A Formação foi gerada por um enorme campo de dunas correspondente ao antigo deserto Botucatu, apresentando estratificação cruzada tangencial de grande porte (SCHERER, 2000).

A morfologia das grandes dunas eólicas da Formação Botucatu foi preservada devido aos derrames ácidos e básicos que hoje formam a Formação Serra Geral (ALMEIDA, 1954 apud SCHERER, 2000).

Com até 2000 metros de espessura, a Formação Serra Geral é constituída de derrames predominantemente básicos com derrames ácidos subordinados. Também há intensa atividade intrusiva associada (REIS et al., 2014). Quanto às litologias, a Formação Serra Geral apresenta basalto andesitos, riolitos e riolitos de filiação toleítica, e é subdividida nas Fácies Jaguarão, Alegrete, Esmeralda, Paranapanema, Caxias, Chapecó, Gramado e Várzea do Cedro. No município de estudo aflora a Fácies Gramado, com derrames basálticos granulares finos a médios (CPRM, 2008).

Sobreposto pelo grupo São Bento, abrangendo o final da supersequência Gondwana I, a discordância Eotriássica e toda a supersequência Gondwana II, situa-se o Grupo Rosário do Sul (MILANI et al., 2007), com as Formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita (CPRM, 2008).

A Formação Sanga do Cabral é composta por siltito e raro argilito, depositada em ambiente fluvial entrelaçado com desembocadura em um sistema lacustrino raso, se apresenta em corpos tabulares ou lenticulares alongados (CPRM, 2008).

A Formação Santa Maria, de grande importância devido a ocorrência de fósseis de vertebrados (MENEZES, 2011), apresenta como litologia arenito e arenito conglomerático com pelitos subordinados e siltito argiloso maciço, e foi

formada em ambiente de canais fluviais, de planície de inundação e ambiente lacustre (CPRM, 2008).

A Formação Caturrita apresenta arenitos, conglomerados, siltitos arenoargilosos e folhelhos, e apresenta como sistema deposicional depósitos fluviais e deltas lacustres (CPRM, 2008). É muito conhecida devido aos troncos de coníferas fossilizados (MENEZES, 2011).

A geologia do município de São Pedro do Sul é constituída por rochas sedimentares e vulcânicas do Grupo São Bento, composto pelas Formações Serra Geral e Botucatu, e do Grupo Rosário do Sul, composto pelas Formações Caturrita, Sanga do Cabral e Santa Maria (CPRM, 2008), como pode ser observado na Figura 3.

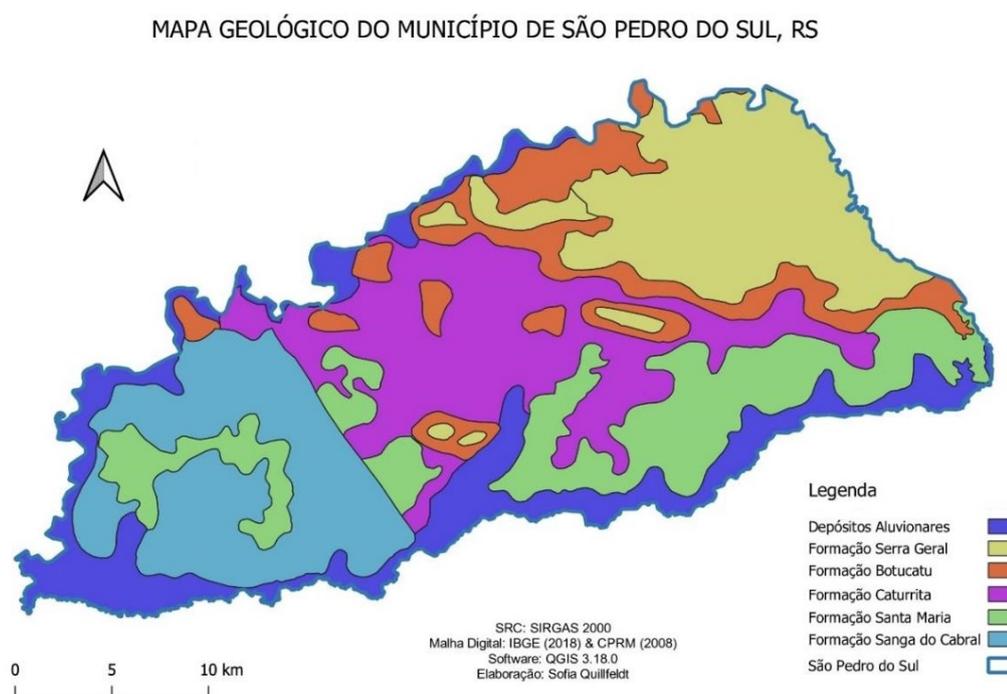


Figura 3. Mapa Geológico do Município de São Pedro do Sul, elaboração própria. Malha Digital IBGE (2018) e CPRM (2008).

2.2 Contexto Hidrogeológico

Os estudos da hidrogeologia do Rio Grande do Sul se iniciaram com o trabalho de Hausman (1960), chamado “Estudo das Possibilidades de Água Subterrânea no Rio Grande do Sul”, levando à publicação, em 1965, do primeiro mapa hidrogeológico sul-riograndense, intitulado “Esboço Hidrogeológico do Rio

Grande do Sul”, um marco na literatura hidrogeológica do estado (DE FREITAS et al., 2004).

Em seus trabalhos, Hausman dividiu o Estado do Rio Grande do Sul em cinco regiões de acordo com a sua hidrogeologia: Planalto Basáltico, Depressão Periférica, Planalto Cristalino, Planície Uruguaia e Planície Litorânea. A área de estudo, o município de São Pedro do Sul, situa-se sobre duas unidades hidrogeológicas descritas pelo autor: o Planalto Basáltico “Onde a água encontra-se de preferência nas zonas de maior diaclasamento” (HAUSMAN, 1960, p. 1, grifo do autor), e a Depressão Periférica “Onde a Rio Bonito e Botucatu apresentam condições boas para água, e as outras formações *gondwânicas* são, na maioria dos casos, negativas” (HAUSMAN, 1960, p. 1, grifo do autor).

Desde os trabalhos de Hausman, muitos autores se destacaram e contribuíram para importantes avanços no conhecimento da hidrogeologia do estado. Atualmente, deve-se ressaltar o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, na escala 1:750.000, feito pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). O objetivo deste trabalho foi fornecer informações para o gerenciamento de recursos hídricos, permitindo avaliar a potencialidade dos aquíferos, suas condições de recarga e aspectos de qualidade das águas subterrâneas do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).

No município de São Pedro do Sul, localizam-se o Sistema Aquífero Serra Geral e o Sistema Aquífero Guarani, englobando as Formações Botucatu, Santa Maria e Caturrita, como pode ser observado no mapa hidrogeológico do município (Figura 4).

MAPA HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL, RS

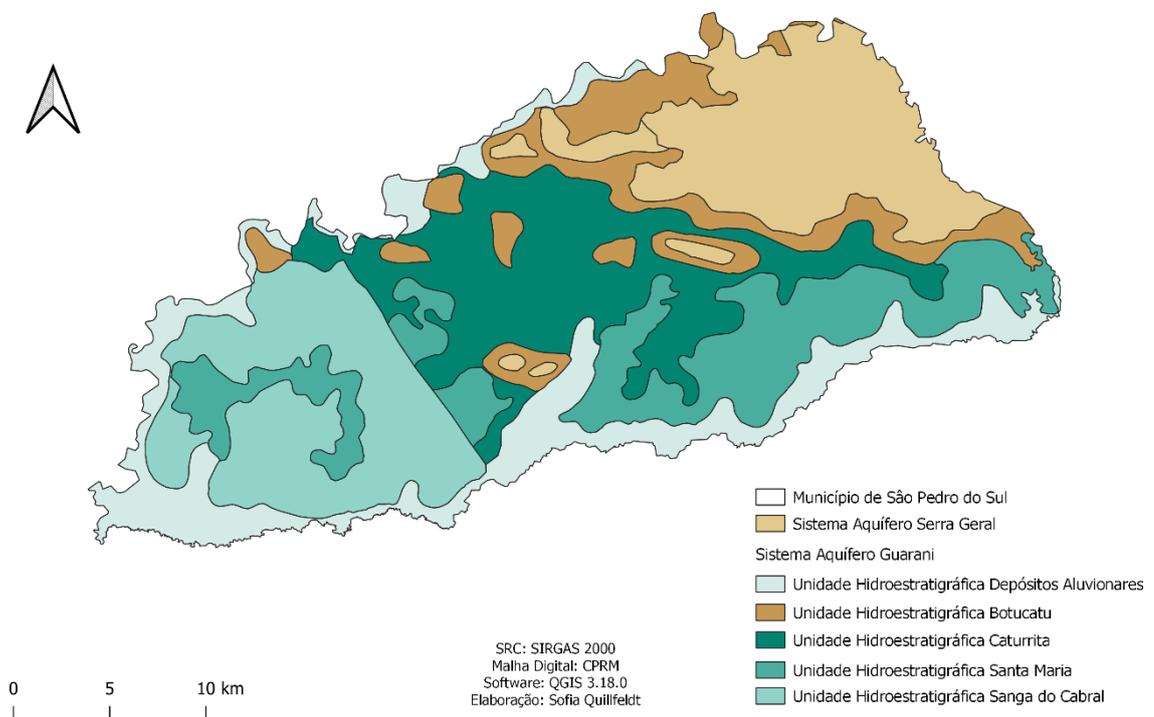


Figura 4. Mapa hidrogeológico do Município de São Pedro do Sul, RS.

2.2.1 Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um importante recurso hídrico transfronteiriço com uma área de 890.899 km² em territórios brasileiros (MACHADO, 2005). Localizado no Brasil, na Argentina, no Uruguai e no Paraguai, é associada às sequências sedimentares da Bacia do Paraná, Bacia do Chaco-Paraná e Bacia do Norte (AMORE, 2011) (Figura 5). Segundo Foster et al. (2009), noventa milhões de pessoas são beneficiadas direta ou indiretamente pela exploração do Aquífero Guarani.

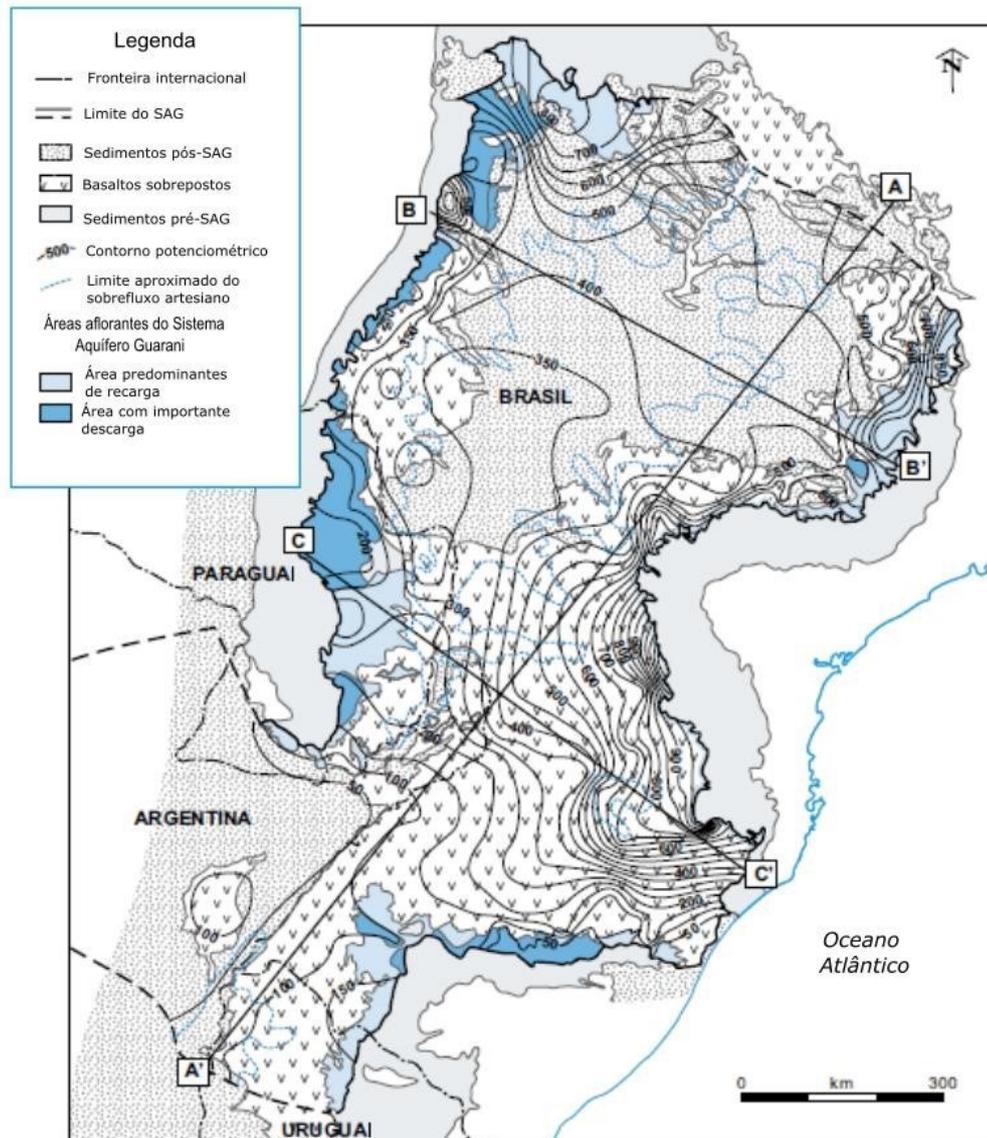


Figura 5. Mapa esquemático hidrogeológico do Sistema Aquífero Guarani, editado de (FOSTER et al., 2009).

O SAG possui uma espessura média de 250 metros, podendo variar aproximadamente de 50 a 600 metros ao longo de sua extensão, o que leva o gradiente geotermal das águas subterrâneas até uma temperatura de 58,7°C em alguns pontos de sua porção confinada (MACHADO, 2005). Nos poros dos arenitos que compõem as rochas das formações ali presentes, há um estimado de 30.000 Km³ de água (FOSTER et al., 2009), cobertos por basaltos da Formação Serra Geral, que atingem até 1,5 Km de espessura.

Apesar de cobrir uma enorme região, o Sistema Aquífero possui uma área de recarga direta por precipitação pluviométrica relativamente estreita nas bordas leste e oeste, onde afloram as rochas da Formação Botucatu, Piramboia e Grupo Rosário do Sul (LUCAS & GUANABARA, 2012; MACHADO, 2005). Devido a sua

zona de recarga ser equivalente a apenas 10% da área total (ARAÚJO et al., 1999), a recarga da água subterrânea é relativamente pequena.

Segundo Machado (2005), o SAG possui uma condutividade hidráulica entre 8 m/dia para os arenitos da Formação Botucatu e 0,8 m/dia para a relação Piramboia e correlatas. Além disso, os valores de transmissividade variam de 350 a 550 m²/d. O autor afirma que a porosidade efetiva varia entre 10 e 20% e o coeficiente de armazenamento aumenta de 10⁻³ a 10⁻⁶ com o aumento do confinamento.

O Sistema Aquífero Guarani ocupa mais de 50% do Estado do Rio Grande do Sul e é composto por uma área aflorante, corresponde à região da depressão central do Rio Grande do Sul, e uma área confinada, que está presente desde a região *Cuesta do Haedo*, na região da fronteira oeste, até a região litoral do Estado, sendo sobreposta pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (MACHADO, 2005).

O SAG pode ser dividida estruturalmente em Compartimento Leste (definido pela área de influência do Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu – Falha do Leão), Oeste (definido pela área de influência do Sistema Jaguari-Mata), Norte (definido pela área de influência do Sistema Terra de Areia Posadas), e Central-Missões (definido pela área de influência sul do Sistema Terra de Areia-Posadas) (MACHADO, 2005).

Machado (2005) subdividiu o SAG em diferentes unidades que compõem seu arcabouço hidroestratigráfico:

- A Unidade Hidroestratigráfica Botucatu é composta pelos afloramentos contínuos de Arenito Botucatu ao longo do contato com o Grupo Rosário do Sul, e se estende abaixo dos derrames da Formação Serra Geral;
- A Unidade Hidroestratigráfica Guará, considerada uma das mais importantes unidades do SAG, é composta por um espesso pacote sedimentar flúvio-eólico, sempre ocorrendo na base dos arenitos eólicos da Unidade citada acima;
- A Unidade Hidroestratigráfica Arenito-Mata, tendo seus principais afloramentos no município de estudo, São Pedro do Sul, e no município Mata, é composto por sedimentos arenosos grossos a conglomeráticos

- com estratificações cruzadas planares e tangenciais oriundos de depósitos de canais fluviais, associados a pelitos laminados de planície de inundação;
- A Unidade Hidroestratigráfica Caturrita, composta pelo conjunto de camadas areno-sílticas fluviais e deltáicas, correspondentes à Formação Caturrita;
 - A Unidade Hidroestratigráfica Alemoa, correspondente ao Membro Alemoa da Formação Santa Maria, composta por uma sucessão de siltitos argilosos principalmente maciços, constituído um aquíclode e confinando a Unidade Passo das Tropas 1;
 - A Unidade Hidroestratigráfica Passo das Tropas 1 corresponde ao Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria, inserida no Compartimento Central-Missões na divisão estrutural, ela constitui-se predominantemente de camadas de arenitos médios a grossos oriundos de depósitos de preenchimento de canais fluviais;
 - A Unidade Hidroestratigráfica Passo das Tropas 2 também corresponde ao Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria, mas aflora na parte mais oriental do Compartimento Central-Missões e constitui-se de camadas de arenitos em geral mais grossos e de origem de canais fluviais superpostos, com uma pequena presença de fácies finas de planícies de inundação;
 - A Unidade Hidroestratigráfica Sanga do Cabral é composta por uma sequência de arenitos finos a muito finos de origem fluvial, com uma pequena presença de pelitos e de arenitos eólicos;
 - A Unidade Hidroestratigráfica Pirambóia tem uma extensa distribuição na área aflorante do SAG, apresentando sedimentos eólicos com estratificação cruzada de grande porte;
 - Finalmente, a Unidade Hidroestratigráfica Rio do Rastro é composta por aproximadamente 60% de pelitos e 40% de arenitos finos a muito finos, sendo ela a base do conjunto litológico do SAG, classificada como aquíclode.

2.2.2 Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) representa um aquífero fraturado associado a derrames de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, condicionado primariamente por estruturas tectônicas (fraturas e zonas de fraturas) e secundariamente por estruturas primárias da rocha (zonas de brechas, vesiculares e amigdaloides, de diaclases ou disjunção horizontal e vertical) (REGINATO et al., 2013).

O SASG é caracterizado por uma elevada anisotropia, responsável por vazões extremamente variáveis (entre 1,2 e 27,51 m³/h), condicionadas ao controle tectônico, e capacidades específicas baixas (predominantemente entre 0,016 e 2,556), indicativas de pequeno suprimento de água. A qualidade dessas águas é considerada boa e dificilmente encontra-se restrições para uso da mesma (REGINATO, 2003; MACHADO, 2005).

Segundo Reginato (2003), o Sistema Aquífero Serra Geral engloba dois tipos de aquíferos: um aquífero livre ou freático, localizado no manto de alteração sobre as rochas vulcânicas, e um aquífero fraturado, localizado nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. O aquífero livre apresenta menor volume de água em relação ao aquífero fraturado.

O SASG ocorre sobrepondo o SAG e confina os aquíferos de origem sedimentar do mesmo comportando-se como um aquífero, porém, localmente, apresenta excelentes características aquíferas, sendo o principal recurso hídrico do Planalto do Rio Grande do Sul, com vazões de até 100 m³/h (MACHADO, 2005).

2.3 Contexto Hidroquímico e Qualidade da Água Subterrânea

A hidroquímica, área da hidrogeologia que estuda a caracterização e migração de substâncias químicas presentes na água subterrânea (DE CERQUEIRA, 2014), avalia a influência de processos naturais e antropogênicos sobre a qualidade geral das águas (BONOTTO, 2006). Estudos hidroquímicos tem

como objetivo identificar e qualificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas, buscando estabelecer sua relação com o meio físico (SENA, 2011).

Segundo Sena (2011), a composição química da água é definida de acordo com a geologia e hidrogeologia do meio onde a água se encontra. Os principais constituintes iônicos presentes nas águas subterrâneas são o sódio (Na^+), o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}), o cloreto (Cl^-), o sulfato (SO_4^{2-}), o carbonato (CO_3^{2-}) e o bicarbonato (HCO_3^-).

É fundamental a geração de diagramas de classificação hidroquímica das águas subterrâneas para indicar a classe da água e identificar os processos envolvidos na sua evolução hidroquímica, sendo que os mais conhecidos são os diagramas de Piper (1944) e Stiff (1951) (SILVA et al., 2014).

O Ministério da Saúde, em 2017, consolidou as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Dentre as normas que formam a Portaria de Consolidação nº 5, inclui-se o padrão de potabilidade das águas, estipulando o Valor Máximo Permitido (VMP) para os constituintes das águas subterrâneas (BRASIL, 2021). A qualidade da água pode ser avaliada por meio de comparações do teor desses constituintes com os VMPs estipulados por esta portaria ou utilizando outros índices propostos.

A contaminação de aquíferos pode ser gerada de diversas maneiras, sejam elas naturais ou antropogênicas. Deve-se citar como exemplo de fonte natural a dissolução e o intemperismo de rochas presentes nas camadas aquíferas, e de fonte antropogênica, o uso de agrotóxicos e atividades de mineração. Um aquífero, quando contaminado, exige uma série de medidas de remediação bastante complexas com o objetivo de retirar ou atenuar a concentração do contaminante presente na água subterrânea. Essas medidas de remediação são elaboradas a partir de diversos métodos de engenharia, com o objetivo de reduzir sua concentração a limites pré-determinados na avaliação de risco da saúde humana, conforme a legislação atual (CAMPOS, 2013).

2.3.1 Hidroquímica Do Sistema Aquífero Guarani

Segundo (MANZANO; GUIMARAENS, 2012), a hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani se apresenta bastante homogênea. Foram reconhecidas três fácies: fácies A (água de tipo Ca-HCO₃ ou Mg-HCO₃, muito pouco mineralizadas), fácies B (água de tipo Na-HCO₃, com mineralizações baixas a médias) e fácies C (água de composição variável entre Na-HCO₃-SO₄-Cl e NaCl ou Na-SO₄, sendo as últimas mais em direção ao centro da bacia; com mineralizações médias e altas). Em apenas uma parte do Sistema Aquífero Guarani, em partes do Rio Grande do Sul e do Uruguai, foi encontrada uma quarta fácies, fácies D (água de tipo Ca-Cl e Mg-Cl), localizada em áreas urbanas. Bonotto (2006) classificou as águas subterrâneas do SAG a partir da geração de um Diagrama de Piper (Figura 6).

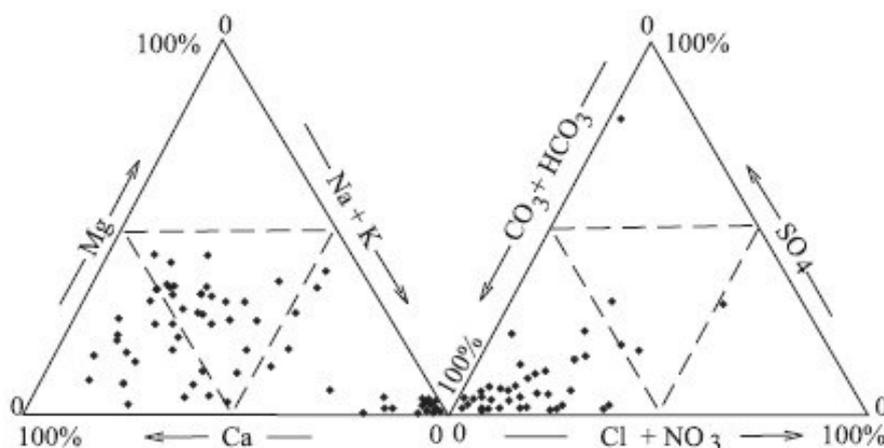


Figura 6. Diagrama parcial de Piper classificando as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (BONOTTO, 2006).

Já Teramoto et al. (2020) reconheceram cinco fácies no Sistema Aquífero Guarani, baseadas em suas composições químicas e distâncias das zonas de afloramento, que foram nomeadas como fácies 1 (águas de unidade não confinada, caracterizadas por salinidade muito baixa e composição altamente variável, similar à águas meteóricas), fácies 2 (águas de composição Ca-Mg-HCO₃ de unidade confinada), fácies 3 (águas de composição Na-HCO₃) e fácies 4 e 5 (ambas de composição Na-Cl-SO₄, diferenciadas pelas suas maiores salinidades – e concentração maior de Cl⁻ na fácies 5).

Segundo (CAMPOS, 2013), o SAG apresenta temperaturas entre 22 e 27°C, pH entre 5,4 e 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/l em sua área não confinada. Nessa área, as águas subterrâneas foram classificadas como águas bicarbonatadas cálcicas, seguidas pelas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. As áreas confinadas apresentam temperaturas entre 22 e 58,7 °C, pH entre 6,3 e 9,8 e salinidade entre 50 e 500 mg/l. Nessa área, as águas subterrâneas foram classificadas como águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, seguidas pelas sulfatadas-cloretadas sódicas.

Foram realizados estudos de hidroquímica das águas subterrâneas próximo à região-alvo de estudo, especificamente no município de Santa Maria (que faz divisa diretamente com o município de São Pedro do Sul). Nesses estudos, (DA SILVA et al., 2014) concluíram que a composição química das águas subterrâneas está diretamente relacionada às variáveis físico-químicas, às pressões parciais dos gases, à composição das rochas, à mineralogia, ao grau de cimentação e ao tipo de cimento, calcítico ou silicoso, às taxas de porosidade e permeabilidade, às atividades de vegetação, raízes e paleossolos capazes de fornecerem elementos para formarem concreções carbonáticas ou silcretos nos solos. Além disso, os autores concluíram que os teores de flúor nas águas estão abaixo ou acima do recomendado.

Há diversos estudos sobre a hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani onde muitos deles mostram problemas de qualidade associado a quantidades anômalas de elementos na água, principalmente do fluoreto, que se torna relevante como parâmetro para caracterização da qualidade da água e enquadramento da mesma para consumo humano (DA SILVA, et al., 2002; LUIZ; SILVA; FILHO, 2018; SANTIAGO, 2009).

2.3.2 Hidroquímica Do Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral foi estudado por Mobus (1987), que constatou que o pH e o teor de sólidos totais das águas subterrâneas aumenta de acordo com o aumento de profundidade da entrada de água. Já Hausman (1995), constatou que essas diferenças na hidroquímica da água não dependem apenas da profundidade das entradas de água, mas também do tempo de circulação e do

tipo de mineralização secundária existente nas fraturas. O autor identificou pH de 6,5 a 7 em poços com entradas de água até 150 metros e pH de 9 a 10,6 em poços com entradas de água de 150 a 200 metros. Além disso, foram constatados teores de até 200 ppm de sólidos totais dissolvidos na água e elevados teores de CaCO_3 . Além disso, também foi identificada a presença de flúor relacionado com as mineralizações de áreas fortemente tectonizadas e variações de parâmetros hidroquímicos com a orientação das estruturas de mineralizações secundárias.

Em 1996, Lisboa propôs uma divisão do Sistema Aquífero Serra Geral em dois campos hidrogeoquímicos principais, sendo eles o Campo das Águas Bicarbonatadas Cálcicas e Calcomagnesianas e o Campo das Águas Bicarbonatadas Sódicas. O autor também identificou uma hidroestratigrafia para as fácies intemperizadas, marcadas por variações no teor dos íons cálcio e magnésio.

Reginato (2003) classificou as águas do SASG a partir de 137 amostras de 9 diferentes municípios do nordeste do estado do Rio Grande do Sul, gerando o Diagrama de Piper abaixo (Figura 7).

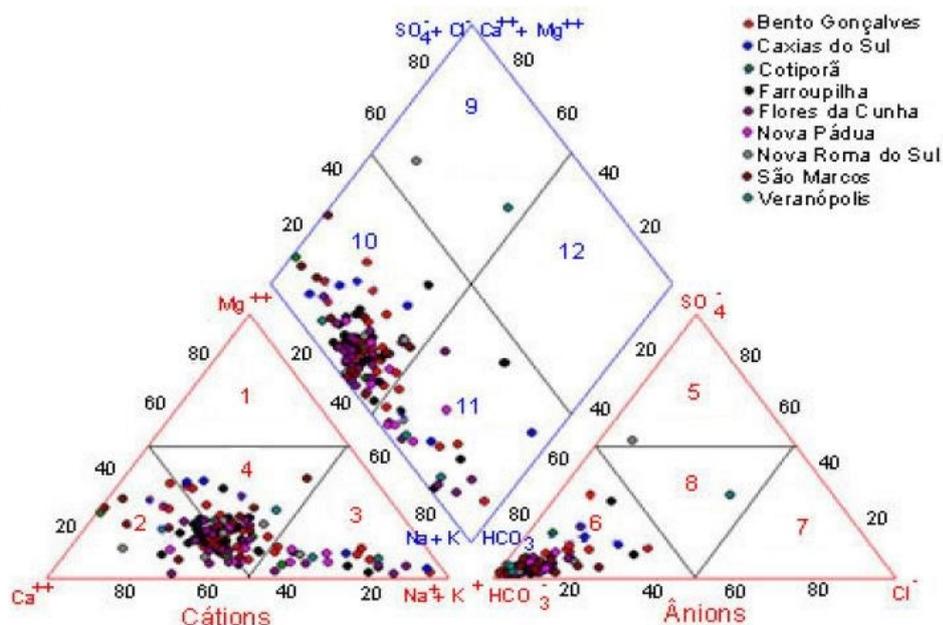


Figura 7. Diagrama de Piper classificando as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (REGINATO, 2003).

2.4 Ocorrência de Arsênio nas Águas Subterrâneas

Arsênio é o vigésimo elemento mais abundante na crosta da Terra, décimo quarto nas águas oceânicas e décimo segundo no corpo humano. Desde a sua descoberta, no século XIII, por Santo Alberto Magno na Alemanha, o arsênio tem sido usado em diversas áreas do conhecimento, como na medicina, na agricultura, na pecuária, em eletrônicos, na indústria, na metalurgia, entre outros (MANDAL; SUZUKI, 2002).

O arsênio, de número atômico 33 e massa atômica relativa 74,42, se encontra em diversas formas na natureza, podendo apresentar-se na forma de composto orgânico ou inorgânico. A forma mais comum encontrada na água subterrânea é o ácido arsênico (As V), porém o ácido arsenioso (As III) também pode ser encontrado em quantidades significativas (BUNDSCHUH et al., 2008). As espécies de As III e As V são as mais tóxicas do elemento, com exceção da Arsina (AsH_3), que apresenta maior toxicidade (BARRA et al., 2000).

O arsênio pode ocorrer no ambiente por fontes naturais e antropogênicas. O elemento compõe 0,00005% da crosta da Terra e está presente em mais de duzentos minerais (MANDAL; SUZUKI, 2002), sendo o mais abundante deles a Arsenopirita (FeAsS). O mineral geralmente é encontrado em ambientes anaeróbios; o arsênio também é encontrado em outros minerais formadores de rochas, como sulfetos, óxidos, fosfatos, carbonatos e silicatos (SHANKAR et al., 2014).

O arsênio é comumente encontrado em solos em maior quantidade do que em rochas, o que depende principalmente da rocha fonte e da atividade humana, mas também é influenciado pelo clima, componentes inorgânicos e orgânicos presentes nos solos e potencial redox. O elemento também pode ser encontrado naturalmente em pequenas quantidades na água, no ar e nos organismos vivos, sendo cumulativo no tecido vegetal e animal (MANDAL; SUZUKI, 2002).

Além das fontes naturais, o arsênio ocorre devido a fontes antropogênicas em grandes quantidades. O uso de recursos naturais pelo homem libera arsênio no ar, no solo e na água. Durante a década de 1970, 80% da produção mundial de arsênio era destinada à agricultura, como pesticidas e herbicidas, mas o uso de agrotóxicos compostos de arsênio tem-se reduzido nos dias atuais. O elemento

também é utilizado na produção de dessecante e conservante de madeira, aditivos alimentares, remédios e venenos (MANDAL; SUZUKI, 2002). Suspeita-se, inclusive, que a morte de Napoleão Bonaparte tenha ocorrido por envenenamento por arsênio (WEIDER; FOURNIER, 1999).

O arsênio originado das fontes naturais e antropogênicas citadas acima pode chegar até a água subterrânea por diversas maneiras, como a dissolução e intemperismo de rochas e a lixiviação dos solos, levando comumente à contaminação das águas ao redor do mundo. A ingestão contínua de águas contaminadas por arsênio, porém, representa um grande risco à saúde. Segundo NORDSTROM (2002), um número estimado de trinta e seis milhões de pessoas estão em risco no Delta do Ganges (delta presente no sul da Ásia, englobando Bangladesh e Índia) por beber águas contaminadas por arsênio (Tabela 1). Este problema também é considerado um risco à saúde em Taiwan, onde é reconhecido há décadas.

Tabela 1. Contaminação global por arsênio em águas subterrâneas, tradução própria (NORDSTROM, 2002).

| Contaminação Global de Arsênio na Água Subterrânea | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| País/Região | População exposta potencial | Concentração ($\mu\text{g/litro}$) | Condições Ambientais |
| Bangladesh | 30.000.000 | < 1 a 2.500 | Natural; Aluvial/Sedimentos Deltaico com alto fosfato, orgânicos. |
| Índia | 6.000.000 | < 10 a 3.200 | Similar a Bangladesh. |
| Vietnam | > 1.000.000 | 1 a 3.050 | Natural; Sedimentos Aluviais. |
| Tailândia | 15.000 | 1 a > 5.000 | Antropogênico; Mineração e Draga Aluvial. |
| Taiwan | 100.000 a 200.000 | 10 a 1.820 | Natural; Zonas Costeiras, Folhelhos Negros. |
| Mongólia | 100.000 a 600.000 | < 1 a 2.400 | Natural; Aluvial e Sedimentos Lagunares; Alta Alcalinidade. |
| Xinjiang, Shanxi | > 500 | 40 a 750 | Natural; Sedimentos Aluviais. |
| Argentina | 2.000.000 | < 1 a 9.900 | Natural; Loess e Rochas Vulcânicas, Águas Termais; Alta Alcalinidade. |
| Chile | 400.000 | 100 a 1.000 | Natural e Antropogênico; Sedimentos Vulcanogênicos; Lagos de Bacia Fechada, Águas Termais, Mineração. |
| Bolívia | 50.000 | - | Natural; Similar ao Chile e partes da Argentina. |
| Brasil | - | 0,4 a 350 | Mineração de Ouro. |
| México | 400.000 | 8 a 620 | Natural e Antropogênico; Sedimentos Vulcanogênicos; Mineração. |
| Alemanha | - | < 10 a 150 | Natural; Arenitos Mineralizados. |
| Hungária, România | 400.000 | < 2 a 176 | Natural; Sedimentos Aluviais; Orgânicos. |
| Espanha | < 50.000 | < 1 a 100 | Natural; Sedimentos Aluviais. |
| Grécia | 150.000 | - | Natural e Antropogênico; Águas Termais e Mineração. |
| Reino Unido | - | < 1 a 80 | Mineração; Sudoeste da Inglaterra. |
| Gana | < 100.000 | < 1 a > 100.000 | Natural e Antropogênico; Mineração de Ouro. |
| EUA e Canadá | - | - | Natural e Antropogênico; Mineração, Pesticidas, Estoques de As_2O_3 , Águas Termais, Aluviais, Lagos de Bacia Fechada, Várias Rochas. |

O arsênio é considerado um dos cinco elementos mais letais do mundo e sua ingestão pela água pode desenvolver diversos riscos para os seres humanos. As duas formas de arsênio que ocorrem na água subterrânea, As^{III} e As^{V} , agem de maneiras diferentes no corpo humano. O As^{III} pode ser transportado até as células através de aquagliceroporinas, proteínas porosas da membrana das células que transportam água juntamente com pequenas moléculas orgânicas, como o glicerol e a ureia. Já o As^{V} (arsenato) é um análogo ao fosfato, e desse

modo, arsenato e fosfato possuem constantes de dissociação similares e competem entre si para entrar nas células via transportadores de fosfatos. Ao entrar nas células, As V é reduzido a As III, que leva à diminuição do funcionamento de vias produtoras de energia, prejudicando gravemente o funcionamento celular e, em consequência, o organismo (HUANG; LEE, 1996).

Há muitos estudos documentando a toxicidade do arsênio: é um carcinógeno potente, levando à câncer de pele, bexiga, fígado e pulmão. Também induz diversas doenças causadas por sua alta toxicidade, sendo que se pode classificá-las em três tipos: epidemiologia, citotoxicidade e genotoxicidade. Além disso, a exposição crônica de arsênio pode levar a arsenicose, incluindo lesões na pele, doença do pé-preto, doença vascular periférica e câncer (SHANKAR et al., 2014) (Figura 8).

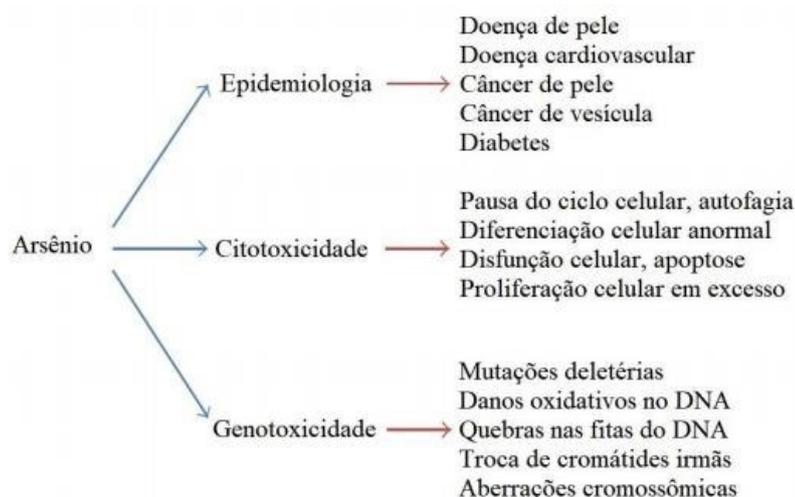


Figura 8. Enfermidades causadas pela ingestão de arsênio por humanos e animais (traduzido de LENA et al., 2014 em SHANKAR et al., 2014).

Há diversos registros de concentrações anômalas de arsênio nas águas subterrâneas, especialmente na maior parte dos países da América Latina (Argentina, Uruguai, Chile, Bolívia, Brasil, Peru, Equador, Nicarágua, El Salvador, México) (BUNDSCHUH et al., 2008) , na China (RODRÍGUEZ-LADO et al., 2013) e em Bangladesh (RAVENSROFT; RAHMANÑ, 1998).

Nas últimas décadas, foram registradas ocorrências do elemento nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (GASTMANS et al., 2010). O autor descreve ocorrência de arsênio associada a águas subterrâneas com pH superior

a 8,0 e bicarbonatadas sódicas no Corredor Termal do Rio Uruguai, localizado na fronteira entre Argentina, Brasil e Uruguai. Sua origem estaria associada aos arenitos das unidades subjacentes ao SAG. Além disso, teores anômalos de arsênio também foram registrados no Sistema Aquífero Serra Geral (SILVEIRA, 2019), onde a autora realizou um estudo sobre a ocorrência de arsênio em águas subterrâneas no município de Cerro Largo, definindo como provável origem a mistura de águas do SASG com aquíferos sotopostos devido às estruturas favoráveis e afinidades hidroquímicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas diferentes atividades de acordo com seis etapas descritas a seguir:

3.1 Levantamento de Dados Existentes

A primeira etapa do trabalho se deu com o levantamento de dados pré-existentes sobre o assunto para estabelecer um reconhecimento inicial da área.

O levantamento de dados existentes foi feito com base em artigos, trabalhos científicos, teses, dissertações, projetos, relatórios de estudos, boletins informativos de órgãos governamentais como o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS (FEPAM) e a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA).

Informações sobre as principais culturas agrícolas da região e os principais defensivos utilizados nas mesmas foram armazenados em uma planilha com o uso do *software Microsoft Excel* onde foram pesquisados e foi identificada a presença ou ausência de arsênio nos mesmos.

3.2 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado nos dias 5, 6, 7 e 8 de dezembro de 2021 no município de São Pedro do Sul com o objetivo de complementar o banco de dados com diferentes informações importantes para o desenvolvimento do projeto.

Foram visitados 6 afloramentos espalhados pela extensão do município, em sua maioria do tipo corte de beira de estrada, com o intuito de descrever e identificar as unidades geológicas presentes na área de estudo.

Para a complementação dos dados hidrogeológicos foram identificados novos poços não cadastrados na plataforma SIAGAS e identificadas informações como profundidade, vazão, nível estático e espessura e profundidade dos filtros.

Com relação aos dados hidroquímicos, foi feita a medição em campo dos parâmetros pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura das águas através da utilização da sonda multiparâmetros modelo Eutech PCTestr 35 (Figura 9). Além disso, foram coletadas amostras de água (Figura 10 e Figura 11), sendo que 11 amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para análise dos parâmetros dureza, ferro, manganês, fosfato, fluoreto, cromo e cobre. Essas análises foram feitas a partir do uso de um fotômetro PALINTEST 8000. Outras 6 amostras foram enviadas para o Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPAM) da Universidade de Caxias do Sul para análise do parâmetro arsênio. As amostras coletadas foram armazenadas em caixas de isopor com gelo até o envio para os laboratórios (Figura 12).



Figura 9. Análise de amostra de água em campo utilizando a sonda multiparâmetros modelo Eutech PCTestr 35.



Figura 10. Coleta de amostra de água de poço cacimba para posterior análise química em laboratório.



Figura 11. Coleta de amostra de água para posterior análise química em laboratório.



Figura 12. Armazenamento das amostras em isopor com gelo.

Por fim, foi feita a identificação dos usos do solo nos arredores dos poços para a possível correlação da presença de arsênio nas águas subterrâneas com agrotóxicos utilizados em atividades agrícola.

3.3 Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação

O inventário e cadastramento de pontos de captação foi elaborado a partir dos dados e informações levantadas na primeira etapa do projeto (item 3.1). Nessa etapa foi feita a identificação e coleta de dados de pontos de captação existentes na região de estudo. Esse levantamento buscou informações sobre a localização dos pontos de captação, natureza do ponto, cota do terreno, bacia hidrográfica, dados construtivos como profundidade da perfuração, diâmetro, revestimento, filtros, pré-filtros e entradas de água. Além disso, também foram levantados dados hidrogeológicos como tipo de aquífero, parâmetros físico-químicos da água como

condutividade elétrica, qualidade e sabor da água, temperatura, turbidez e pH, usos da água, dados geológicos como a descrição litológica do poço e parâmetros hidrodinâmicos como vazão, capacidade específica, nível estático e outros.

O levantamento foi realizado por meio de consulta aos bancos de dados da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), CPRM - SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas) exemplificado na Figura 13, do Departamento de Recursos Hídricos (DRH/SEMA - Sistema de Outorga de Água - SIOUT-RS), da prefeitura municipal de São Pedro do Sul e de empresas de perfuração.

| ponto | localizacao | data_instalacao | cota_terreno | latitude | longitude | latitude_decimal | longitude_decimal | utme | utmn | basia | municipio |
|------------|--|-----------------|--------------|----------|-----------|------------------|-------------------|--------|---------|-------------|------------------|
| 430000609 | LAJADINHO | | 130 | 293652 | 535915 | -29,614444 | -53,9875 | 210700 | 6720200 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002491 | CATANDUIVA | 01/01/1966 | 140 | 293751 | 540603 | -29,630833 | -54,100833 | 780710 | 6718596 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002492 | RIBERAO | | 177 | 293418 | 541252 | -29,571666 | -54,214444 | 769863 | 6725426 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002493 | GUASSUPI | | 150 | 293039 | 541109 | -29,510833 | -54,185833 | 772799 | 6732103 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002495 | SEDE | 01/01/1971 | 187 | 293703 | 541039 | -29,615175 | -54,1775 | 773319 | 6720257 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002496 | RUA JOSE PAZZA 590 | | 164 | 293719 | 541030 | -29,621944 | -54,175 | 773541 | 6719757 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002497 | RUA PEDRO SARTORI 30 | | 164 | 293724 | 541037 | -29,623333 | -54,176944 | 773351 | 6719608 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300002498 | SEDE | | 170 | 293703 | 541028 | -29,615175 | -54,174444 | 773603 | 6720247 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007878 | CERRO CLARO RS124 | | 249 | 293344 | 540524 | -29,562222 | -54,156666 | 775482 | 6726332 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007879 | PEDEIRA | 15/11/2002 | 308 | 293250 | 540402 | -29,542222 | -54,067222 | 784207 | 6721777 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007880 | ANTIGA ESCOLA TITO OLIVIO FERRARI | 13/11/2003 | 231 | 293222 | 540615 | -29,522777 | -54,104166 | 780672 | 6730567 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007881 | ESTRADA FATIMA DO BIANCHINI | | 247 | 293045 | 540340 | -29,5125 | -54,061111 | 784891 | 6731627 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007882 | PASSO DO BARROSO | 15/11/2001 | 296 | 292949 | 540445 | -29,496944 | -54,079166 | 783169 | 6733387 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007883 | PAREDAO | 15/08/2000 | 156 | 292833 | 540614 | -29,475833 | -54,103888 | 780849 | 6735790 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007884 | MUNDO NOVO ALTO | | 258 | 292918 | 540654 | -29,488333 | -54,115 | 779724 | 6734412 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007885 | MUNDO NOVO BAIXO | 27/01/1999 | 242 | 293020 | 540748 | -29,505555 | -54,13 | 778230 | 6732545 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007887 | CERRO DO BALTAZAR | | 213 | 293245 | 541252 | -29,545833 | -54,214444 | 769929 | 6728288 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007888 | CERRO DOS COQUEIROS | | 137 | 293033 | 541234 | -29,509166 | -54,209444 | 770511 | 6732349 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007889 | PASSO DO ANGICO | | 172 | 293213 | 541531 | -29,536944 | -54,258611 | 765681 | 6729379 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007890 | PASSO DE CLARA | | 104 | 293328 | 542012 | -29,557777 | -54,336666 | 758064 | 6727247 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007891 | HOSPITAL MUNICIPAL | | 112 | 293646 | 541107 | -29,612778 | -54,185278 | 772586 | 6720781 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007892 | Estrada pl. Santa Maria | | 135 | 293731 | 540945 | -29,625278 | -54,1625 | 774744 | 6719363 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007893 | RUA CORONEL SCHERER | | 110 | 293704 | 541025 | -29,617778 | -54,173611 | 773682 | 6720203 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007894 | RUA CORONEL SCHERER | | 176 | 293704 | 541030 | -29,617778 | -54,175 | 773550 | 6720214 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007895 | RUA TIRADENTES E ESQUINA VALTER JOBIM | | 192 | 293741 | 541105 | -29,628055 | -54,184722 | 772595 | 6719089 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007896 | BR287 TREVO PRINCIPAL | | 195 | 293809 | 541104 | -29,635833 | -54,184444 | 772610 | 6718246 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007897 | HOSPITAL MUNICIPAL | | 195 | 293809 | 541103 | -29,635833 | -54,184166 | 772621 | 6718248 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007898 | RUA PEDRO SARTORI 30 - ESO. PINHEIRO MACHADO | | 163 | 293724 | 541038 | -29,623333 | -54,177222 | 773336 | 6719612 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300007899 | RUA JOSE PAZZA | | 166 | 293719 | 541030 | -29,621944 | -54,175 | 773550 | 6719749 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300021094 | RUA PEDRO SARTORI | | 164 | 293726 | 541039 | -29,623889 | -54,1775 | 773308 | 6719557 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300021601 | Museu Municipal | | | 293807 | 541702 | -29,635278 | -54,283889 | 762967 | 6718533 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300024250 | MUNDO NOVO | | | 293026 | 540709 | -29,507222 | -54,119167 | 779269 | 6732328 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300024256 | MUNDO NOVO ALTO | | 293 | 292920 | 540650 | -29,488889 | -54,113889 | 779224 | 6734368 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300024258 | BARRA DO CURTUME | | | 293049 | 540450 | -29,513611 | -54,080556 | 782988 | 6731548 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300024975 | SEDE RUA VALDEMAR BAGOLIM | | | 293658 | 541013 | -29,616111 | -54,170278 | 774010 | 6720402 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300024978 | GRANJA AGUA BOA | | 115 | 294038 | 541226 | -29,672222 | -54,207222 | 770276 | 6713701 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |
| 4300027668 | ESTRADA DO GUASSUPI | | 192 | 293130 | 541057 | -29,525 | -54,1825 | 773080 | 6730520 | Rio Uruguai | Sao pedro do sul |

Figura 13. Banco de dados de poços encontrados no SIAGAS exportados para o software Microsoft Excel.

Os dados obtidos foram organizados em tabelas utilizando o software Microsoft Excel e foram utilizados na identificação das formas de captação e uso da água subterrânea, bem como na caracterização hidrogeológica, ou seja, na identificação das camadas aquíferas ou unidades hidroestratigráficas, nos parâmetros hidrogeológicos e de produtividade dos poços.

3.4 Caracterização Geológica

A etapa de caracterização geológica foi realizada por meio da análise de perfis geológicos dos poços tubulares encontrados em documentos disponibilizados pela CORSAN e no SIAGAS, visando a identificação das diferentes litologias que ocorrem em profundidade no município de São Pedro do Sul. Com base nos dados de poços que continham perfis geológicos e construtivos, foram selecionadas áreas onde foram elaborados perfis e seções geológicas com o objetivo de avaliar as variações litológicas que ocorrem em profundidade. A geração dos perfis foi feita com o uso do *software Inkscape* e com o auxílio do programa *Google Earth Pro*.

Por meio da interpretação de produtos de sensoriamento remoto foi feita a identificação de lineamentos morfoestruturais existentes na região. De acordo com a interpretação de mapas de sombreamento do relevo gerados com ângulos de iluminações 0-360°, 45°, 315° e 90-270°, foram traçados os lineamentos com a ferramenta *polyline* através de fundos de vale e drenagens.

Foram gerados mapas de lineamentos e mapas de densidade de lineamentos utilizando o *software ArcGis 10.5.1* a partir da imagem *raster* do modelo digital de elevação (MDE) obtida através do ALOS PALSAR com uma resolução espacial de 12,5 m. Foi necessário fazer a correção de latitude, chamada "Fator Z", para a faixa de latitude do município. Segundo "ArcGIS Technical Support", o Fator Z para a faixa de latitude de 29° é 0.00001036.

Para a geração do mapa de densidade de lineamentos foi utilizada a ferramenta *Line Density*, uma das ferramentas de análise espacial *software ArcMap 10.5.1*. A partir do mapa de densidade de lineamentos, pôde-se gerar os Diagramas de Rosetas para auxiliar na interpretação geológica da região. Os Diagramas de Rosetas foram gerados com o uso da ferramenta *AzimuthFinder*, que gerou uma tabela no formato *txt* com os azimutes dos lineamentos. A tabela gerada foi exportada para o programa *Stereonet Online* para que fossem gerados dois Diagramas de Roseta: o primeiro levando em consideração o comprimento dos lineamentos e o segundo a frequência dos mesmos.

3.5 Caracterização Hidrogeológica

Essa etapa foi realizada com base nos dados hidrodinâmicos e hidrogeológicos obtidos com o levantamento de dados existentes e com o inventário e cadastramento de pontos de captação.

Com base nos dados dos perfis geológicos dos poços (Figura 14) foram avaliadas as camadas aquíferas presentes na região e foi feita uma caracterização das mesmas, indicando o tipo de rocha e espessura da camada aquífera. Para isso foram utilizados dados de profundidade das seções filtrantes, bem como dados de entrada de água.

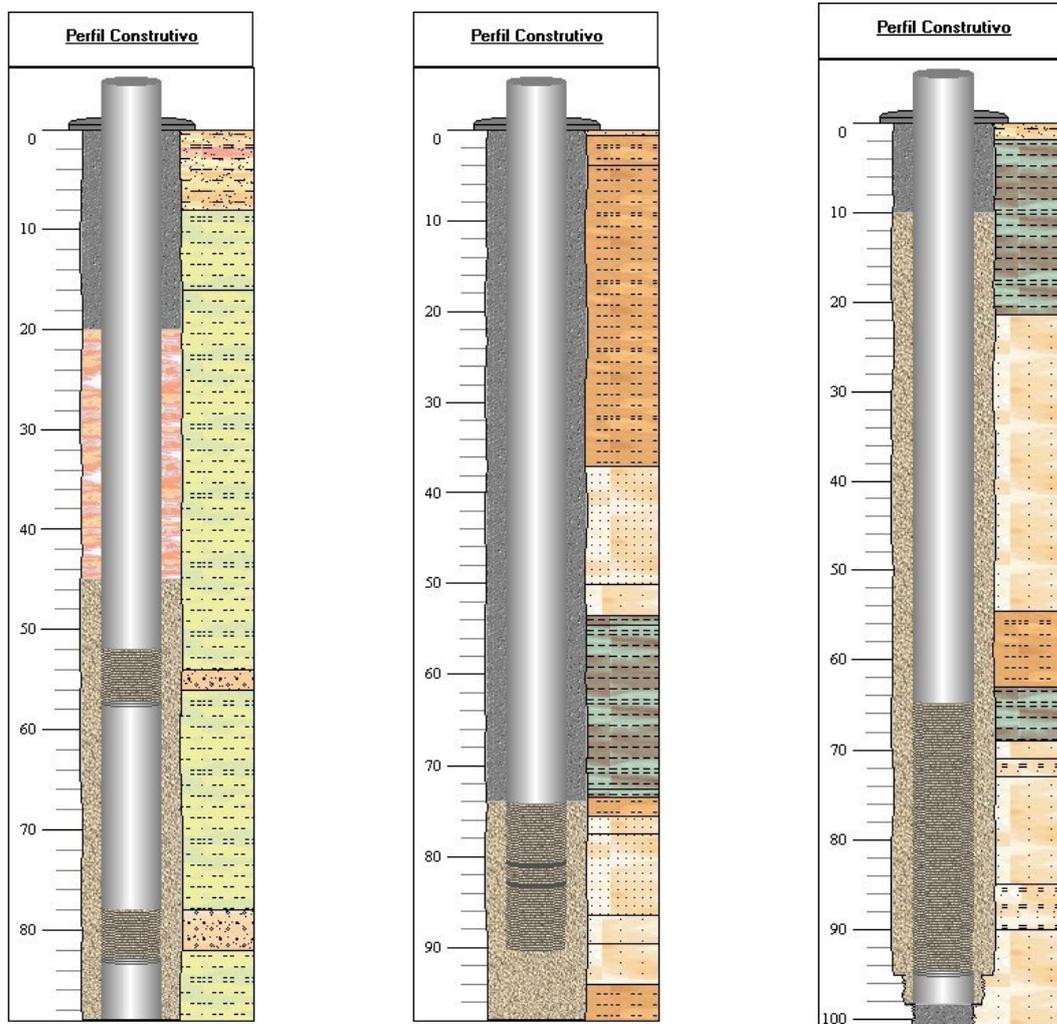


Figura 14. Exemplos de perfis construtivos e litológicos de poços utilizados na caracterização hidrogeológica do município.

A caracterização hidrogeológica foi feita com base na avaliação de propriedades como nível estático, vazão, transmissividade, capacidade específica, entre outros parâmetros. Para isso foram realizadas análises estatísticas de parâmetros como média, mediana, moda, desvio padrão, mínimo, e máximo para caracterização do SAG e do SASG utilizando a ferramenta de Análise de Dados disponível no *software Microsoft Excel*, gerando gráficos de dispersão dos parâmetros por meio do mesmo *software*.

Além disso, foi elaborado um mapa hidrogeológico do município de São Pedro do Sul a partir do *software ArcMap 10.5.1* tendo como base o mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul de escala 1:750.000 (CPRM, 2005) e os dados geológicos e hidrogeológicos obtidos com o estudo. Neste mapa, foram plotados os pontos de captação analisados.

3.6 Avaliação Hidroquímica e da Qualidade da Água

A avaliação hidroquímica e da qualidade da água foi feita com base em dados de relatórios de análises físico-químicas que foram obtidos com a CORSAN, SIAGAS, Prefeitura Municipal e Sistema VigiÁgua (Vigilância Sanitária), e complementada com dados obtidos durante o trabalho de campo.

Os dados físico-químicos foram utilizados para avaliação dos principais cátions e ânions que compõem a água subterrânea da região, bem como na identificação das classes de água.

Os parâmetros identificados foram armazenados numa planilha no *software Microsoft Excel*, onde foi feita a análise estatística para os principais cátions e ânions e para os dados físico-químicos. Foram analisados os parâmetros de média, desvio padrão, mediana, mínimo e máximo e gerando gráficos com uso do *software Microsoft Excel*.

Com base nos íons dominantes foram elaborados os diagramas de Piper e de Stiff utilizando o programa de distribuição livre Qualigraf (MOBUS, 2002) para avaliar e classificar os diferentes tipos de água em circulação nos aquíferos presentes no município de São Pedro do Sul.

A avaliação de qualidade da água foi feita com base na comparação da concentração de parâmetros com os Valores Máximos Permitidos – VMP desses parâmetros (Tabela 2), pela legislação de potabilidade das águas, definidos na portaria nº 888 de consolidação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Tabela 2. Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde. Extraído de Portaria de Consolidação nº888, Anexo 11, Ministério da Saúde, Brasil (2021).

| TABELA DE PADRÃO DE POTABILIDADE PARA SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS INORGÂNICAS QUE REPRESENTAM RISCO À SAÚDE | | | |
|--|------------|---------|--------|
| Parâmetro | CAS(1) | Unidade | VMP(2) |
| Antimônio | 7440-36-0 | mg/L | 0,006 |
| Arsênio | 7440-38-2 | mg/L | 0,01 |
| Bário | 7440-39-3 | mg/L | 0,7 |
| Cádmio | 7440-43-9 | mg/L | 0,003 |
| Chumbo | 7439-92-1 | mg/L | 0,01 |
| Cobre | 7440-50-8 | mg/L | 2 |
| Cromo | 7440-47-3 | mg/L | 0,05 |
| Fluoreto | 7782-41-4 | mg/L | 1,5 |
| Merúrio Total | 7439-97-6 | mg/L | 0,001 |
| Níquel | 7440-02-0 | mg/L | 0,07 |
| Nitrato (como N)(3) | 14797-55-8 | mg/L | 10 |
| Nitrito (como N)(3) | 14797-65-0 | mg/L | 1 |
| Selênio | 7782-49-2 | mg/L | 0,04 |
| Urânio | 7440-61-1 | mg/L | 0,03 |

3.7 Avaliação da Ocorrência de Arsênio

A avaliação da ocorrência de arsênio foi feita com base na avaliação dos relatórios de análises físico-químicas identificados na etapa de cadastramento de pontos de captação.

Na região onde estão localizados os poços foi feita uma avaliação dos dados hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, além das unidades aquíferas de onde é captada essa água. Além disso, foi feita a análise dos lineamentos presentes na região de estudo que poderiam condicionar o fluxo de água com base no mapa de lineamentos e de densidade de lineamentos e nos diagramas de roseta da frequência e comprimento dos lineamentos desenvolvido previamente, na etapa de caracterização geológica. Isto tornou possível a investigação da correlação das estruturas com os poços que apresentam teores anômalos de arsênio.

Ainda, foi feito um estudo do uso e ocupação do solo na área do município que envolve os poços que apresentaram ocorrência de arsênio a partir da interpretação visual com base nas imagens de satélite encontradas no Google Earth Pro. Ademais, foi feito um estudo da ocorrência de atividades agrícolas e levantamento dos principais agroquímicos utilizados a partir do resultado da interpretação visual das imagens de satélite e de consulta de artigos científicos e dados disponibilizados pelo IBGE. Os dados de agroquímicos foram armazenados em tabelas contendo também suas composições químicas para que possam ser associados com a presença de arsênio nas águas subterrâneas da região. Foi gerado, utilizando o *software* ArcMap 10.5.1, um mapa de uso e ocupação do solo para que pudesse ser feita a avaliação da ocorrência das atividades agrícolas. Com isso, foi possível analisar a possibilidade da ocorrência de arsênio estar associada a atividade agrícola.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Recursos Hídricos Subterrâneos no Município

O município de São Pedro do Sul possui seu abastecimento hídrico público exclusivamente constituído pela captação de águas subterrâneas presentes nas rochas sedimentares do Sistema Aquífero Guarani e nas rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral. Assim sendo, é de extrema importância para a saúde da população a qualidade excepcional dessas águas.

A captação das águas subterrâneas ocorre através de diversos poços tubulares, de pequeno diâmetro, cacimba ou escavados e por fontes naturais. O abastecimento público urbano é realizado pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que dispõe de 15 poços distribuídos pela zona urbana do município, enquanto o abastecimento público rural é realizado pela Prefeitura do município, que possui um programa de perfuração de poços para atender comunidades da zona rural, onde não há rede de abastecimento público de água. Este programa dispõe de 26 poços tubulares e de pequeno diâmetro distribuídos pelas localidades rurais do município. Além disso, foram identificados 20 pontos de captação particulares (ver Figura 15 para a localização de pontos de captação). A maior parte dos poços não estão construídos de acordo com a norma NBR 12244 da ABNT (2006), não apresentando laje sanitária, cercamento, hidrômetro e tubulação de visita.

A partir do banco de dados elaborado pela autora foram identificados 61 pontos de captação no município de São Pedro do Sul, sendo 37 deles poços tubulares, 13 poços de pequenos diâmetros, 7 poços escavados e 1 poço de monitoramento (Figura 16). Infelizmente, há 3 poços, 4,9%, sem dados referentes a sua natureza.

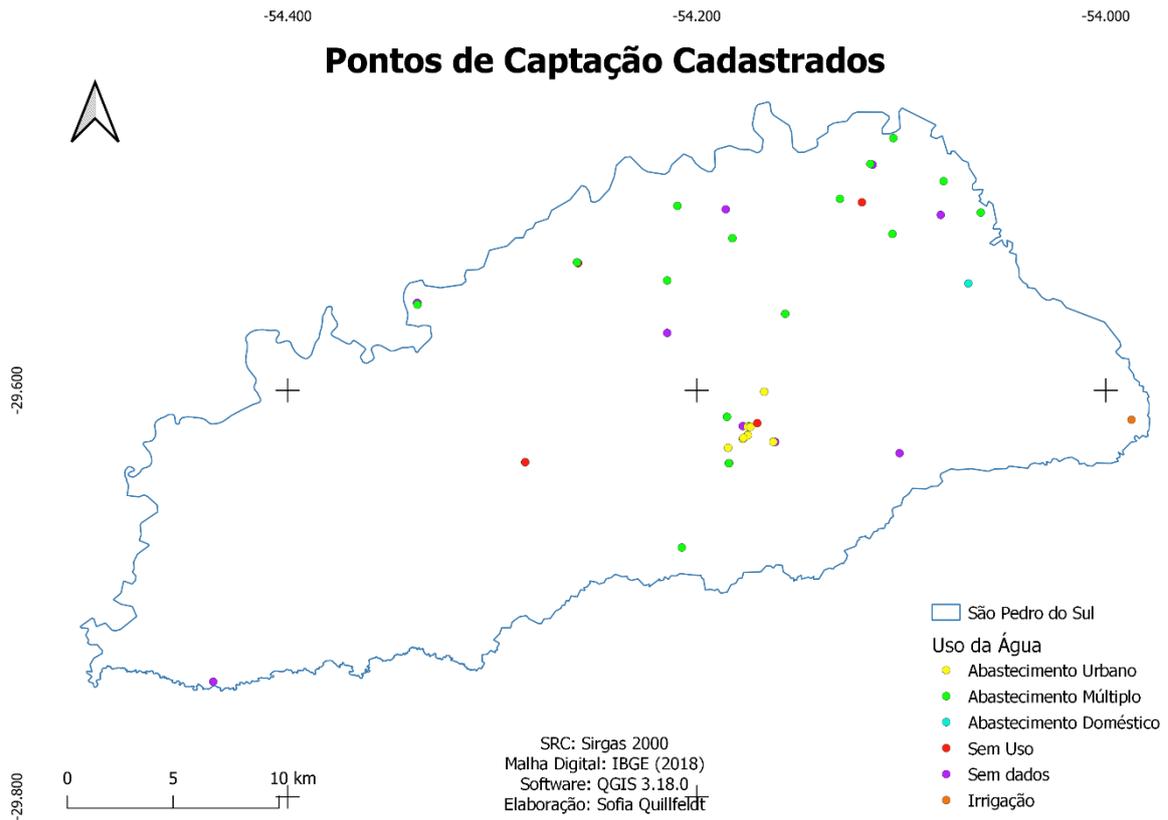


Figura 15. Mapa de localização dos pontos de captação cadastrados, identificados por seus respectivos usos da água. Elaboração própria.

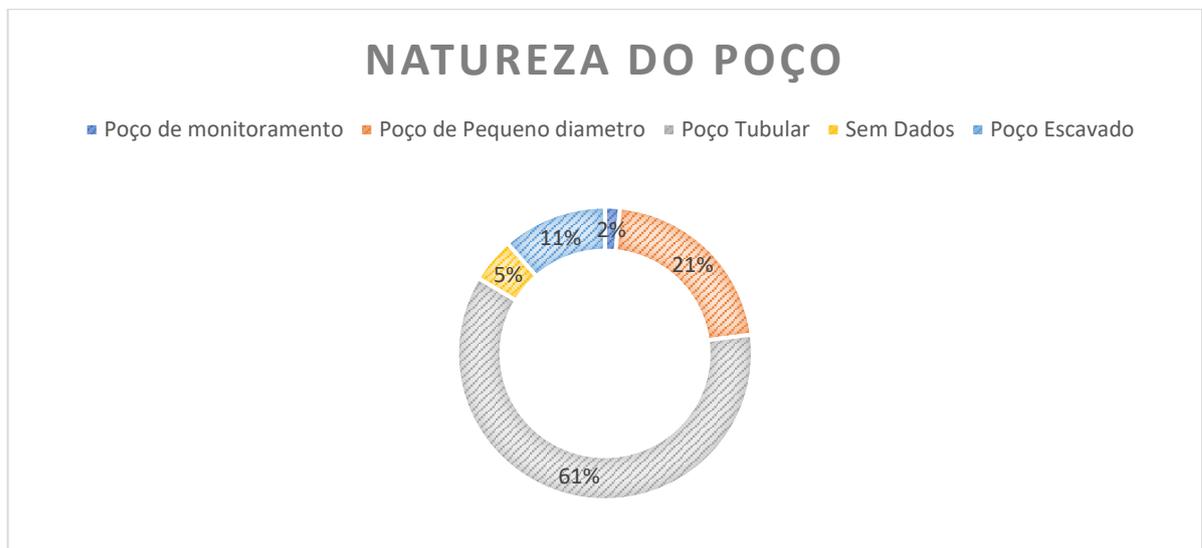


Figura 16. Distribuição das diferentes naturezas dos poços cadastrados no banco de dados.

Poços tubulares são os poços de natureza mais frequentemente encontrada na região. A grande frequência de captação de água através desses poços se deve à

maior vazão promovida pelos mesmos, de modo que, tanto a CORSAN quanto a Prefeitura utilizam, em sua grande parte, poços tubulares (Figura 17).



Figura 17. Poços tubulares no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora.

O sistema de abastecimento público urbano do município (Figura 18 e Figura 19) conta com um conjunto de 5 poços que captam 39,9 L/s no total, que, após passarem por um tratamento simplificado (Figura 20), são direcionados para a população do município ou para o reservatório presente, de 400 m³ (ANA, 2019).

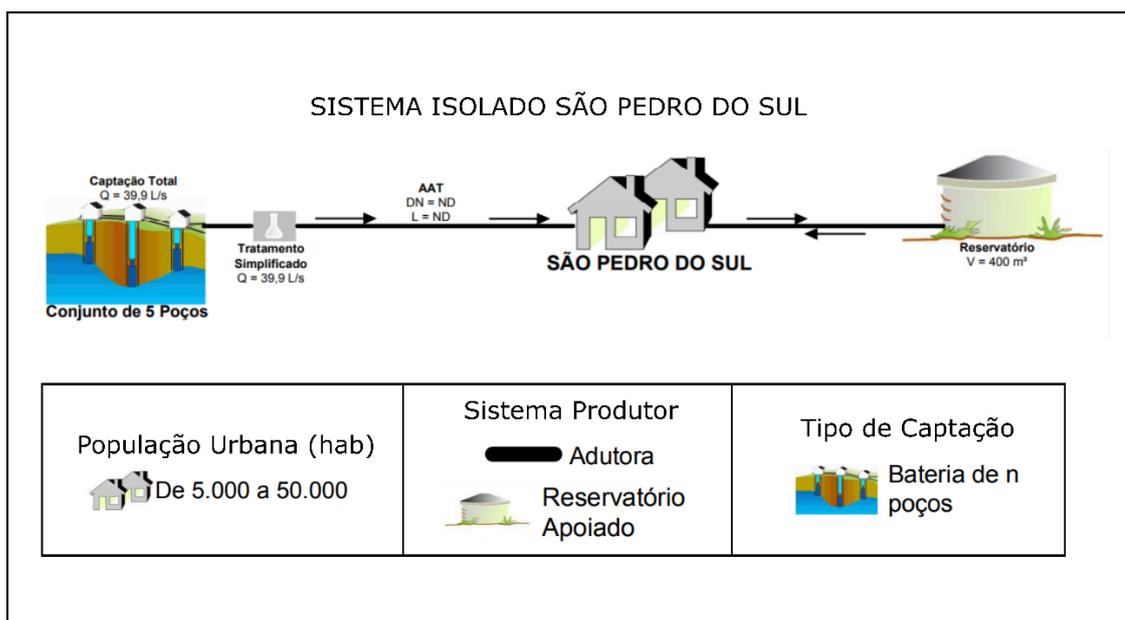


Figura 18. Sistema isolado de abastecimento de São Pedro do Sul. Modificado de Atlas do Abastecimento (ANA, 2009).



Figura 19. Poço da CORSAN que capta água para abastecimento público urbano do município de São Pedro do Sul. Fotografia da autora.

A CORSAN mantém a qualidade da água dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria de Consolidação nº888, Anexo 11, do Ministério da Saúde (Tabela 2), por meio de análises físico-químicas e microbiológicas. Nas localidades atendidas por poços, como é o caso de São Pedro do Sul, as águas, para se tornarem potáveis, passam pelos processos de desinfecção (adição de cloro para a eliminação de micro-organismos) e fluoretação (adição de compostos de flúor para a prevenção de cárie dentária) (Figura 20).



Figura 20. Sistema de desinfecção e fluoretação das águas da CORSAN no município de São Pedro do Sul. Fotografia da autora.

A captação de água através de poços de pequeno diâmetro (Figura 21) é comumente utilizada pela população da zona rural, devido ao programa da prefeitura de instalação de poços. Os poços de pequeno diâmetro são poços com diâmetro inferior a 4 polegadas (10,16 centímetros) podendo apresentar profundidades variáveis.



Figura 21. Poços de pequeno diâmetro no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora.

A captação de água através de poços escavados ou cacimbas (Figura 22) é comumente utilizada pela população da zona rural principalmente para dessedentação animal e irrigação. Os poços escavados são construídos manualmente em sedimentos pouco consolidados e não costumam possuir isolamento, proteção ou segurança. Além disso, não há um padrão para o diâmetro e a profundidade dos poços escavados. A profundidade dos poços escavados cadastrados no banco de dados varia de 1,72 a 6 m.



Figura 22. Poços escavados no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora.

No município de São Pedro do Sul, dos poços que apresentam dados de unidade geológica da qual a água subterrânea é captada, os poços que extraem água das rochas sedimentares do Sistema Aquífero Guarani representam 70,45% do total e os poços que extraem água das rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral representam 15,9% do total (Figura 23). Há também poços que captam água tanto do Sistema Aquífero Serra Geral, quanto do Sistema Aquífero Guarani (13,63%). Além disso, é possível observar um grande número de poços que não apresentam estes dados (27,87%).

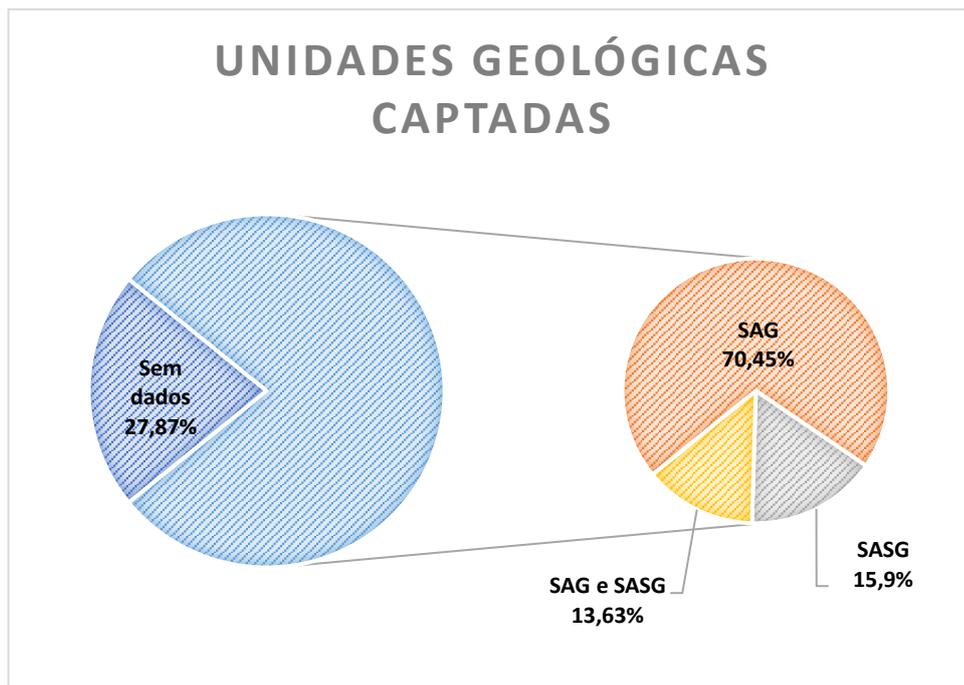


Figura 23. Distribuição das unidades geológicas de acordo com os Sistemas Aquíferos de onde as águas subterrâneas são captadas.

Os poços presentes no município são destinados a diferentes finalidades, tais como abastecimento doméstico, abastecimento urbano, abastecimento múltiplo e irrigação (Figura 24). A maior parte dos poços (71,74%) é destinada ao abastecimento múltiplo, seguida pelo abastecimento urbano (17,39%), e 2,17% deles destinados ao abastecimento doméstico e à irrigação. Além disso, 15,22% dos poços cadastrados não estão em uso. A escassez de dados é muito relevante neste caso, onde 23,91% dos poços não apresentam dados de finalidade do uso das águas.

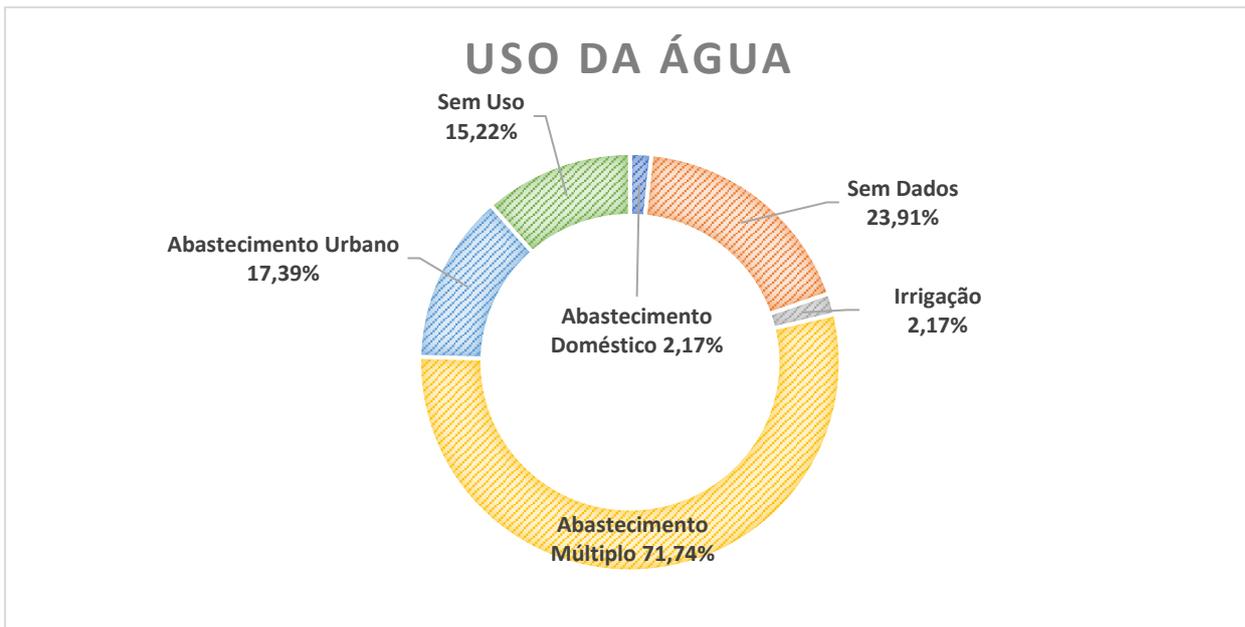


Figura 24. Distribuição dos Usos da Água dos poços cadastrados no banco de dados.

Dos 61 poços presentes em São Pedro do Sul, 59,02% se encontram em situação de bombeamento, enquanto 8,2% se encontram fechados, 3,28% se encontram equipados, 3,28% se encontram secos, 3,28% se encontram abandonados e 1,64% se encontram não instalados. Novamente, o número de poços sem dados de situação é bastante alto, com 21,31% deles (Figura 25).



Figura 25. Distribuição da Situação dos poços cadastrados no banco de dados.

4.2 Caracterização Geológica da Área de Estudo

No município de São Pedro do Sul ocorrem diferentes unidades geológicas, localizadas no mapa (Figura 26), sendo elas as rochas sedimentares das Formações Botucatu, Caturrita, Sanga do Cabral e Santa Maria, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e os Depósitos Aluvionares recentes.

Durante o trabalho de campo foram visitados 6 afloramentos, sendo que, dois deles apresentavam rochas da Formação Serra Geral, e os outros quatro apresentavam rochas das Formações Botucatu, Caturrita, Sanga do Cabral e Santa Maria, com litologia e estruturas descritas a seguir.

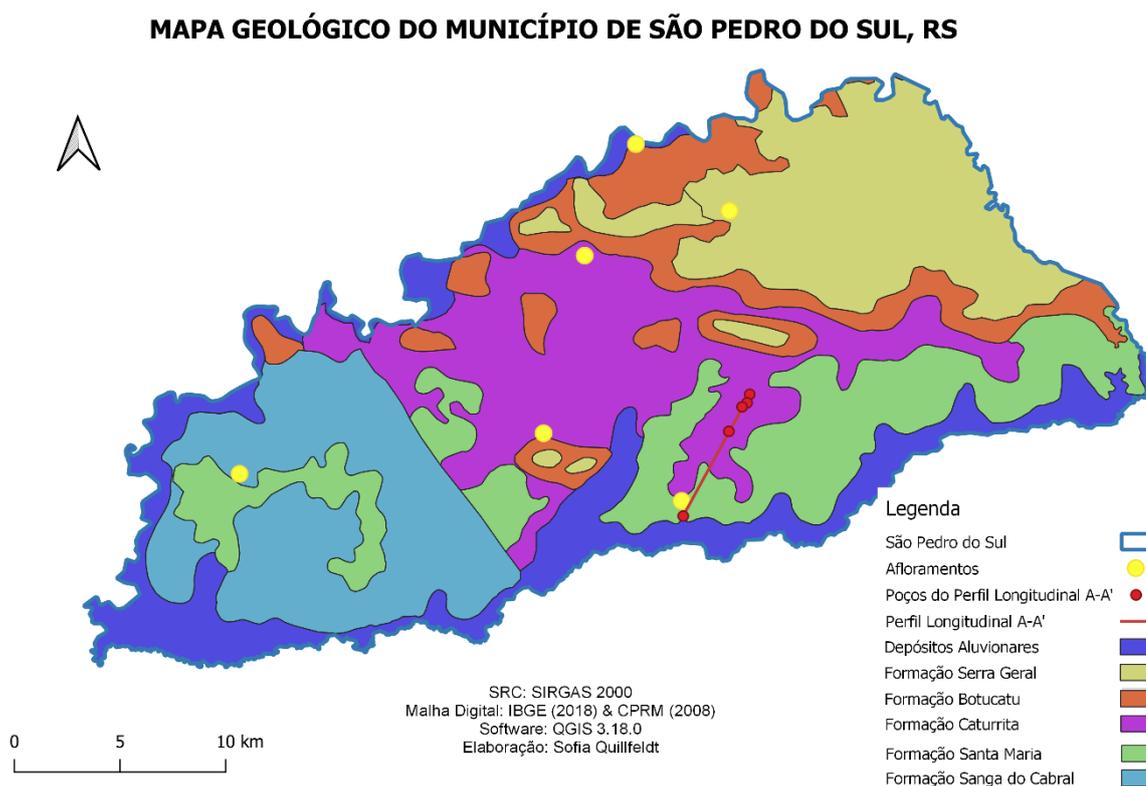


Figura 26. Mapa Geológico do Município de São Pedro do Sul com os afloramentos visitados no trabalho de campo e localização do perfil longitudinal gerado (CPRM, 2008; IBGE, 2018).

4.2.1 Unidades Geológicas

4.2.1.1 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral ocorre na porção nordeste de São Pedro do Sul, aflorando em 18,25% da área total do município. Esta Formação pertence ao Grupo São Bento e é de idade do Cretáceo (65,5-135 Ma), é composta por derrames de basaltos, basalto andesitos, riolitos e riodacitos, de filiação toleítica, onde intercalam-se arenitos e intertrápicos da Formação Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência. No município de São Pedro do Sul, a Fácies aflorante da Formação Serra Geral é a Fácies Gramado. Esta Fácies é composta por derrames basálticos holocristalinos finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e *pahoehoe* comuns, intercalações com os arenitos Botucatu (CPRM, 2006).

No trabalho de campo, foram identificados dois afloramentos de rochas da Formação Serra Geral (Figura 27 e Figura 28). Os afloramentos se encontravam bastante alterados, constituídos de basaltos de coloração cinza-avermelhada, com textura fanerítica fina a afanítica. A rocha apresenta estruturas de disjunção colunares bem desenvolvidas, geradas durante o processo de arrefecimento da lava basáltica.



Figura 27. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando disjunções colunares nas rochas basálticas da Formação Serra Geral no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora.



Figura 28. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando disjunções colunares nas rochas basálticas da Formação Serra Geral no município de São Pedro do Sul. Fotografias da autora.

4.2.1.2 Formação Botucatu

A Formação Botucatu ocorre na porção nordeste de São Pedro do Sul, aflorando em 11,21% da área total do município. Esta Formação é de idade do Jurássico (135-199 Ma), e é composta por arenitos finos a grossos, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em *sets* e/ou *cosets* de estratificação cruzada de grande porte. Sua gênese ocorreu em ambiente continental desértico, composto por depósitos de dunas eólicas (CPRM, 2006).

No trabalho de campo, foram identificados arenitos médios de coloração alaranjada, bem arredondados e com alta esfericidade, apresentando estratificação plano-paralela (Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32). Foram identificados também níveis bem silicificados nesses arenitos. O afloramento visitado foi consolidado como um Sítio Arqueológico devido à presença de inscrições rupestres de origem indígena.



Figura 29. Afloramento em paredão apresentando laminação plano-paralela e podendo-se ver o contato entre dois pacotes de arenito da Formação Botucatu (demarcação na cor amarela). Fotografia da autora.

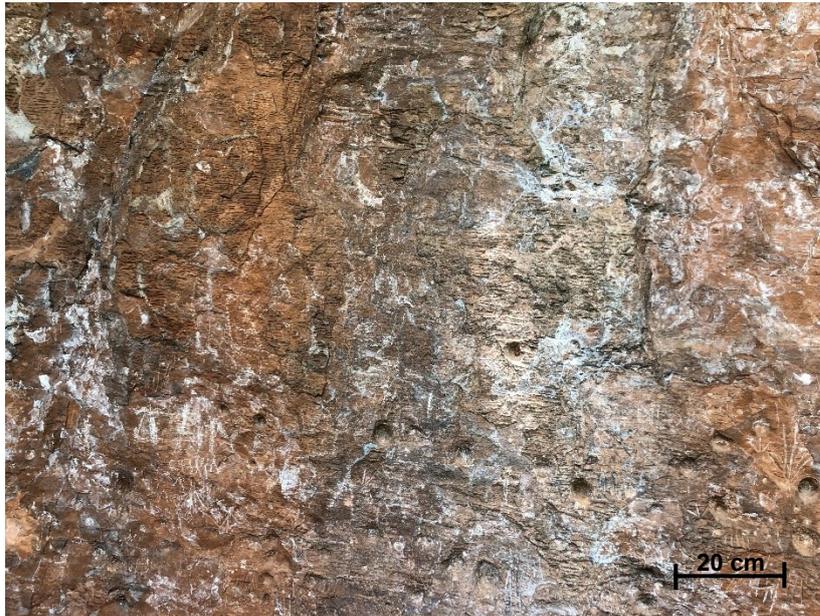


Figura 30. Afloramento em paredão apresentando laminação plano-paralela e pinturas rupestres nos arenitos da Formação Botucatu. Fotografia da autora.



Figura 31. Detalhe de laminação plano-paralela em arenito da Formação Botucatu. Fotografia da autora.



Figura 32. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando laminação plano-paralela em arenito da Formação Botucatu. Fotografia da autora.

4.2.1.3 Formação Caturrita

A Formação Caturrita ocorre na porção central de São Pedro do Sul, aflorando em 20,06% da área total do município. Esta Formação pertence ao grupo Rosário do Sul, de idade do Triássico Superior (199-228 Ma), e é composta por arenitos, conglomerados, siltitos areno-argilosos e folhelhos, contendo tetrápodes fósseis e troncos de coníferas. Sua gênese ocorreu em ambiente continental, depósitos fluviais e deltas lacustres (CPRM, 2006).

No trabalho de campo, foram identificados arenitos finos a médios com níveis de coloração branca e avermelhada intercalados com estratificação plano-paralela e cruzada acanalada (Figura 33 e Figura 34).



Figura 33. Afloramento em vala apresentando estratificação plano-paralela, cruzada e pacotes maciços sobrepostos em arenitos da Formação Caturrita. Fotografia da autora.

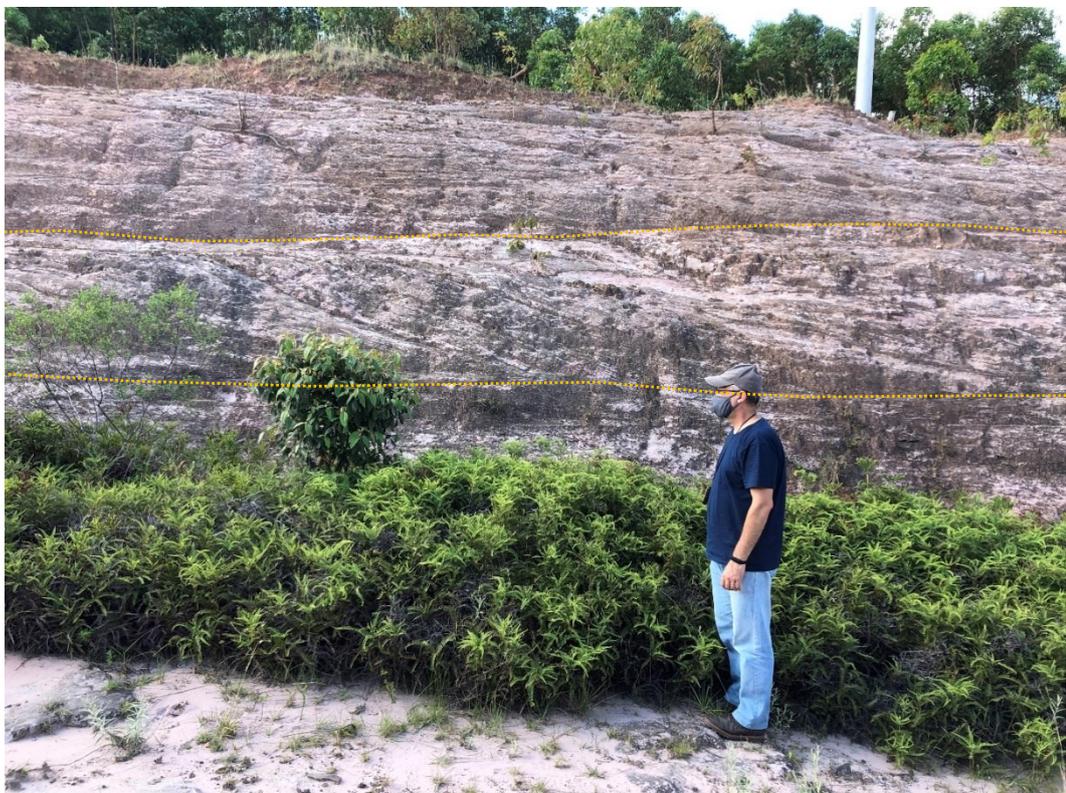


Figura 34. Afloramento em vala apresentando estratificação cruzada e plano-paralela em arenitos da Formação Caturrita. Fotografia da autora.

4.2.1.4 Formação Sanga do Cabral

A Formação Sanga do Cabral ocorre na porção sudoeste de São Pedro do Sul, aflorando em 17% da área total do município. Esta Formação pertence ao grupo Rosário do Sul, de idade do Triássico Inferior (245-251 Ma), e se apresenta em corpos tabulares ou lenticulares alongados, com brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito. Sua gênese ocorreu em ambiente continental, fluvial entrelaçado, contendo fragmentos de vertebrados fósseis (anfíbios e répteis), dentre os quais *Procolophon Princei*, correlacionável à Zona de *Lystrosaurus* da África do Sul (CPRM, 2006).

No trabalho de campo, foram identificados arenitos argilosos finos de coloração vermelha rosada e estrutura maciça. Foi identificado o contato entre a Formação Sanga do Cabral com a Formação Santa Maria, composta por conglomerados arenito grosso suportados com seixos, apresentando muito frequentemente fragmentos de troncos fossilizados (Figura 35, Figura 36 e Figura 37). A gênese desta Formação foi identificada como ambiente continental fluvial.



Figura 35. Detalhe em afloramento de corte de beira de estrada apresentando contato entre conglomerados arenito-suportados com seixos e fragmentos abundantes de troncos fossilizados da Formação Santa Maria e arenitos argilosos da Formação Sanga do Cabral (demarcado na cor amarela). Fotografia da autora.



Figura 36. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando contato entre conglomerados arenito-suportados com seixos e fragmentos abundantes de troncos fossilizados da Formação Santa Maria e arenitos argilosos da Formação Sanga do Cabral. Fotografia da autora.



Figura 37. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando contato entre conglomerados arenito-suportados com seixos e fragmentos abundantes de troncos fossilizados da Formação Santa Maria e arenitos argilosos da Formação Sanga do Cabral. Fotografia da autora.

4.2.1.5 Formação Santa Maria

A Formação Santa Maria ocorre na porção centro-sul de São Pedro do Sul, aflorando em 17,97% da área total do município. Esta Formação pertence ao grupo Rosário do Sul, de idade do Triássico Médio (225-245 Ma), e é composta por arenito e arenito conglomerático com pelitos subordinados, contendo elementos da flora de *Dicroidium* (Membro Passo das Tropas) e siltito argiloso maciço, contendo fauna de tetrápodes fósseis (Membro Alemoa). Sua gênese ocorreu em ambiente continental correspondendo a depósitos de canais fluviais de moderada sinuosidade, de planície de inundação e lacustre (CPRM, 2006).

No trabalho de campo, foram identificados arenitos finos e grossos intercalados com laminação plano-paralela à cruzada acanalada (Figura 38) e coloração variando entre branca (composta por areia muito fina a fina), amarela, laranja e vermelha (composta por areia média). A rocha apresenta por vezes clastos de argilito e lentes de pelito em meio à sua estrutura (Figura 39 e Figura 40).

Também se apresentam porções com frequentes clastos de argila orientados pelo fluxo e níveis oxidados por óxidos de manganês (Figura 41). Essas oxidações podem gerar alterações na qualidade da água. Esses arenitos foram identificados como depósitos de canais fluviais. Além disso, foram identificados fragmentos grandes de troncos fossilizados em meio à rocha (Figura 42).



Figura 38. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando laminação plano-paralela em arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora.



Figura 39. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando clastos de argilito em arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora.



Figura 40. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando lentes de pelito em meio à estrutura dos arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora.



Figura 41. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando níveis oxidados por óxidos de manganês em arenitos da Formação Santa Maria. Fotografia da autora.



Figura 42. Afloramento de corte de beira de estrada apresentando tronco fossilizado em meio à rocha da Formação Santa Maria. Fotografia da autora.

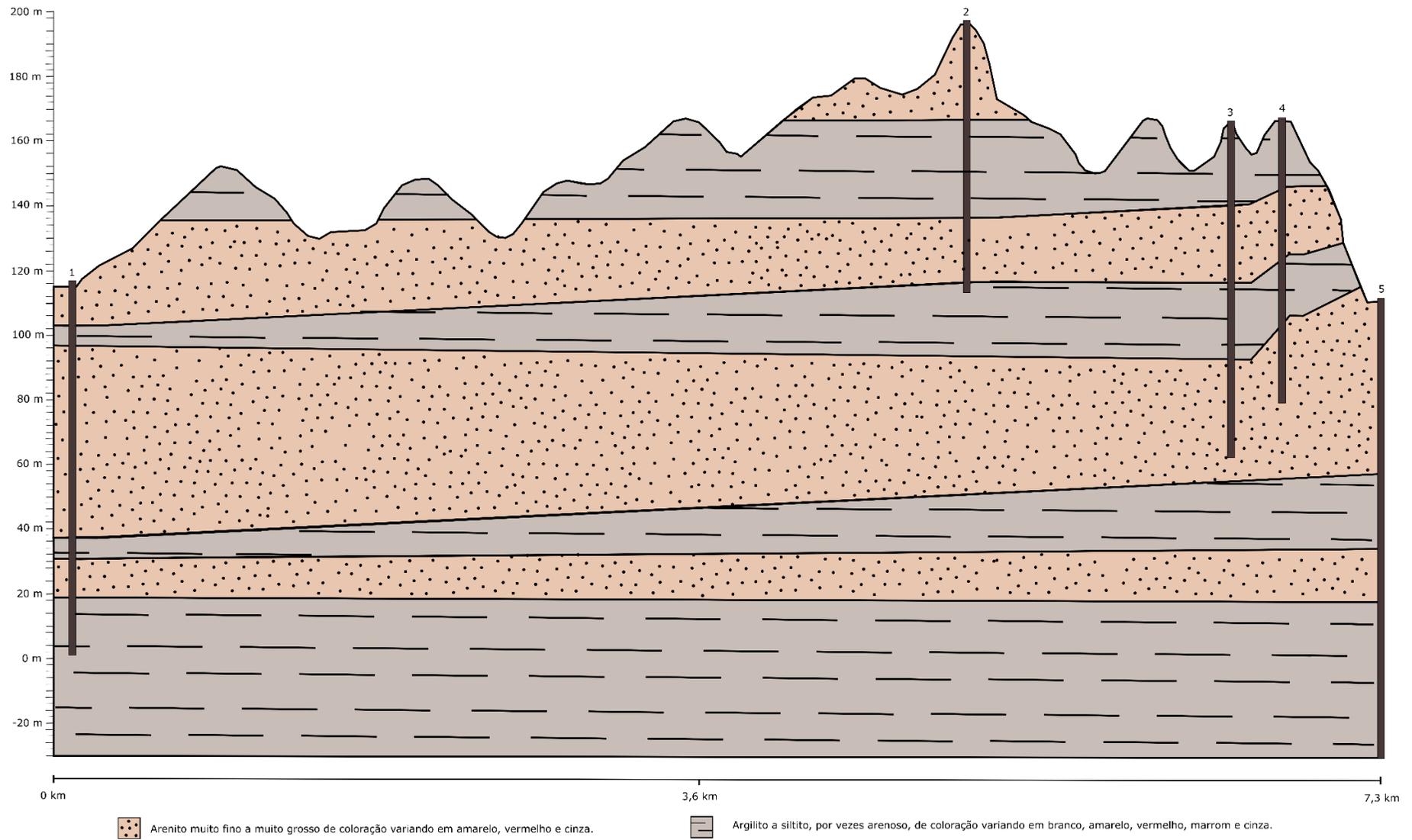
4.2.1.6 Depósitos Aluvionares

Os Depósitos Aluvionares ocorrem na porção periférica de São Pedro do Sul, compondo 15,48% da área total do município, ausente apenas na borda nordeste. Estes Depósitos são de idade do Holoceno (0,01 Ma–presente) e são compostos por sedimentos de granulometria variada (cascalho, areias, siltes e argilas; CPRM, 2006). No trabalho de campo não foi possível identificar pontos onde afloram os depósitos aluvionares.

4.2.2 Análise de perfis e correlação longitudinal

Analisando os perfis geológicos dos poços tubulares disponíveis no SIAGAS (CPRM), foi possível identificar e descrever as diferentes litologias e estruturas que ocorrem em profundidade no município de São Pedro do Sul. A partir desses perfis e

da interpretação da geologia local, foi possível elaborar um perfil longitudinal que corta a área com direção N-S (Figura 26). O perfil longitudinal é representado na Figura 43.



1. COR-SPS-08 G.3627; 2. II020; 3. COR-SPS-02-B G.3443 ART-5608876; 4. II024 COR-SPS-04 G.0618; 5. II016 COR-SPS-03-B G.2991.

Figura 43. Perfil Longitudinal A-A'.

A partir do perfil longitudinal, foi identificada uma variedade de litologias no município de São Pedro do Sul, com sequências sedimentares apresentando intercalação de pelito e arenito com diversas estruturas.

4.2.3 Análise dos Lineamentos

A partir da metodologia descrita foi possível traçar 187 lineamentos na escala 1:62.500 no município de São Pedro do Sul, podendo ser vistos na Figura 44 mostrada a seguir. A partir do Mapa de Lineamentos, foi gerado o Mapa de Densidade de Lineamentos (Figura 45) e dois Diagramas de Roseta (Figura 46), o primeiro gerado a partir do comprimento dos lineamentos e o segundo gerado a partir da frequência dos mesmos.

LINEAMENTOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL

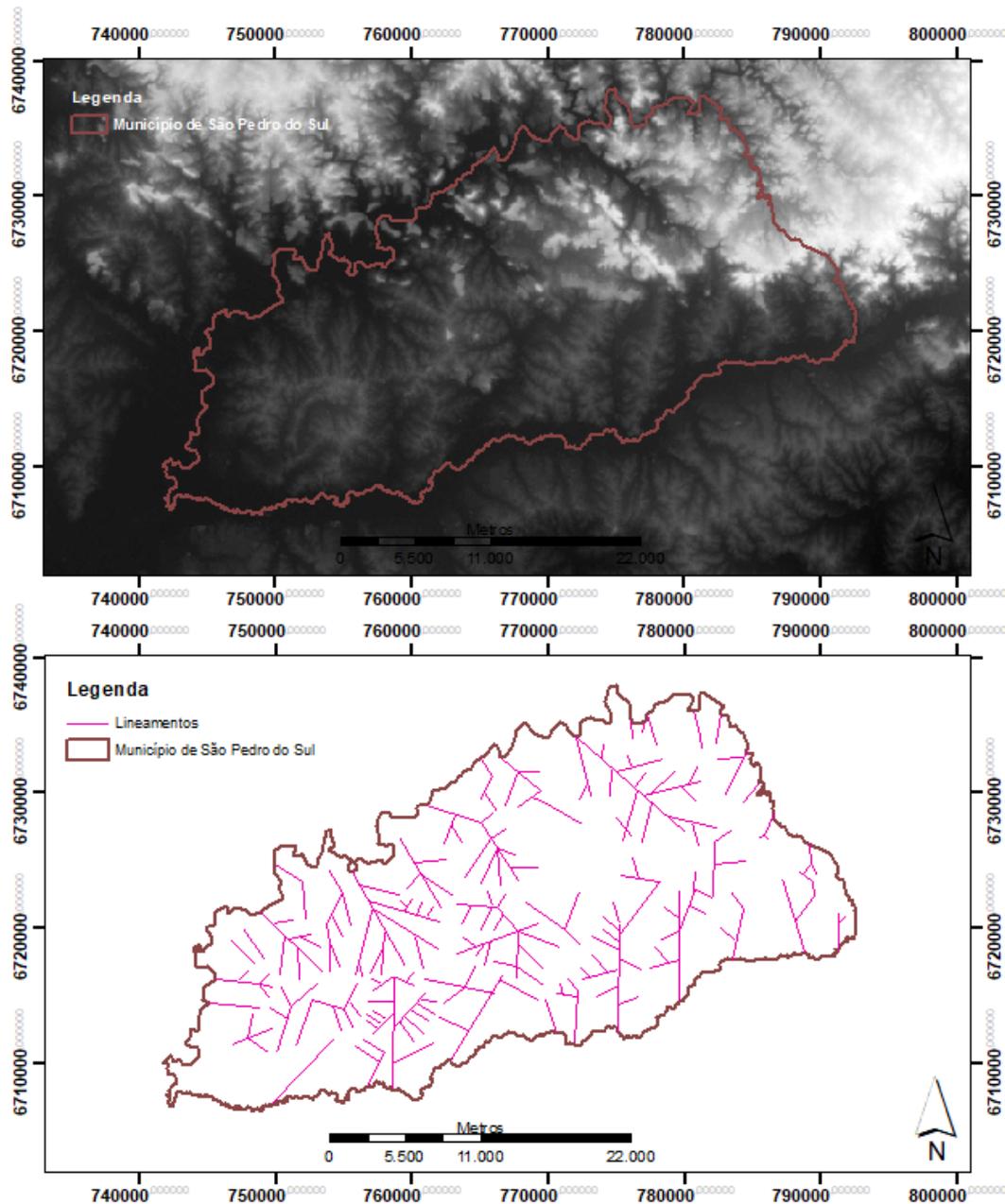


Figura 44. Mapa de lineamentos do município de São Pedro do Sul. A) Hillshade aplicado à imagem ALOS PALSAR utilizado como auxílio ao traçado dos lineamentos; B) Mapa de Lineamentos do Município de São Pedro do Sul.

Analisando a Figura 1B é possível constatar que há um grande número de lineamentos no município distribuídos por toda a sua área. A partir do Mapa de Densidade de Lineamentos, que evidencia regiões onde a presença de estruturas lineares é mais abundante, é possível dividir o município em duas porções: a primeira,

com uma maior densidade de lineamentos, localizados na região oeste da área, e uma segunda porção, com uma menor densidade de lineamentos, localizados na região leste da área.

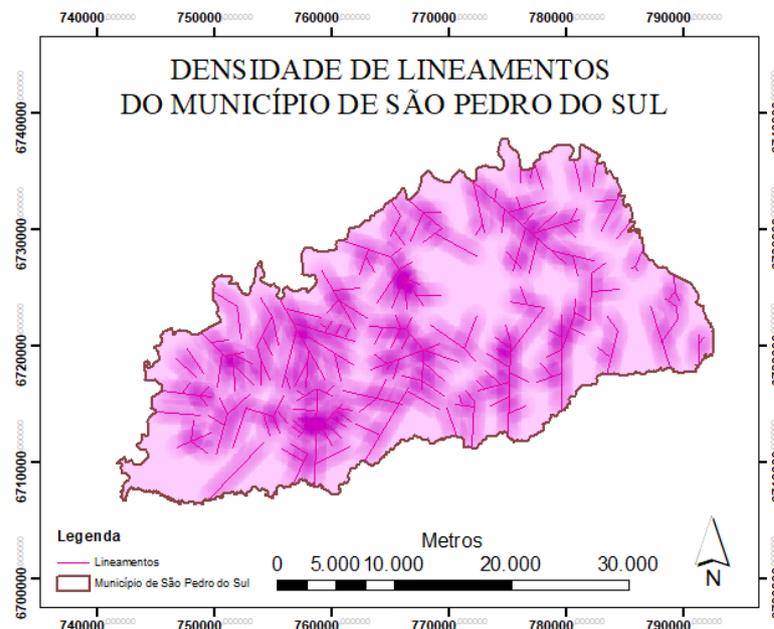


Figura 45. Mapa de densidade de lineamentos do município de São Pedro do Sul.

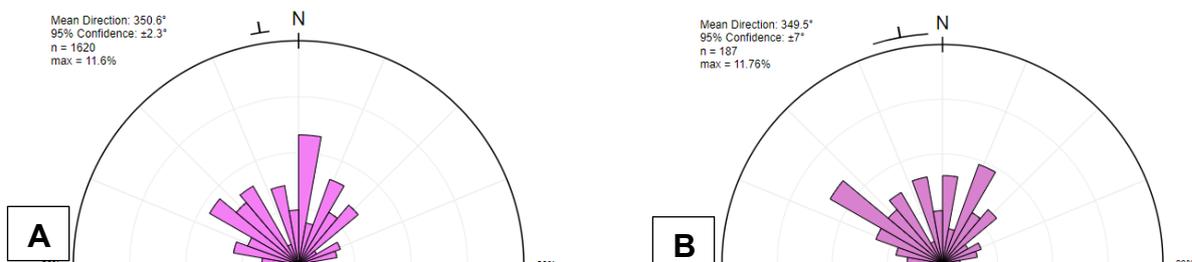


Figura 46. Diagramas de Rosetas representando os lineamentos traçados. A) Diagrama de Rosetas com atribuição de pesos - método do comprimento (com intervalo padrão sugerido pelo AzimuthFinder), conferindo maior representatividade aos lineamentos mais extensos; e B) Diagrama de Rosetas pelo método da frequência, conferindo mesma representatividade aos lineamentos menores e maiores.

Ambos os Diagramas de Rosetas estabelecidos a partir do comprimento e da frequência dos lineamentos, mostram que a direção média é 350°. A partir do Diagrama elaborado a partir do comprimento dos lineamentos, nota-se que há uma família de lineamentos que se destaca em representatividade, tendo sentido norte (N0-10E), o que significa que os lineamentos de maior comprimento apresentam essa direção aproximada. A segunda família de lineamentos com maior evidência no Diagrama tem sentido noroeste (N50-60W).

Já o Diagrama de Rosetas elaborado a partir da frequência dos lineamentos, pode-se ver que a família de lineamentos de maior representatividade possui sentido noroeste (N50-60W), significando que a maior parte dos lineamentos apresentam essa direção aproximada. A segunda família de lineamentos com maior evidência no Diagrama tem sentido nordeste (N20-30E).

4.2.4 Estruturas Regionais

Com base no Mapa de Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2009), foi elaborado o Mapa Geológico e Estrutural do Município de São Pedro do Sul (Figura 47).

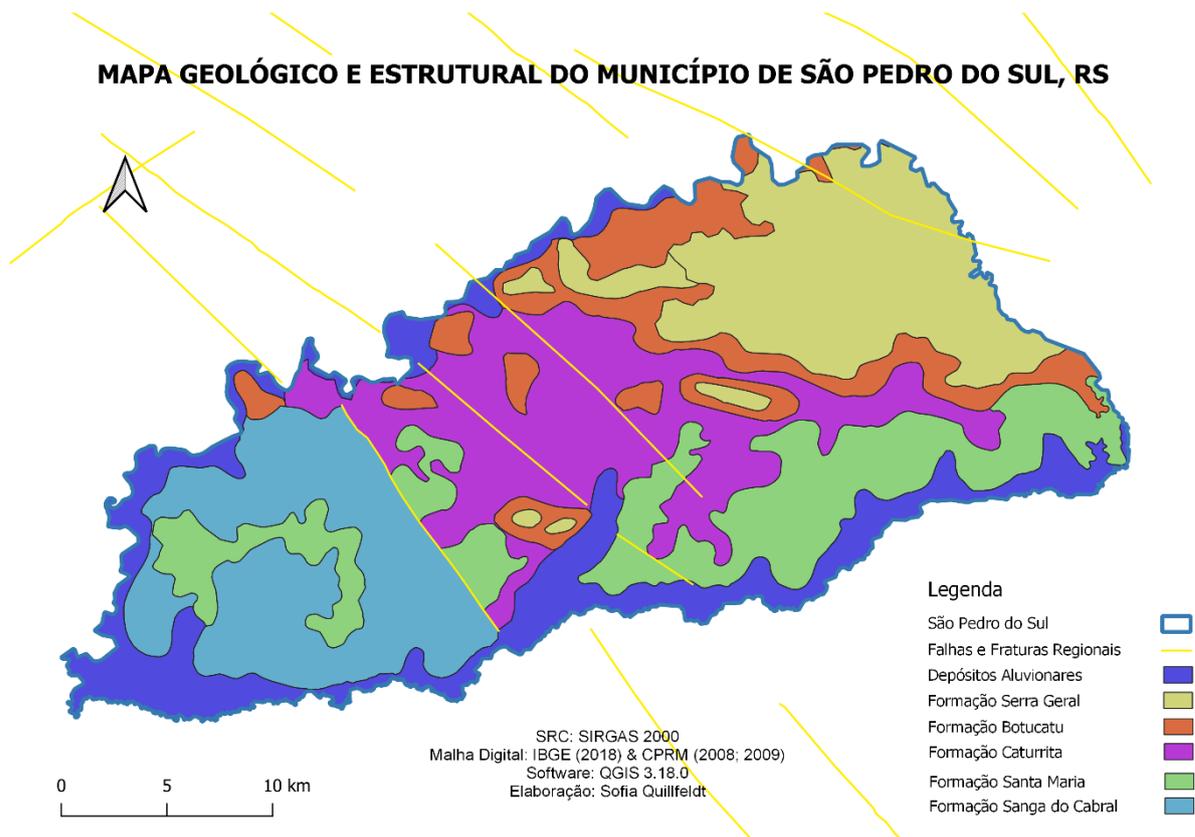


Figura 47. Mapa geológico e estrutural do município de São Pedro do Sul, RS.

É possível observar que todas as falhas e fraturas apresentam direções noroeste similares no município de São Pedro do Sul. O município é cortado na área central por três falhas, e, próximo ao limite do município, na área nordeste, por uma

falha. As falhas que ocorrem no município pertencem ao Sistema de Falhas Jaguari-Mata, com direção noroeste.

4.3 Caracterização Hidrogeológica

O município de São Pedro do Sul é composto por dois Sistemas Aquíferos: o Sistema Aquífero Guarani, ocupando a porção mais significativa da área do município, sendo composto pelas Unidades Hidroestratigráficas Santa Maria, Caturrita, Sanga do Cabral e Botucatu, e o Sistema Aquífero Serra Geral, ocupando uma pequena porção próxima ao limite nordeste do município.

Considerando os 61 poços armazenados no banco de dados do trabalho, apenas 42 deles possuem dados de Sistema Aquífero captado. Destes, 73,8% (31 poços) deles captam águas do Sistema Aquífero Guarani e 11,9% (5 poços) do Sistema Aquífero Serra Geral. Além disso, 14,2% (6 poços) dos poços que contêm dados sobre o sistema aquífero captado captam água tanto do Sistema Aquífero Guarani quando do Sistema Aquífero Serra Geral.

4.3.1 Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani no município de São Pedro do Sul se apresenta em quatro diferentes unidades hidroestratigráficas: Santa Maria, Sanga do Cabral, Caturrita e Botucatu.

A Unidade Hidroestratigráfica Santa Maria representa um aquífero com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. A área aflorante desse sistema aquífero está restrita à região central do Estado, entre os municípios de Mata e Taquari. Apresenta arenitos grossos a conglomeráticos na base, lamitos avermelhados, siltitos e arenitos finos a médios no topo. As capacidades específicas variam de 0,5 a 1 m³/h/m nas áreas de afloramento e alcançam 4 m³/h/m nas áreas confinadas. A salinidade varia de 50 a 500 mg/l e, entretanto, em algumas regiões confinadas são encontrados valores superiores a 2000 mg/l e teores de flúor acima do limite de potabilidade (CPRM, 2006).

A Unidade Hidroestratigráfica Sanga do Cabral representa um aquífero com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. A área aflorante estende-se desde a fronteira do Estado com o Uruguai, em uma faixa contínua até a região de Taquari. Compõe-se de camadas siltico-arenosas avermelhadas com matriz argilosa e arenitos finos a muito finos,

avermelhados, com cimento calcífero. As capacidades específicas são muito variáveis, em geral entre 0,5 e 1,5 m³/h/m. A salinidade varia de 100 mg/l nas áreas aflorantes a mais de 300 mg/l nas confinadas. Na região central do Estado são encontradas salinidades entre 3000 e 5000 mg/l (CPRM, 2006).

A Unidade Hidroestratigráfica Caturrita representa um aquífero em rochas com porosidade intergranular, compreendendo rochas sedimentares de ambiente de sistemas fluviais de canais isolados a meandranes e deltas lacustres (GIARDIN; FACCINI, 2004). As capacidades específicas variam de 0,08 a 4,14 m³/h/m, com uma média de 1,06 m³/h/m. As águas da Unidade Hidroestratigráfica Caturrita foram classificadas por Grawer (2015) como águas bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas sódicas.

A Unidade Hidroestratigráfica Botucatu representa um aquífero com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. A área aflorante desse sistema aquífero restringe-se à fronteira oeste, entre Santana do Livramento e Jaguarí. A porção confinada pelas rochas basálticas ocorre entre os municípios de Santana do Livramento, Alegrete, Uruguaiana, Itaqui e São Borja. As litologias são compostas por arenitos médios a finos, quartzosos, róseos a avermelhados, apresentando intercalações pelíticas e cimento argiloso na unidade Guará. Na área aflorante as capacidades específicas variam entre 1 e 3 m³/h/m e os sólidos dissolvidos totais raramente ultrapassam a 250 mg/l. Na área confinada as capacidades específicas ultrapassam a 4 m³/h/m, alcançando até 10 m³/h/m. Os sólidos totais dissolvidos variam entre 250 e 400 mg/l (CPRM, 2006).

A análise dos poços da hidrogeologia do Sistema Aquífero Guarani se deu a partir de 31 poços cadastrados no banco de dados elaborado pela autora que identificavam a captação de água a partir do mesmo (Figura 48). Esses poços se localizam em aquíferos porosos, livres e confinados, onde as águas se situam nos poros das rochas sedimentares da área em estudo. A camada aquífera dos poços presentes no banco de dados varia de 2 a 44 metros de espessura, com litologias variando de arenito fino a grosso a arenito argiloso. Os poços identificados se localizam principalmente na porção sudoeste do município, a mesma região onde afloram predominantemente as rochas da Formação Santa Maria.

A litologia principal da Formação Santa Maria no município de São Pedro do Sul é composta por arenitos finos e grossos intercalados com laminação plano-paralela à cruzada acanalada.

A partir do banco de dados elaborado pela autora, foram analisados os parâmetros profundidade, vazão, capacidade específica, nível estático, profundidade e espessura dos filtros, debatidos a seguir.

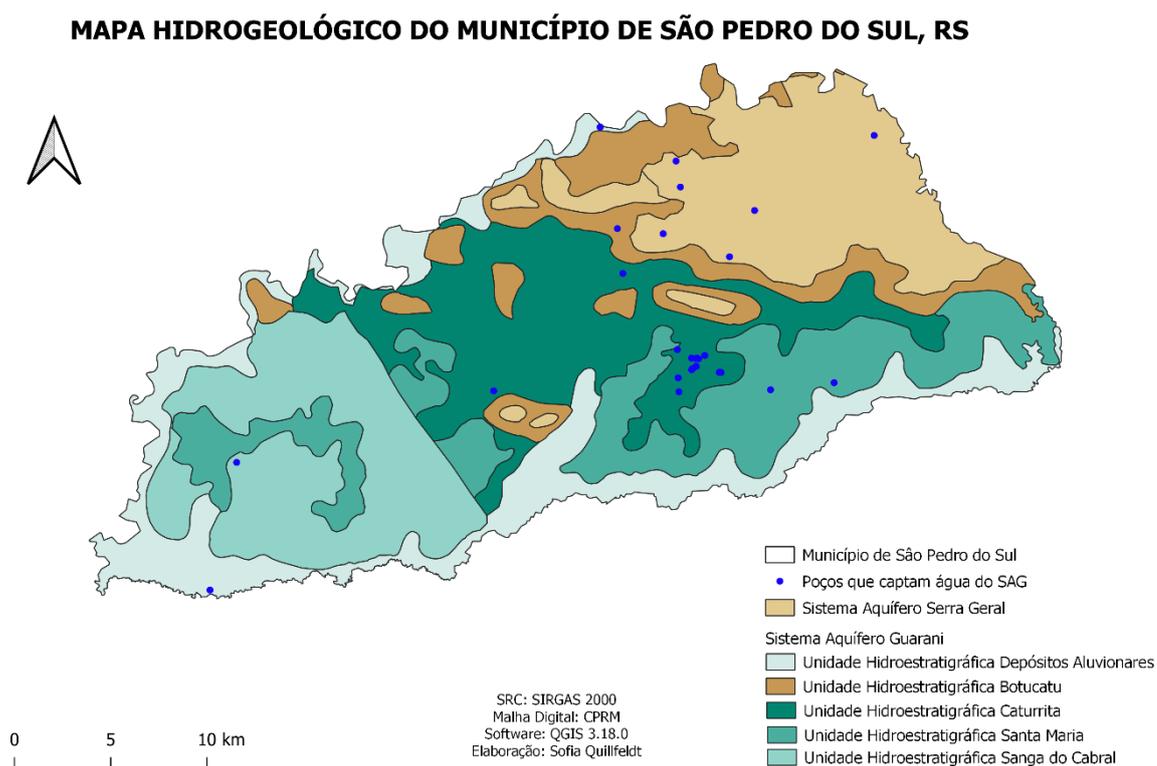


Figura 48. Mapa Hidrogeológico de São Pedro do Sul evidenciando os poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani. Malha Digital: CPRM (2006). Elaboração própria.

Profundidade dos Poços

A grande maioria dos poços (52,17%) que captam água do Sistema Aquífero Guarani possui de 50 a 99 metros de profundidade (Figura 49), porém, no município, há poços com profundidades variando de 4 a 174 metros. Esse extenso intervalo de profundidades dos poços pode ser observado também no alto valor de desvio padrão (Tabela 3).

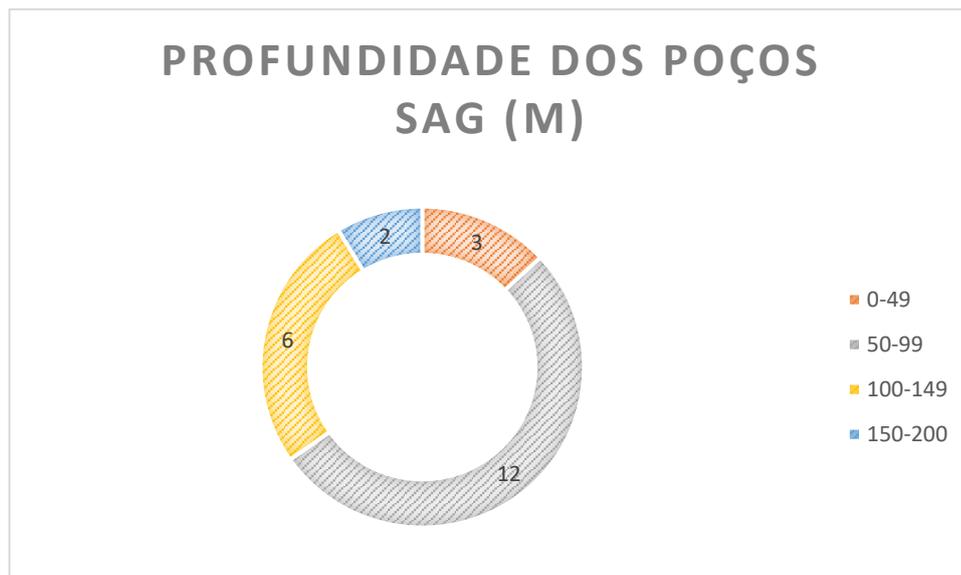


Figura 49. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de profundidade do Sistema Aquífero Guarani.

Tabela 3. Dados estatísticos da profundidade dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani.

| PROFUNDIDADE (SAG) | |
|---------------------------|--------|
| MÉDIA | 87,34 |
| MEDIANA | 88,00 |
| DESVIO PADRÃO | 42,93 |
| MÍNIMO | 4,00 |
| MÁXIMO | 174,00 |

Vazão dos Poços

A maior parte dos poços (36,8%) que captam água do Sistema Aquífero Guarani possui valor de vazão no intervalo de 10 a 20 m³/h (Figura 50). Além disso, no município, há poços com valores de vazão variando de 5,33 a 54,3 m³/h (Tabela 4).

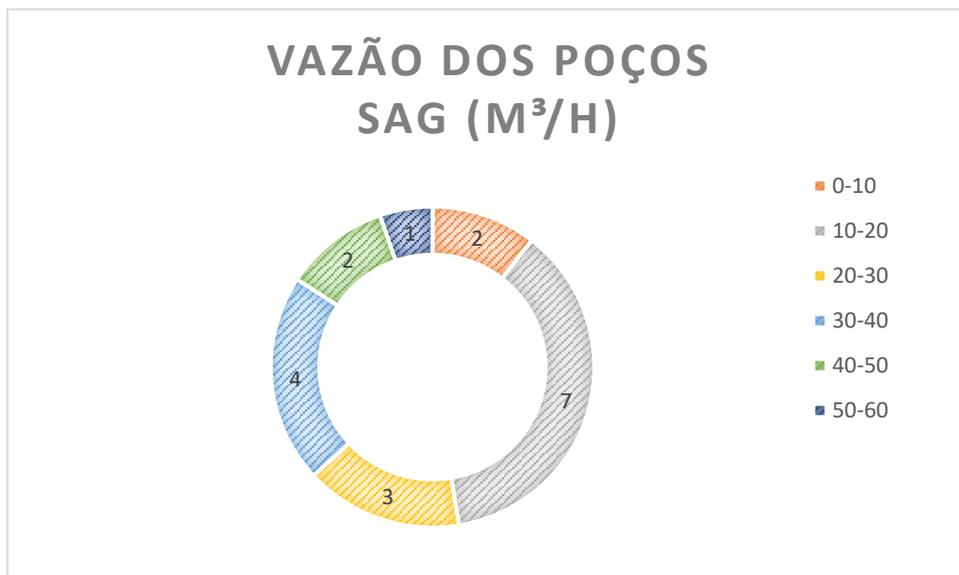


Figura 50. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de vazão do Sistema Aquífero Guarani.

Tabela 4. Dados estatísticos da vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani.

| VAZÃO (SAG) | |
|----------------------|-------|
| MÉDIA | 24,48 |
| MEDIANA | 22,00 |
| DESVIO PADRÃO | 13,03 |
| MÍNIMO | 5,33 |
| MÁXIMO | 54,30 |

Capacidade Específica dos Poços

Dos poços que apresentam dados de capacidade específica no Sistema Aquífero Guarani, 57% deles apresenta valores no intervalo de 0,421 a 2,421 m³/h/m. O intervalo de 2,421 a 4,421 m³/h/m é representado por 22% dos poços, seguido por 14% dos poços com valores no intervalo de 4,421 a 6,421 m³/h/m e 7% no intervalo de 10,421 a 12,421 m³/h/m (Figura 51). No município de São Pedro do Sul, há poços com capacidade específica variando de 0,421 a 11,124 m³/h/m (Tabela 5).

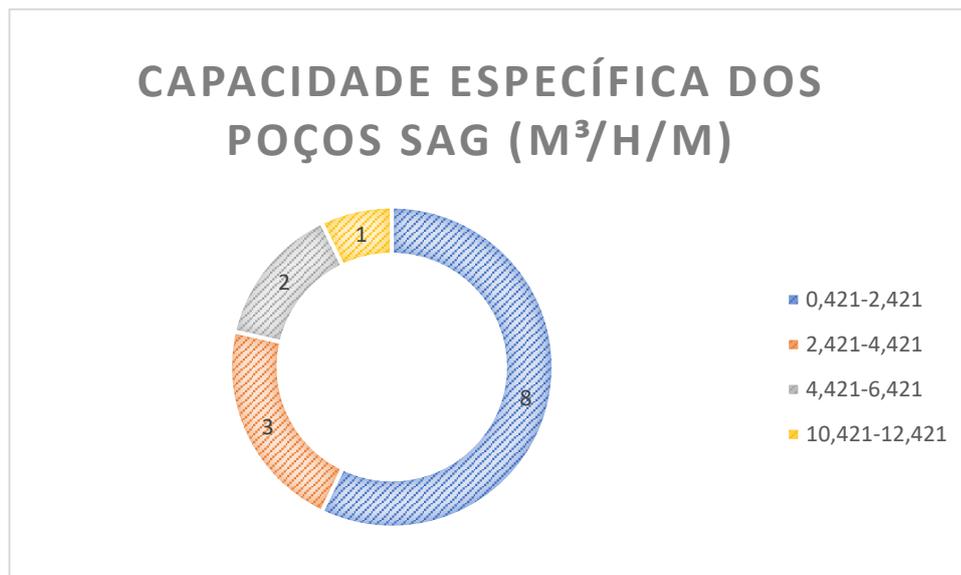


Figura 51. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de capacidade específica do Sistema Aquífero Guarani.

Tabela 5. Dados estatísticos da capacidade específica dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani.

| CAPACIDADE ESPECÍFICA (SAG) | |
|------------------------------------|-------|
| MÉDIA | 2,78 |
| MEDIANA | 1,76 |
| DESVIO PADRÃO | 2,87 |
| MÍNIMO | 0,42 |
| MÁXIMO | 11,12 |

Nível Estático dos Poços

A faixa de valores de nível estático mais representativa nos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani é de 10 a 20 metros, porém, em segundo lugar, 18,18% dos poços apresentam valores de nível estático nas faixas de 0 a 10 m, 40 a 50 m e 50 a 60 m (Figura 52). No município de São Pedro do Sul, há poços com nível estáticos variando de 0,5 a 59,55 metros de profundidade (Tabela 6).

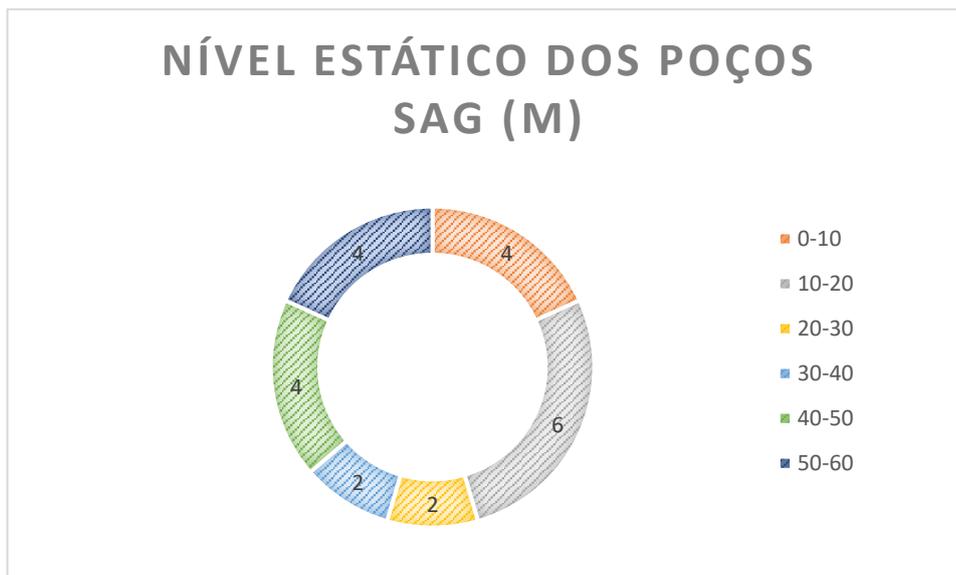


Figura 52. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de nível estático do Sistema Aquífero Guarani.

Tabela 6. Dados estatísticos do nível estático dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani.

| NÍVEL ESTÁTICO (SAG) | |
|----------------------|-------|
| MÉDIA | 28,53 |
| MEDIANA | 27,83 |
| DESVIO PADRÃO | 19,71 |
| MÍNIMO | 0,50 |
| MÁXIMO | 59,55 |

Filtros

A profundidade dos filtros varia de 19 a 140 metros, sendo o intervalo mais representativo de profundidade dos filtros de 70 a 79 metros (24,13% dos poços que contêm filtro). Em segundo lugar, 17,24% dos poços que contêm filtro apresentam valores de profundidade dos mesmos na faixa de 80 a 89 metros (Figura 53).

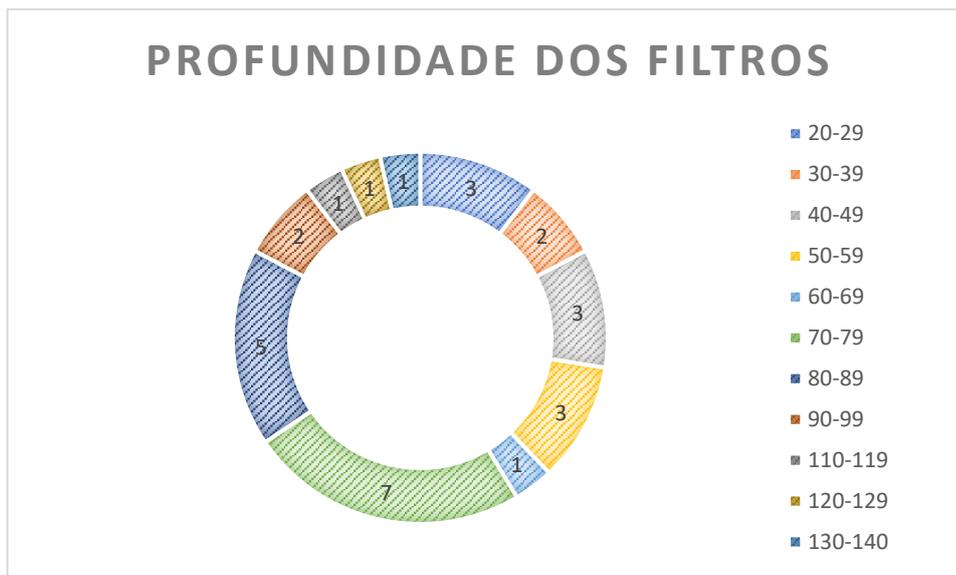


Figura 53. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de nível estático do Sistema Aquífero Guarani.

Quando falamos em espessura dos filtros, dos 29 filtros presentes nos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani, 15 deles (51,72%) possuem espessuras no intervalo de 5 a 10 metros (Figura 54). No município de São Pedro do Sul, há poços com filtros variando de 2,28 a 30,8 metros de espessura (Tabela 7).

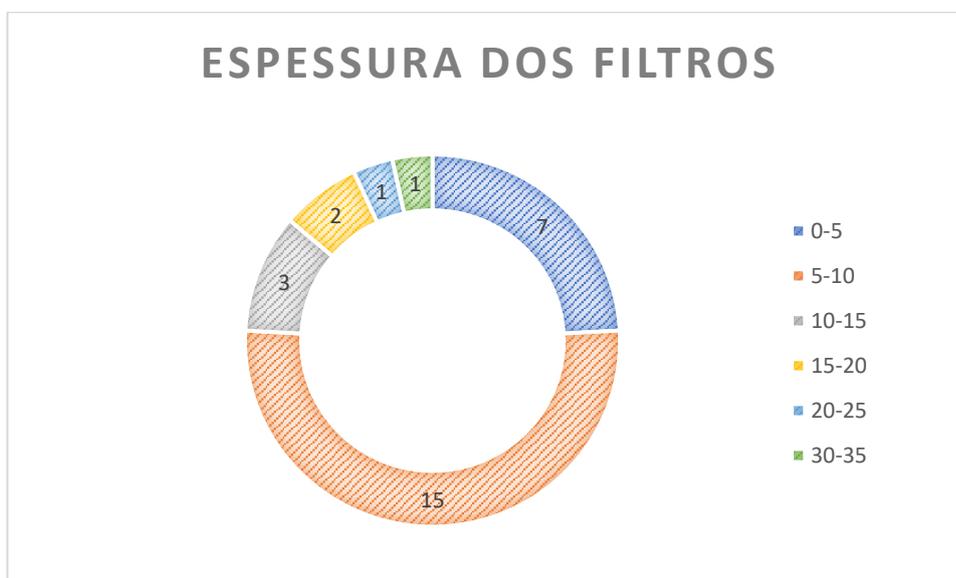


Figura 54. Gráfico mostrando a quantidade de poços por intervalo de espessura dos filtros do Sistema Aquífero Guarani.

Tabela 7. Dados estatísticos da espessura dos filtros dos poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani.

| ESPESSURA DOS FILTROS | |
|------------------------------|-------|
| MÉDIA | 8,46 |
| MEDIANA | 6,30 |
| DESVIO PADRÃO | 5,95 |
| MÍNIMO | 2,28 |
| MÁXIMO | 30,80 |

4.3.2 Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral no município de São Pedro do Sul representa aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Este sistema aquífero ocupa a parte oeste do Estado, os limites das rochas vulcânicas com o rio Uruguai e as litologias gonduânicas além da extensa área nordeste do planalto associada com os derrames vulcânicos da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. Suas litologias são predominantemente riolitos, riolacitos e em menor proporção, basaltos fraturados. A capacidade específica é inferior a 0,5 m³/h/m, entretanto, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a 2 m³/h/m. As salinidades apresentam valores baixos, geralmente inferiores a 250 mg/l. Valores maiores de pH, salinidade e teores de sódio podem ser encontrados nas áreas influenciadas por descargas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani (CPRM, 2005).

A análise da hidrogeologia do Sistema Aquífero Serra Geral se deu a partir de 5 poços cadastrados no banco de dados elaborado pela autora que identificavam a captação de água a partir do mesmo (Figura 55). Esses poços se localizam em aquíferos fraturados, sendo associados às estruturas tectônicas e de resfriamento presentes nas rochas vulcânicas da área em estudo. Os poços identificados se localizam principalmente na porção nordeste do município, onde afloram as rochas da Formação Serra Geral.

A litologia predominante da Formação Serra Geral no município de São Pedro do Sul é composta de constituídos de basaltos de coloração cinza-avermelhada, com textura fanerítica fina a afanítica.

A partir do banco de dados elaborado pela autora, foram analisados os parâmetros profundidade, vazão, capacidade específica, nível estático e entradas de água dos poços, debatidos a seguir.

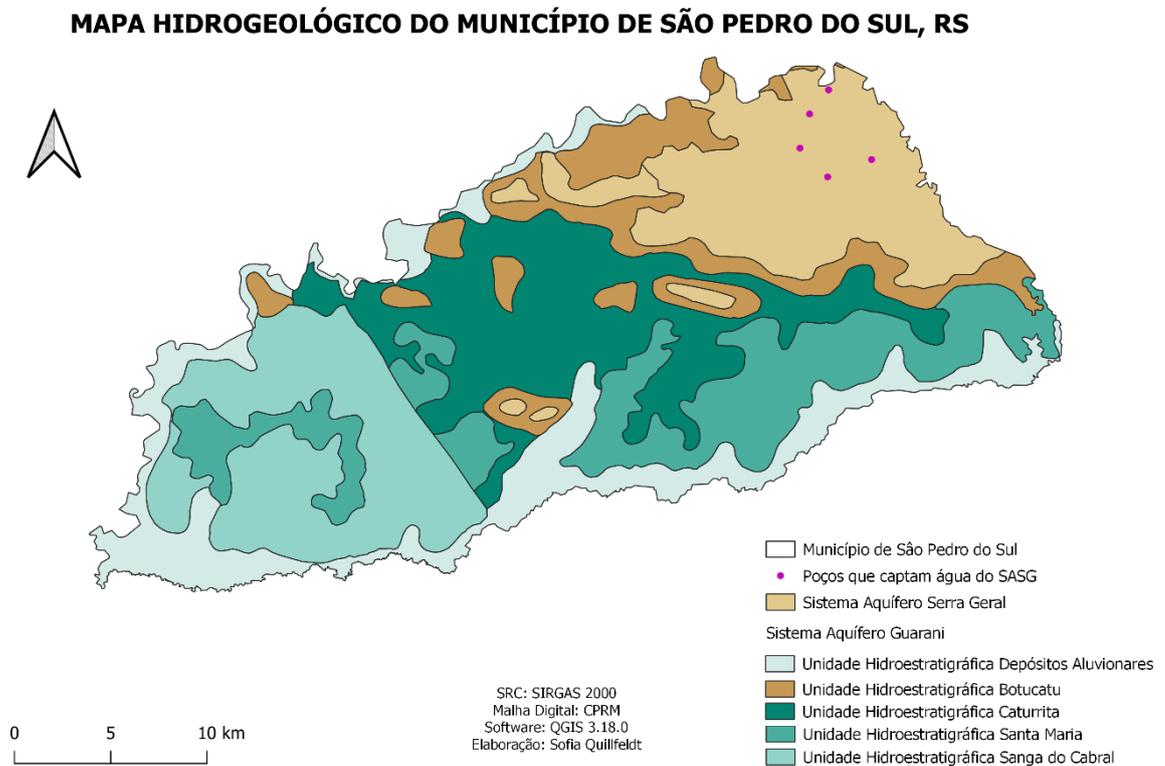


Figura 55. Mapa geológico de São Pedro do Sul evidenciando os poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral. Malha Digital: CPRM (2006). Elaboração própria.

Profundidade dos Poços

A maior parte dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral possui de 100 a 150 metros de profundidade (60%). No município, há poços com profundidades variando de 40 a 200 metros. Os valores das profundidades dos poços podem ser analisados na Tabela 8. Não foi possível realizar análise estatística devido ao baixo número de dados para análise.

Tabela 8. Profundidade dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral.

| PROFUNDIDADE DOS POÇOS (SASG) | |
|--------------------------------------|-------|
| 3910/PDD1 II006 | 40 m |
| 3912/MDV1 | 102 m |
| II003 | 108 m |
| 2929/LCV2 | 120 m |
| 3911/MUN2 | 200 m |

Vazão dos Poços

A vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral varia de 4 a 19,8 m³/h. Os valores das profundidades dos poços podem ser analisados na Tabela 9. Não foi possível realizar análise estatística devido ao baixo número de dados para análise.

Tabela 9. Vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral.

| VAZÃO DOS POÇOS (SASG) | |
|-------------------------------|------------------------|
| II003 | 4,00 m ³ /h |
| 3912/MDV1 | 7,2 m ³ /h |
| 2929/LCV2 | 11,3 m ³ /h |
| 3910/PDD1 II006 | 19,8 m ³ /h |

Capacidade Específica dos Poços

Foram cadastrados dados de apenas dois poços no Sistema Aquífero Serra Geral em referência à capacidade específica. Um deles apresenta capacidade específica de 0,865 m³/h/m, enquanto o outro apresenta capacidade específica de 4,459 m³/h/m (Tabela 10). Não foi possível realizar análise estatística devido ao baixo número de dados para análise.

Tabela 10. Capacidade específica dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral.

| CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS (SASG) | |
|---|---------------------------|
| 3912/MDV1 | 0,865 m ³ /h/m |
| 3910/PDD1 | 4,459 m ³ /h/m |

Nível Estático dos Poços

A maior porção de poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral apresenta valores de nível estático na faixa de 0 a 10 metros de profundidade. No município de São Pedro do Sul há poços com níveis estáticos variando de 0,64 a 67,89 metros de profundidade (Tabela 11). Não foi possível realizar análise estatística devido ao baixo número de dados para análise.

Tabela 11. Nível estático dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral.

| NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS (SASG) | |
|--|------|
| PASSO DE CLARA DESATIVADO – CACIMBA (204) | 0,6 |
| 3910/PDD1 | 9,6 |
| II003 | 9,7 |
| 3912/MDV1 | 14,3 |
| 2929/LCV2 | 67,8 |

4.4 Avaliação Hidroquímica e da Qualidade da Água Subterrânea

A avaliação hidroquímica e da qualidade da água foi feita com base em dados de relatórios de análises físico-químicas e complementada com dados obtidos durante o trabalho de campo.

4.4.1 Hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Guarani

A avaliação hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Guarani foi realizada a partir de poços que continham os dados hidroquímicos necessários para a avaliação.

pH das águas

Os valores de pH das águas do SAG possuem, em sua maioria, valores relativamente neutros, se concentrando na faixa de 6,5 a 7,5 (40,9%), mas também há poços que apresentam águas com pH mais ácido, <6,5 (27,3%), e com pH mais básico, a partir de 7,5 (31,8%) (Figura 56).

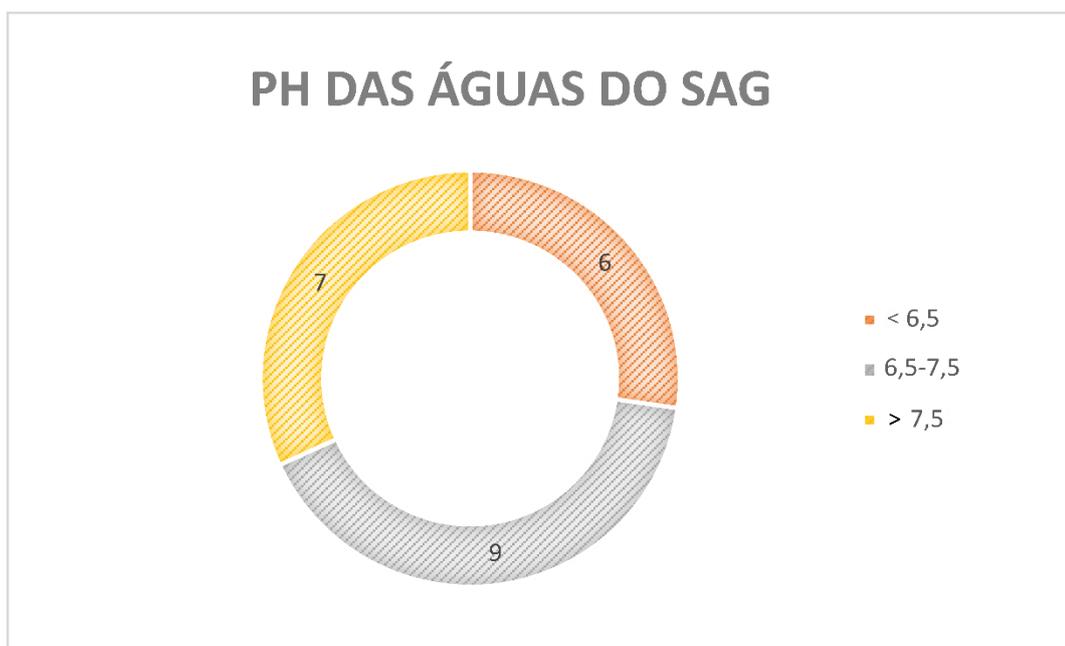


Figura 56. Número de poços por intervalo de pH das águas do Sistema Aquífero Guarani.

A partir da Tabela 12, pode-se notar que os valores de pH possuem uma média de 7,04, variando de 5,5 a 8,35. Portanto, observa-se que, apesar de existirem poços com valores de pH no intervalo de até 6,5 e a partir de 7,5, eles são apenas ligeiramente ácidos ou básicos, com valores próximos a 7. A baixa variedade de valores de pH também é observada a partir do baixo desvio padrão dos mesmos.

Tabela 12. Análise estatística para os valores de pH das águas do Sistema Aquífero Guarani.

| PH DAS ÁGUAS DO SAG | |
|----------------------------|------|
| MÉDIA | 7,04 |
| MEDIANA | 7,3 |
| DESVIO PADRÃO | 0,80 |
| MÍNIMO | 5,5 |
| MÁXIMO | 8,35 |

O pH mais ácido poderia estar associado a aquíferos livres com mais baixo tempo de residência das águas, já os pHs alcalinos poderiam estar associados a aquíferos mais profundos. Além disso, outro fator que pode influenciar o pH das águas é o tipo de rocha e cimento carbonático presente. Na Tabela 13, pode-se observar a associação dos pontos que apresentam valores de pH maiores que 7,5 e suas respectivas profundidades, o tipo de aquífero e litologia presente na profundidade onde ocorre o(s) filtro(s).

Tabela 13. Associação do ponto de coleta de água do SAG que apresentam valores de pH acima de 7,5 e suas respectivas profundidades, o tipo de aquífero e a litologia presente na profundidade onde está instalado o(s) filtro(s).

| Ponto | pH | Profundidade | Tipo de aquífero | Litologia |
|-------------------------|-----------|---------------------|-------------------------|------------------|
| II018 COR-SPS-03 G.0267 | 7,7 | 89 metros | Confinado | Arenito |
| II005 | 7,7 | 132 metros | Confinado | Arenito |
| II024 COR-SPS-04 G.0618 | 7,5 | 90 metros | Confinado | Arenito |
| COR SPS 02 - NG 0261 | 7,5 | 85 metros | Confinado | Arenito |
| Passo do Julião | 8,35 | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| São Lucas (302) | 8,04 | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| EMEF - Cerro Claro | 7,84 | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| Cerro Claro II001 | 7,48 | 120 metros | Sem dados | Sem dados |

Analisando a Tabela 13, apesar da escassez de dados, pode-se constatar que os pontos que apresentam água com valores de pH elevados provavelmente devem essa característica ao confinamento do aquífero, característica em comum entre todos os pontos que apresentam estes dados.

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), o pH ideal para consumo humano é de 6-9,5, portanto, 18,18% dos poços analisados possuem valores de pH abaixo do ideal para consumo humano.

Condutividade Elétrica das águas

A condutividade elétrica é a capacidade da água de conduzir corrente elétrica e depende da concentração dos íons dissolvidos na solução. Os valores de condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Guarani se concentram no intervalo de 200 a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (50%). Há 5 poços (25%) que apresentam valores de condutividade elétrica no intervalo de 100 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 4 poços (20%) que apresentam valores de até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e apenas 1 poço (5%) que apresenta valor de 321 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 57). Os valores de condutividade elétrica possuem uma média de 186,58 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando de 37,4 a 321 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 14).

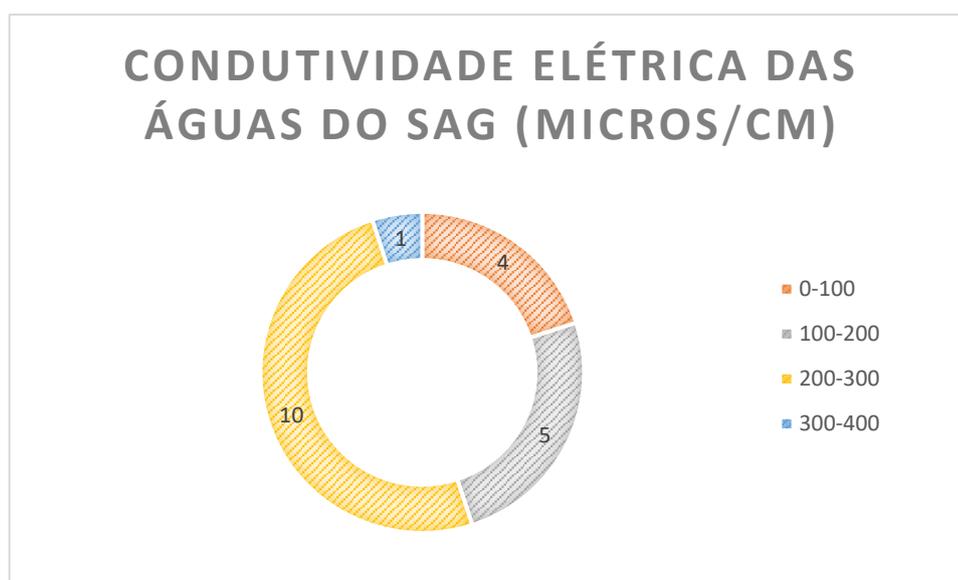


Figura 57. Número de poços por intervalo de condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Guarani.

Tabela 14. Análise estatística para os valores de condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Guarani.

| CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS ÁGUAS DO SAG (MS/CM) | |
|--|----------|
| MÉDIA | 186,58 |
| MEDIANA | 207,5 |
| DESVIO PADRÃO | 84,72906 |
| MÍNIMO | 37,4 |
| MÁXIMO | 321 |

Os valores de condutividade elétrica mais baixos são típicos de aquíferos livres que apresentam águas mais jovens, maior renovação dada pela recarga e menor tempo de interação água-rocha, favorecendo baixa concentração de elementos na água. O contrário acontece com os valores de condutividade elétrica mais elevados, que indicam um maior tempo de residência e de interação água-rocha.

Na Tabela 15, pode-se observar a associação dos pontos que apresentam valores de condutividade elétrica abaixo e acima da média (186,58 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e suas respectivas profundidades, o tipo de aquífero e litologia presente na profundidade onde ocorre o(s) filtro(s).

Tabela 15. Associação do ponto de coleta de água do SAG que apresentam valores de condutividade elétrica abaixo e acima da média e suas respectivas profundidades, o tipo de aquífero e a litologia presente na profundidade onde está instalado o(s) filtro(s).

| Ponto | CE | Profundidade | Tipo de aquífero | Litologia |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| <i>Pontos com CE acima da média</i> | | | | |
| II005 | 248 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 132 metros | Confinado | Arenito |
| II014 / PREFEITURA | 321 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 65 metros | Semi-confinado | Sem dados |
| II017 COR-SPS-03-A G.0850 | 193 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 98 metros | Confinado | Arenito |
| II019 COR-SPS-05 G.1940 | 285 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 88 metros | Confinado | Arenito |
| II020 | 224 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 81 metros | Livre | Arenito |
| II022 COR-SPS-02-A G.0782 | 204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 101 metros | Confinado | Arenito |
| II024 COR-SPS-04 G.0618 | 241 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 90 metros | Confinado | Arenito |
| COR-SPS-02-B G.3443 ART- 5608876 | 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 102 metros | o | Arenito |
| Passo do Julião | 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Sem dados | Sem dados | Sem dados |

| | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Guassupi 2927/GUI1 II009 | 211 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 72 metros | Livre | Arenito |
| São Lucas (302) | 257 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| EMEF - Cerro Claro | 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| <i>Pontos com CE abaixo da média</i> | | | | |
| SPS-86/8 | 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 6 metros | Livre | Arenito |
| SPS-86/10 | 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 4 metros | Livre | Arenito |
| II015 COR-SPS-07 G.2463 | 137 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 138 metros | Confinado | Arenito |
| JC639- MUSEU MUNICIPAL | 40,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 52 metros | Confinado | Arenito |
| COR SPS 06 - NG 1978 | 82,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 80 metros | Confinado | Arenito |
| Cerro do Baltazar (212) | 37,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| Xiniquá (301) | 51,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Sem dados | Sem dados | Sem dados |
| Cerro Claro II001 | 186,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 120 metros | Sem dados | Sem dados |

Analisando a Tabela 15, apesar da escassez de dados, pode-se constatar que os pontos que apresentam água com valores de condutividade elétrica acima da média provavelmente devem essa característica a profundidade do poço, pois é possível observar que esses poços apresentam profundidade maiores quando comparados com poços que apresentam água com valores de condutividade elétrica abaixo da média. Além disso, a maior parte dos poços com altos valores de condutividade elétrica apresentam camadas aquíferas confinadas, porém, devido a escassez de dados, não é possível sugerir que eles devem essa característica ao confinamento das camadas aquíferas.

Classificação das águas no Diagrama de Piper

Para a avaliação hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Guarani foi utilizado o Diagrama de Piper (Figura 58), onde foram analisados 12 poços presentes na região. O Diagrama de Piper classifica as águas de acordo com cátions e ânions predominantes na mesma. Para a geração do mesmo, são utilizados valores de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$ e SO_4^{-2} .

As águas foram classificadas predominantemente como bicarbonatadas cálcicas (91,66%) e as águas de um poço foi classificada como Sulfatada ou Cloretada

Cálcica ou Magnésiana, sendo ela Cloretada Cálcica ($Cl^- > SO_4^{2-}$ e $Ca^{2+} > Mg^{2+}$). A classificação designada indica o predomínio do cátion cálcio e do ânion bicarbonato sob os demais íons. As águas bicarbonatadas cálcicas são típicas do SAG livre, sendo o cátion cálcio originado dos elementos presentes nas litologias e no cimento.

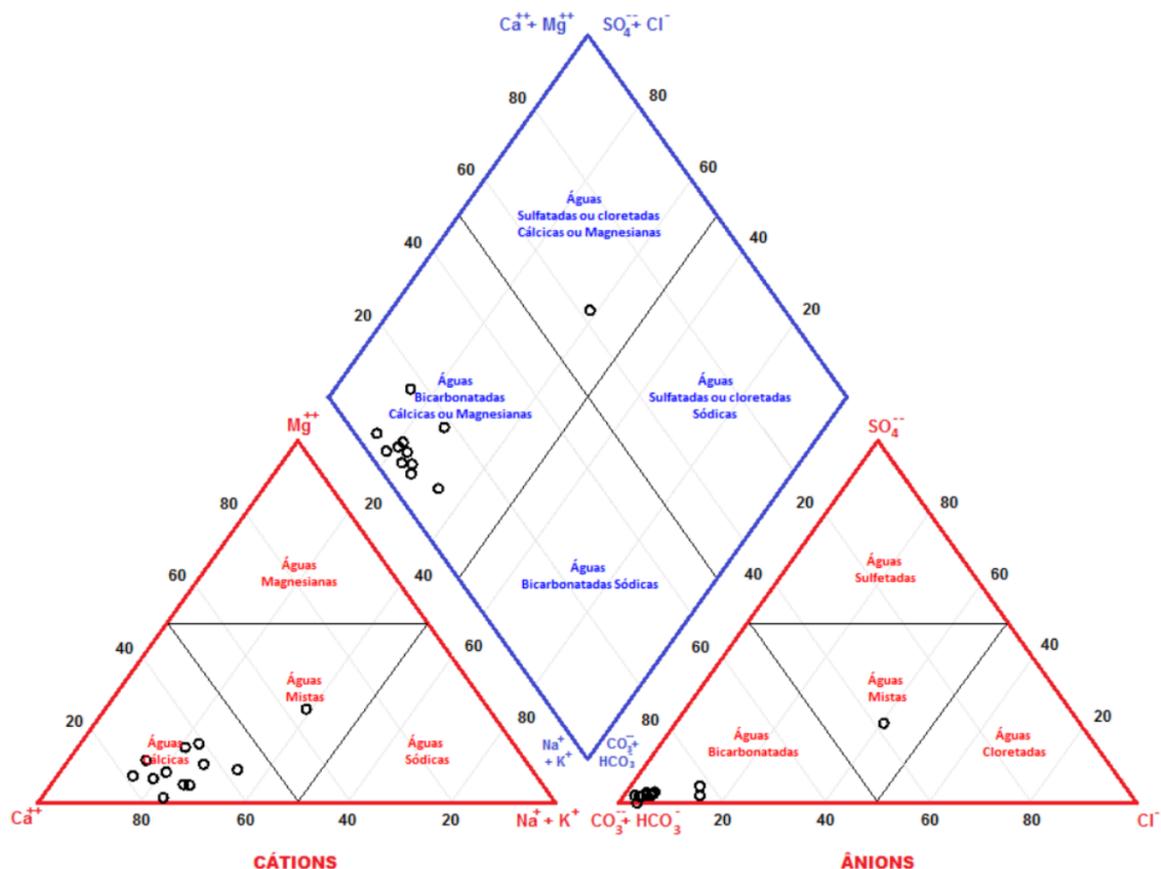


Figura 58. Diagrama de Piper para as águas do SAG no município de São Pedro do Sul. Os círculos vazados representam os poços em função das concentrações dos diversos íons em suas águas.

Na Tabela 16, pode-se ver os dados utilizados para a geração do Diagrama de Piper e a classificação designada por ele.

Tabela 16. Concentração dos parâmetros utilizados para a geração do Diagrama de Piper em mg/L e a classificação das águas designada por ele.

| Ponto | Na+K | Ca | Mg | Cl | CO3+HCO3 | SO4 | Classificação |
|--|-------|------|------|-----|----------|------|--|
| II014 / PREFEITURA | 10,5 | 38,3 | 3,8 | 11 | 111 | 2,3 | Bicarbonatada Cálcica |
| II015 COR-SPS-07 G.2463 | 14,5 | 20 | 2 | 3 | 95 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| II016 COR-SPS-03-B G.2991 | 11,6 | 24,2 | 1,1 | 9,4 | 103 | 4,8 | Bicarbonatada Cálcica |
| II017 COR-SPS-03-A G.0850 | 11,76 | 26 | 1,2 | 2,2 | 103 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| II019 COR-SPS-05 G.1940 | 12,3 | 38,9 | 2,2 | 3 | 164,7 | 0,3 | Bicarbonatada Cálcica |
| II024 COR-SPS-04 G.0618 | 12,3 | 35 | 2,6 | 3,1 | 132 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| COR-SPS-02-B G.3443 | 9,66 | 42 | 2,5 | 1,4 | 144 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| JC639- MUSEU MUNICIPAL | 4,67 | 2,58 | 1,16 | 3,5 | 5,72 | 2,65 | Sulfatada ou Cloretada Cálcica ou Magnesiana |
| COR-SPS-08 G.3627 | 9,8 | 25 | 3,7 | 3,5 | 112 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| COR SPS 02 - NG 0261 | 13,86 | 36,8 | 0,5 | 2,3 | 146,4 | 2,5 | Bicarbonatada Cálcica |
| Guassupi 2927/GUI1 II009 | 10,2 | 23 | 3,8 | 4 | 133 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| Mundo Novo de Baixo (304) 2930/MBU II008 | 18 | 36 | 3,8 | 3 | 161 | 2,6 | Bicarbonatada Cálcica |

Diagrama de Stiff

O Diagrama de Stiff foi gerado para analisar as variações nas concentrações de cátions e ânions a partir das diferentes geometrias geradas neste diagrama (Figura 59).

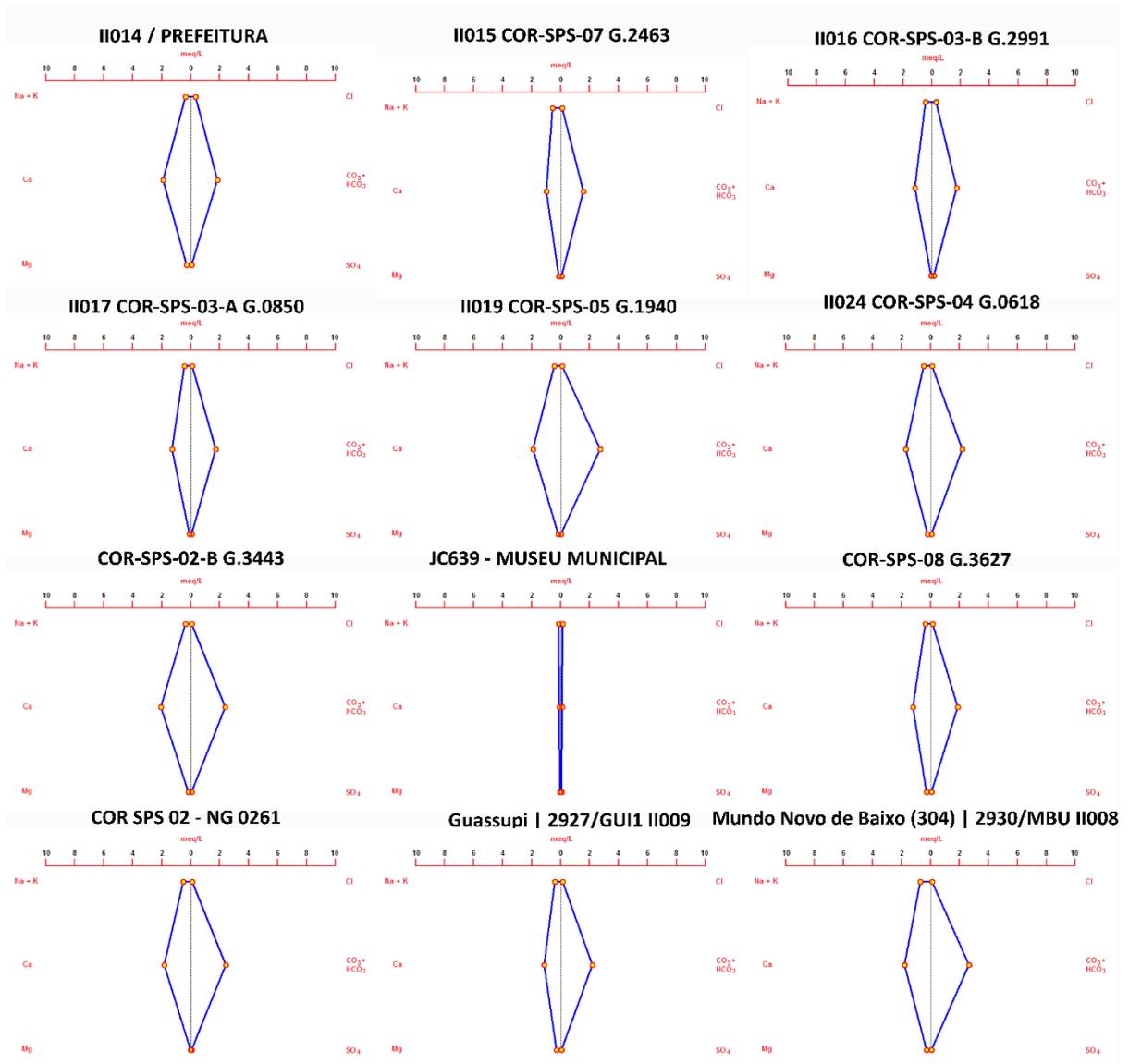


Figura 59. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff.

Com exceção do ponto JC639 – MUSEU MUNICIPAL, classificado como Sulfatada ou Cloretada Cálcica ou magnésiana (Cloretada Cálcica) a partir do Diagrama de Piper, todos os pontos, classificados como Bicarbonatada Cálcica,

apresentam geometrias semelhantes. Apesar de serem semelhantes, há uma variação nas geometrias geradas, sendo as principais diferenças os teores de Ca^{+2} (variando de 20 a 42 mg/L) e $\text{CO}_3^{-2}+\text{HCO}_3^{-}$ (variando de 95 a 164,7 mg/L).

No ponto JC639 – MUSEU MUNICIPAL, os teores de Mg^{+2} , Cl^{-} e SO_4^{-2} são semelhantes aos das águas Cálcicas Bicarbonatadas, e, novamente, as principais diferenças são os teores de Ca^{+2} e $\text{CO}_3^{-2}+\text{HCO}_3^{-}$, sendo eles 2,58 mg/L e 5,72 mg/L, respectivamente, valores extremamente menores que os valores encontrados nos outros pontos. Esse ponto apresenta dados químicos referente às mineralizações extremamente baixas. Assim, analisando estes dados e o perfil geológico e construtivo do poço (Figura 60. Perfil geológico e construtivo do poço JC639 – MUSEU MUNICIPAL, mostrando as quatro secções filtrantes presentes. Fonte: SIAGAS (2022).), pode-se notar que o poço possui quatro secções filtrantes e provavelmente tem uma contribuição maior das secções mais superficiais (secção filtrante de 19 a 23 metros de profundidade).

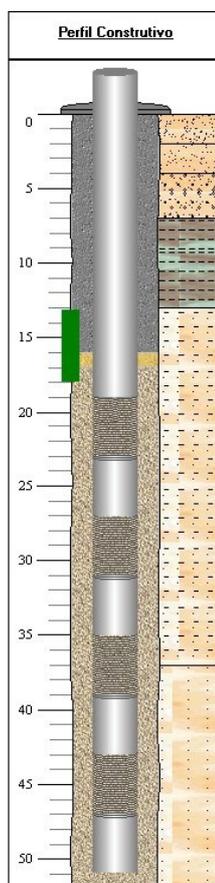


Figura 60. Perfil geológico e construtivo do poço JC639 – MUSEU MUNICIPAL, mostrando as quatro secções filtrantes presentes. Fonte: SIAGAS (2022).

Essas diferenças de teores também podem ser observadas no Gráfico de Schoeller, Figura 61.

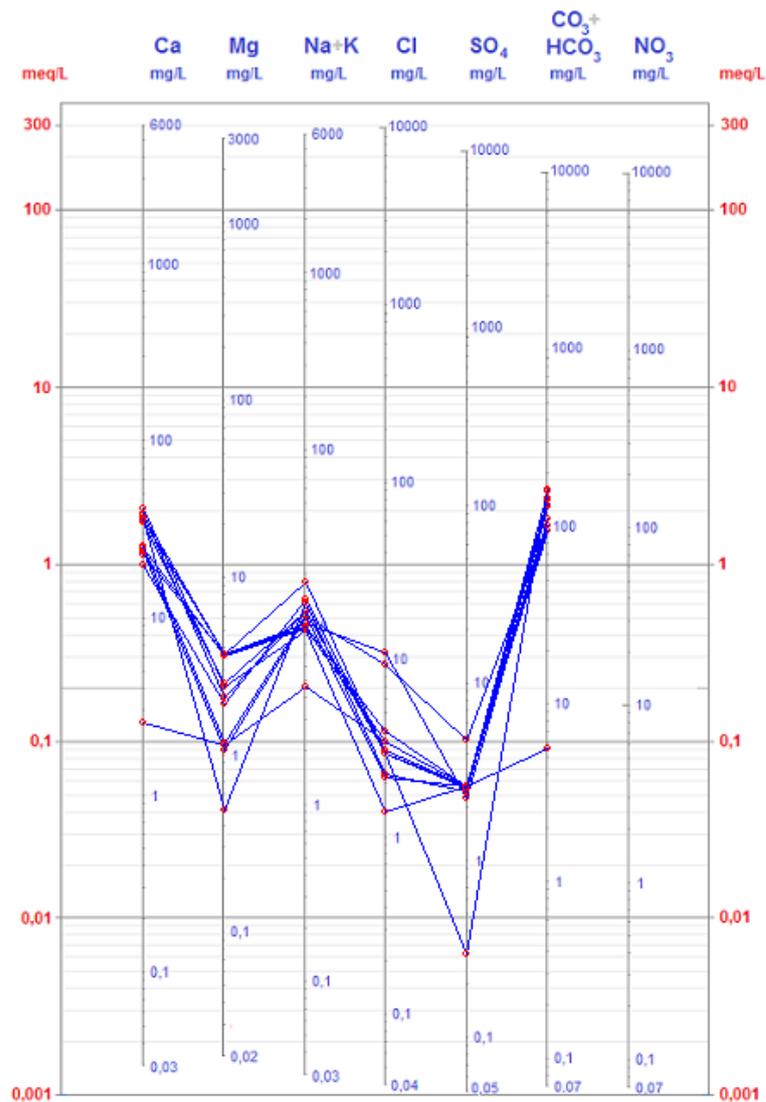


Figura 61. Diagrama de Schoeller para as águas do SAG no município de São Pedro do Sul.

Qualidade das águas para irrigação

A partir do diagrama *US Dept. of Agriculture* (Figura 62) foi possível classificar as águas de acordo com a sua qualidade para irrigação, considerando o risco de salinização, de nulo a excepcionalmente alto e o risco de sódio, de baixo a muito forte.

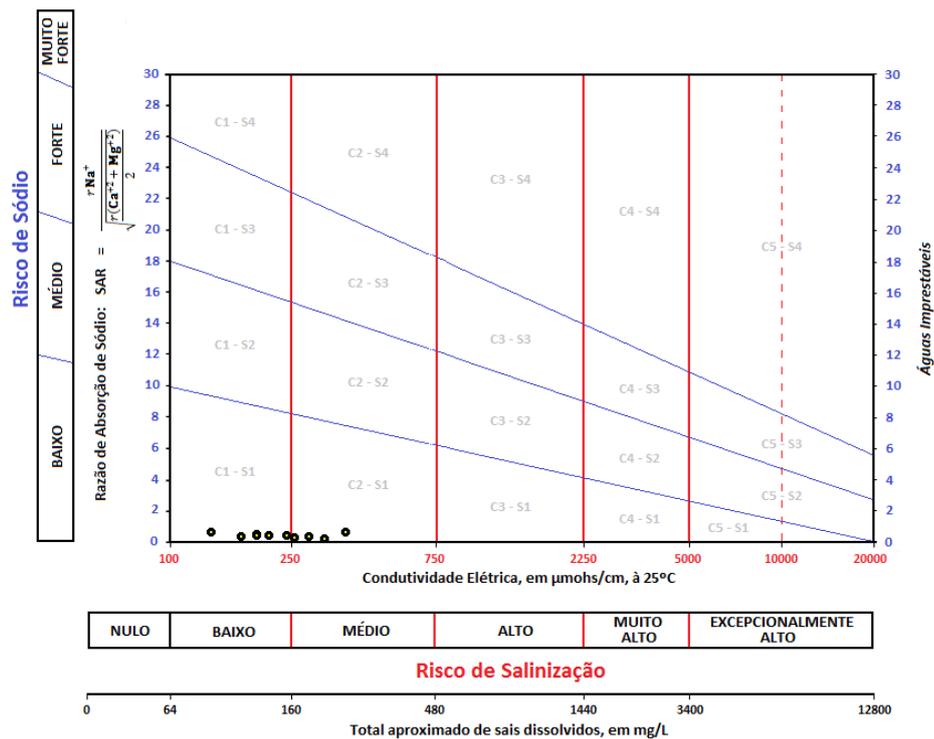


Figura 62. Diagrama USSSL (Classificação das águas para Irrigação) para as águas do SAG no município de São Pedro do Sul.

Observando a Figura acima, pode-se constatar que todos os pontos analisados apresentam águas de boa qualidade para irrigação, sendo que todas elas apresentam baixo risco de sódio e cinco delas apresentam baixo risco de salinização (de 64 a 160 mg/L) e quatro delas apresentam médio risco de salinização (de 160 a 480 mg/L).

Qualidade das águas

A qualidade das águas foi avaliada a partir da comparação dos valores encontrados para cada parâmetro com os valores máximos permitidos para os mesmos de acordo com a legislação de potabilidade das águas, definida na portaria nº 888 de consolidação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

A comparação classificou cada parâmetro como Acima do VMP ou Dentro do VMP, conforme é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Avaliação da qualidade das águas do Sistema Aquífero Guarani a partir da comparação dos valores máximos encontrados com os valores máximos permitidos (VMPs) para cada parâmetro.

| Parâmetro | VMP (mg/L) | Valor Máximo Encontrado | Classificação |
|------------------------------|------------|-------------------------|---------------|
| <i>Elementos/Substâncias</i> | | | |
| Arsênio | 0,01 | 0,062 | Acima do VMP |
| Alumínio | 0,2 | 1,9 | Acima do VMP |
| Cloreto | 250 | 13 | Dentro do VMP |
| Cromo | 0,05 | 0,002 | Dentro do VMP |
| Ferro | 0,3 | 2,2 | Acima do VMP |
| Fluoreto | 1,5 | 1,2 | Dentro do VMP |
| Manganês | 0,1 | 0,1 | Dentro do VMP |
| Nitrato | 10 | 2,48 | Dentro do VMP |
| Sódio | 200 | 16 | Dentro do VMP |
| Sulfato | 250 | 6,5 | Dentro do VMP |
| Zinco | 5 | 0,18 | Dentro do VMP |
| <i>Parâmetros físicos</i> | | | |
| Dureza | 300 | 133 | Dentro do VMP |
| STD | 500 | 266 | Dentro do VMP |
| Turbidez | 5 (uT) | 1,9 | Dentro do VMP |

STD= sólidos totais dissolvidos.

Foi observado que todos os parâmetros analisados se enquadram dentro do VMP estabelecido, com exceção do arsênio, alumínio e ferro.

Foram encontrados valores de arsênio acima do VMP de 0,01 mg/L em 2 poços situados na mesma localidade (Figura 63), na porção noroeste do município de São Pedro do Sul, próximo ao limite do município com o município de Mata. Os filtros de ambos os poços citados estão localizados em camadas profundas, a 120 metros de profundidade. Os poços, nomeados como Passo de Clara 01 e Passo de Clara 02 apresentaram valores para o parâmetro arsênio de acordo com a Tabela 18, apresentada abaixo.

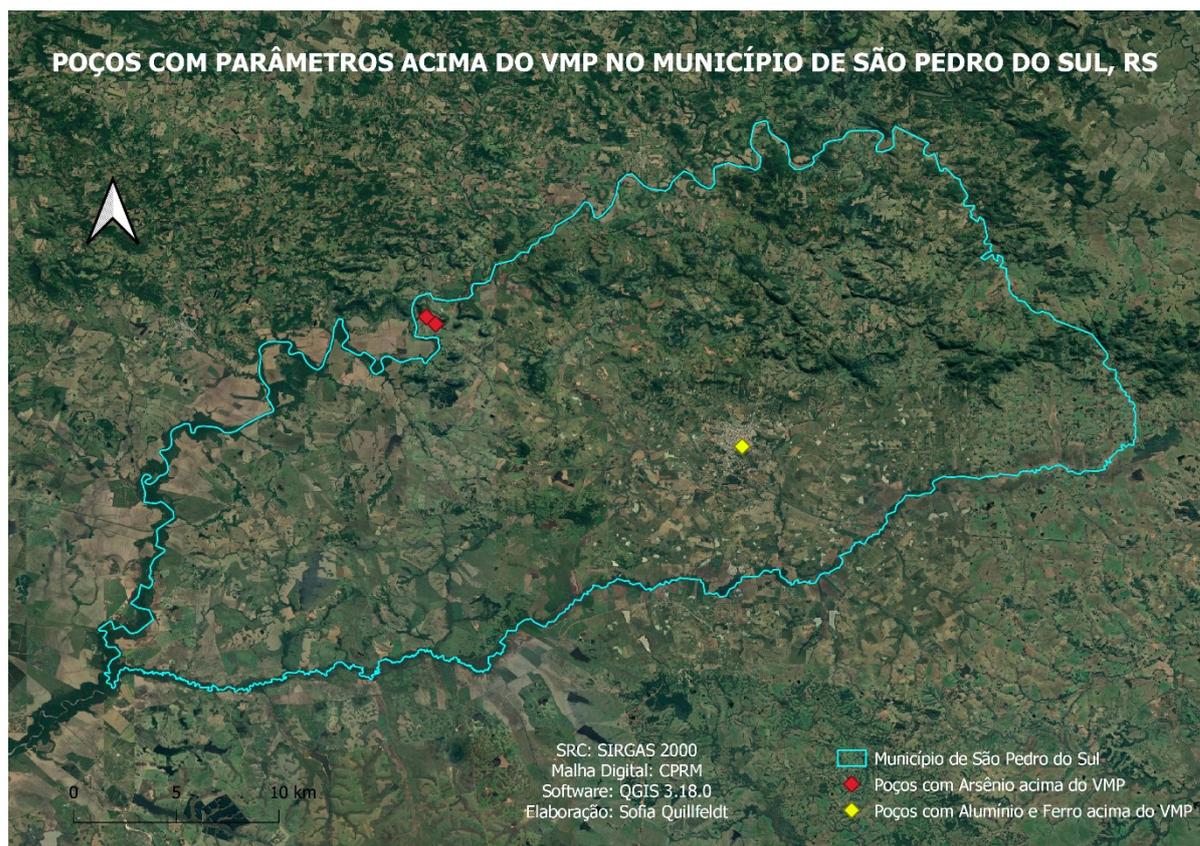


Figura 63. Poços com parâmetros acima do VMP no município de São Pedro do Sul, RS.

Tabela 18. Valores encontrados para o parâmetro arsênio nos poços Passo de Clara 01, Passo de Clara 02 e Passo de Clara 03.

| Ponto | Valor encontrado para o parâmetro arsênio | Data da análise |
|-------------------|---|------------------|
| Passo de Clara 01 | 0,026 | Janeiro de 2020 |
| Passo de Clara 02 | 0,018 | Janeiro de 2021 |
| Passo de Clara 02 | 0,062 | Dezembro de 2021 |

Os poços que apresentam teores de arsênio acima do VMP estipulado situados na localidade de Passo de Clara apresentam pH neutros a ligeiramente alcalinos, com valores de 6,9 a 8,44, e condutividade elétrica com valores de 280 a 421 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Foram encontrados valores de alumínio e ferro acima do VMP de 0,2 mg/L e 0,3mg/L, respectivamente, no poço COR SPS 02 - NG 0261, situado na área urbana do município (Figura 63). O poço apresentava teores de alumínio variando entre 1,5 e 1,9 mg/L e teor de ferro 2,2 mg/L. Estes valores elevados provavelmente possuem relação com o predomínio de camadas argilosas (Figura 64). Este poço apresentou

pH neutro, com valores variando de 7,3 a 7,5 e não possuía dados de condutividade elétrica.

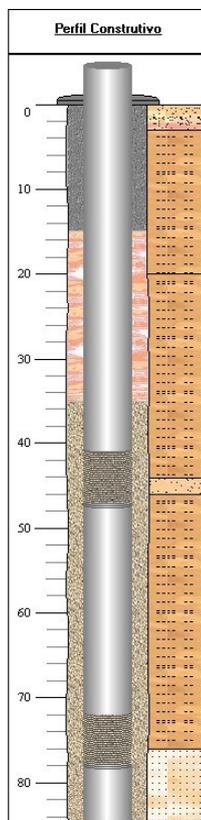


Figura 64. Perfil geológico e construtivo do poço COR SPS 02 - NG 0261. Fonte: SIAGAS (2022).

4.4.2 Hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral

pH das águas

A avaliação hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral foi realizada a partir de 5 poços que continham os dados hidroquímicos necessários para a avaliação.

Os valores de pH das águas do SASG possuem valores neutros a básicos, se concentrando na faixa de 6,5 a 7,5 (40%) e acima de 7,5 (40%), mas também há um poço que apresenta águas com pH mais ácido, abaixo de 6,5 (20%) (Tabela 19). A Tabela 20 mostra a associação dos pontos de coleta de água do SASG que apresentam valores de pH acima de 7,5 e suas respectivas profundidades.

Tabela 19. pH das águas do Sistema Aquífero Serra Geral.

| PH DAS ÁGUAS DO SASG | |
|--|-----|
| PASSO DE CLARA DESATIVADO – CACIMBA (204) | 6,3 |
| 3910/PDD1 | 7,2 |
| II003 | 7,3 |
| 3912/MDV1 | 7,9 |
| 2929/LCV2 | 8 |

A partir da Tabela 19, pode-se notar que os valores de pH possuem uma média de 7,37, variando de 6,37 a 8. Portanto, observa-se que, apesar de 40% dos poços apresentarem valores de pH acima de 7,5, eles são apenas ligeiramente básicos, com valores próximos a 7 (com máximo de 8). A baixa variedade de valores de pH também é observada a partir do baixo desvio padrão dos mesmos. Assim como foi discutido no item 4.4.1 a respeito do pH das águas do SAG, o pH mais ácido das águas do SASG poderia estar associado a águas mais superficiais, com mais baixo tempo de residência e o pH alcalino das águas do SASG poderiam estar associados a águas mais profundas, conseqüentemente apresentando um maior tempo de residência e uma maior mineralização. Na Tabela 19, pode-se observar a associação dos pontos que apresentam valores de pH maiores que 7,5 e suas respectivas profundidades.

Tabela 20. Associação dos pontos de coleta de água do SASG que apresentam valores de pH acima de 7,5 e suas respectivas profundidades.

| Ponto | pH | Profundidade |
|--------------|-----------|---------------------|
| 2929/LCV2 | 8 | 120 metros |
| 3912/MDV1 | 7,92 | 102 metros |

Analisando a Tabela 20, pode-se constatar que os pontos que apresentam água com valores de pH elevados provavelmente devem essa característica à maior profundidade das entradas de água dos poços, supondo-se que poços com profundidade elevadas apresentam profundidades de entradas de água também elevadas.

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), o pH ideal para consumo humano é de 6-9,5, portanto, todos os poços analisados possuem valores de pH ideais para consumo humano.

Condutividade Elétrica das águas

Os valores de condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral se concentram no intervalo de 200 a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (40%) e de 300 a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (40%). Os valores de condutividade elétrica variam de 145,4 a 331 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 21).

Tabela 21. Condutividade elétrica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral.

| CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS ÁGUAS DO SASG | |
|--|-------|
| PASSO DE CLARA DESATIVADO – CACIMBA (204) | 145,4 |
| 3910/PDD1 | 204 |
| 2929/LCV2 | 216 |
| II003 | 318 |
| 3912/MDV1 | 331 |

Como comentado anteriormente, os valores de condutividade elétrica mais baixos são típicos de aquíferos livres que apresentam águas mais jovens, maior renovação dada pela recarga e menor tempo de interação água-rocha, favorecendo baixa concentração de elementos na água. O contrário acontece com os valores de condutividade elétrica mais elevados, que indicam um maior tempo de residência e de interação água-rocha.

Na Tabela 22, pode-se observar a associação dos pontos que apresentam valores de condutividade elétrica abaixo e acima da média (242,88) e suas respectivas profundidades.

Tabela 22. Associação dos pontos de coleta de água do SASG que apresentam valores de condutividade elétrica abaixo e acima da média e suas respectivas profundidades.

| Ponto | CE | Profundidade |
|---|-------|--------------|
| <i>Pontos com CE acima da média</i> | | |
| 3912/MDV1 | 331 | 102 m |
| II003 | 318 | 108 m |
| <i>Pontos com CE abaixo da média</i> | | |
| 3910/PDD1 | 204 | 40 m |
| 2929/LCV2 | 216 | 120 m |
| Passo de Clara desativado - cacimba (204) | 145,4 | 1,72 m |

Analisando a Tabela 22, pode-se constatar que os pontos que apresentam água com valores de condutividade elétrica acima da média provavelmente devem essa característica a profundidade das entradas de água do poço, pois é possível observar que esses poços apresentam profundidade maiores quando comparados com poços que apresentam água com valores de condutividade elétrica abaixo da média (com exceção do poço 2929/LCV2), supondo-se que poços que apresentam profundidades elevadas também apresentam profundidades de entradas de água elevadas.

Classificação das águas no Diagrama de Piper

Para a avaliação hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral foi utilizado o Diagrama de Piper (Figura 65), onde foram analisados 3 poços presentes na região. O Diagrama de Piper classifica as águas de acordo com cátions e ânions predominantes na mesma. Para a geração do mesmo, são utilizados valores de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-$ e SO_4^{-2} .

As águas foram classificadas predominantemente como bicarbonatadas cálcicas (66,66%) e as águas de um poço foi classificada como Bicarbonatada Cálcica ou Magnésiana ($\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$). A classificação designada indica o predomínio do cátion cálcio e do ânion bicarbonato sob os demais íons. As águas bicarbonatadas cálcicas são típicas do SASG.

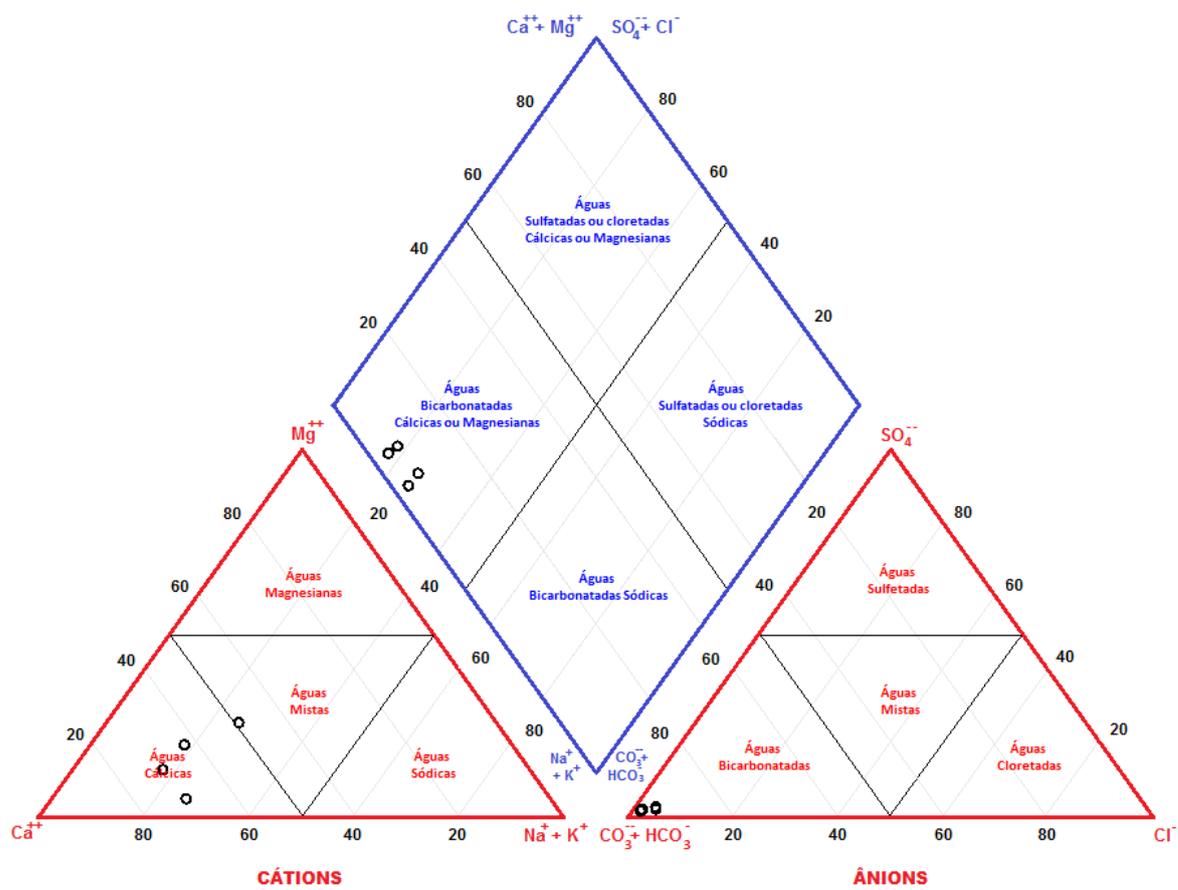


Figura 65. Diagrama de Piper para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul. Os círculos vazados representam os poços em função das concentrações dos diversos íons em suas águas.

Na Tabela 23, pode-se ver os dados utilizados para a geração do Diagrama de Piper e a classificação designada por ele.

Tabela 23. Concentração dos parâmetros utilizados para a geração do Diagrama de Piper em mg/L e a classificação das águas designada por ele.

| Ponto | Na+K | Ca | Mg | Cl | CO3+HCO3 | SO4 | Classificação |
|--------------------------------------|------|----|----|----|----------|------|-----------------------|
| 3910/PDD1 II006 | 10,5 | 31 | 6 | 3 | 129 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| 2929/LCV2 | 10,6 | 35 | 4 | 1 | 140 | 2,65 | Bicarbonatada Cálcica |
| Mundo Novo de Cima (305) - 3912/MDV1 | 17 | 28 | 9 | 1 | 163 | 2,65 | Bicarbonatada Mista |

Diagrama de Stiff

O Diagrama de Stiff foi gerado para analisar as variações nas concentrações de cátions e ânions a partir das diferentes geometrias geradas neste diagrama (Figura 66).

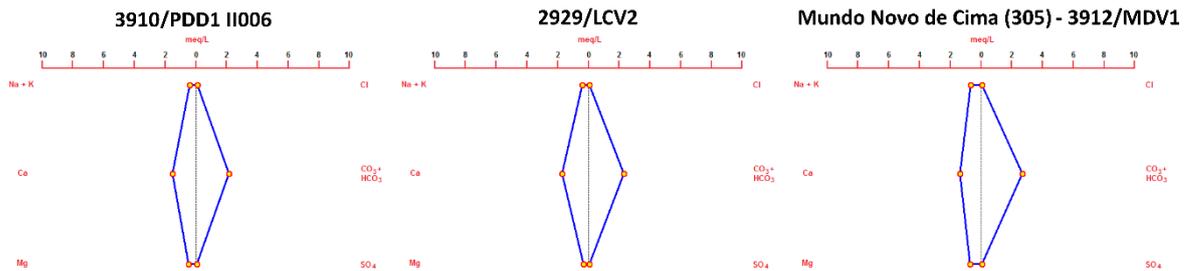


Figura 66. Diagrama de Stiff para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul.

Os pontos 3910/PDD1 II006 e 2929/LCV2 foram classificados como águas Bicarbonatadas Cálcica, apresentam geometrias semelhantes, mas que se diferem principalmente nos teores de Ca^{+2} (variando de 31 a 35 mg/L) e de $\text{CO}_3^{-2}+\text{HCO}_3^{-}$ (variando de 129 a 140 mg/L). Já o ponto Mundo Novo de Cima (305) – 3912/MDV1, classificado como água Bicarbonatada Mista, apresenta uma maior diferença no teor de $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ (17 mg/L), Ca^{+2} (28 mg/L) e $\text{CO}_3^{-2}+\text{HCO}_3^{-}$ (163 mg/L).

Essas diferenças de teores também podem ser observadas no Gráfico de Schoeller, Figura 67.

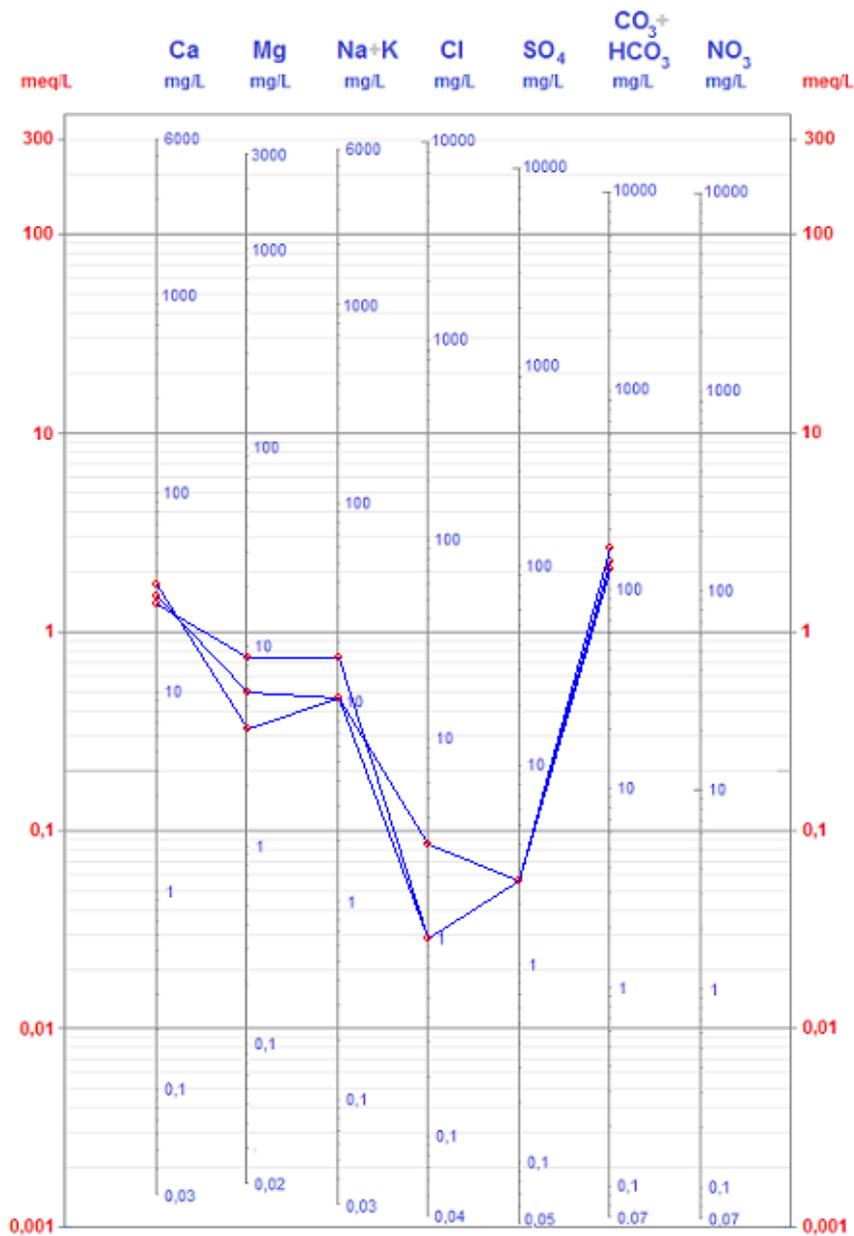


Figura 67. Diagrama de Schoeller para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul.

Qualidade das águas para irrigação

A partir do diagrama *US Dept. of Agriculture* (Figura 68) foi possível classificar as águas de acordo com a sua qualidade para irrigação, considerando o risco de salinização, de nulo a excepcionalmente alto e o risco de sódio, de baixo a muito forte.

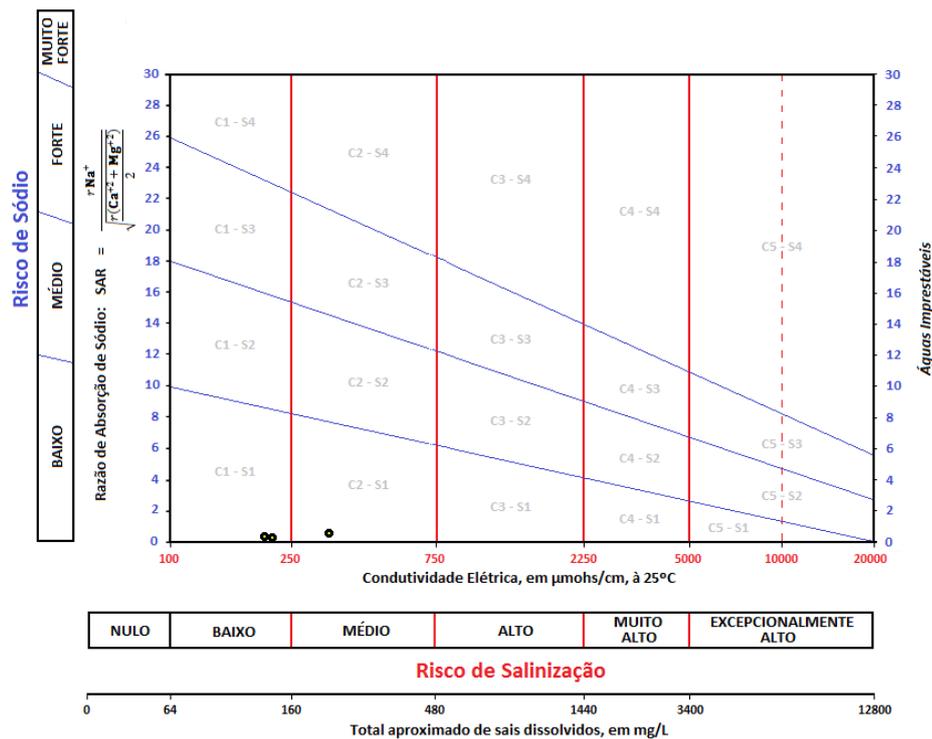


Figura 68. Diagrama USSS (Qualidade das águas para Irrigação) para as águas do SASG no município de São Pedro do Sul.

Observando a Figura acima, pode-se constatar que todos os pontos analisados apresentam águas de boa qualidade para irrigação, sendo que todas elas apresentam baixo risco de sódio e duas delas apresentam baixo risco de salinização (de 64 a 160 mg/L) e uma delas apresentam médio risco de salinização (de 160 a 480 mg/L).

Qualidade das águas

A qualidade das águas foi avaliada a partir da comparação dos valores encontrados para cada parâmetro com os valores máximos permitidos para os mesmos de acordo com a legislação de potabilidade das águas, definida na portaria nº 888 de consolidação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

A comparação classificou cada parâmetro como Acima do VMP ou Dentro do VMP, conforme é apresentado na Tabela 24.

Tabela 24. Avaliação da qualidade das águas do Sistema Aquífero Guarani a partir da comparação dos valores máximos encontrados com os valores máximos permitidos (VMPs) para cada parâmetro.

| Parâmetro | VMP (mg/L) | Valor Máximo Encontrado | Classificação |
|------------------------------|------------|-------------------------|---------------|
| <i>Elementos/Substâncias</i> | | | |
| Cloreto | 250 | 3 | Dentro do VMP |
| Ferro | 0,3 | 0,1 | Dentro do VMP |
| Fluoreto | 1,5 | 0,2 | Dentro do VMP |
| Manganês | 0,1 | 0,03 | Dentro do VMP |
| Sódio | 200 | 15 | Dentro do VMP |
| <i>Parâmetros físicos</i> | | | |
| Dureza | 300 | 115 | Dentro do VMP |
| STD | 500 | 235 | Dentro do VMP |
| Turbidez | 5 (uT) | 1,3 | Dentro do VMP |

STD= sólidos totais dissolvidos.

Foi observado que todos os parâmetros analisados se enquadram dentro do VMP estabelecido pela legislação.

4.5 Avaliação da Ocorrência de Arsênio

Não é incomum a presença de teores anômalos de arsênio nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani e unidades subjacentes. Além disso, em aquíferos fraturados, também foram encontrados esses teores, com provável origem associada à ocorrência de arsenopirita em basaltos (GASTMANS et al., 2010).

Esse fator normalmente está relacionado com a presença desse semimetal no arcabouço mineralógico do aquífero, sendo a principal fonte de arsênio em aquíferos sedimentares relacionada a óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio que ocorrem recobrando os grãos desses arenitos e à presença de tufo e cinzas vulcânicas associados a essas rochas sedimentares (GASTMANS et al., 2010).

4.5.1 Análises de arsênio em águas subterrâneas do município de São Pedro do Sul

Para avaliar a ocorrência de arsênio em diferentes porções do município de São Pedro do Sul foram feitas seis coletas de amostras de água para análise do semimetal em poços de diferentes profundidades, litologias e regiões (Figura 69). Os resultados das análises são apresentados na Tabela 25.

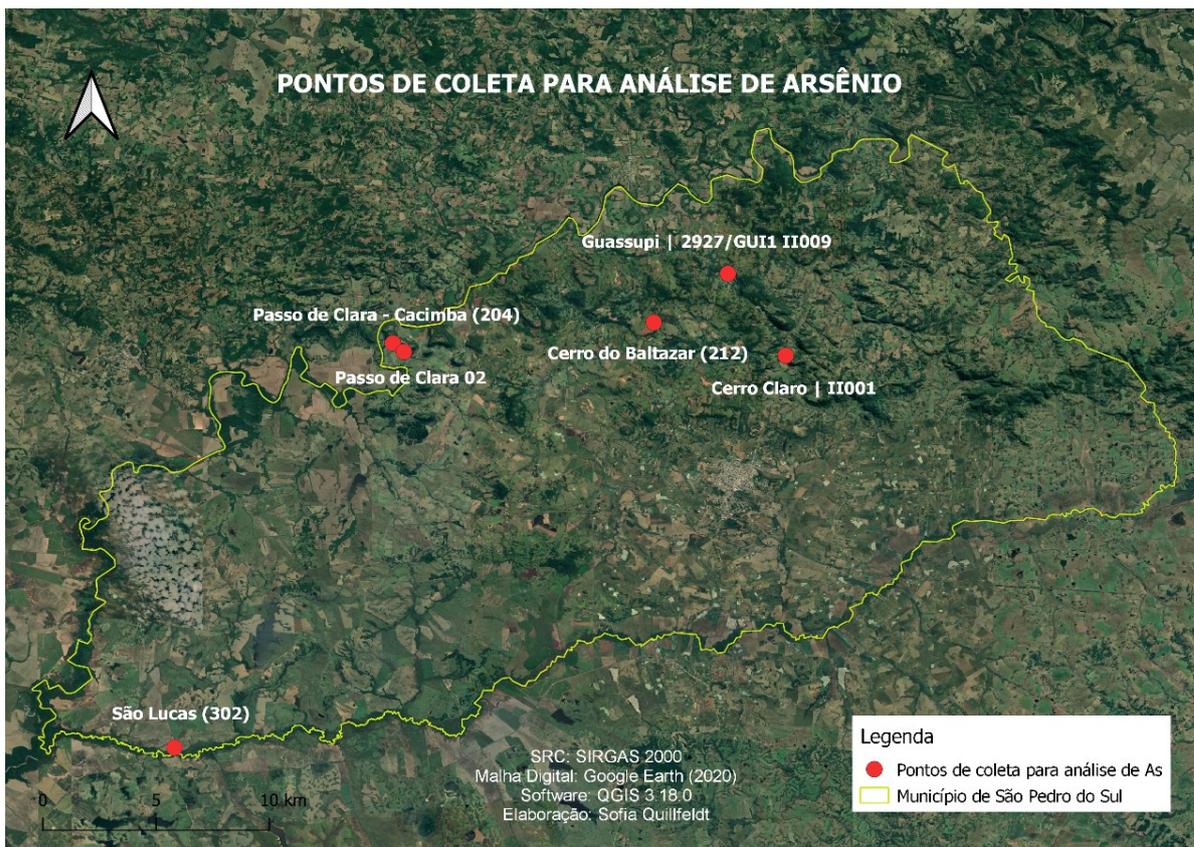


Figura 69. Mapa de pontos de coleta para análise de arsênio.

Tabela 25. Resultado das análises de arsênio para as seis amostras de água coletadas onde todos os pontos captam águas do Sistema Aquífero Guarani.

| Ponto de Coleta | Tipo de Poço | Profundidade | Resultado |
|--------------------------------|--------------------------|--------------|-------------|
| Passo de Clara 02 | Tubular | 120 metros | 0,0621 mg/L |
| Passo de Clara - Cacimba (204) | Escavado | 1,72 metros | < L.Q. |
| São Lucas (302) | Poço de pequeno diâmetro | Sem dados | < L.Q. |
| Cerro do Baltazar (212) | Poço tubular | Sem dados | < L.Q. |
| Guassupi 2927/GUI1 II009 | Poço tubular | 72 metros | < L.Q. |
| Cerro Claro II001 | Poço tubular | 120 metros | < L.Q. |

L.Q. = 0,0052 mg/L.

A partir dos dados apresentados na Tabela 25, pode-se notar que apenas um poço continha teores de arsênio (Passo de Clara 02). O poço Passo de Clara – Cacimba (204), apesar da grande proximidade do poço Passo de Clara 02 (aproximadamente 650 metros de distância), resultou em teores de arsênio abaixo do

limite de quantificação. Ao comparar os poços, observa-se que o fator principal que os difere é a profundidade, sendo o poço Passo de Clara 02 um poço tubular, de 120 metros de profundidade, e o poço Passo de Clara – Cacimba (204) um poço escavado, de 1,72 metros de profundidade.

Considerando os pontos discutidos, nota-se que a contaminação das águas subterrâneas pelo semimetal arsênio não foi identificado no aquífero freático e captado pelo poço escavado, podendo estar contida a maiores profundidades e camadas aquíferas específicas.

4.5.2 Poços com teores de arsênio no município de São Pedro do Sul e arredores

Além dos poços Passo de Clara 01 e Passo de Clara 02 situados no município de São Pedro do Sul, foram encontrados poços com teores de arsênio em municípios vizinhos, sendo eles, Mata, Dilermando de Aguiar, Cacequi e São Vicente do Sul (Figura 70). Os teores de arsênio e as datas e horários de coleta das amostras são apresentados na Tabela 26.



Figura 70. Mapa de localização dos poços com teores de arsênio no município de São Pedro do Sul, Mata, São Vicente do Sul, Cacequi e Dilermando de Aguiar.

Tabela 26. Teores de arsênio dos poços situados em municípios vizinhos de São Pedro do Sul. Dados concedidos pela CORSAN.

| Município | Ponto | Data | Hora | As tot mg/L |
|----------------------|-------------------|------------|-------|-------------|
| São Pedro do Sul | Passo de Clara 01 | 09/01/2020 | - | 0,026 |
| | Passo de Clara 02 | 13/01/2021 | 10:52 | 0,018 |
| | | 07/12/2021 | 09:14 | 0,062 |
| Mata | Poço MAT-03 | 06/01/2014 | 08:25 | 0,008 |
| | | 23/02/2015 | 10:00 | 0,008 |
| | | 13/02/2017 | 08:30 | 0,0067 |
| | | 17/01/2018 | 09:40 | 0,0055 |
| | | 25/02/2019 | 14:50 | 0,0047 |
| | Poço MAT-02 | 13/02/2017 | 08:10 | 0,0032 |
| Dilermando de Aguiar | Poço DIL-05 | 04/08/2014 | 09:30 | 0,008 |
| | | 14/06/2016 | 08:35 | 0,009 |

| | | | | |
|---------------------------|--------------|------------|-------|--------|
| | | 04/07/2016 | 09:50 | 0,007 |
| | | 13/02/2017 | 08:55 | 0,0081 |
| | | 31/07/2017 | 08:25 | 0,0084 |
| | | 17/01/2018 | 14:00 | 0,0080 |
| | | 08/10/2018 | 13:50 | 0,0079 |
| | | 25/02/2019 | 08:40 | 0,010 |
| São Vicente do Sul | Poço SVS-06 | 23/01/2017 | 09:10 | 0,0040 |
| Cacequi | Poço CCQ-06A | 06/02/2017 | 09:32 | 0,0041 |
| | Poço CCQ-07 | 06/02/2017 | 09:57 | 0,0036 |

A partir da Tabela 26, observa-se que, apesar dos municípios arredores apresentarem diversos poços com teores de arsênio acima do limite de quantificação, apenas São Pedro do Sul apresenta teores de arsênio acima do VMP pela legislação brasileira (0,01 mg/L).

Para os poços MAT-03 e DIL-05, que apresentaram diversas medições de teor de arsênio em diferentes datas e horários, foram gerados gráficos mostrando essas variações. O poço MAT-03 teve uma média de 0,0066 mg/L, com teor de arsênio variando de 0,0047 a 0,0080 mg/L (Figura 71), e o poço DIL-05 teve uma média de 0,0083 mg/L, com teor de arsênio variando de 0,0070 a 0,0100 mg//L (Figura 72).

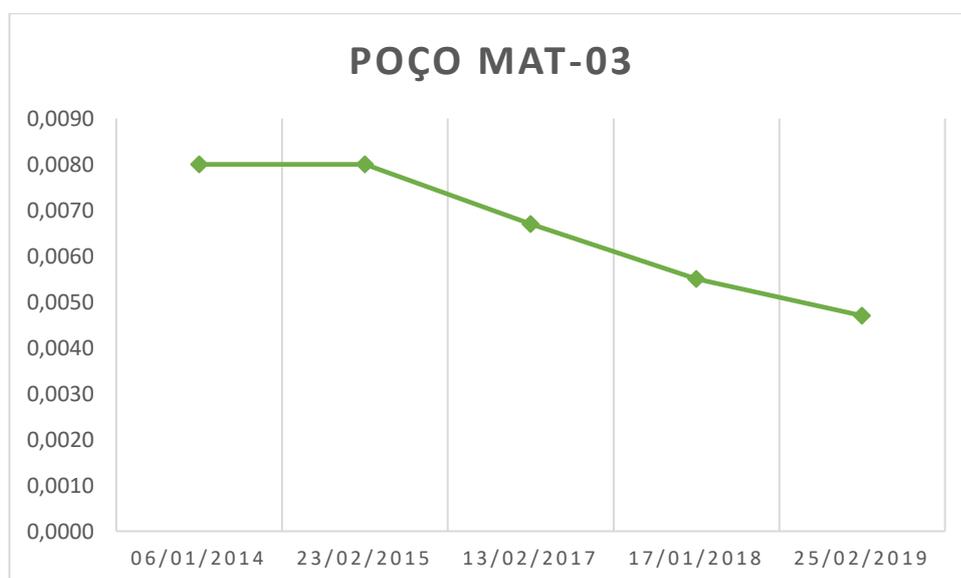


Figura 71. Variação do teor de arsênio do poço MAT-03 no município de Mata.

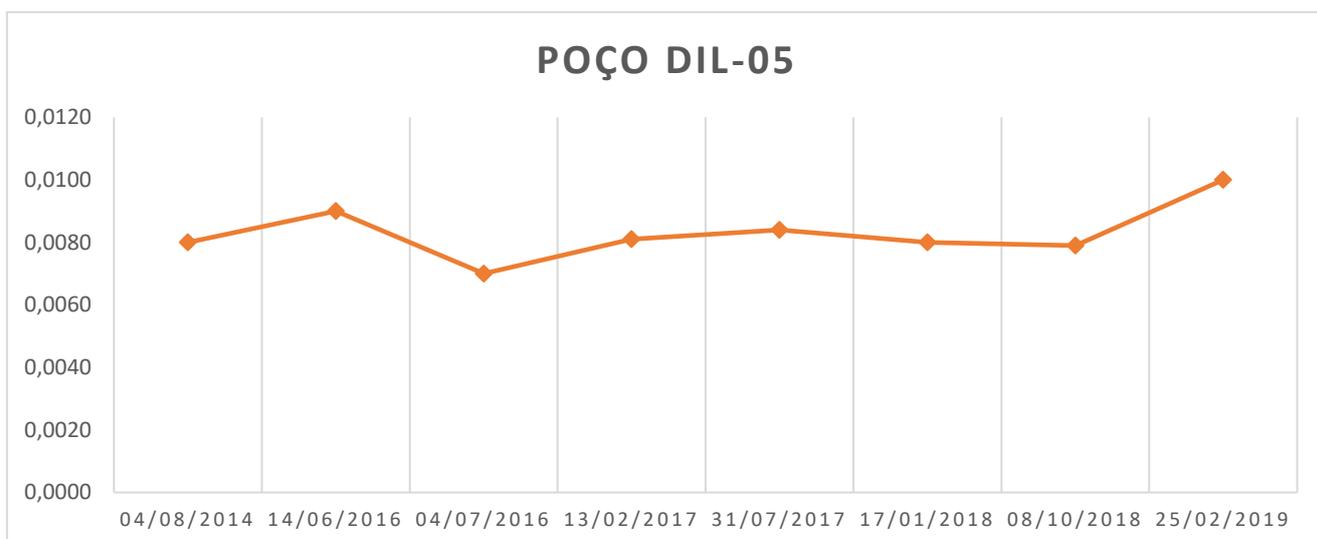


Figura 72. Variação do teor de arsênio do poço DIL-05 no município de Dilermando de Aguiar.

A partir dos dados geológicos e construtivos dos poços que contêm arsênio no município de São Pedro do Sul e arredores foi construída a Tabela 27.

Tabela 27. Dados geológicos e construtivos dos poços que contêm arsênio no município de São Pedro do Sul e arredores.

| Município | Ponto | Profundidade | Tipo de Camada Aquífera | Profundidade do(s) filtro(s) | Altitude da Entrada de Água |
|----------------------|-------------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| São Pedro do Sul | Passo de Clara 01 | 118 m | Arenito | 80-88 m | 6 m |
| | Passo de Clara 02 | 120 m | Arenito | Sem dados | -3 m |
| Mata | Poço MAT-03 | 84,5 m | Arenito | 57-80 m | 45 m |
| | Poço MAT-02 | 53,27 m | Arenito | 34-36 m; 40-51 m | 42 m |
| Dilermando de Aguiar | Poço DIL-05 | 146 m | Arenito | 12-140 m | 12 m |
| São Vicente do Sul | Poço SVS-06 | 79 m | Arenito | 64-75 m | 38 m |
| Cacequi | Poço CCQ-06A | 105 m | Arenito | 59-75 m; 81-97 m | 44 m |
| | Poço CCQ-07 | 92 m | Arenito | 59-84 m | 50 m |

Observando-se a Tabela 27, pode-se notar que as camadas aquíferas que apresentam águas com teores de arsênio são compostas por arenito em sua totalidade. Além disso, é possível observar que existem dois *clusters* de altitude de entrada de água: o primeiro, com altitudes de entrada de água que variam de -3 a 12

metros de altitude, e o segundo, com altitudes de entrada de água que variam de 38 a 50 metros de altitude (Tabela 28).

Tabela 28. Divisão de clusters de altitude de entrada de água, mostrando o teor máximo de arsênio registrado para cada poço.

| | Poço | Teor máximo de As registrado (mg/L) |
|-----------|-------------------|-------------------------------------|
| Cluster 1 | Passo de Clara 01 | 0,026 |
| | Passo de Clara 02 | 0,062 |
| | Poço DIL-05 | 0,01 |
| Cluster 2 | Poço MAT-03 | 0,008 |
| | Poço MAT-02 | 0,0032 |
| | Poço SVS-06 | 0,004 |
| | Poço CCQ-06A | 0,0041 |
| | Poço CCQ-07 | 0,0036 |

Analisando a Tabela 28 é possível ver que o *cluster 1*, com altitudes de entrada de água menores, apresenta teores máximos de arsênio registrados mais elevados que os teores máximos registrados para o *cluster 2*, com altitudes de entrada de água maiores.

Considerando a diferença de altitude de entrada de água e a diferença do teor de arsênio, é possível que os *clusters* citados pertençam a duas camadas aquíferas de Formações distintas, ou uma camada aquífera, pertencendo a uma única Formação. Para o primeiro caso, uma explicação plausível poderia ser a presença de estruturas que ligam essas duas camadas e geram mistura de águas, e, para o segundo caso, o basculamento da camada, levando a diferentes altitudes de entradas de água em diferentes regiões.

4.5.3 Mistura de Águas no Sistema Aquífero Guarani

A presença do Sistema de Falhas Jaguari-Mata que corta o município em sua porção central com direção noroeste, constitui uma região com tectônica rúptil expressiva, o que pode favorecer a mistura de águas.

A partir da integração dos dados de localização dos pontos com ocorrência de arsênio no município de São Pedro do Sul e do mapa de densidade de lineamentos (Figura 73), foi possível identificar que ambos os poços se situam próximos a um lineamento demarcado de mesma direção do Sistema de Falhas Jaguari-Mata.

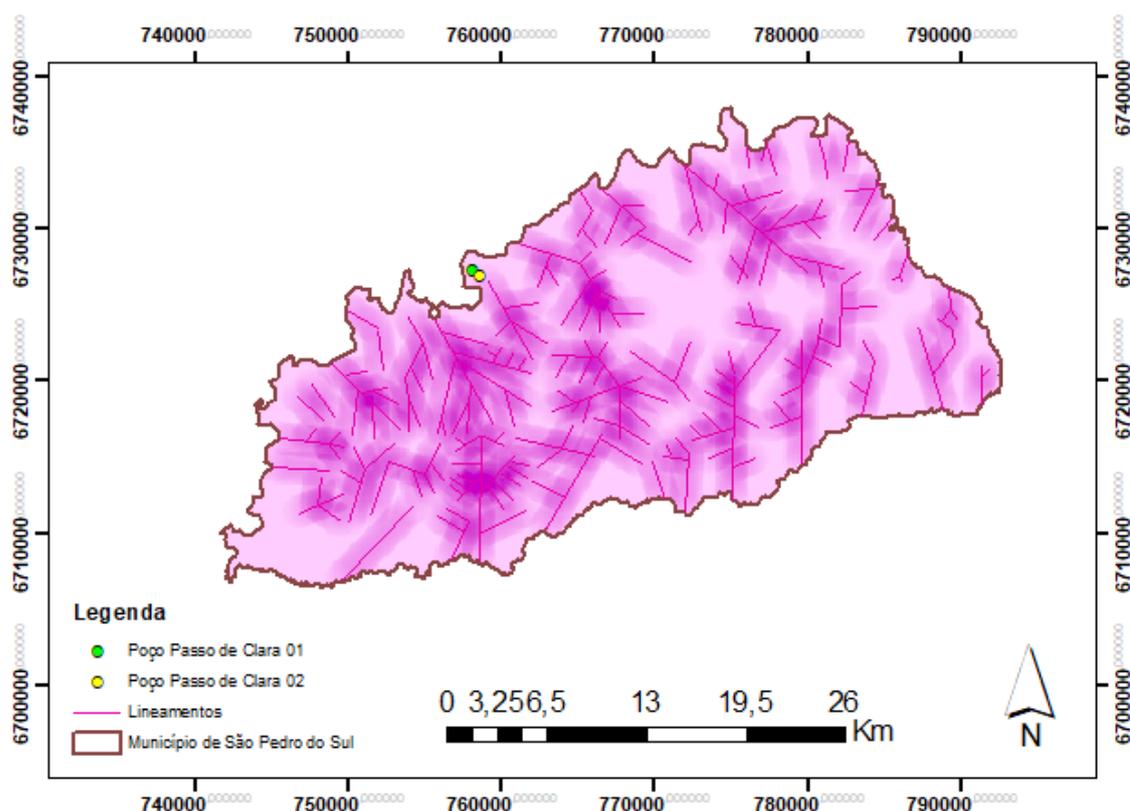


Figura 73. Mapa de densidade de lineamentos do município de São Pedro do Sul com a localização dos poços Passo de Clara 01 e Passo de Clara 02.

A profundidade dos poços com teores anômalos de arsênio é de 118 e 120 metros de profundidade, para os poços Passo de Clara 01 e Passo de Clara 02, respectivamente. O poço Passo de Clara 01 apresenta secção filtrante de 80 a 88 metros de profundidade. Considerando que a altitude do terreno neste ponto é de 104 metros, a secção filtrante apresenta altitude de 16 a 24 metros e o poço atinge altitude de 14 metros negativos em sua máxima profundidade. O poço Passo de Clara 02 não apresenta dados de profundidade de secção filtrante, porém se considerarmos que a altitude do terreno neste ponto é de 105 metros, o poço atinge altitude de 15 metros negativos em sua máxima profundidade.

Devido à proximidade dos poços com a falha do Sistema de Falhas Jaguari-Mata, é possível considerar que uma possibilidade para a origem do arsênio nas

águas subterrâneas da região pode ser proveniente de mistura de águas de camadas aquíferas sotopostas geradas pela compartimentação hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani. Além disso, nessa região também foram coletadas amostras de poços escavados, dos quais os resultados indicaram ausência de arsênio. Portanto, esse resultado corrobora a hipótese de o semimetal estar condicionado à origem geológica.

4.5.4 Uso e Ocupação do Solo

No município de São Pedro do Sul a principal atividade agrícola da região é a lavoura de arroz (44,17% da lavoura temporária), mas a mandioca, a soja, o milho e a cana-de-açúcar também são importantes nesse setor (Tabela 29) (IBGE, 2020). Considerando os dados de lavoura permanente, o cultivo de laranja é o mais representativo, com 71,18% da lavoura permanente (Tabela 30) (IBGE, 2020).

Tabela 29. Lavoura temporária cultivada no município de São Pedro do Sul (IBGE, 2020).

LAVOURA TEMPORÁRIA

| | | | |
|-----------------------|----------|----------------------|----------|
| ALHO | | FUMO | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 4 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 735 t |
| AMENDOIM | | MANDIOCA | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 35 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 4.500 t |
| ARROZ | | MELANCIA | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 33.600 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 400 t |
| BATATA-DOCE | | MELÃO | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 525 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 22 t |
| CANA-DE-AÇÚCAR | | MILHO | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 4.000 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 2.865 t |
| CEBOLA | | SOJA | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 300 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 28.689 t |
| FEIJÃO | | TOMATE | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 189 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 200 t |

Tabela 30. Lavoura permanente cultivada no município de São Pedro do Sul (IBGE, 2020).

LAVOURA PERMANENTE

| | | | |
|----------------------|---------|----------------------|-------|
| ABACATE | | LIMÃO | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 60 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 35 t |
| BANANA | | NOZ | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 55 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 52 t |
| CAQUI | | PERA | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 42 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 75 t |
| FIGO | | PÊSSEGO | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 18 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 60 t |
| GOIABA | | TANGERINA | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 12 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 76 t |
| LARANJA | | UVA | |
| QUANTIDADE PRODUZIDA | 1.890 t | QUANTIDADE PRODUZIDA | 280 t |

Segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), as suas lavouras temporárias totalizam 17.926 hectares, e as lavouras permanentes 121 hectares, sendo a agricultura uma importante atividade econômica para o município. Além disso, foi verificado que 60,40% dos estabelecimentos presentes no município utilizam agrotóxico no cultivo de alimentos.

A lavoura de arroz, a principal atividade agrícola da região, conta com uma área plantada de 4 hectares e apresentou no ano de 2020 a maior produção de arroz dos últimos 16 anos, com 33.600 toneladas de arroz (Figura 74) (IBGE, 2020).

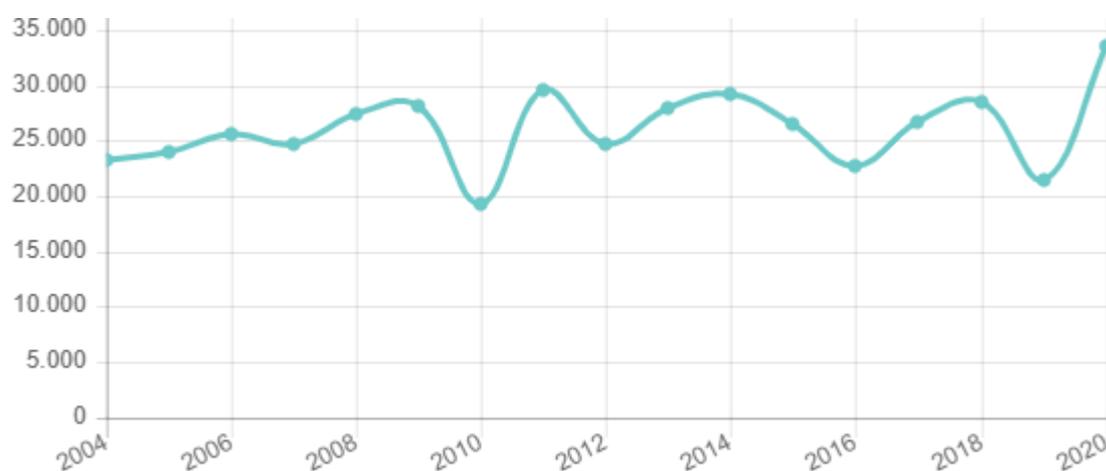


Figura 74. Série histórica de quantidade de arroz produzida no município de São Pedro do Sul (tonelada x anos).
Fonte: IBGE (2020).

A segunda principal atividade agrícola do município, a soja, conta com uma área plantada de 16.130 hectares, apresentando no ano de 2019 a maior produção de soja dos últimos 16 anos, com 44.608 toneladas. Após este pico, a produção de soja sofreu uma leve queda e apresentou no ano de 2020 uma produção de 28.689 toneladas de soja (Figura 75) (IBGE, 2020).



Figura 75. Série histórica de quantidade de arroz produzida no município de São Pedro do Sul (tonelada x anos).
Fonte: IBGE (2020).

Segundo informações fornecidas pela EMATER do município, São Pedro do Sul é dividido em duas regiões: a região da colônia, com relevo mais acidentado, de bioma Mata Atlântica, e a região dos campos, com relevo menos acidentado, de bioma Pampa. Na região da colônia predomina agricultura familiar, com cultivo em pequenas quantidades de feijão, fumo, milho e soja, onde também ocorre a bacia leiteira. Já a região dos campos, com predomínio de agronegócio, apresenta principal cultivo como soja e arroz.

Ambos os poços onde foram identificados níveis de arsênio acima do VMP localizam-se próximo ao limite entre as duas regiões presentes no município, mas se situam na região da colônia, em relevo acidentado (Figura 76 e Figura 78).



Figura 76. Imagem de satélite da região do poço Passo de Clara 01.

Nos arredores do poço Passo de Clara 01 foi identificada a criação de gado e de abelha (Figura 77).



Figura 77. Foto do uso do solo nos arredores do poço Passo de Clara 01 mostrando área de criação de gado e de abelha.



Figura 78. Imagem de satélite da região do poço Passo de Clara 02.

Já nos arredores do poço Passo de Clara 02, foi identificada a criação de gado e agricultura familiar com cultivo de milho, banana, cana e eucalipto (Figura 79).



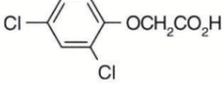
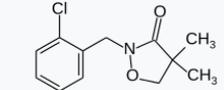
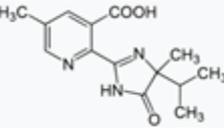
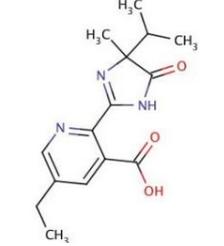
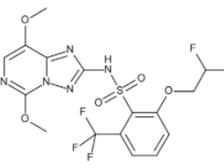
Figura 79. Foto do uso do solo nos arredores do poço Passo de Clara 02 mostrando área de criação de gado cultivo de milho.

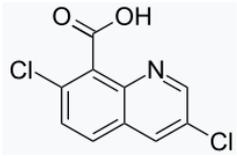
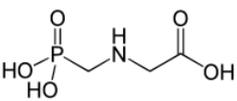
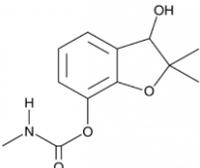
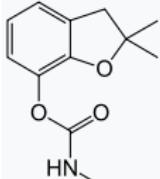
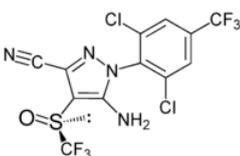
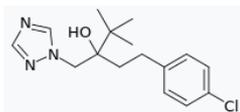
4.5.5 Defensivos agrícolas e o arsênio

O uso de substâncias químicas na agricultura no país tem sido cada vez mais utilizados, sendo o Brasil o maior consumidor de pesticidas do mundo. Alguns desses podem conter metais pesados, como arsênio, cádmio, chumbo, cromo e níquel, que podem ser lixiviados e migrar para a camada aquífera local (GORMAN et al., 2011).

Considerando que as principais atividades agrícolas do município de São Pedro do Sul são o cultivo de arroz e de soja, foram listados os principais defensivos agrícolas utilizados para estes alimentos (Tabela 31).

Tabela 31. Principais defensivos agrícolas utilizados na produção de arroz e soja e suas respectivas composições químicas.

| | Nome | Ingrediente ativo | Fórmula e Estrutura Química | Principal Uso |
|------------|------------|---|--|--|
| HERBICIDAS | 2,4-D | Dimetilamina de ácido (2,4-diclorofenoxi) acético (2,4-D) | $C_8H_6Cl_2O_3$  | Trigo, milho, soja, arroz, aveia, sorgo, cana-de-açúcar, café e pastagens de braquiária. |
| | Clomazona | 2-(2-clorobenzil)-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona | $C_{12}H_{14}ClNO_2$  | Arroz, algodão, soja, cana-de-açúcar, mandioca, fumo, pimentão |
| | Imazapic | Ácido (RS)-2-(4-isopropil-4-metil-5-oxo-2-imidazolin-2-il)-5-metilnicotínico | $C_{14}H_{17}N_3O_3$  | Amendoim, cana-de-açúcar |
| | Imazetapir | Ácido (RS)-5-etil-2-(4-isopropil-4-metil-5-oxo-2-imidazolin-2-il)nicotínico | $C_{15}H_{19}N_3O_3$  | Soja, arroz |
| | Penoxsulam | 3-(2,2-difluoretoxi)-N-(5,8-dimetoxi[1,2,4]triazolo[1,5-c]pirimidin-2-il)- α,α -trifluortolueno-2-sulfonamida | $C_{16}H_{14}F_5N_5O_5S$  | Arroz |

| | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| | Quinclorac ou quincloraque | Ácido3,7- dicloroquinolina-8- carboxílico | $C_{10}H_5Cl_2NO_2$  | Arroz |
| | Glifosato | <i>N</i> - (fosfonometil)glicina | $C_3H_8NO_5P$  | Arroz, cana-de-açúcar, café, citros, maçã, milho, pastagens, soja, fumo, uva e cana-de-açúcar |
| INSETICIDAS | 3- Hidroxicarbo furano (*) | 7-(<i>N</i> - metilcarbamato) 2,3- diidro-2,2-dimetil- 3,7-benzofurandiol | $C_{12}H_{15}NO_4$  | Várias |
| | Carbofurano (*) | 2,2-Dimetil-2,3- diidro-1-benzofuran- 7-il metilcarbamato | $C_{12}H_{15}NO_3$  | Batata, milho, soja |
| | Fipronil | (<i>RS</i>)-5-amino-1-[2,6- dicloro-4- (trifluormetil)fenil]- 4- (trifluormetil- sulfinil)-1H-pirazol-3- carbonitrila | $C_{12}H_4Cl_2F_6N_4OS$  | Algodão, soja, batata, cana-de-açúcar, milho |
| FUNGICIDA | Tebuconazol | (<i>RS</i>)-1- <i>p</i> - chlorophenyl-4,4- dimethyl-3-(1H- 1,2,4-triazol-1- ylmethyl)pentan-3-ol | $C_{16}H_{22}ClN_3O$  | Arroz, aveia, batata, beterraba, cacau, café, cevada, feijão, milho, soja, trigo, sorgo, figo, goiaba, mamão, manga e outros. |

Obs: Bulas para os produtos na tabela citam “outros ingredientes” sem especificá-los.

(*) Inseticidas a base de carbofurano foram proibidos no Brasil a partir de 2018.

Segundo Oliveira (2016), o metano arseniato ácido monossódico (MSMA), de composição química $\text{CH}_4\text{AsNaO}_3$, é um herbicida cujo mecanismo de ação e os sítios de atuação não são inteiramente conhecidos, classificado como Classe II (altamente tóxico) pela ANVISA (2002). O MSMA é utilizado no cultivo de cana-de-açúcar, soja, milho, algodão e outras, podendo ser lixiviado e gerar a contaminação de camadas aquíferas superficiais.

Considerando os resultados das análises feitas para o semimetal arsênio nas águas coletadas em poços escavados e poços localizados em regiões com cultivos agrícolas (Tabela 25), a hipótese de que a origem do arsênio é condicionada ao uso de agroquímicos na agricultura da região não pode ser confirmada, devido ao fato do semimetal estar ausente em águas mais superficiais na mesma localidade onde o mesmo ocorre (poço escavado Passo de Clara – Cacimba (204)).

No entanto, é necessário destacar que, como a atividade agrícola é um importante fator econômico para o município, e o uso de agroquímicos é intenso na região, deve-se considerar estudos sobre a ocorrência de agroquímicos e outros elementos que poderiam ser provenientes dos defensivos agrícolas nas águas subterrâneas do município, visto que o uso dessas águas é essencial para o abastecimento de São Pedro do Sul.

5 CONCLUSÕES

O município de São Pedro do Sul é integralmente abastecido pela captação de águas subterrâneas advindas dos poros presentes nas rochas sedimentares do Sistema Aquífero Guarani, em maior proporção, e das fraturas presentes nas rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral, em menor proporção.

Na região, mais da metade dos poços são do tipo tubular, mas a captação de água subterrânea também ocorre a partir de poços de pequeno diâmetro, utilizados no abastecimento de comunidades rurais, e poços escavados. Os poços presentes no município são destinados majoritariamente ao abastecimento múltiplo (71,74%) e minoritariamente ao abastecimento urbano, doméstico e à irrigação.

A geologia da região é caracterizada por litologias associadas as formações Botucatu, Sanga do Cabral, Santa Maria e Serra Geral (Fácies Gramado). Além disso foram identificados 187 lineamentos, com predominância dos lineamentos noroeste (N50-60W) que possuem o mesmo sentido do sistema de falhas Jaguari-Mata.

O Sistema Aquífero Guarani é apresentado pelas unidades hidroestratigráfica Santa Maria, Sanga do Cabral, Caturrita e Botucatu na área de estudo. Os dados dos poços que captam água desse Sistema Aquífero indicam que o mesmo apresenta camadas aquíferas que variam de 2 a 44 metros de espessura, onde a maior parte dos poços possuem profundidades médias de 87,34 metros. Além disso, apresentam vazões médias de 24,48 m³/h, capacidades específicas médias de 2,78 m³/h/m, profundidade média dos níveis estáticos de 28,53 metros e filtros com espessura média de 8,46 metros.

As águas subterrâneas pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani são predominantemente Bicarbonatadas Cálcicas, típicas desse Sistema Aquífero, com pH predominantemente neutro, de média 7,04. Os poços que apresentam pH mais ácido poderiam estar associados a aquíferos livres com menor tempo de residência das águas, enquanto os poços com pH mais alcalino poderiam estar associados a aquíferos mais profundos, o que é corroborado pela comparação entre os poços de pH mais elevados, altas profundidades e o confinamento dos aquíferos.

Com relação à qualidade das águas, foi observado que todos os parâmetros analisados se enquadram dentro do VMP estabelecido para as águas do Sistema

Aquífero Guarani, com exceção do arsênio, alumínio e ferro. Foram identificados dois poços com teores de arsênio acima do VMP, ambos com localização e profundidade similares. Foi identificado um poço com teores de alumínio e ferro acima do VMP, esses valores provavelmente possuem relação com o confinamento das camadas aquíferas.

Os dados dos poços que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral indicam que a maior parte dos poços possuem profundidades médias de 114 metros. Além disso, a vazão média é de 10,57 m³/h, a capacidade específica média é de 2,662 m³/h/m e profundidade média dos níveis estáticos é 20,44 metros.

As águas subterrâneas pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral são predominantemente Bicarbonatadas Cálcicas, típicas desse Sistema Aquífero, com pH predominantemente neutro, de média 7,37. Os pontos que apresentam água com valores de pH elevados provavelmente devem essa característica à maior profundidade das entradas de água dos poços, supondo-se que poços com profundidade elevadas apresentam profundidades de entradas de água também elevadas. Não foram identificados parâmetros acima do VMP estabelecido para as águas desse Sistema Aquífero.

No município de São Pedro do Sul dois poços tubulares apresentaram teores de arsênio acima do VMP, ambos situados na mesma localidade. Foram identificados também outros poços localizados em municípios arredores com teores de arsênio, sendo possível classifica-los em dois grupos distintos: o primeiro grupo com altitudes de entrada de água menores, apresentou teores de arsênio mais elevados (igual ou maior que o VMP); já o segundo grupo, com altitudes de entrada de água maiores, apresentou teores de arsênio mais baixos (menores que o VMP). É possível que os dois grupos pertençam a camadas aquíferas distintas, contendo estruturas que ligam as duas camadas, ou a uma única camada aquífera, que pode ter sido basculada.

Em São Pedro do Sul, ambos os poços que apresentaram valores anômalos do semimetal estão situados próximos a um lineamento demarcado, fazendo parte do Sistema de Falhas Jaguari-Mata, que corta o município com direção NW-SE. Além disso, amostras coletadas de poços escavados na mesma localidade dos poços que apresentaram teores acima do VMP para o semimetal arsênio indicaram ausência do mesmo.

A proximidade dos poços com o lineamento citado e a ausência de arsênio no aquífero freático e captado por poços escavados na região corroboram com a hipótese inicial do trabalho, que sugere a compartimentação hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Guarani pela conhecida falha de Jaguari-Mata, levando à mistura de águas de aquíferos sotopostos, que podem ser responsáveis pelo aumento da concentração de arsênio nas águas subterrâneas, tendo reflexo na composição e qualidade natural dessas águas.

A partir desses resultados, recomenda-se que mais estudos sejam realizados no município de São Pedro do Sul a respeito da presença de arsênio e outros elementos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, gerando um aumento de dados químicos das águas dos poços da região e monitorando quaisquer anomalias químicas que possam gerar danos à saúde da população local.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (BRASIL). **Nota Técnica: Reavaliação Toxicológica do Ingrediente Ativo MSMA**, 2002.

AMORE, L. **The Guarani Aquifer: From Knowledge to Water Management**. International Journal of Water Resources Development, v. 27, n. 3, p. 463–476, 1 set. 2011.

ANA. **ATLAS - Abastecimento Urbano de Água**. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=3>>. Acesso em: 6 mar. 2021.

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. **Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA**. Hydrogeology Journal, v. 7, n. 3, p. 317–336, jun. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12244**, 2006.

BONOTTO, D. M. **Hydro(radio)chemical relationships in the giant Guarani aquifer, Brazil**. Journal of Hydrology, v. 323, n. 1, p. 353–386, 30 maio 2006.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação n 888, anexo 11**.2021.

BUNDSCHUH, J. et al. (EDS.). **Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America**. CRC Press, 2008.

CAMPOS, H. C. N. S. **Metodologia para estudos da qualidade das águas subterrâneas e sua aplicação para caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Guarani**. n. 2, p. 114–131, 2013.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**, 2009.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Ministério de Minas e Energia, escala 1:750.000. 2008.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, escala 1:750.000. 2005.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

DA SILVA, J. L. S. et al. **Novas Hipóteses sobre a Origem do Flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Central Gaúcha, Brasil**. 2002.

DA SILVA, J. L. S.; FLORES, E. M. M.; BERTAZZO, V. M. **Estudo Hidroquímico das águas subterrâneas da região de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul**. 2000.

DE CERQUEIRA, FLAVIO COSTA. **Hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no município de São João da Barra, RJ**. Campo dos Goytacazes, RJ: UENF, 2014.

DE FREITAS, M. A. et al. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Um Avanço no Conhecimento das Águas Subterrâneas no Estado**. p. 14, 2004.

DONATTI, LEANDRO MENEZES. **Faciologia, Proveniência e Paleogeografia das Formações Piramboia e Botucatu no Estado do Paraná**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

ESRI SUPPORT. **ArcGIS Technical Support**. Disponível em: <<https://support.esri.com/en/?rsource=indexWithoutQuerystring&rmedium=redirects02>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

FOSTER, STEPHEN et al. **The Guarani Aquifer Initiative - Towards Realistic Groundwater Management in a Transboundary Context**. 2009.

GASTMANS, D. et al. **Influência do arcabouço hidroestratigráfico nas ocorrências de arsênio em águas subterrâneas ao longo do corredor termal do Rio Uruguai (Argentina – Brasil – Uruguai)**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 16, 2010.

GIARDIN, A.; FACCINI, U. **Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do sistema aquífero Guarani: Abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil**. Águas Subterrâneas, v. 18, n. 1, 9 dez. 2004.

GORMAN M. et al. **Exposure to Pesticides and Metal Contaminants of Fertilizer among Tree Planters**. 2011.

GRAWER, J. **Diagnóstico hidrogeológico e hidroquímico da bacia hidrográfica do baixo Jacuí-RS utilizando o banco de dados do SIAGAS/CPRM**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

HAUSMAN, A. **Estudos das Possibilidades de Água Subterrânea no Rio Grande do Sul**. v. 9, p. 14, 1960.

HAUSMAN, A. **Províncias hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul. série mapas**. p. 1–127, 1995.

HUANG, R.-N.; LEE, T.-C. **Cellular Uptake of Trivalent Arsenite and Pentavalent Arsenate in KB Cells Cultured in Phosphate-Free Medium**. Toxicology and Applied Pharmacology, v. 136, n. 2, p. 243–249, 1 fev. 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo**. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-pedro-do-sul/historico>>.

LISBOA, N. A. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral, na bacia do Paraná, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

LUCAS, M. C.; GUANABARA, R. C. **Estimativa de recarga subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani.** M. C., p. 14, 2012.

LUIZ, T. B. P.; SILVA, J. L. S.; FILHO, L. L. V. D. **Hydrochemical Investigation of Fluoride High Contents in Groundwaters in Portion of Guarani Aquifer System, Southern Brazil.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 41, n. 1, p. 52–65, 16 maio 2018.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** São Leopoldo: UNISINOS, 2005.

MANDAL, B. K.; SUZUKI, K. T. **Arsenic round the world: a review.** Talanta, v. 58, n. 1, p. 201–235, 16 ago. 2002.

MENEZES, J. **Zoneamento geoambiental do município de São Pedro do Sul – RS.** p. 13, 2011.

MANZANO, M.; GUIMARAENS, M. **Hydrochemistry of the Guarani Aquifer System and implications for its management.** Boletim Geologico y Minero, v. 123, p. 281–295, 1 jul. 2012.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

MILANI, E. J. et al. **Paraná Basin.** 2007.

MOBUS, G. **Análise estrutural e hidrogeológica do aquífero fraturado da formação Serra Geral região noroeste do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1987.

MOBUS, G. **QUALIGRAF – Programa para análise da qualidade da água.** Fortaleza, FUNCENE – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Software-CD. 2002.

MORELATTO, RODRIGO. **Bacia do Paraná - Sumário Geológico e Setores em Oferta**. Agência Nacional do Petróleo, 2017.

NORDSTROM, D. K. PUBLIC HEALTH: Enhanced: **Worldwide Occurrences of Arsenic in Ground Water**. *Science*, v. 296, n. 5576, p. 2143–2145, 21 jun. 2002.

OLIVEIRA, M. C. **Degradação eletroquímica do herbicida metano arseniato ácido monossódico**. Uberaba: UFTM, 2016.

RAVENSCROFT, P.; RAHMANÑ, M. **Arsenic poisoning of Bangladesh groundwater**. *Nature*, v. 395, n. 6700, p. 338–338, set. 1998.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. **Caracterização Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Rio Grande do Sul**. v. 1, n. 27, p. 65–78, 2013.

REGINATO, P. A. R. **Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 276, 2003.

REIS, G. S. et al. **Formação Serra Geral (Cretáceo da Bacia do Paraná): um análogo para os reservatórios ígneo-básicos da margem continental brasileira**. *Pesquisas em Geociências*, v. 41, n. 2, p. 155, 31 ago. 2014.

RODRÍGUEZ-LADO, L. et al. **Groundwater Arsenic Contamination Throughout China**. *Science*, v. 341, n. 6148, p. 866–868, 23 ago. 2013.

SANTIAGO, M. R. **Flúor em Águas Subterrâneas: Um Problema Social**. p. 15, 2009.

SCHERER, C. M. S. **Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin**. *Sedimentary Geology*, v. 137, n. 1, p. 63–84, 1 dez. 2000.

SENA, SHIRLEY FEITOSA MACHADO. **Estudo Hidroquímico da Água Produzida em um Determinado Campo de Petróleo da Bacia Potiguar.** Natal: UFRN, 2011.

SHANKAR, S.; SHANKER, U.; SHIKHA. **Arsenic Contamination of Groundwater: A Review of Sources, Prevalence, Health Risks, and Strategies for Mitigation.** The Scientific World Journal, v. 2014, p. 1–18, 2014.

SILVA, C. N. et al. **Hidroquímica das Águas Subterrâneas nos Domínios Aquíferos do Oeste do Estado da Bahia.** 2014.

SILVEIRA, L. M. D. **Estudo sobre a Ocorrência de Arsênio nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, no Município de Cerro Largo – RS.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 107, 2019.

TERAMOTO, E. H.; GONÇALVES, R. D.; CHANG, H. K. **Hydrochemistry of the Guarani Aquifer System modulated by mixing with underlying and overlying hydrostratigraphic units.** Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 30, p. 100713, 1 ago. 2020.

WEIDER, B.; FOURNIER, J. H. **Activation Analyses of Authenticated Hairs of Napoleon Bonaparte Confirm Arsenic Poisoning.** The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, v. 20, n. 4, p. 378–382, dez. 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – BANCO DE DADOS HIDROGEOLÓGICO PARCIAL

| Código | Coordenada N | Coordenada E | Altitude do Terreno | Uso da Água | Situação | Perfil Geológico | Camadas Geológicas Interceptadas pelos Poços | Aquífero Captado | Profundidade | Diâmetro (") |
|--|--------------|--------------|---------------------|-------------------------|-----------|------------------|--|------------------|--------------|---------------------------|
| SMA-53-RS | 6720200 | 210700 | 130 | Irrigação | Equipado | Não | Formação rosário do sul | Sem dados | 72 | Sem dados |
| SPS-86/8 | 6718596 | 780710 | 140 | Sem dados | Sem dados | Sim | Formação rosário do sul - Arenito Argiloso | SAG | 6 | Sem dados |
| SPS-86/9 | 6725426 | 769863 | 177 | Sem dados | Sem dados | Sim | Formação rosário do sul - Arenito Argiloso | SAG | 5 | Sem dados |
| SPS-86/10 | 6732103 | 772799 | 150 | Sem dados | Sem dados | Sim | Formação Botucatu - Arenito Médio | SAG | 4 | Sem dados |
| SPS-86/12 | 6720257 | 773319 | 187 | Sem dados | Sem dados | Sim | Formação rosário do sul - Arenito Argiloso | SAG | 82 | Sem dados |
| II025 COR-SPS-01 G.259 | 6719757 | 773541 | 164 | Abastecimento múltiplo | Fechado | Sim | Formação rosário do sul - Solo arenoso, siltito, arenito médio, arenito argiloso, siltito, arenito fino. | SAG | 110 | 10" até 110 m |
| II023 COR-SPS-02 G.261 J-1396 POÇO-Nº-20 | 6719608 | 773351 | 164 | Sem uso | Fechado | Sim | Formação rosário do sul - Solo arenoso, siltito argiloso, areia, siltito e arenito fino. | SAG | 85 | 10" até 85 m |
| II018 COR-SPS-03 G.0267 | 6720247 | 773603 | 170 | Abastecimento múltiplo | Fechado | Sim | Formação rosário do sul - solo argiloso, silte, areia grossa, silte, areia grossa, silte. | SAG | 89 | 10" até 89 m |
| II002 | 6727777 | 784207 | 308 | Abastecimento doméstico | Bombeando | Não | Pedreira - sem dados. | Sem dados | 60 | Sem dados |
| II004 | 6731627 | 784891 | 247 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | Sem dados | 120 | Sem dados |
| II005 | 6733387 | 783169 | 296 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação Botucatu - Solo, basalto, arenito médio. | SAG | 132 | 8" até 6 m; 6" até 132 m. |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------|--------|-----|------------------------|---------------|-----|--|-----------|-----|--|
| 3910/PDD1 II006 | 6735790 | 780849 | 156 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação serra geral - rochas intemperizadas e decompostas, arenito médio, basalto. | SASG | 40 | 10" até 4 m; 8" até 40 m. |
| II007 | 6734412 | 779724 | 258 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | Sem dados | 102 | 10" até 12 m; 6 1/2 " até 132. |
| II010 | 6728288 | 769929 | 213 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | Sem dados | 60 | 10" até 36 m; 6" até 60 m. |
| II011 | 6732349 | 770511 | 137 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | Sem dados | 50 | 10" até 13 m; 6" até 50 m. |
| II014 / PREFEITURA | 6720781 | 772586 | 112 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação Santa Maria - sem descrição. | SAG | 65 | 16" até 25 m; 12" até 65 m. |
| II015 COR-SPS-07 G.2463 | 6719363 | 774744 | 135 | Abastecimento urbano | Bombeando | Sim | Formação rosário do sul - argila, argila arenosa, arenito argiloso, arenito fino, arenito médio, argila, argila siltosa. | SAG | 138 | 20" até 4 m; 14" até 18 m; 13" até 42 m; 12 1/2 " até 138 m. |
| II016 COR-SPS-03-B G.2991 | 6720203 | 773682 | 110 | Abastecimento urbano | Bombeando | Sim | Formação rosário do sul - solo, arenito siltoso, arenito fino, argilito, arenito fino, argilito. | SAG | 174 | 17 3/4 " até 140 m; 6" até 174 m. |
| II017 COR-SPS-03-A G.0850 | 6720214 | 773550 | 176 | Abastecimento urbano | Fechado | Sim | Formação rosário do sul - solo, siltito, arenito fino, arenito médio, argilito, siltito, arenito fino, arenito médio, siltito. | SAG | 98 | 10" até 98 m. |
| II019 COR-SPS-05 G.1940 | 6719089 | 772595 | 192 | Abastecimento urbano | Não instalado | Sim | Formação rosário do sul - arenito médio, argilito, arenito médio, argilito, arenito fino, arenito grosso, argilito. | SAG | 88 | 16" até 40 m; 13" até 88 m. |
| II020 | 6718246 | 772610 | 195 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação rosário do sul - solo, areia argilosa, areia fina, arenito fino, arenito médio, arenito fino, argilito, arenito fino, arenito médio, arenito fino, arenito médio, argilito. | SAG | 81 | 16" até 12 m; 12" até 81 m. |
| II021 | 6718248 | 772621 | 195 | Sem uso | Fechado | Não | Sem descrição. | Sem dados | 55 | 10" até 6 m; 6" até 55 m. |

| | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------|-----------|----------------------|---|-----|--|------|-----|--|
| II022 COR-SPS-02-A G.0782 | 6719612 | 773336 | 163 | Abastecimento urbano | Bombeando | Sim | Formação rosário do sul - solo siltoso, argilito, arenito médio, siltito, argilito, arenito médio, arenito siltoso, arenito médio, arenito siltoso, arenito médio. | SAG | 101 | 10" até 98,28 m; 8" até 98,41 m; 6" até 101 m. |
| II024 COR-SPS-04 G.0618 | 6719749 | 773550 | 166 | Abastecimento urbano | Bombeando | Sim | Formação rosário do sul - solo areno-argiloso, siltito, arenito argiloso, arenito grosso, arenito médio, arenito grosso, argilito, arenito argiloso, arenito fino, arenito siltoso, arenito argiloso, siltito, arenito grosso. | SAG | 90 | 10" até 90 m. |
| COR-SPS-02-B G.3443 ART-5608876 | 6719557 | 773308 | 164 | Abastecimento urbano | Bombeando | Sim | Formação rosário do sul - solo argiloso, argilito, arenito fino, arenito médio, argilito, arenito argiloso, arenito médio, arenito argiloso. | SAG | 102 | 17 1/2" até 0,5 m; 14 3/4" até 102 m. |
| JC639- MUSEU MUNICIPAL | 6718533 | 762967 | Sem dados | Sem uso | Poço RIMAS equipado c medidor automático de nível | Sim | Formação Santa Maria - areia fina, areia média, areia grossa, argilito, arenito argiloso, arenito médio. | SAG | 52 | 8 1/2" até 52 m. |
| 3911/MUN2 | 6732328 | 779269 | Sem dados | Sem uso | Seco | Sim | Formação Serra Geral, Grupo Sao Bento - rochas intemperizadas e decompostas; basalto. | SASG | 200 | 10" até 6 m; 8" até 8 m; 6 1/2" até 200 m. |
| | 6731548 | 782988 | Sem dados | Sem dados | Sem dados | Sim | Formação Serra geral - basalto, arenito médio. | SASG | 120 | 10" até 10 m; 6" até 120 m. |
| COR-SPS-09 G.3631 | 6720402 | 774010 | Sem dados | Sem uso | Seco | Sim | Formação Santa Maria - solo siltoso, argilito. | SAG | 150 | 17 1/2" até 15 m; 14 3/4" até 150 m. |

| | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------|-----|------------------------|------------|-----|---|-----------|------|-------------------------------------|
| COR-SPS-08 G.3627 | 6713701 | 770276 | 115 | Abastecimento múltiplo | Sem dados | Sim | Formação santa maria e serra geral - solo arenoso, arenito grosso, siltito, arenito fino, médio e grosso, areia muito fina, arenito muito fino, arenito grosso, argilito, arenito médio, argilito, basalto. | SAG/SASG | 114 | 17 1/2" até 10m; 14 3/4" até 114 m. |
| 7056/SPS1 | 6722108 | 774382 | 226 | Abastecimento urbano | Sem dados | Não | Sem descrição. | Sem dados | 132 | 12 1/4" até 108 m; 8" até 132 m. |
| COR SPS 02 - NG 0261 | | | | Sem dados | Sem dados | Sim | Areia fina parda, siltito arenoso rosa, siltito calcífero rosa, Arenito Médio claro, arenito fino rosa, folhelho rosa. | SAG | 85 | 6" até 85m; |
| COR SPS 06 - NG 1978 | 6719354 | 774835 | 193 | Sem dados | Sem dados | Sim | Areia argilosa, areia muito fina, areia fina, areia média, areia muito fina, areia fina, argila cinza, areia muito fina, areia media, areia muito fina, areia fina, areia media, argila cinza | SAG | 80 | 406 mm até 12m; 305 mm até 81 m |
| 1046 PAN - 1A | | | | Sem dados | Sem dados | Não | | Sem dados | 60 | |
| Passo da Taquara (201) | 6721529 | 768350 | 161 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG/SASG | | |
| Passo de Clara ativo (202) | 6726892 | 758535 | 105 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | | SAG/SASG | | |
| II013 (passo de clara desativado) | 6727247 | 758064 | 104 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | Sem dados | 56 | 10" até 24 m; 6" até 56 m |
| Passo de Clara desativado - cacimba (204) | 6727339 | 758063 | 108 | Sem dados | Sem dados | Não | | SASG | 1,72 | |
| Passo de Clara desativado - cacimba (205) | 6727342 | 758051 | 111 | Sem dados | Sem dados | Não | | SASG | | |
| Comunidade Nossa Senhora Aparecida Pedra Grande (206) | 6728099 | 766218 | 159 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | Sem dados | | |
| 207 | 6729337 | 765731 | 185 | Sem uso | Abandonado | Não | | Sem dados | | |
| Comunidade Passo do | 6729340 | 765628 | 166 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | SAG/SASG | 50 | 10" até 9 m; 6" até 50 m. |

| | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------|-----|------------------------|------------|-----|------------------------------------|-----------|-----|------------------------------|
| Angico (208) II0012 | | | | | | | | | | |
| Passo do Julião | 6734245 | 768892 | 119 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Passo do Julião 2 | 6734234 | 768888 | 118 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Guassupi 2927/GUI1 II009 | 6730540 | 772988 | 184 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação Botucatu - arenito médio. | SAG | 72 | 8" até 8 m; 6 1/2" até 72 m. |
| Colônia Militz Sem acesso (211) | 6727760 | 772020 | | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Cerro do Baltazar (212) | 6728125 | 769642 | 205 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Poço escavado (213) | 672811 | 769634 | 208 | Sem uso | Abandonado | Não | | Sem dados | 28 | |
| Salão do Romeu (214) | 6723602 | 770193 | 214 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | Sem dados | | |
| Casa de Repouso Vital (215) | 6721965 | 772196 | 142 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | Sem dados | | |
| Igrejinha do Divinho - sem acesso (216) | 6718249 | 777388 | | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Inhamandá - Parque Municipal de Eventos (217) | 672014 | 778063 | 171 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG/SASG | | |
| Escola Municipal João Maria Dias de Menezes | 6722170 | 778309 | 176 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | Sem dados | 65 | |
| Xiniquá (301) | 6714546 | 749484 | 177 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| São Lucas (302) | 6706916 | 747928 | | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Poço escavado (303) | 6706896 | 747931 | | Sem dados | Sem dados | | | Sem dados | 5 | |
| Mundo Novo de Baixo (304) 2930/MBU II008 | 6732511 | 778185 | 245 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | Sem descrição. | SAG/SASG | 174 | 10" até 20 m; 6" até 174 m. |

| | | | | | | | | | | |
|---|---------|--------|-----|------------------------|-----------|-----|--|------|-----|---------------------------------------|
| Mundo Novo de Cima (305) - 3912/MDV1 | 6733927 | 779430 | 292 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação Serra geral - rochas intemperizadas e decompostas, basalto, arenito médio, basalto. | SASG | 102 | 10" até 6m; 8" até 8 m; 6" até 102 m. |
| Poço Redondo (306) II003 | 6730525 | 780624 | 224 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação serra geral - argila, arenito médio, basalto. | SASG | 108 | 10" até 18 m; 6" até 107 m. |
| EMEF - Cerro Claro | 6729038 | 776823 | 169 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Não | | SAG | | |
| Cerro Claro II001 | 6726290 | 775447 | 262 | Abastecimento múltiplo | Bombeando | Sim | Formação Botucatu - Solo, basalto, arenito médio. | SAG | 120 | 8" até 18 m; 6" até 120 m; |

APÊNDICE B – BANCO DE DADOS HIDROQUÍMICO PARCIAL

| Código | pH | T °C | CE | Al | As | HCO ₃ ⁻ | Ca | Cl ⁻ | Dureza total | STD | F-1 | Fe | K | Mg | Mn | Na | Sílica | SO ₄ ²⁻ | Alcali-nidade | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Zn |
|--|------|------|-----|-------|----|-------------------------------|------|-----------------|--------------|-------|------|------|-----|------|------|-----|--------|-------------------------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|------|
| SMA-53-RS | 5,07 | 21 | 216 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SPS-86/8 | | | 170 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SPS-86/9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SPS-86/10 | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SPS-86/12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II025 COR-SPS-01 G.259 | 7,3 | | | | | | 50,1 | 9 | 35 | 146,4 | | 0,2 | | 1,7 | 0,1 | | 46,4 | 1,5 | 88 | | | |
| II023 COR-SPS-02 G.261 J-1396 POÇO-Nº-20 | 7,3 | | | 1,9 | | 146 | 42,4 | 6 | 105 | 171 | 0,3 | 0,1 | | 1,7 | 0 | | 37,5 | 0,9 | 120 | | | |
| II018 COR-SPS-03 G.0267 | 7,7 | | | | | | 1 | 10 | 38 | 144,7 | | 0,1 | | 20,9 | 0,05 | | 38,7 | 2,5 | 88 | | | |
| II002 | 6,8 | 18 | 152 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II004 | 7,5 | | 236 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II005 | 7,7 | 21 | 248 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3910/PDD1 II006 | 7,2 | 20 | 204 | | | 129 | 31 | 3 | 102 | 157 | 0,1 | 0,1 | 1,5 | 6 | 0,03 | 9 | | | 106 | | | |
| II007 | 7,4 | 20 | 245 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II010 | 5,2 | 20 | 167 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II011 | 6,2 | 22 | 244 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II014 / PREFEITURA | 5,5 | 19 | 321 | | | 111 | 38,3 | 11 | 102 | 205,1 | 0,3 | 0,2 | 4,5 | | 0,03 | 6 | 16,2 | 2,3 | 91 | | | |
| II015 COR-SPS-07 G.2463 | 6,7 | 19 | 137 | | | 95 | 20 | 3 | 58 | 127 | 0,3 | 0 | 2,5 | 2 | 0,07 | 12 | | | 78 | | | |
| II016 COR-SPS-03-B G.2991 | | | | 0,009 | 0 | | 24,2 | 9,4 | 65 | 296 | 0,47 | 0,07 | 2,3 | 1,1 | 0 | 9,3 | | 4,8 | | 0,3 | | 0,18 |
| II017 COR-SPS-03-A G.0850 | 7,3 | | 193 | | | 103 | 26 | 2,2 | 70 | 121 | 1,2 | | | 1,2 | | | | | 84 | 0,27 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|----|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|-----|------|------|-----|-------|
| II019 COR-SPS-05 G.1940 | 6,4 | 16 | 285 | | | 164,7 | 38,9 | 3 | 107 | 163,9 | 0 | 0,07 | 3,3 | 2,2 | 0,07 | 9 | 26 | 0,3 | 135 | | | |
| II020 | 6,1 | 20 | 224 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II022 COR-SPS-02-A G.0782 | 7,3 | 19 | 204 | 0,1 | | 113,4 | 40,1 | 13 | 103 | 165,6 | 0,3 | 0,1 | | 0,6 | 0,03 | | 32,4 | 6,5 | 93 | 0,77 | | |
| II024 COR-SPS-04 G.0618 | 7,5 | 17 | 241 | 0,027 | | 132 | 35 | 3,1 | 98 | 156 | 1 | | 2,5 | 2,6 | | 9,8 | | ND | 108 | 0,3 | | 0,145 |
| COR-SPS-02-B G.3443 ART-5608876 | 7,4 | | 255 | 0,067 | | 144 | 42 | 1,42 | 115 | 153 | 1 | | | 2,5 | | 7,2 | | | 118 | 2,48 | | 0,01 |
| JC639-MUSEU MUNICIPAL | 5,84 | | 40,1 | 0 | 0 | 5,72 | 2,58 | | | | | 0 | 3,53 | 1,16 | 0,013 | 1,14 | | | 4,62 | | | 0,01 |
| 3911/MUN2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2929/LCV2 | 8 | | 216 | | | 140 | 35 | 1 | 104 | | 0,2 | 0 | 2,6 | 4 | 0,03 | 8 | | | 115 | | | |
| COR-SPS-09 G.3631 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COR-SPS-08 G.3627 | 8,1 | | 171 | 0,054 | | 112 | 25 | | 78 | 146 | 0,2 | | 1,8 | 3,7 | | 8 | | | 92 | | | 0,122 |
| 7056/SPS1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COR SPS 02 - NG 0261 | 7,5 | | | 1,5 | | 146,4 | 36,8 | 2,3 | | | | 2,2 | | 0,5 | 0 | 11,4 | 29 | 2,5 | | | | |
| COR SPS 06 - NG 1978 | 7 | 22 | 82,4 | | | 57 | 15 | 1,19 | 37 | 102 | 0,2 | | 2,3 | | | 6,8 | | | 47 | 0,73 | | |
| 1046 PAN - 1A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Passo da Taquara (201) | 6,78 | | 55,1 | | | | | | | 39 | | | | | | | | | | | | |
| Passo de Clara ativo (202) | 8,44 | | 280 | | 0,0621 | | | | < | 198 | | 0,05 | | | 0 | | | | | | 3,4 | |
| II013 | 6,9 | 17 | 421 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Passo de Clara desativado - cacimba (204) | 6,37 | | 145,4 | | 0 | | | | 22,5 | 103 | | < | | | 0,023 | | | | | | 4,1 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|----|-------|--|---|-----|----|---|------|------|--|---|-----|--|--------|---|--|----|--|-----|
| Comunidade Nossa Senhora Aparecida Pedra Grande (206) | 7,98 | | 208 | | | | | | 52,5 | 147 | | 0 | | | 0,001 | | | | | 3,8 |
| 207 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comunidade Passo do Angico (208) II0012 | 6,19 | 18 | 93,8 | | | | | | < | 65,5 | | < | | | 0,0025 | | | | | 3,2 |
| Passo do Julião | 8,35 | | 255 | | | | | | | 181 | | | | | | | | | | |
| Passo do Julião 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guassupi 2927/GUI1 II009 | 7,15 | 18 | 211 | | 0 | 113 | 23 | 4 | 37,5 | 150 | | < | 1,2 | | 0,0015 | 9 | | 93 | | 6,8 |
| Colonia Militz Sem acesso (211) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cerro do Baltazar (212) | 5,73 | | 37,4 | | 0 | | | | < | 26,6 | | < | | | 0,0035 | | | | | 0 |
| Poço escavado (213) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salão do Romeu (214) | 5,71 | | 123,2 | | | | | | | 87,3 | | | | | | | | | | |
| Casa de Repouso Vital (215) | 7,77 | | 205 | | | | | | | 146 | | | | | | | | | | |
| Igrejinha do Divinho - sem acesso (216) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inhamandá - Parque Municipal de Eventos (217) | 6,47 | | 125,8 | | | | | | | 89,4 | | | | | | | | | | |
| Escola Municipal João Maria | 6,71 | | 48,5 | | | | | | | 34,4 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|--|---|-----|----|---|------|-----|-----|---|---|-------|-------|----|-----|-----|--|---|-----|
| Dias de Menezes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Xiniquá (301) | 5,89 | | 51,3 | | | | | < | 36,4 | | < | | | 0,023 | | | | | | < | |
| São Lucas (302) | 8,04 | | 257 | | 0 | | | < | 182 | | < | | | 0,065 | | | | | | | 1,6 |
| Poço escavado (303) | 5,38 | | 310 | | | | | | 220 | | | | | | | | | | | | |
| Mundo Novo de Baixo (304) 2930/MBU II008 | 7,64 | 18,5 | 376 | | | 161 | 36 | 3 | 133 | 266 | 0,3 | 0 | 2 | 0,03 | 16 | | 2,6 | 132 | | | |
| Mundo Novo de Cima (305) - 3912/MDV1 | 7,92 | | 331 | | | 163 | 28 | 1 | 115 | 235 | | < | 2 | 9 | 0,001 | 15 | | 134 | | | 5,8 |
| Poço Redondo (306) II003 | 7,39 | 20 | 318 | | | | | | 125 | 225 | | < | | | 0,001 | | | | | | 4,4 |
| EMEF - Cerro Claro | 7,86 | | 233 | | | | | | | 165 | | | | | | | | | | | |
| Cerro Claro II001 | 7,48 | 19 | 186,4 | | 0 | | | | 30 | 132 | | < | | | 0,001 | | | | | | 4,4 |

ANEXOS

ANEXO A – OFÍCIO Nº 001/2020



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA SAÚDE
4.ª CRS - SANTA MARIA

Ofício nº 001/2020

Santa Maria, 09 de janeiro de 2020

Da: Vigilância Ambiental em Saúde da 4ª CRS

À: Prefeita de São Pedro do Sul, Sra. Ziania Bolzan

Assunto: Água do Poço Passo de Clara imprópria para consumo humano

Prezada Sra. Prefeita,

O Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) tem como função assegurar que a água distribuída à população atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, e avaliar o risco representado pela água consumida, desencadeando, de acordo com suas atribuições, medidas preventivas e/ou corretivas para que se mantenham e/ou recuperem as condições de qualidade da água, impedindo a disseminação de doenças de veiculação hídrica.

Chegou ao conhecimento desta 4ª Coordenadoria Regional de Saúde (CRS), laudo do poço Passo de Clara, com teor de Arsênio total 0,026 mg/L As. De acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, o Valor Máximo Permitido (VMP) de arsênio em água para consumo humano é de 0,01 mg/L As, ou seja, tal manancial apresenta teor de Arsênio maior que o dobro do VMP estabelecido pela legislação.

O Arsênio destaca-se por apresentar evidências suficientes de carcinogenicidade para humanos via ingestão, Grupo 1 da classificação da IARC (International Agency for Research on Cancer). Entre os principais efeitos à saúde, observados em estudos de toxicidade, estão pigmentação da pele e queratose, câncer de pele, pulmão e bexiga e problemas cardiovasculares (IARC, 2012).

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO DO POÇO PASSO DE CLARA 02



Relatório de Ensaio

LAPAM – FG 204 rev 05

Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2294/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM**
Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 Bloco V-Sala 208 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS
Contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM - contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-
Número da amostra: 2294/21 Amostra: ÁGUA BRUTA; ÁGUA SUPERFICIAL Orçamento nº: 1078/21
Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.
Identificação da amostra: SPS 1 - Santa Clara - Poço Tubular - análises já indicaram presença de Arsênio
Responsável pela coleta: William Luan Deconto Data / hora da coleta: 10/12/2021 00:00
Data / hora do recebimento: 10/12/2021 17:09 Temperatura de recebimento da amostra: 6,00 °C
Período de execução dos ensaios: 10/12/21 a 14/12/21
Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

| Ensaio | Unidade | Resultado | LQ | Metodologia utilizada |
|----------------------------|---------|-----------|--------|-----------------------------------|
| Arsênio total ¹ | mg As/L | 0,0621 | 0,0052 | SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 081] |

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, LQ: limite quantificação,
A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.
LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.
SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.
O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.
¹ Ensaio(s) acreditado(s) pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440.
Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 15 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: A13FA0A9A3BC093AE5FDA990BCF41A19



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 15/12/2021 08:54:55

Informações do signatário:

EDINEIA TOMAZI STROEHER:01910061069 <ETOMAZI@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB v3 (ICP-Brasil), válido de 31/05/2019 14:00:00 a 31/05/2022 14:00:00

ANEXO C – RELATÓRIO DE ENSAIO DO POÇO PASSO DE CLARA - CACIMBA
(204)



Relatório de Ensaio
LAPAM – FG 204 rev 05
Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2295/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 Bloco V-Sala 206 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM - contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br

Número da amostra: 2295/21

Amostra: ÁGUA BRUTA; ÁGUA SUPERFICIAL

Orçamento nº: 1078/21

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.

Identificação da amostra: SPS 2 - Santa Clara - Poço Cacimba - para checar ocorrência

Responsável pela coleta: William Luan Deconto

Data / hora da coleta: 10/12/2021 00:00

Data / hora do recebimento: 10/12/2021 17:09

Temperatura de recebimento da amostra: 8,00 °C

Período de execução dos ensaios: 10/12/21 a 14/12/21

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

| Ensaio | Unidade | Resultado | L.Q | Metodologia utilizada |
|----------------------------|---------|-----------|--------|------------------------------------|
| Arsênio total ¹ | mg As/L | < L.Q. | 0,0052 | SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE. 061] |

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <-6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

¹ Ensaio(s) acreditado(s) pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440.

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 15 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 550C62A57336DF1A88E54ED214AAE0D0



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 15/12/2021 08:55:42

Informações do signatário:

EDINEIA TOMAZI STROEHER:01910061069 <ETOMAZI@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB v3 (ICP-Brasil), válido de 31/05/2019 14:00:00 a 31/05/2022 14:00:00

ANEXO D – RELATÓRIO DE ENSAIO DO POÇO SÃO LUCAS (302)



Relatório de Ensaio

LAPAM – FG 204 rev 05

Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2296/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 Bloco V-Sala 206 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM - contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Número da amostra: 2296/21 Amostra: ÁGUA BRUTA; ÁGUA SUPERFICIAL Orçamento nº: 1078/21

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.

Identificação da amostra: SPS 4 - São Lucas - Poço Pequeno Diâmetro - para checar ocorrência

Responsável pela coleta: William Luan Deconto Data / hora da coleta: 10/12/2021 00:00

Data / hora do recebimento: 10/12/2021 17:09 Temperatura de recebimento da amostra: 6,00 °C

Período de execução dos ensaios: 10/12/21 a 14/12/21

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

| Ensaio | Unidade | Resultado | L.Q. | Metodologia utilizada |
|----------------------------|---------|-----------|--------|-----------------------------------|
| Ársênio total ¹ | mg As/L | < L.Q. | 0,0052 | SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061] |

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a.: não aplicável, L.Q.: limite quantificação,

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <-6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

¹ Ensaio(s) acreditado(s) pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cogre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440.

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensalada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 15 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: EF397052A7212654FA0136E312068750



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 15/12/2021 08:56:09

Informações do signatário:

EDINEIA TOMAZI STROEHER:01910061069 <ETOMAZI@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB v3 (ICP-Brasil), válido de 31/05/2019 14:00:00 a 31/05/2022 14:00:00

ANEXO E – RELATÓRIO DE ENSAIO DO POÇO CERRO DO BALTAZAR (212)



Relatório de Ensaio LAPAM – FG 204 rev 05 Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2297/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM**
Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 Bloco V-Sala 206 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS
Contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM - contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-
Número da amostra: 2297/21 Amostra: ÁGUA BRUTA; ÁGUA SUPERFICIAL Orçamento nº: 1078/21
Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.
Identificação da amostra: SPS 7 - Cerro do Baltazar - para checar ocorrência
Responsável pela coleta: William Luan Deconto Data / hora da coleta: 10/12/2021 00:00
Data / hora do recebimento: 10/12/2021 17:09 Temperatura de recebimento da amostra: 6,00 °C
Período de execução dos ensaios: 10/12/21 a 14/12/21
Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

| Ensaio | Unidade | Resultado | L.Q | Metodologia utilizada |
|----------------------------|---------|-----------|--------|-----------------------------------|
| Arsênio total ¹ | mg As/L | < L.Q. | 0,0052 | SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061] |

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,
A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW +0°C e -6°C.
LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.
SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23rd Edition.
O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.
¹ Ensaio(s) acreditado(s) pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440.

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 15 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 5985E6D4408687D1B407798EE2328428



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 15/12/2021 08:56:47

Informações do signatário:

EDINEIA TOMAZI STROEHER: 01910061069 <ETOMAZI@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB v3 (ICP-Brasil), válido de 31/05/2019 14:00:00 a 31/05/2022 14:00:00

ANEXO F – RELATÓRIO DE ENSAIO DO POÇO GUASSUPI | 2927/GUI1 II009



Relatório de Ensaio

LAPAM – FG 204 rev 05

Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2298/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM**
Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 Bloco V-Sala 206 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS
Contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM - -contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-
Número da amostra: 2298/21 Amostra: ÁGUA BRUTA; ÁGUA SUPERFICIAL Orçamento nº: 1078/21
Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.
Identificação da amostra: SPS 8 - Guassupi - para checkar ocorrência
Responsável pela coleta: William Luan Deconto Data / hora da coleta: 10/12/2021 00:00
Data / hora do recebimento: 10/12/2021 17:09 Temperatura de recebimento da amostra: 6,00 °C
Período de execução dos ensaios: 10/12/21 a 14/12/21
Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

| Ensaio | Unidade | Resultado | LQ | Metodologia utilizada |
|----------------|---------|-----------|--------|-----------------------------------|
| Arsênio total* | mg As/L | < L.Q. | 0,0052 | SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061] |

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,
A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW >0°C e <=6°C.
LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.
SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.
O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.
* Ensaio(s) acreditado(s) pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440.
Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 15 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 771BC043F8B980BA740833AFEC64A497



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 15/12/2021 08:57:17

Informações do signatário:

EDINEIA TOMAZI STROEHER:01910061069 <ETOMAZI@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB v3 (ICP-Brasil), válido de 31/05/2019 14:00:00 a 31/05/2022 14:00:00

ANEXO G – RELATÓRIO DE ENSAIO DO POÇO CERRO CLARO | II001



Relatório de Ensaio

LAPAM – FG 204 rev 05

Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 2299/21

Cliente: **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM**

Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 Bloco V-Sala 206 - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Solicitante: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - ISAM - contato: Taison Anderson Bortolini-tabortol@ucs.br-

Número da amostra: 2299/21

Amostra: ÁGUA BRUTA; ÁGUA SUPERFICIAL

Orçamento nº: 1078/21

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.

Identificação da amostra: SPS 11 - Cerro Claro - para checar ocorrência

Responsável pela coleta: William Luan Deconto

Data / hora da coleta: 10/12/2021 00:00

Data / hora do recebimento: 10/12/2021 17:09

Temperatura de recebimento da amostra: 6,00 °C

Período de execução dos ensaios: 10/12/21 a 14/12/21

Condições ambientais de execução dos ensaios: 23°C ± 5°C

| Ensaio | Unidade | Resultado | L.Q | Metodologia utilizada |
|----------------|---------|-----------|--------|-----------------------------------|
| Arsênio total* | mg As/L | < L.Q. | 0,0052 | SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061] |

OBSERVAÇÕES e LEGENDAS: n.a: não aplicável, L.Q: limite quantificação,

A temperatura de acondicionamento da amostra para ensaios físicos-químicos atende a recomendação do SMWW +0°C e -6°C.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23ND Edition.

O(s) ensaio(s) foi(foram) realizado(s) nas instalações permanentes do Laboratório.

* Ensaio(s) acreditado(s) pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cogre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440.

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita e se aplicam somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

O Relatório de Ensaio não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto se for reproduzido na íntegra.

Caxias do Sul, 15 de dezembro de 2021.

Edinéia Tomazi Stroehrer
Engenheira Química - CRQ-V 05303789
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: C22AACBB478A1662DE932A6C73B9F05D



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 15/12/2021 08:57:46

Informações do signatário:

EDINEIA TOMAZI STROEHER:01910061069 <ETOMAZI@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB v3 (ICP-Brasil), válido de 31/05/2019 14:00:00 a 31/05/2022 14:00:00

UCS Serviços Tecnológicos- Universidade de Caxias do Sul- Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 -CEP: 95070-560 -Caxias do Sul/RS

Telefone: (54) 3218.2748 ou (54) 3218.2166 |

email: lapam@ucs.br - http://www.ucs.br/site/servicos-tecnologicos/lapam

Página: 01 de 01