



**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E
HIDROQUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE
ESTRELA/RS**

JOANA GREGORY PALM

Porto Alegre, 2018

JOANA GREGORY PALM

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E
HIDROQUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE
ESTRELA/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. Antonio Pedro Viero

Supervisor: Pablo Souto Palma

Porto Alegre, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Palm, Joana Gregory
Avaliação das características hidrogeológicas e hidroquímicas das águas subterrâneas do município de Estrela, RS / Joana Gregory Palm. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.
[182 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientadores: Antonio Pedro Viero
Pablo Souto Palma

1. Aquífero Botucatu. 2. Sistema Aquífero Serra Geral. 3. Variação Temporal, 4. Variação Espacial. 5. Vulnerabilidade. I. Título.

CDU 556.3

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS E HIDROQUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE ESTRELA/RS”, elaborado por JOANA GREGORY PALM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Nelson Amoretti Lisboa

Dr. Ricardo Baitelli

Dr. José Luiz Flores Machado

RESUMO

O presente trabalho caracteriza hidrogeológica e hidroquimicamente as águas subterrâneas do município de Estrela/RS, investigando a hipótese de que existe variação espacial e temporal de suas características e influência do Rio Taquari nas mesmas. O estudo foi desenvolvido com informações obtidas na plataforma SIAGAS/CPRM, junto à CORSAN/ SURHI e DRH/SEMA e com dados primários de campo, baseados em: (i) levantamento de coordenadas X,Y e Z de poços com GNSS; (ii) medição de níveis estáticos; e (iii) coletas de solo para análises granulométricas e de DRX. Quatro fontes de captação foram identificadas: (i) Sistema Aquífero Captado não Informado (SACNI), (ii) Mistura de Aquíferos (MA), (iii) Aquífero Botucatu (AB) e (iv) Sistema Aquífero Serra Geral II (SASGII). De forma simplificada, dentre os quatro grupos de captação observados, as melhores vazões médias são obtidas no AB. A hipótese da influência do Rio Taquari nas águas de subsuperfície é pouco provável por este ser interpretado como rio efluente na análise dos mapas potenciométricos. Também é possível destacar a existência de variação espacial, possivelmente refletindo a influência de diferentes famílias observadas, com oscilações temporais pouco significativas e interpretadas como naturais. Em geral, as águas são de boa qualidade e o mapa de vulnerabilidade varia de insignificante a baixa, refletindo características dos solos locais.

Palavras-Chave: Aquífero Botucatu; Sistema Aquífero Serra Geral II; Variação Temporal; Variação Espacial; Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The work presents the hydrogeological and hydrochemical characterization of groundwater from Estrela/RS, evaluating the hypothesis of temporal and space variation of the consumed water and the influence of Taquari River into the aquifers. The research was based on secondary data obtained from SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI and DRH/SEMA, and on primary data collected during the field activity: (i) GNSS collection of X, Y and Z coordinates of water well ; (ii) measurement of static level of water well; and (iii) soil sampling for granulometric and X Ray Diffraction analysis. The results suggest four groups of water catchment: (i) unidentified catchment aquifer (SACNI); (ii) aquifer mixture (MA); (iii) Botucatu Aquifer (AB); and (iv) Serra Geral II Aquifer System (SASGII). The most important mean flow rate was calculated for AB. The potentiometric maps classify the Taquari River as effluent, denying the hypothesis of its influence in groundwater. In addition, it is interpreted that the space variation may reflect the different water families identified. The hydrochemical time variation is not significant and can be explained by natural fluctuations. By and large, the quality of the consumed water is good and the vulnerability calculated by GODS methodology varies from insignificant to low, reflecting the residual basalt soils.

Keywords: Botucatu Aquifer; Serra Geral II Aquifer System; Temporal Variation; Space Variation; Vulnerability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo (em amarelo), destacando os limites da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas (vermelho), e o seu posicionamento no Rio Grande do Sul (bege) e Brasil (azul).	16
Figura 2. Localização do município em relação ao Brasil e ao estado do Rio Grande do Sul.	21
Figura 3. Localização do município de Estrela em relação a Porto Alegre.....	21
Figura 4. Contexto geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari e Antas, destacando o domínio da fácies Gramado e Formação Botucatu para o município de estudo.	22
Figura 5. Bacia do Paraná e sua distribuição de acordo com suas supersequências e idades correlacionadas.	23
Figura 6. Contexto hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, com destaque para a localização do município de Estrela no contexto do Sistema Aquífero Serra Geral II.....	27
Figura 7. Obtenção das coordenadas X,Y e Z com GNSS de precisão.....	34
Figura 8. Ilustração de como funciona a interpolação pelo método IDW.	38
Figura 9. Ilustração esquemática do funcionamento da metodologia DRX, com emissão e captação de RX sob diferentes ângulos (esquerda) gerando como produto o difratograma que permite a identificação da fase mineral (direita).	42
Figura 10. Fluxograma para aplicação do método G.O.D., discriminando as três classes de classificação utilizadas pelo método.....	47
Figura 11. Classificação da qualidade de águas de acordo com o IQA para os oito pontos analisados pela FEPAM, destacando sua variação temporal de qualidade.	49
Figura 12. Contexto geológico para o município de Estrela, evidenciando domínio da Fácies Gramado.	52
Figura 13. Contexto geomorfológico para o município de Estrela, evidenciando domínio de colinas dissecadas e morros baixos.	52
Figura 14. Contexto pedológico para o município de Estrela, evidenciando domínio de nitossolos e planossolos.....	52
Figura 15. Contexto hidrogeológico para o município de Estrela, evidenciando domínio do Sistema Aquífero Serra Geral II.	52
Figura 16. Interface entre derrames basálticos junto à coordenada SIRGAS2000 408897mE/6734490mN.	56

Figura 17. Detalhe para a presença de lente de arenito na superfície irregular entre derrames no afloramento da Figura 16.....	57
Figura 18. Afloramento de arenito Botucatu com estratificação cruzada em corte artificial orientado W-E junto à coordenada SIRGAS2000 406904mE/6725094mN	58
Figura 19. Detalhe para estratificação e oxidação diferencial do afloramento da Figura 18. ..	58
Figura 20. Arenito com estratificação de grande porte sobreposto a basalto vesículo-amigdalares, junto à coordenada UTM SIRGAS2000 409594mE/6733673mN.....	59
Figura 21. Detalhe para <i>intertrap</i> , junto à coordenada UTM SIRGAS2000 409594mE/6733673mN.	59
Figura 22. Característica de relevo plano em local de domínio de sedimentos quaternários...60	60
Figura 23. Sedimento quaternário, junto à coordenada UTM SIRGAS2000 407380mE/6724599mN.	60
Figura 24. Traçado de lineamentos sobre imagens de relevo sombreado, com diagrama de roseta indicando direção predominante e média (vetor rosa avermelhado).	62
Figura 25. Perfis construtivos e geológicos de poços captando no Aquífero Botucatu (A), Sistema Aquífero Serra Geral II (B) e Misto (C).	63
Figura 26. Superfície topográfica para o município de Estrela, com curvas de nível espaçadas em 50 metros.	66
Figura 27. Mapa potenciométrico para Aquífero Botucatu, considerando níveis estáticos dos poços sinalizados.	67
Figura 28. Mapa potenciométrico virtual para Sistema Aquífero Serra Geral II, salientando poços cujos níveis estáticos foram utilizados.	68
Figura 29. Mapa potenciométrico para Aquífero Botucatu, considerando níveis dinâmicos dos poços sinalizados.	70
Figura 30. Mapa potenciométrico virtual para Sistema Aquífero Serra Geral II, salientando poços cujos níveis dinâmicos foram utilizados.	71
Figura 31. Frequência de distribuição de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	76
Figura 32. Frequência de distribuição de temperatura $^{\circ}\text{C}$	76
Figura 33. Frequência de distribuição de pH.....	76
Figura 34. Frequência de distribuição de bicarbonato (mg/L).	76
Figura 35. Frequência de distribuição de cálcio (mg/L).....	77
Figura 36. Frequência de distribuição de cloreto (mg/L).	77
Figura 37. Frequência de distribuição de magnésio (mg/L).....	77
Figura 38. Frequência de distribuição de sódio (mg/L).....	77

Figura 39. Frequência de distribuição de sulfato (mg/L).	78
Figura 40. Frequência de distribuição de carbonato (mg/L), sendo o máximo 85,11 mg/L no Aquífero Botucatu.	78
Figura 41. Frequência de distribuição de ferro total (mg/L), sendo o máximo 5,60 mg/L no Aquífero Botucatu.	78
Figura 42. Frequência de distribuição de fluoreto (mg/L).....	78
Figura 43. Frequência de distribuição de nitrato (mg/L).....	79
Figura 44. Frequência de distribuição de potássio (mg/L).	79
Figura 45. Frequência de distribuição de manganês (mg/L), sendo o máximo 6,254 mg/L no Sistema Aquífero Serra Geral II.	79
Figura 46. Plotagem dos dados químicos no diagrama de Piper, com dados do AB em lilás, SASGII em verde, MA em azul e SACNI em vermelho.....	83
Figura 47. Distribuição espacial de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	85
Figura 48. Distribuição espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).....	85
Figura 49. Distribuição espacial de pH.	86
Figura 50. Distribuição espacial do bicarbonato (mg/L).....	86
Figura 51. Distribuição espacial de cálcio (mg/L).	87
Figura 52. Distribuição espacial de cloreto (mg/L).....	87
Figura 53. Distribuição espacial de magnésio (mg/L).....	88
Figura 54. Distribuição espacial de sódio (mg/L).	88
Figura 55. Distribuição espacial de sulfato (mg/L).	89
Figura 56. Distribuição espacial de carbonato (mg/L).	89
Figura 57. Distribuição espacial de fluoreto (mg/L).	90
Figura 58. Distribuição espacial de potássio (mg/L).....	90
Figura 59. Distribuição espacial de manganês (mg/L).....	91
Figura 60. Distribuição espacial de poços com dados históricos utilizados para análise de variação temporal.	92
Figura 61. Variação temporal de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	93
Figura 62. Variação temporal de pH.	94
Figura 63. Variação temporal de sólidos totais dissolvidos (mg/L).....	95
Figura 64. Variação temporal de bicarbonato (mg/L).	96
Figura 65. Variação temporal de cálcio (mg/L).	97
Figura 66. Variação temporal de cloreto (mg/L).....	98
Figura 67. Variação temporal de magnésio (mg/L).....	99

Figura 68. Variação temporal de sódio (mg/L).	100
Figura 69. Variação temporal de sulfato (mg/L).	101
Figura 70. Variação temporal de carbonato (mg/L).	102
Figura 71. Variação temporal de fluoreto (mg/L).	103
Figura 72. Variação temporal de potássio (mg/L).	103
Figura 73. Variação temporal de (mg/L).	104
Figura 74. Variação temporal de manganês (mg/L).	105
Figura 75. Comparação de concentrações de alumínio (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	106
Figura 76. Comparação de concentrações de cloreto (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	107
Figura 77. Comparação de concentrações de cromo (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	107
Figura 78. Comparação de concentrações de ferro total (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	108
Figura 79. Comparação de concentrações de fluoreto (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	109
Figura 80. Comparação de concentrações de mangânes (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011. O ponto máxmo foi removido para melhorar a resolução do gráfico (poço 7B com concentração 6,25 mg/L)	110
Figura 81. Comparação de concentrações de sulfato (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	110
Figura 82. Comparação de concentrações de sódio (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	111

Figura 83. Comparação de concentrações de vanádio (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	112
Figura 84. Comparação de concentrações de zinco (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.	112
Figura 85. Comparação de concentrações de sólidos totais dissolvidos (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.....	113
Figura 86. Comparação de turbidez (NTU) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.....	114
Figura 87. Disposição georreferenciadas dos locais de coleta de solo.....	115
Figura 88. Frequência simples para as amostras A, B, C e D, distribuídas em classes granulométricas.	119
Figura 89. Mapa para parâmetro G para Sistema Aquífero Serra Geral II.....	121
Figura 90. Mapa para parâmetro O para Sistema Aquífero Serra Geral II.....	121
Figura 91. Mapa para parâmetro D para Sistema Aquífero Serra Geral II.....	122
Figura 92. Mapa para parâmetro S para Sistema Aquífero Serra Geral II.	122
Figura 93. Mapa para parâmetro G para Aquífero Botucatu.	124
Figura 94. Mapa para parâmetro O para Aquífero Botucatu.	124
Figura 95. Mapa para parâmetro D para Aquífero Botucatu.	125
Figura 96. Mapa para parâmetro S para Aquífero Botucatu.....	125
Figura 97. Mapa de Vulnerabilidade GODS para Sistema Aquífero Serra Geral II.	126
Figura 98. Mapa de Vulnerabilidade GODS para Aquífero Botucatu.	127
Figura 99. Percentagem de captação de poços em aquíferos no município de Estrela.	128
Figura 100. Resumo das estatísticas de vazão para AB, SASGII, MA e SACNI.	129
Figura 101. Resumo das estatísticas de capacidade específica para AB, SASGII, MA e SACNI.	129
Figura 102. Resumo das estatísticas de transmissividade para AB, SASGII, MA e SACNI.	129
Figura 103. Sólidos totais dissolvidos em comparação com condutividade elétrica.....	133
Figura 104. Correlação entre cálcio e alcalinidade total.	133
Figura 105. Correlação entre sódio e alcalinidade total.	134
Figura 106. Correlação entre cálcio e bicarbonato.	134

Figura 107 Correlação entre cálcio+sódio e bicarbonato.	134
Figura 108. Correlação entre sódio e bicarbonato.	134
Figura 109. Correlação entre cálcio+sódio e alcalinidade+sulfato.	134
Figura 110. Correlação entre sulfato e ferro total.	134

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Materiais utilizados (A), realização e medição da sondagem a trado (B) com coleta de amostra com trado helicoidal (C).....	41
Quadro 2: Passos de preparação de amostras para análise de DRX pelo método do pó, mostrando: amostras coletadas (A), dispostas em vidros de relógio (B) e colocadas em estufa (C, D), moídas com pistilo e graal de ágata (E, F), peneiradas em malhas 200 mesh (G) e armazenadas em potes devidamente identificados (H).....	43
Quadro 3: Passos realizados para a análise granulométrica: desagregação em graal de porcelana (A), quarteamento (B), pesagem de amostra em balança de precisão com auxílio de copo de equilíbrio (C), penereamento para separação das frações grossas e finas (D), pipetagem com auxílio do técnico do laboratório (E), amostras pipetadas na estufa para secagem (F), peneiramento da fração grossa (G) para separação nos diferentes tamanhos granulométricos (H).....	45
Quadro 4. Coordenadas dos grupos criados para poços com análises de diferentes datas.....	92
Quadro 5. Coordenadas dos locais de coleta de solo.....	115
Quadro 6. Compilação dos resultados obtidos com a análise de DRX.	116
Quadro 7. Compilação dos resultados das análises granulométricas, com escala da peneira, tamanho de grão retido, frequência simples e acumulada (%).	117
Quadro 8. Pesos aplicados para o parâmetro D na análise de vulnerabilidade do SASGII. ..	120
Quadro 9. Pesos aplicados para o parâmetro D na análise de vulnerabilidade do AB.....	123
Tabela 1. Estatísticas de dados de bombeamento.....	64
Tabela 2. Estatística para parâmetros físico-químicos de acordo com aquífero captado.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB: Aquífero Botucatu

BHRTA: Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas

CORSAN: Companhia Riograndense de Saneamento

DRH: Departamento de Recursos Hídricos

DRX: Difração de raios X

GNSS: *Global Navigation Satellite System*

GODS: Acrônimo para grau de confinamento (G), ocorrência de estratos de cobertura (O), distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (D) e suscetibilidade de lixiviação (S), conforme Foster et al. (2006).

MA: Mistura de Aquíferos

N.D.: Nível Dinâmico

N.E.: Nível Estático

RHG: Região Hidrográfica do Guaíba

SABP: Sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia

SACNI: Sistema Aquífero Captado não Informado

SASGII: Sistema Aquífero Serra Geral II

SEMA: Secretaria de Meio Ambiente

SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da CPRM

SURHI: Superintendência de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.3	PREMISSAS.....	18
1.4	HIPÓTESES	19
1.5	OBJETIVOS E METAS	19
2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
3	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	22
4	CONTEXTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO REGIONAL	26
5	METODOLOGIA	30
5.1	Caracterização do Comportamento Hidrogeológico.....	30
5.1.1	Caracterização Geológica.....	30
5.1.2	Características Construtivas, Hidrogeológicas e de Bombeamento	32
5.1.3	Discussão de Fluxo Subterrâneo	33
5.1.4	Avaliação de Influência Rio-Aquífero	35
5.2	Caracterização Hidroquímica.....	35
5.2.1	Banco de Dados	35
5.2.2	Processamento de Dados	36
5.3	Investigação de Qualidade da Água.....	39
5.3.1	Legislação Vigente	39
5.3.2	Vulnerabilidade de Aquíferos.....	39
6	ESTADO DA ARTE.....	49
6.1	Contextualização Regional: Hidrologia do Rio Taquari-Antas	49
6.2	Contextualização Regional: Hidrogeoquímica de Municípios Vizinhos.....	50

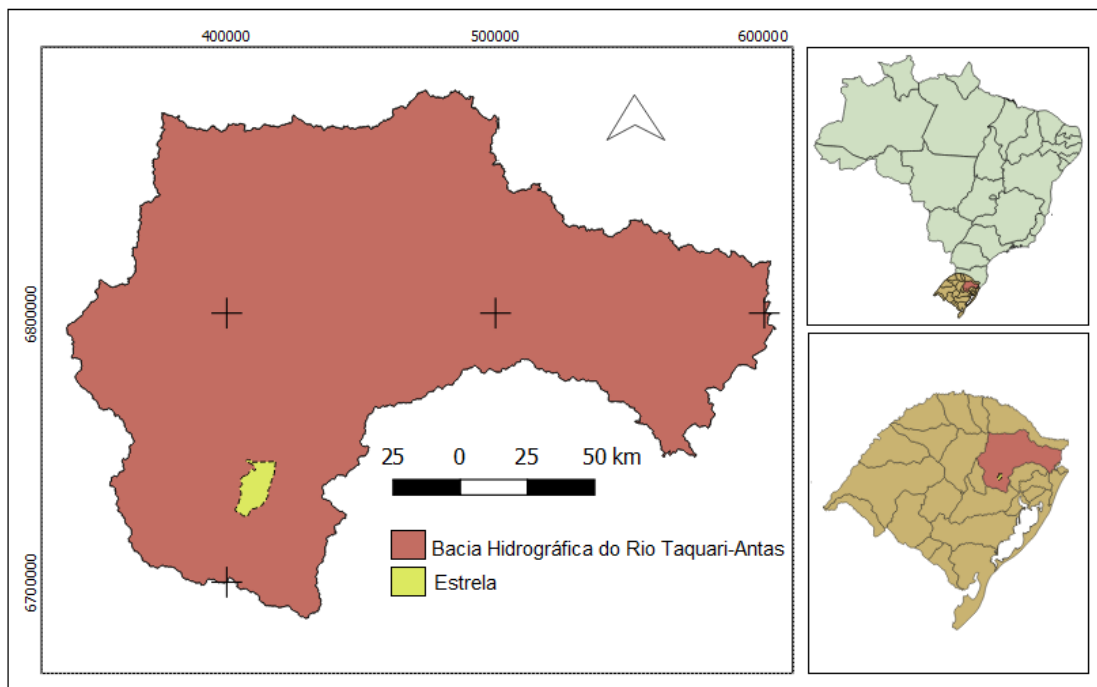
6.3	Contextualização Local: Município de Estrela.....	51
7	RESULTADOS.....	55
7.1	Caracterização do Comportamento Hidrogeológico.....	55
7.1.1	Caracterização Geológica.....	55
7.1.2	Perfis Construtivos, Geológicos e Ensaios de Bombeamento dos Poços.....	63
7.1.3	Discussão de Fluxo Subterrâneo.....	65
7.1.4	Avaliação de Influência Rio-Aquífero.....	68
7.2	Caracterização Hidroquímica.....	71
7.2.1	Parâmetros Físico-Químicos Característicos.....	72
7.2.2	Diagrama de Piper.....	82
7.2.3	Avaliação de Variabilidade Espacial.....	83
7.2.4	Avaliação de Variabilidade Temporal.....	91
7.3	Investigação de Qualidade da Água.....	105
7.3.1	Legislação Vigente.....	105
7.3.2	Vulnerabilidade de Aquíferos.....	114
8	DISCUSSÕES.....	128
8.1	Caracterização do Comportamento Hidrogeológico.....	128
8.2	Caracterização Hidrogeoquímica.....	131
8.3	Investigação de Qualidade da Água.....	136
8.4	Comparação de Resultados com Estado da Arte.....	136
9	CONCLUSÃO.....	138
	REFERÊNCIAS.....	141
	APÊNDICES.....	147

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, existe o contínuo aumento na demanda de água necessária para o abastecimento humano. Neste contexto, entender a respeito das características das águas consumidas se revela fundamental. O presente estudo visa ampliar o conhecimento a respeito das águas subterrâneas bombeadas e utilizadas para abastecimento da população de Estrela, município este localizado na porção nordeste do estado gaúcho.

O município objeto de estudo encontra-se no contexto hidrológico da Região Hidrográfica do Guaíba (RHG), mais especificamente na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas (BHRTA) (IBGE, 2014; SEMA, 2018) e no contexto hidrogeológico do Sistema Aquífero Serra Geral II (CPRM, 2005). A localização da área no contexto da BHRTA é apresentada na Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo (em amarelo), destacando os limites da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas (vermelho), e o seu posicionamento no Rio Grande do Sul (bege) e Brasil (azul).



Fonte. Elaborado pela autora a partir dos dados de SEMA (2018) e IBGE (2014).

A RHG engloba a porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, ocupando cerca de 30% da área do estado, situando-se entre os meridianos 50°W-54°W e paralelos 28°S-31°S (FEPAM, s.d. a). A BHRTA encontra-se entre as latitudes 28°10'S - 29°57'S e as longitudes 49°56'W – 52°38'W, com uma área de 26.491,80 km² e população estimada de 1.207.640 habitantes (SEMA, s.d.). Além do Rio das Antas-Taquari, cuja nascente está localizada em São José dos Ausentes e a foz no Rio Jacuí, os demais cursos de água importantes para a bacia são: Rio Tainhas, Rio Lageado Grande, Rio Forquetinha, Rio Carreiro, Rio Forqueta, Rio Guaporé e Rio Humatã (SEMA, s.d.).

A BHRTA apresenta destaque negativo devido ao aumento da contaminação de suas águas, que já apresentam trechos classificadas como classe 4 conforme os padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 (BENCKE, 2017; FEPAM, s.d. b). De acordo com esta resolução, Art. 4º, inciso V, a utilização de águas classe 4 é restrita à navegação e harmonização de paisagem (BRASIL, 2005). Além dos efluentes industriais e domésticos, a bacia sofre com contaminação oriunda de agrotóxicos (FEPAM, s.d. a). Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Lajeado e Venâncio Aires são apontados como contribuintes altamente significativos para a poluição das águas desta bacia. Salecker, então presidente do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, declarou em entrevista em março de 2017 que “a bacia Taquari-Antas é a que mais tem problemas de saúde relacionados à água no Rio Grande do Sul”, além fixar a meta de atingir classificação de classe 3 até 2022, e de classe 2 até 2032 (BENCKE, 2017).

O Sistema Aquífero Serra Geral II é descrito no Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005) como “aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas”. Destaca-se que o próprio mapa alerta para possíveis influências do Sistema Aquífero Guarani como responsável por elevar pH e salinidade.

Conforme descrito anteriormente, o local de estudo compreende os limites do município de Estrela. Este ocupa uma área de 184,176 km², com uma população de 30.619 pessoas, configurando uma densidade demográfica de 166,25 hab/km², apresentando um alto percentual de adequação de esgotamento sanitário, de aproximadamente 83,3% para o ano de 2010 (IBGE, 2017). A economia principal é constituída pelo setor de serviços, seguido da indústria de transformação, que engloba a produção de plásticos, metalurgia, vestuária, seguido pelo setor agropecuário, responsável pelos setores alimentícios e de bebidas, em que

se destacam o cultivo de milho e a produção de leite (IBGE, s.d.). Todo o abastecimento de água no município é realizado por água subterrânea (SCHMIDT, 2006). Segundo IBGE (2008), 6.600 m³ de água tratada são distribuídas por dia, além de 103 m³ sem tratamento e 1.061 m³ tratados por simples cloração.

1.1 JUSTIFICATIVA

No município em estudo, a exploração de águas subterrâneas abastece integralmente o consumo humano, agropecuário e industrial. A execução do trabalho proposto contribuirá diretamente sobre o entendimento das características e da qualidade da água consumida, proporcionando sugestões de estudos que poderão fomentar melhor informação aos órgãos municipais, direcionando a melhor gestão de recursos subterrâneos.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Considerando a contextualização apresentada, o presente trabalho pretende contemplar as perguntas expostas a seguir. Quais são e como variam no espaço e no tempo as características hidroquímicas e hidrogeológicas das águas subterrâneas do município de Estrela? Como é a qualidade da água fornecida para o abastecimento público nos diferentes pontos de captação? Existe alguma evidência de influência do Rio Taquari nas águas subterrâneas exploradas?

1.3 PREMISSAS

As hipóteses apresentadas são suportadas pelas premissas descritas a seguir. O crescimento desordenado é atualmente um dos principais responsáveis pela poluição de águas subterrâneas. Existem observações de moradores locais que denotam o aumento de cloração das águas fornecidas à população nos últimos anos. A exploração de águas subterrâneas

produz cones de depleção que podem causar, localmente, a inversão do sentido do movimento das águas subterrâneas e, desta forma, podem transformar localmente um rio efluente (que recebe fluxo do aquífero) em influente (que fornecem água ao aquífero).

1.4 HIPÓTESES

O presente trabalho é embasado na hipótese de existência de variação temporal e espacial das concentrações de elementos nas águas subterrâneas do município de Estrela, sendo estas alterações atribuídas ao desenvolvimento de ocupação não planejada e do emprego de insumos agrícolas no local de estudo, em municípios vizinhos e a montante. Outra hipótese que embasou o presente trabalho foi de que a qualidade das águas de subsuperfície pode ser influenciada pelo Rio Taquari, classe 4 conforme CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

1.5 OBJETIVOS E METAS

O presente projeto tem como objetivo principal definir as características hidrogeológicas e hidroquímicas das águas subterrâneas do município de Estrela no tempo e no espaço, bem como averiguar a qualidade da água explorada e consumida no município. Para alcançar o objetivo proposto, propuseram-se como metas:

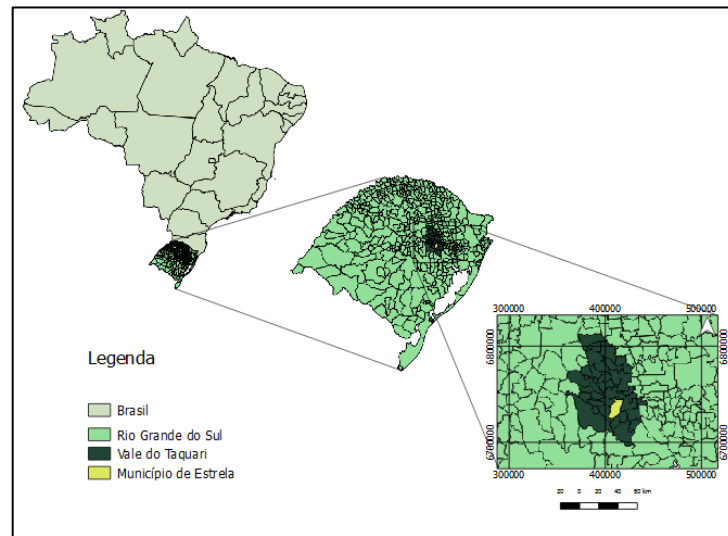
- Estudar perfis geológicos para entender variações de litologias, tipos de aquíferos e profundidade de nível de água;
- Caracterizar geologicamente a área e elaborar mapa de lineamentos estruturais;
- Entender o fluxo subterrâneo a partir da elaboração de mapas potenciométricos para a caracterização hidrogeológica do município, corroborando para investigar a influência do Rio Taquari nas águas subterrâneas;

- Estabelecer as características hidroquímicas das águas e avaliar a existência de alterações espaciais e temporais;
- Investigar a qualidade da água subterrânea, bem como possíveis efeitos na população, através de comparação com legislação;
- Produzir mapas de vulnerabilidades para os principais aquíferos captados para abastecimento da população local.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

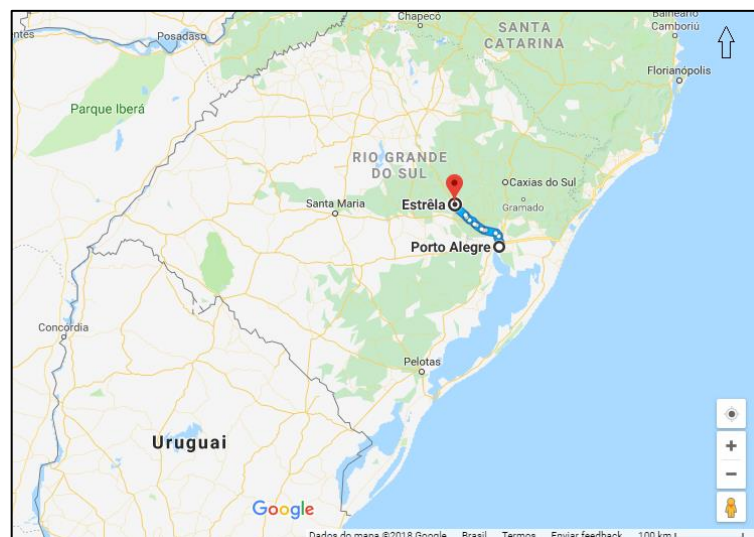
O local de estudo encontra-se na porção centro-nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na porção sul do Vale do Taquari (Figura 2), em uma distância de aproximadamente 110 km ao noroeste de Porto Alegre, seguindo pela BR-386 (Figura 3).

Figura 2. Localização do município em relação ao Brasil e ao estado do Rio Grande do Sul.



Fonte. Elaborado pela autora com base nos dados de IBGE (2014).

Figura 3. Localização do município de Estrela em relação a Porto Alegre.

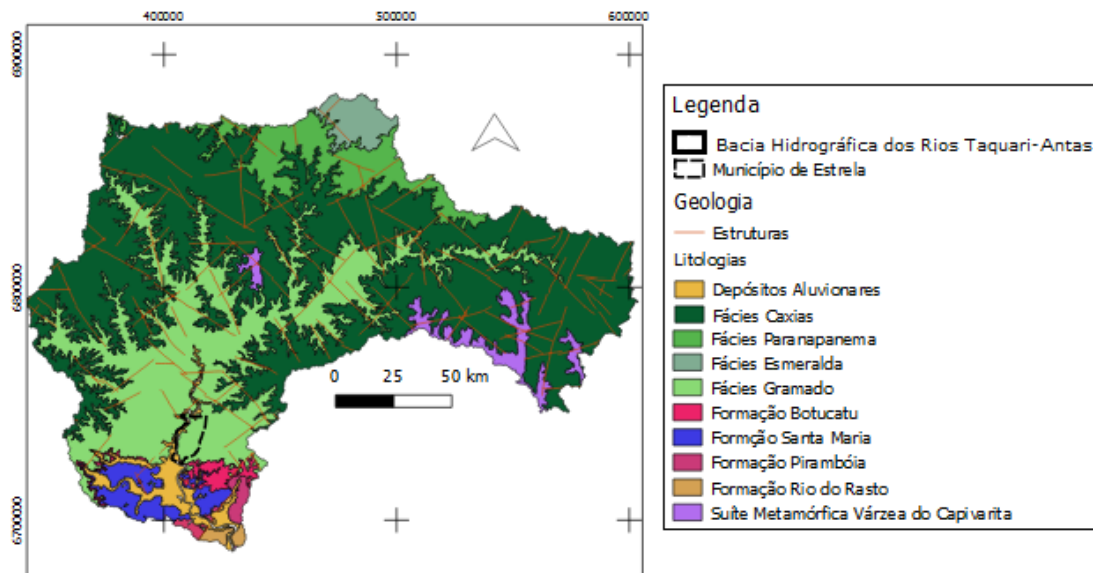


Fonte. Google Maps (2018).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O presente capítulo é organizado de forma a prover o entendimento da geologia regional da BHRTA, que se encontra no contexto da Província Geológica do Paraná. Conforme apresentado na Figura 4, as rochas efusivas da Formação Serra Geral dominam na porção norte, leste, oeste e central da bacia, sendo que ao sul afloram rochas sedimentares da Depressão Central Gaúcha. Esta figura foi gerada com o auxílio do software *Quantum GIS* e a base de dados de Geologia fornecida pela CPRM (2008).

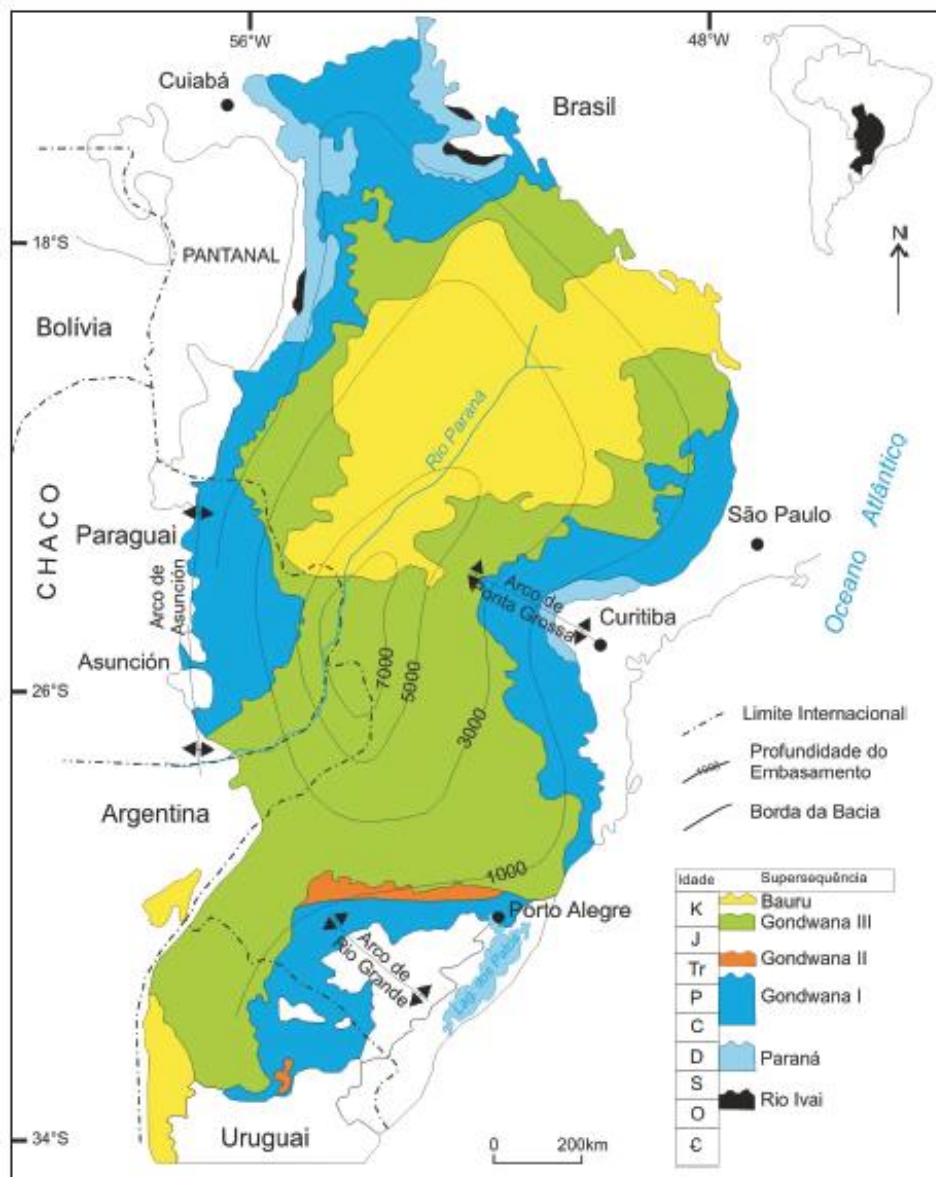
Figura 4. Contexto geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari e Antas, destacando o domínio da fácies Gramado e Formação Botucatu para o município de estudo.



Fonte. Elaborada pela autora com base no banco de dados de CPRM (2008).

A Província do Paraná consiste em uma bacia intracontinental cratônica vulcano-sedimentar que recobre a parte sul do Brasil, além de porções da Argentina, Uruguai e Paraguai (WILDNER; LOPES, 2010). Os autores explicam que esta bacia é encontrada em uma área de 106 km², com espessuras de até 7.500 metros, sendo gerada entre o Ordoviciano e Cretáceo, em um período de cerca de 385 Ma. Milani (1997), apud Wildner e Lopes (2010), dividiu as etapas de preenchimento da Bacia em cinco ciclos denominados supersequências: Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I, II e III. A Figura 5 apresenta a área onde cada ciclo é registrado.

Figura 5. Bacia do Paraná e sua distribuição de acordo com suas superseqüências e idades correlacionadas.



Fonte. WILDNER e LOPES (2010).

No Rio Grande do Sul afloram apenas as Superseqüências Gondwana (SG) I, II e III, brevemente descritas a seguir, tomando como fonte de informações o trabalho de Wildner e Lopes (2010). A SG I formou-se em um período de fechamento de bacia em clima árido continental, marcando assim uma fase de regressão e deposição das Formações Rio do Rastro, Pirambóia e Sanga do Cabral. A SG II teve início no Triássico e representa uma fase distensiva com acumulação de sedimentos fluviais e lacustres em estruturas de grábens, como é o caso da Formação Santa Maria. A SG III marcou a transição entre Jurássico e Cretáceo, e

é marcada pelos sedimentos eólicos da Formação Botucatu e pelos sequentes eventos vulcânicos que compuseram a Formação Serra Geral.

Conforme apresentado na Figura 4, a área de estudo situa-se na Bacia do Paraná, sobre a Supersequência III. No município de Estrela afloram basaltos da Fácies Gramado por praticamente toda totalidade de sua área, encontrando-se arenitos da Formação Botucatu limitados à porção extremo sul do limite municipal (CPRM, 2008).

A Formação Botucatu consiste em uma das maiores deposições de arenitos eólicos do mundo, sendo marcado por dunas superimpostas (SCHERER, 2000). A sua deposição foi interrompida pelos eventos extrusivos do Grupo Serra Geral, que devido à rapidez dos processos magmáticos, culminou na preservação das dunas sotopostas aos derrames (SCHERER, 2000). De acordo com o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), esta formação é composta por arenitos finos a grossos, com grãos de alta esfericidade, tipicamente bem arredondados, depositados em ambiente continental desértico evidenciado por suas estratificações cruzadas de grande porte.

A atividade vulcânica ocorreu entre 133 e 132 Ma, sendo um dos maiores eventos de formação de grandes províncias ígneas conhecidas do mundo, relacionado à abertura do Atlântico Sul (GASTMANS; MENEGÁRIO; HUTCHEON, 2017). O Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008) descreve os derrames basálticos da Fácies Gramado como granulares fino a médio, de coloração cinza, com estruturas de fluxo e *pahoehoe*, podendo ter níveis de vesículas e amígdalas preenchidas por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita. O mapa destaca ainda intercalações dos derrames desta fácies com porções dos arenitos da Formação Botucatu, que constituiriam *intertraps*.

Um novo enquadramento para as rochas da Formação Serra Geral defende a elevação do Serra Geral para grupo, que seria composto por quatro formações: Torres, Vale do Sol, Palmas e Esmeralda (ROSSETTI et al., 2017). Segundo esta nova classificação, os magmas tipo Gramado seriam subprovíncias pertencentes às Formações Torres e Vale do Sol. A Formação Torres apresenta basaltos toleíticos com menos de 1,5 wt.% de TiO₂, MgO entre 3,5 e 8,7 wt.% e SiO₂ entre 48,69-55,9 wt.%, além de apresentar um enriquecimento em LREE e elementos incompatíveis. A base destes basaltos encontra-se em contato com o topo das rochas sedimentares do Botucatu, sendo o limite entre ambos controlado pela topografia das paleodunas. Já a Formação Vale do Sol representaria um evento magmático mais leve do que

a formação anteriormente descrita, sendo composta por basaltos andesíticos do tipo *rubbly* *pahoehoe*, com 51,1-56,8 wt.% de SiO₂, MgO entre 2,5-5,7 wt.%, FeO entre 10,43-13,23 wt.% e TiO₂ entre 1,17-1,83 wt.%, apresentando ainda comparativamente menos CaO e Al₂O₃ do que as rochas da Formação Torres. Assim, os autores sugerem que os basaltos da Formação Torres seriam mais primitivos, se tornando mais diferenciados para Formação Vale do Sol.

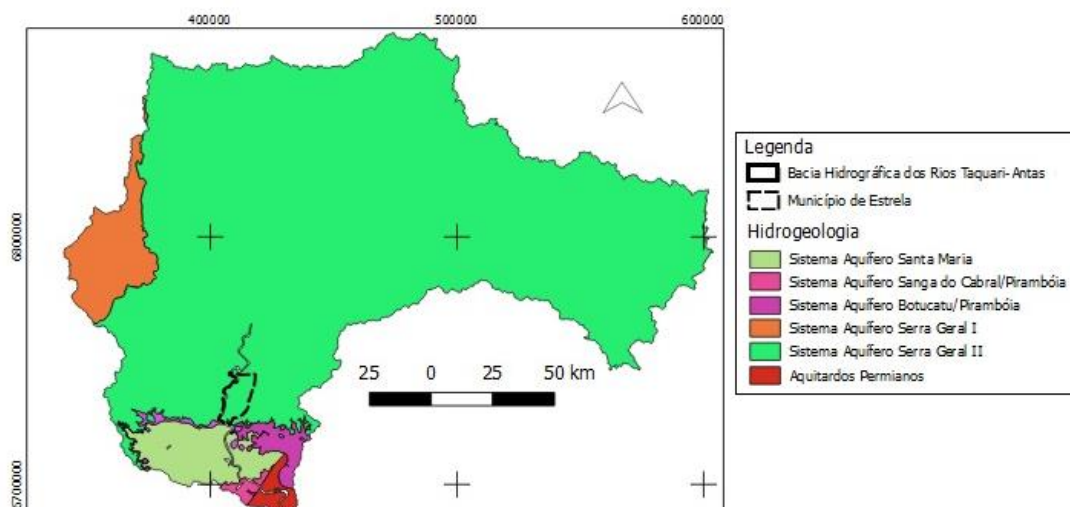
4 CONTEXTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO REGIONAL

Em 2008, o Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente publicou um relatório sobre a situação dos recursos hídricos do estado gaúcho (SEMA, 2008). Entre os diversos critérios avaliados, existe a especificação de disponibilidade e demanda hídrica para águas superficiais e subterrâneas. Em termos de águas superficiais da BHRTA, é informada uma vazão específica de longo período de 23,02 L/S/km², sendo 36% destinado à irrigação (109,29 hm³/ano), 25% para dessedentação animal (76,29 hm³/ano), 22% para abastecimento público (67,14 hm³/ano) e 7% para abastecimento industrial (54,10 hm³/ano).

O referido relatório (SEMA, 2008) contextualiza também a situação das águas subterrâneas, estima-se uma vazão de 16,52 m³/h para porções aflorantes dos aquíferos Botucatu e Pirambóia, 15,1 m³/h para o Serra Geral II e 18 m³/h para o Santa Maria, sendo que 52,80% do volume de água captado é destinado para abastecimento público (16,93 hm³/ano) e 47,20% para abastecimento industrial (15,14 hm³/ano). Este estudo também apresenta uma estimativa da contribuição doméstica, industrial e de suinocultura como potenciais poluidores baseado em duas cargas específicas totais de DBO que são, respectivamente: 0,59 t/ano/km², 0,09 t/ano/km² e 0,33 t/ano/km².

Em termos hidrogeológicos, avaliando o mapa hidrogeológico estadual (CPRM, 2005), as águas subterrâneas da BHRTA são encontradas principalmente em dois tipos diferentes de aquíferos: poroso e fraturado. Estes correspondem, respectivamente, ao Sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia (SABP) e Sistema Aquífero Serra Geral II (SASGII), descritos em maior detalhe a seguir. A Figura 6 apresenta o contexto hidrogeológico para a BHRTA, reproduzido a partir de informações de CPRM (2005).

Figura 6. Contexto hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, com destaque para a localização do município de Estrela no contexto do Sistema Aquífero Serra Geral II.



Fonte. Produzida pela autora a partir dos dados de CPRM (2005).

Leão et al. (2016) discorre sobre as águas subterrâneas do aquífero poroso instalado nas rochas sedimentares da Formação Botucatu. Segundo os autores, o Sistema Aquífero Botucatu tem boa capacidade de retenção e menor condutividade hidráulica de águas freáticas, tendo o seu potencial hidrogeológico controlado pela espessura do aquífero, sendo que as maiores vazões são identificadas próximas ao limite com a Formação Rosário do Sul. Os autores salientam a diferença entre o rendimento de poços instalados diretamente na Formação Botucatu em relação àqueles instalados sob a Formação Serra Geral e que captam águas na Formação Botucatu. Segundo eles, existe maior circulação de água no arenito confinado em relação ao exposto, com vazões de cerca de 6,5m³/h para o exposto e vazões de 30m³/h para os recobertos pelas rochas efusivas.

De idade Mesozóica, as rochas do Sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia tem na base a Formação Pirambóia (arenitos com silte e argila) e no topo as rochas da Formação Botucatu (arenitos médios a grossos), havendo intercalação com camadas permianas do Grupo Passa Dois e basaltos da Formação Serra Geral (KIMMELMANN; REBOUÇAS; SANTIAGO, 1989). O Sistema Aquífero Botucatu tem espessura média de 300 metros, 10 a 20% de porosidade efetiva, condutividade hidráulica de 10⁻⁴ a 10⁻⁵ m/s, transmissividade média de 10⁻³ m²/s e coeficiente de armazenamento de 10⁻³ a 10⁻⁶ (KIMMELMANN; REBOUÇAS; SANTIAGO, 1989). Os autores referenciados propõem que a água subterrânea seja recarregada por infiltração direta na área aflorante, fluindo para o centro da bacia. Esta teoria

é embasada pelas idades das águas das bordas serem mais novas do que a idade das água das porções centrais (30.000 anos), conforme datação por ^{14}C . Em outras palavras, quanto mais depletada em $\delta^{14}\text{C}$, mais nova é a água subterrânea.

Em relação ao aquífero fraturado, entende-se este como um aquífero freático de comportamento heterogêneo, encontrado no manto de alteração das rochas efusivas da Formação Serra Geral, sendo condicionado por características do clima, topografia, solo e litologia sobre os quais se desenvolvem (REGINATO, 2012). O mesmo trabalho descreve as características deste aquífero freático, conforme resumidas a seguir. Em termos hidrogeológicos, o aquífero freático em questão apresenta vazão menores do que $0,5\text{m}^3/\text{h}$, consequência da espessura saturada inferior a 1,7 metros e níveis estáticos em profundidades de até um metro. Entre as características hidroquímicas, destaca-se a classificação destas águas como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas de acordo com diagrama de Piper, tendo baixa condutividade elétrica e alcalinidade. Em termos das concentrações de elementos químicos, o autor destaca os altos teores de ferro e manganês e as menores concentrações de cálcio, magnésio, sódio e cloretos. As análises realizadas apontam ainda para a presença de nitratos e coliformes totais, indicando fontes de contaminação agrícola e domiciliar.

O Sistema Aquífero Serra Geral apresenta diferentes características de acordo com sua condição geomorfológica, conforme Leão et al. (2016), discutidas em detalhe a seguir. Os autores explicam que no **planalto** as rochas ácidas da Formação Serra Geral são marcadas por lineamentos nordeste e terreno pouco dissecado, capazes de levar a água que é infiltrada no manto de alteração até as fraturas mais profundas. Em geral, os potenciais para água subterrânea são bons para lineamentos de médio porte e regular para os de pequeno. As vazões médias são de $15\text{m}^3/\text{h}$, podendo ser superior a $50\text{m}^3/\text{h}$ em poços específicos. Desta forma, os autores explicam que o Sistema Aquífero Serra Geral é capaz de alimentar o Sistema Aquífero Botucatu que encontra-se sotoposto e confinado em sua maior extensão. Leão et al. (2016) explicam que na região da **encosta do planalto** os linemantos são de pequeno porte, consequência do intenso dissecamento do terreno e vales profundos, que acabam configurando um baixo potencial hidrogeológico. Em geral a vazão dos poços é de até $5\text{m}^3/\text{h}$ e pelo fato de os níveis potenciométricos no Botucatu serem maiores, entende-se que exista uma recarga do Botucatu no Aquífero Serra Geral.

Águas armazenadas em aquíferos contidos em rochas basálticas são do tipo Ca-Mg- HCO_3 , apresentam baixa salinidade e condutividade elétrica, e pH variável de ácido à alcalino

(GASTMANS; MENEGÁRIO; HUTCHEON, 2017). Concentrações significativas de cloretos e nitratos são comumente de origem antropogênica. O fluxo de água subterrâneo é apresentado pelos autores supracitados e sumarizado a seguir. A proposta é que a topografia rege o movimento das águas, sendo que no topo e na base de cada sequência vulcânica exista uma zona extremamente permeável, formada pela alteração do basalto e camadas vesiculadas, consistindo na principal via de movimentação de águas subterrâneas. Assim, as estruturas geológicas verticais que alimentariam o Sistema Aquífero Botucatu teriam baixo fluxo de água. Análises de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ realizadas pelos autores citados indicam que existe recargas recentes no aquífero, sendo as águas mais novas afetadas por nitrato antropogênio, e as mais antigas não.

Por fim, o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008) descreve sistematicamente os Sistema Aquífero Serra Geral II (SASGII) e o Sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia (SABP). O SASGII é classificado como um “aquífero com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas”, composto por riolitos, riodacitos e basaltos fraturados que dominam a porção oeste do estado. Em termos hidrogeológicos, este sistema aquífero apresenta capacidade específica $<0,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ embora porções com maior grau de fraturamento sobrepostas à arenitos possam atingir $2\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Em termos hidroquímicos, a salidade não é alta ($<250\text{mg}/\text{L}$), embora possa ser anômala quando influenciada por águas ascendendo do Sistema Aquífero Guarani. O SABP é descrito como “aquífero com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular”, sendo composto por rochas areníticas róseas, de granulometria média, que tem seu potencial para água subterrânea reduzidos devido à condições estruturais e seu alto teor de argila. Em termos de hidrogeologia, apresenta capacidades específicas $>0,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e salinidades $<250\text{mg}/\text{L}$.

5 METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo geral e as metas estabelecidas no presente trabalho, o mesmo foi dividido em três linhas de enfoque: hidrogeologia, hidroquímica e investigação de qualidade, que correspondem, respectivamente, aos títulos 5.1, 5.2 e 5.3 do presente trabalho. A metodologia empregada para o desenvolvimento e futura conclusão de cada objetivo específico é detalhada abaixo, seguindo a classificação de cada linha de enfoque citada acima.

5.1 Caracterização do Comportamento Hidrogeológico

O maior objetivo da caracterização hidrogeológica é entender como se dá o comportamento em subsuperfície das águas. Em outras palavras, pretende-se concluir sobre onde as águas estão contida (item 5.1.1), quais as características de sua exploração (item 5.1.2) e como se dá a sua movimentação em subsuperfície (itens 5.1.3 e 5.1.4). Para isso, valeu-se das ferramentas descritas a seguir.

5.1.1 Caracterização Geológica

A caracterização geológica foi setorizada em entendimento de subsuperfície com análise de perfis geológicos dos poços (item 5.1.1.1), e de superfície com dados de campo (item 5.1.1.2), estudando ainda os lineamentos locais com intuito de estabelecer possíveis correlações de subsuperfície e superfície (item 5.1.1.3).

5.1.1.1 Perfis Geológicos

A partir da análise de dados secundários, pode-se criar um banco de dados hidrogeológicos em planilha *Microsoft Excel*, cadastrando as localizações dos poços

analisados e a profundidade de variação de suas litologias. Os dados cadastrados são oriundos do banco de dados da plataforma SIAGAS/CPRM, e obtidos via requerimento por ofício com CORSAN/SURHI e DRH/SEMA. Para a análise dos dados da plataforma SIAGAS/CPRM e obtidos com a CORSAN/SURHI, foram utilizados os dados de perfis geológicos. Infelizmente, os dados obtidos juntamente ao DRH/SEMA não apresentam detalhamento sobre perfil geológico dos poços.

5.1.1.2 Dados de Campo

Durante a realização da atividade de campo, desenvolvida nos dias 27 de abril e 10 de agosto do corrente ano, foram visitados afloramentos, nos quais foram observadas litologias, estruturas, texturas e características mineralógicas. Dentre os aparelhos de campo, lançou-se mão de GPS Garmin, lupa de mão de 20 e 30x, bússola tipo Silva, martelo de geólogo e caderneta de campo.

Os afloramentos visitados foram definidos previamente e em campo. Primeiramente, realizou-se uma avaliação de imagens de Satélite Google, valendo-se do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008). Visitaram-se ainda afloramentos conhecidos e indicados pela população local e ainda outros identificados quando da realização da etapa de campo.

5.1.1.3 Mapa de Lineamentos

O referido mapa se torna importante para entendimento de lineamentos presentes na área de estudos, consistindo em uma ferramenta para correlacionar áreas com determinadas características hidrológicas, de modo a tentar estabelecer se existe influência dos lineamentos nas características hidrogeológicas locais.

Para elaborar o mapa utilizou-se como ferramentas imagens de Modelo Digital de Elevação SRTM (MDE), obtidas pelo portal online EarthExplorer, conforme metodologia de

Amaral (2016). As imagens utilizadas apresentam uma resolução de 30 metros e são referentes ao “SRTM 1 Arc-Second-Global”. Uma vez obtidas as imagens no formato GeoTIFF georreferenciadas, estas foram manuseadas com o software *Quantum Gis*. O primeiro passo foi converter o sistema de coordenadas geográficas WGS84, original das imagens, para o sistema de coordenadas geográficas UTM (Universal Transversa de Mercator) SIRGAS 2000, escolhida para o projeto. Feito isto, selecionou-se a opção de análise *raster* MDE (Modelo de Terreno), criando arquivos de saída vetorizados para diferentes azimutes e atitudes de insolação. Diferentes valores de insolação foram testados, e os que obtiveram melhores resultados foram: 45_45 e 45_315. Assim, alternando entre os dois modelos criados, em uma escala 1:155.000, pode-se identificar os lineamentos existentes, traçando-os como feições em uma nova camada vetorial criada sobreposta àquela do modelo de relevo sombreado.

Os pontos críticos deste método consistem na interpretação necessária para a identificação e tracejamento dos lineamentos e a escala de observação, que conforme o grau de detalhe pode evidenciar lineamentos de diferentes portes. Além disto, o arquivo utilizado para o desenvolvimento de relevo sombreado consiste em um MDE, que pode apresentar problemas de precisão devido à vegetação, prédios e elevações artificiais.

5.1.2 Características Construtivas, Hidrogeológicas e de Bombeamento

A partir das informações fornecidas pela CORSAN/SURHI e DRH/SEMA e aquelas reunidas do portal do SIAGAS/CPRM pode-se reunir dados do perfil construtivo, hidrogeologia e de ensaios de bombeamento, complementando a construção do banco de hidrogeológicos em planilha *Excel* citado no item 5.1.1.1. Cada poço teve suas coordenadas UTM X, Y e Z cadastradas. Para o detalhamento do perfil construtivo, avaliou-se a existência de revestimento e seções filtrantes, de modo a identificar o aquífero captado por cada poço ou se existe possibilidade de mistura das fontes captadas. Para os dados hidrogeológicos de bombeamento, tomou-se nota dos dados de vazão, capacidade específica, transmissividade, nível estático, nível dinâmico e a profundidade do poço. Além disso, correlacionando os perfis construtivos e litológicos foi possível definir o local de captura de água, possibilitando o enquadramento do aquífero captado em quatro grupos: (i) Aquífero Botucatu (AB); (ii)

Sistema Aquífero Serra Geral II (SASGII); Mistura de Aquíferos (MA); e (iv) Sistema Aquífero Captado não Informado (SACNI). Vale destacar que foram classificados como MA os poços instalados somente com selo sanitário, não havendo instalação de seção filtrante, e assim captando água de diferentes aquíferos. Majoritariamente, as águas captadas na MA são oriundas da mistura entre AB e SASGII. Entretanto, poços isolados podem ter influência de argilitos e arenitos de aquíferos mais profundos, como o Santa Maria (Grupo Rosário do Sul) e o Rio do Rastro, descritos em seus perfis litológicos. Os poços de MA com influência destes argilitos e arenitos são: 13A, 14A, 41A, 55A, 70A, 73A, 78A, 80A, 83A e 91A (listados no APÊNDICES - C). Além dos dados de aquífero captado, anotaram-se os estratos de cobertura e a existência de surgência ou não.

5.1.3 *Discussão de Fluxo Subterrâneo*

O entendimento do fluxo subterrâneo é de fundamental importância para definição das superfícies potenciométricas da água de subsuperfície. Para poder gerar um mapa com a interpretação deste fluxo, é preciso entender qual é a cota do nível estático (NE) de um poço de captação, bem como qual a localização do mesmo. Para isto, pode-se optar por duas fontes de dados: secundário e primário. A primeira fonte consiste em utilizar dados de NE e coordenadas X,Y e Z disponibilizados pelas fontes consultadas: portal do SIAGAS/CPRM e dados obtidos via requerimento oficial com DRH/SEMA e CORSAN/SURHI. O ponto crítico desta análise é que dados de diferentes datas e, conseqüentemente, estações do ano e balanços hídricos são dispostos lado a lado, o que pode acabar gerando um mapa de menor significância e precisão, além de desconhecer as condições e ferramentas de coleta de dados.

Assim, para aumentar a confiabilidade dos mapas criados, optou-se por realizar a coleta de dados primários. Para isto, durante a etapa de campo foi utilizado um medidor de nível eletrônico de precisão centimétrica para realizar a leitura do nível estático. Para a coleta dos dados X,Y e Z, foi utilizado um GNSS geodésico da marca TopCon disponibilizado pelo Instituto de Geociências da UFRGS.

Este dispositivo é composto por dois receptores, sendo um móvel e um segundo estático, com precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e vertical de 5 mm + 0,5 ppm

(AQUINO, 2017). A base fixa foi mantida junto à coordenada SIRGAS 2000 22J 405941,82 mE / 6735203,08 mN, altitude ortométrica de 30,88 m. A base móvel foi estabilizada em cada ponto medido pelo tempo de 5 minutos (Figura 7). Ao todo foram coletados dados em 19 pontos e medido nível estático em 5 poços, estando as coordenadas e níveis medidos destacados com preenchimento em cinza no capítulo APENDICÊS - C e incorporados aos processamentos realizados.

Os dados coletados em campo foram processados com os programas computacionais TopCon Tools, baseado na estação de Porto Alegre da RBMC do IBGE, fazendo a correção da altitude elipsoidal para ortométrica com uso do software MAPGEO 2015 (AQUINO, 2017; IBGE, s.d.). Dentre as vulnerabilidades deste método, estão o tempo de medição em cada poço e o acesso aos poços.

Figura 7. Obtenção das coordenadas X,Y e Z com GNSS de precisão.



Fonte. Fotos da etapa de campo.

Desta forma, foram gerados mapas mesclando as duas fontes de dados disponíveis (primários e secundários) de modo a entender o comportamento de fluxo de subsuperfície. Os

dados secundários foram incluídos por apresentarem uma maior cobertura de toda a área de estudo, enquanto que os dados primários de campo foram essenciais por apresentarem uma interpretação mais confiáveis.

5.1.4 Avaliação de Influência Rio-Aquífero

Esta avaliação é realizada por meio da comparação entre os modelos de potenciometria realizados para os níveis estáticos e dinâmicos cadastrados no banco de dados formado por informações obtidas no SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA e dados de campo. Outra ferramenta que corroborou este estudo foi o mapa topográfico realizado a partir do geoprocessamento do Modelo Digital de Elevação SRTM (MDE) obtido conforme explicado no item 5.1.1.3.

5.2 Caracterização Hidroquímica

O item 5.2.1 abaixo detalha sobre as fontes de dados utilizadas para a construção do banco de dados hidroquímicos. Este, elaborado com o maior número possível de informações disponíveis, embasou toda a interpretação das características químicas das águas, bem como serviu de base para o desenvolvimento de seu processamento para as análises de variação espacial e temporal, conforme detalhado no item 5.2.2.

5.2.1 Banco de Dados

O banco de dados hidroquímicos foi montado com dados secundários, oriundos de bibliografia e sistemas de cadastros públicos. A partir da obtenção de dados de poços de captação de água subterrânea de posse de órgãos públicos como CORSAN/SURHI, SEMA/DRH e SIAGAS/CPRM pode-se elaborar o inventário de poços. Este compila dados como coordenadas UTM do poço, aquífero de captura e dados de análises físico-químicas.

Estes dados, requeridos via ofício para as duas primeiras entidades e disponibilizados na plataforma digital da CPRM no caso do SIAGAS, foram organizados e compilados com o auxílio do programa *Microsoft Excel*, permitindo a identificação e organização sistemática das informações.

O ponto crítico da elaboração deste produto consiste no fato de partir do pressuposto que os dados secundários são confiáveis. Para diminuir este risco, quando compilados, os dados foram separados, sendo que valores extremamente discrepantes ou que geraram desconfiança foram sinalizados e até mesmo descartados. Entretanto, valores extremos, mas possíveis de ocorrerem foram considerados.

5.2.2 *Processamento de Dados*

Uma vez concluída a compilação e organização dos dados, estes precisaram ser trabalhados de modo que os resultados de caracterização pudessem ser obtidos. Para isto, valeu-se de diferentes ferramentas, detalhadas nos itens abaixo.

5.2.2.1 Cálculo das Concentrações de Bicarbonato e Carbonato

A grande maioria das análises compiladas no banco de dados apresentavam apenas informações sobre alcalinidade e pH, mas não continham dados de bicarbonatos e carbonatos, necessárias para enquadramento no Diagrama de *Piper*. Assim, estas concentrações foram calculadas conforme equações descritas em Deutsch (1997), apresentadas abaixo como eq. 01 e eq. 02.

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/L)} = \frac{\text{Alcalinidade (mg/L CaCO}_3\text{)} \times 61}{1 + \frac{2 \times 10^{-10,3}}{10^{-\text{pH}}}} \times 50 \quad (\text{eq.01})$$

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ (mg/L)} = \frac{\text{Alcalinidade (mg/L CaCO}_3\text{)} \times 60}{2 + \frac{10^{-\text{pH}}}{10^{-10.3}}} \times 50 \quad (\text{eq. 02})$$

5.2.2.2 RockWorks2002

Este programa é utilizado para auxiliar na análise gráfica das características químicas de águas, permitindo uma série de cálculos de estatísticas e correlação entre elementos. Para este trabalho optou-se pela utilização do programa para confecção do Diagrama de *Piper*.

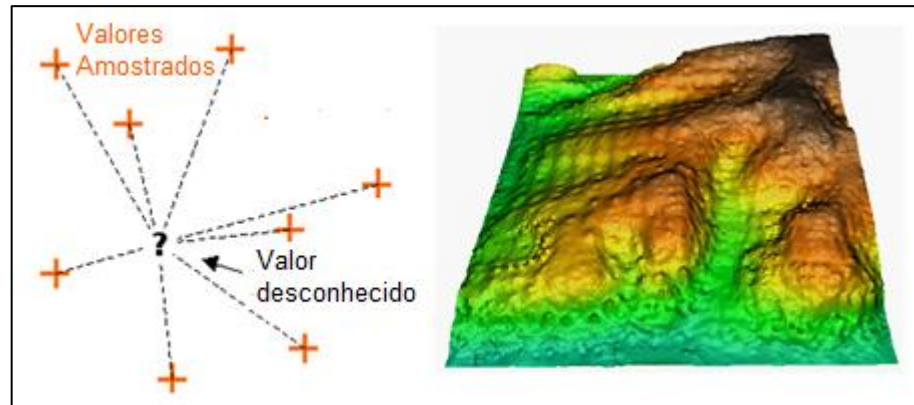
Os diagramas de *Piper* são usados para classificar as águas em relação aos seus íons dominantes, facilitando a realização de correlações temporais e espaciais, além da seleção de amostras que apresentem características comuns entre si.

5.2.2.3 Mapas de Isoconcentrações: Avaliação de Variabilidade Espacial

Os mapas de isoconcentrações aqui referidos consistem em mapas de interpolação de valores de concentração de elementos químicos identificados como importantes para o contexto local. Os valores de entrada consistem naqueles reunidos no banco de dados elaborado para o presente projeto, conforme detalhado no item 5.2.1. Para os pontos que apresentaram mais de uma análise química, optou-se pelo dado mais recente disponível.

Como *software* interpolador, optou-se pelo *Quantum GIS* e aplicação do método de interpolação do Inverso da Distância ponderada pelo peso 2 (IDW) (Figura 8). Este funciona a partir da atribuição de pesos inversamente proporcionais às distâncias ponderadas de um ponto desconhecido em relação a outros com dados, sendo capaz de criar mapas com contornos suaves (MITAS & MITASOVA, 1999; QGIS, s.d.).

Figura 8. Ilustração de como funciona a interpolação pelo método IDW.



Fonte. Adaptada de QGIS (s.d.).

Entre os pontos críticos, têm-se a redução da qualidade de interpolação com o aumento da irregularidade da malha, além do fato de que, para qualquer método interpolado, os valores calculados representam sempre valores entre aqueles medidos, ou seja, não correspondem a mínimos ou máximos, o que pode não ser condizente com a situação real QGIS (s.d.). Além disto, uma malha irregular reflete irregularidade entre o espaçamento entre dados, o que pode comprometer a qualidade da interpolação quando os dados ficam muito espaçados QGIS (s.d.).

5.2.2.4 Gráficos de Avaliação de Variabilidade Temporal

Para as análises deste item foram elaborados gráficos de colunas com auxílio do *software Microsoft Excel*. Assim, o banco de dados foi filtrado pela coordenada do poço, de modo que pudessem ser identificadas e separadas análises de um mesmo poço com datas diferentes. Estes dados foram então plotados em gráficos que permitiram entender o comportamento hidroquímico de um mesmo poço para tempos diferentes.

5.3 Investigação de Qualidade da  gua

Para a investiga o da qualidade das águas captadas, comparou-se o banco de dados hidroquímicos elaborado com a legisla o vigente (item 5.3.1). Além disto, para complementa o de avalia o de qualidade, foi realizada uma avalia o de áreas do aquífero com maior vulnerabilidade de contamina o (item 5.3.2).

5.3.1 Legisla o Vigente

Foram listados os parâmetros de qualidade de água instituídos pela Portaria do Ministério da Saúde 2914 de 2011 (BRASIL, 2011) e CONAMA 396 de 2008 (BRASIL, 2008), comparando-os graficamente com o banco de dados elaborado, detalhado no item 5.2.1, a partir do *Software Excel*. Para conseguir determinar os valores em desacordo com os padrões de referência normativos, desenharam-se linhas com os limites estabelecidos nas legisla es, permitindo a rápida análise em rela o às concentra es dos poços plotadas em gráficos de dispersão. Assim, pode-se ter uma classifica o geral para as  guas de cada aquífero captado. Para os parâmetros com recorrência de concentra es superiores às máximas permitidas pelas normas, recorreu-se   bibliografia para investigar possíveis efeitos do consumo destas águas pela popula o, já pincelando brevemente o ramo da geologia médica, discutida no capítulo de 9 CONCLUSÃO, como observa es para futuros estudos possíveis de serem desenvolvidos.

5.3.2 Vulnerabilidade de Aquíferos

A avalia o da vulnerabilidade de aquífero foi realizada pelo método GODS. Para melhor embasar as classifica es deste, foram coletadas amostras de solo em campo, conforme detalhado a seguir (itens 5.3.2.1 até 5.3.2.4). Posteriormente, p de ser aplicado o método (5.3.2.5) e elaborados os mapas finais (5.3.2.6).

5.3.2.1 Descrição do Substrato de Cobertura

Considerando que a análise de vulnerabilidade pode ser refinada com a caracterização textural e composicional do substrato de cobertura, durante a etapa de campo foram coletadas quatro (04) amostras de solo (item 5.3.2.2), as quais foram processadas em laboratório (itens 5.3.2.3 e 5.3.2.4) para posteriormente refinar a interpretação da elaboração dos mapas de vulnerabilidades (item 5.3.2.5).

5.3.2.2 Coleta de Solo

Para a caracterização do parâmetro S optou-se pela coleta de solo para a identificação textura e composição dos solos encontrados no município: nitossolos e planossolos (discutidos no item 6.3). Foram coletadas ao todo quatro (04) amostras de solo, sendo cada uma composta por aproximadamente 2 kg de solo.

Como pontos críticos para esta etapa, destacaram-se a acessibilidade aos locais de coleta, a identificação de material *in situ* e a penetrabilidade do trado manual em argilas plásticas. Quanto às coletas, optou-se pela realização das mesmas junto às faixas de servidão de estradas vicinais ou em pátios de casas com ciência e autorização dos proprietários. Em relação à identificação dos horizontes *in situ*, quando este nível não fora alcançado com o limite de penetrabilidade do trado manual disponível, optou-se pelo deslocamento do local de coleta até se ter certeza de que o material coletado consistia em solo *in situ*.

Para a efetivação de coleta de solo foram utilizados os seguintes materiais: trado helicoidal de 1,20 metro, pá de corte, GPS Garmin, fita métrica, caderneta de campo, sacos plásticos, canetas permanentes e recipientes plásticos para coleta de material para DRX. Os materiais de coleta são apresentados no Quadro 1 (A).

Após coletadas e devidamente identificadas, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia da UFRGS e para o Laboratório de Difração de Raios X da UFRGS, aonde foram processadas pela aluna com auxílio dos técnicos dos laboratórios, conforme detalhado nos itens a seguir.

Quadro 1: Materiais utilizados (A), realização e medição da sondagem a trado (B) com coleta de amostra com trado helicoidal (C).



Fonte. Acervo de fotos da autora.

As amostras coletadas foram descritas pela autora, observando cor, textura e plasticidade, principalmente. Além disto, foram realizados ensaios de Difração de Raios X no Laboratório de Difractometria de Raios X da UFRGS para identificação da composição (item 5.3.2.3) e ensaios granulométricos no Laboratório de Sedimentologia da UFRGS que permitiram a classificação textural das amostras (item 5.3.2.4)

5.3.2.3 Difração de Raios X (DRX)

O método de difratometria de raios X (DRX) é aplicado para identificar a mineralogia de uma amostra, principalmente para as fases muito finas, como os argilo-minerais e óxidos/hidróxidos. Conforme Senna (2003), este consiste na emissão de raios X (RX) que são capazes de interagir com a amostra e, de acordo com o padrão de retorno do raio lido, é possível identificar a fase cristalina presente. Isto acontece porque a técnica se vale do fato de existir um espaçamento regular interno dentro de um cristal e também pela propagação dos RX ser do tipo ondulatória. Conforme Hinrichs (2014), para a aplicação da técnica segue-se os seguintes passos: a amostra é exposta a um feixe de RX incidentes sob diferentes ângulos, que interagem com as fases cristalinas presentes e que serão captados (ou não) por um

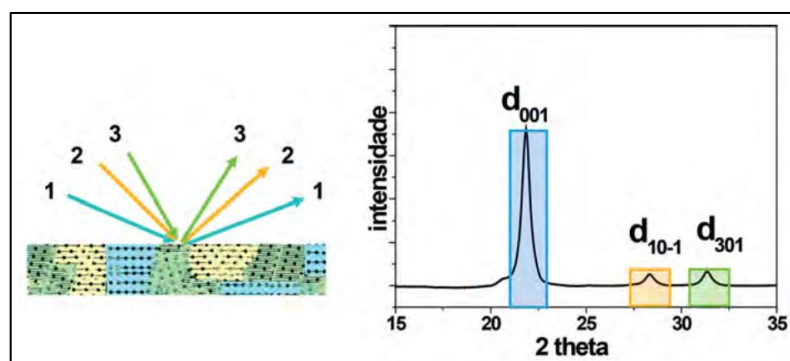
detector disposto em ângulo concordante com aquele da emissão dos RX. Desta forma, quando um RX atinge um plano cristalográfico paralelo à superfície, este é passível de ser refletido e capturado, produzindo picos no difratograma, que é comparado com um banco de dados e permite a identificação da fase mineral em questão. Em outras palavras, os RX são incididos (e captados) sob diferentes ângulos para que cristais com diferentes dimensões do retículo cristalino possam ser identificados, uma vez que esta técnica realiza leitura dos planos paralelos à superfície, conforme explicado anteriormente.

A Lei de Bragg é a base teórica para o método da DRX. Conforme Skoog et al. (2002), apud Senna (2003), esta lei define que quando um RX alcança a superfície de uma fase cristalina, incidindo com um ângulo θ , a porção da radiação eletromagnética que é espalhada pela camada superior de átomos é absorvida pela camada de átomos inferior, onde é novamente espalhada e atinge uma terceira camada de átomos, em um processo de espalhamento cumulativo chamado de difração. Esta lei é resumida pela equação:

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (\text{qe. 03})$$

Onde d consiste na distância entre planos, θ é o ângulo de difração, n é a ordem de difração e λ é o comprimento de RX (SKOOG et al., 2002 apud SENNA, 2003). A figura abaixo apresenta uma ilustração gráfica esquemática do funcionamento de um DRX pelo modelo da Lei de Bragg.

Figura 9. Ilustração esquemática do funcionamento da metodologia DRX, com emissão e captação de RX sob diferentes ângulos (esquerda) gerando como produto o difratograma que permite a identificação da fase mineral (direita).

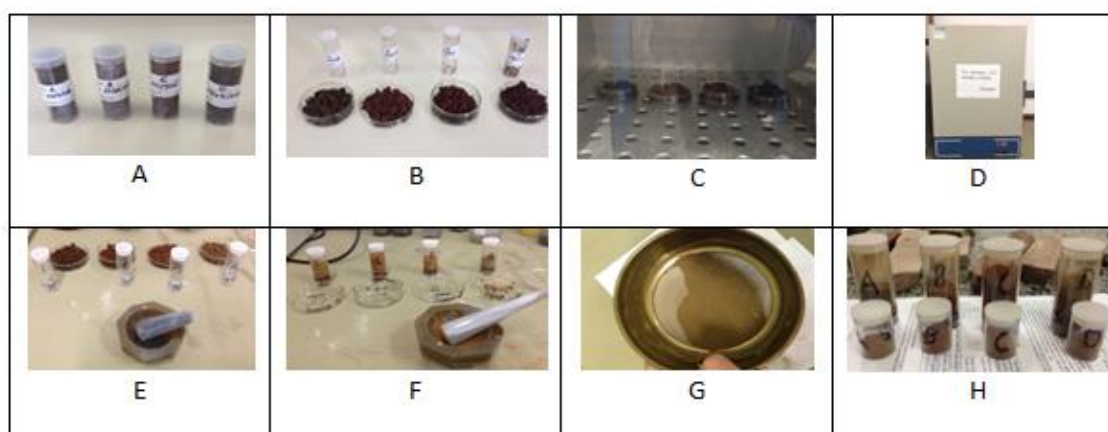


Fonte. HINRICHS (2014, p. 162).

Para este trabalho, foram analisadas quatro (04) amostras de solo, coletadas conforme descrição do item 5.3.2.2. Estas foram analisadas pelo difratômetro de raio X Siemens Bruker AXS, modelo D-5000 ($\theta - 2\theta$) com tubos de cobre com energia de 40kV e 25mA, de posse do Laboratório de Difractometria de Raios X da UFRGS, a partir do método do pó.

As amostras foram preparadas pela autora, com auxílio do técnico de laboratório, a partir dos passos descritos a seguir. Primeiramente, as amostras foram colocadas em vidros de relógio para secagem em estufa a 38°C. Quando a umidade foi totalmente eliminada, as amostras foram moídas com graal e pistilo de ágata, tomando-se o cuidado de realizar a limpeza dos aparelhos com água deionizada e detergente entre o processamento de cada amostra. Feito isto, as amostras foram peneiradas em peneiras de 200 Mesh sendo então dispostas em frascos identificados para leitura no aparelho de difração. As amostras foram analisadas pelo método do pó conforme informado acima, e, desta forma, o material peneirado foi disposto em superfície de análise de forma desorientada. Feita a análise, os difratogramas foram gerados e puderam ser comparados com o banco de dados do laboratório, de modo a permitir a identificação das fases minerais. Os passos são resumidos no quadro abaixo com fotos da realização da preparação de amostras.

Quadro 2: Passos de preparação de amostras para análise de DRX pelo método do pó, mostrando: amostras coletadas (A), dispostas em vidros de relógio (B) e colocadas em estufa (C, D), moídas com pistilo e graal de ágata (E, F), peneiradas em malhas 200 mesh (G) e armazenadas em potes devidamente identificados (H).



Fonte. Acervo de fotos da autora.

Dentre os riscos, pode-se dizer que a presença de matéria orgânica e materiais amorfos podem diminuir a resolução dos resultados. Além disto, por optar pelo método do pó, a identificação de fases minerais pode ficar comprometida caso exista a sobreposição lateral de

picos nos difratogramas. Para amenizar, os resultados foram cuidadosamente avaliados com auxílio dos técnicos do laboratório.

5.3.2.4 Granulometria

Foram coletadas quatro amostras de solo para a realização da análise granulométrica completa: sedimentação e peneiramento. Este item foi escrito tomando por base a metodologia empregada pelo Laboratório de Sedimentologia da UFRGS.

As amostras foram preparadas e processadas pela autora do presente trabalho com orientação de técnico do laboratório. Primeiramente, o solo coletado foi colocado em recipientes metálicos já identificados e levados à estufa, a 60°C, para serem secadas. Feito isto, as amostras foram desagregadas individualmente em graal de porcelana com pistilo revestido com proteção de borracha, de modo a evitar que durante o processo de desagregação ocorresse ruptura dos grãos. A fração já desagregada foi então quarteada e a porção coletada disposta em becker de 200 mL, já previamente identificados, pesados em balança de precisão BEL M 214 A (precisão de quatro casas decimais). Além dos frascos vazios, foram pesadas as amostras com auxílio de um copo de equilíbrio, sendo as duas informações adicionadas às fichas granulométricas criadas para cada amostra. As amostras foram então armazenadas nos copos Becker de 200 mL, juntamente com água deionizada, que auxiliou na eliminação de íons de compensação, assegurando o funcionamento da Lei de Stokes para a análise pelo método de sedimentação.

O próximo passo foi a separação das porções areia e cascalho (grossos) das porções silte e argila (fino). Para isto, utilizamos uma peneira de 250 Mesh, por meio do peneiramento via úmido, permitindo que as frações silte e argila ficassem retidas em uma proveta de 1000 mL preenchida até seu limite com água deionizada, enquanto que as frações grossas ficassem retidas na peneira, sendo posteriormente separadas e dispostas em novamente no becker e levadas para a estufa para secagem e peneiramento. Depois de pesados os grossos, pode-se comparar com o peso inicial e assim ter também o peso da fração fina.

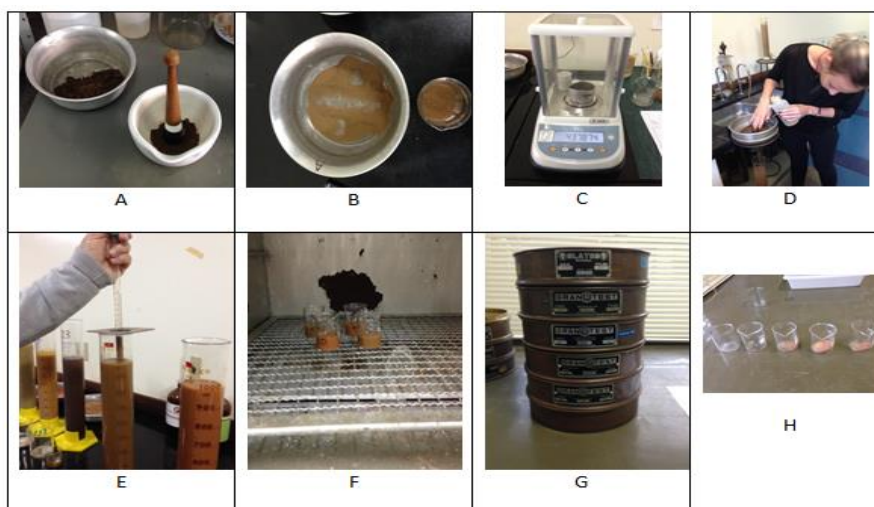
A fração grossa, já seca, foi colocada em um jogo de peneiras com intervalos granulométricos de 2 até 0,062 mm. As frações retidas de cada peneira foram colocadas em

copos becker e pesados com auxílio do copo de equilíbrio. Tendo os pesos de cada fração e o peso inicial pode-se estabelecer a relação de percentagem.

A fração fina foi processada pelo método de decantação de partículas, chamado de pipetagem, que é desenvolvido tomando por base a Lei de Stokes. Segundo Lima e Luz (2001), esta lei define que a velocidade de deposição de uma partícula é controlada pela densidade e tamanho da mesma e que, quando esta está em um meio fluído, sua velocidade de queda depende da morfologia e da força resistiva das partículas, sendo que quando há equilíbrio entre as forças de resistência do meio fluído e da gravidade, a partícula pode decantar em sua velocidade de sedimentação terminal. As amostras dispostas em provetas de 1000 mL foram agitadas e depois se esperou 2h03min para realizar a pipetagem de 20 mL do material, sendo este coletado com pipeta inserida nos 10 centímetros superficiais da proveta. O material coletado foi disposto em becker de 50 mL já pesados e levados à estufa com 60°C por 14h15min. Quando secos, os becker foram novamente pesados, permitindo a identificação da proporção de argilas.

Por fim, os resultados brutos anotados em laboratório nas fichas granulométricas foram processados com o software Panicon, também de domínio do Laboratório de Sedimentologia da UFRGS, permitindo a relação das proporções de argila, silte, areia e seixos. Os principais passos estão ilustrados no Quadro 3.

Quadro 3: Passos realizados para a análise granulométrica: desagregação em graal de porcelana (A), quarteamento (B), pesagem de amostra em balança de precisão com auxílio de copo de equilíbrio (C), peneiramento para separação das frações grossas e finas (D), pipetagem com auxílio do técnico do laboratório (E), amostras pipetadas na estufa para secagem (F), peneiramento da fração grossa (G) para separação nos diferentes tamanhos granulométricos (H).



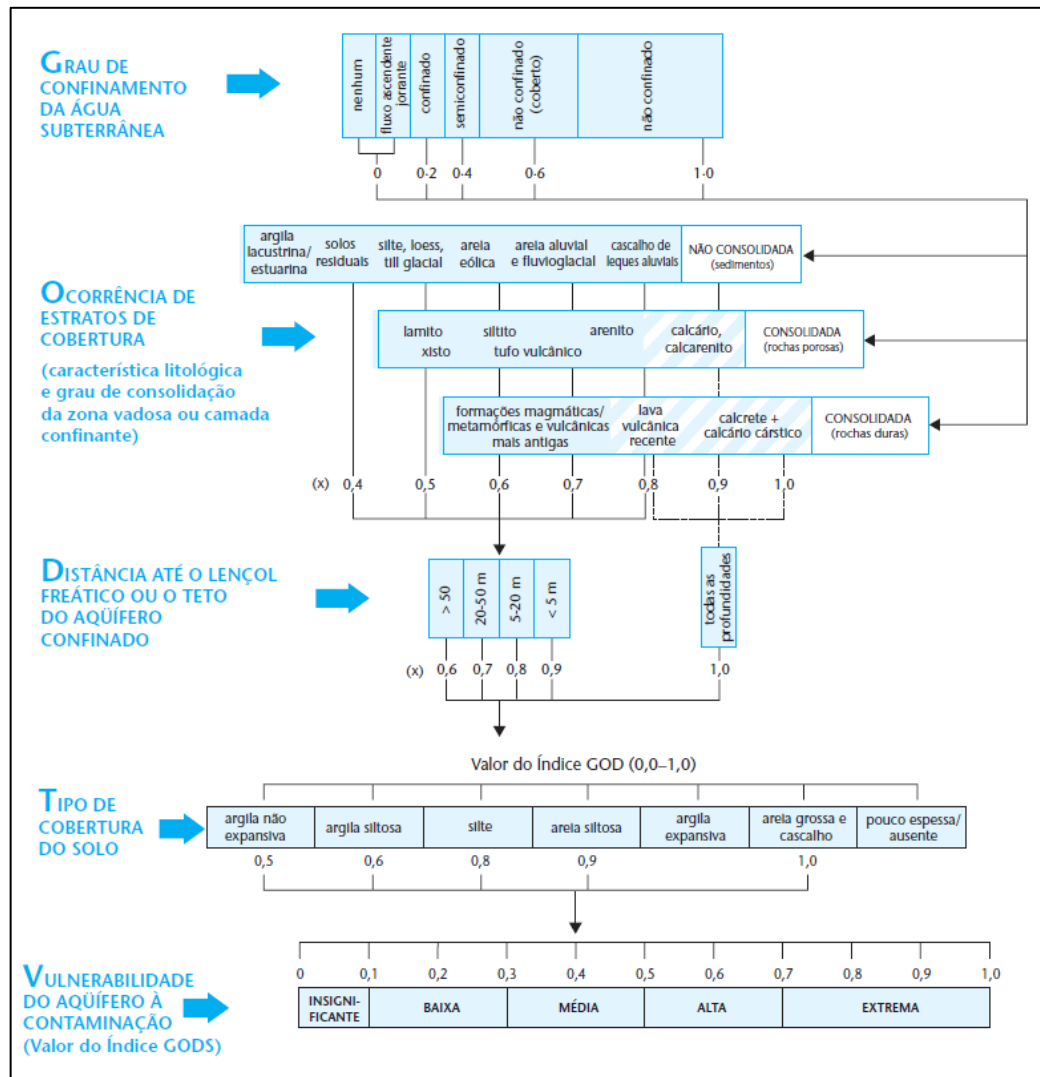
Esta é uma técnica de alta precisão, justamente por permitir definir frações granulométricas maiores do que 256 μm até 1/2048 μm . As maiores vulnerabilidades deste método são a possibilidade de perda de material e o risco de contaminação cruzada, uma vez que necessita de tantos passos e frascaria até a conclusão do procedimento. Para atenuar estes riscos, observou-se a necessidade de sempre utilizar materiais corretamente limpos e armazenados.

5.3.2.5 Método GODS

A avaliação de vulnerabilidade de aquífero foi realizada pelo método GODS. Conforme Foster et al. (2006), este método consiste em uma forma simples de calcular o índice de vulnerabilidade com parâmetros de fácil obtenção, considerando como fatores fundamentais o quão inacessível é a zona saturada de um aquífero e como os estratos de cobertura conseguem atenuá-la.

O método foi primeiramente proposto por Foster e Hirata (1988) sob nomenclatura de GOD, no qual a avaliação era baseada em três etapas: definição do grau de confinamento das águas do aquífero (G), caracterização dos estratos de cobertura de acordo com sua consolidação e litologia (O) e, posteriormente, avaliando ainda a profundidade de ocorrência das águas (D). Este último item considera a profundidade do lençol freático ou do topo da litologia reservatório de água. Estes três parâmetros recebem pesos que variam de 0-1, 0,4-1 e 0-1, respectivamente. Posteriormente, foi proposta uma modificação ao método pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Pontifícia Universidade do Chile, de forma a incluir um parâmetro relativo à influência da textura do solo (S), que varia de 0,5-1,0, passando a ser nomeado método GODS. Por fim, a multiplicação destes quatro pesos atribuídos permite correlacionar o índice de vulnerabilidade atribuído para o aquífero de acordo com as características avaliadas em cada local. A Figura 10 apresenta um resumo do comentado.

Figura 10. Fluxograma para aplicação do método G.O.D., discriminando as três classes de classificação utilizadas pelo método.



Fonte. Adaptado de FOSTER et al. (2006).

5.3.2.6 Mapa de Vulnerabilidade

Assim, tendo conhecimento sobre as características geológicas e hidrogeológicas locais, obtidas com o cadastramento de poços e estudo de seus perfis construtivos, além do conhecimento da geologia local refinado com a etapa de campo com coleta de solo para determinação granulométrica e composicional, pode-se ter todos os requisitos necessários para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade para o Aquífero Botucatu e para o Sistema Aquífero Serra Geral II para o município em estudo.

Os dados coletados foram processados com o software Quantum GIS. Para isto, cada informação foi disposta em um *layer* diferente, equivalente aos parâmetros G, O, D e S, cujo pesos atribuídos são apresentados no item 7.3.2.2, conforme aplicação dos pesos descritos no item 5.3.2.5. Estes *layeres* foram integrados com o uso da ferramenta “Calculadora *Raster*”, que desenvolve a multiplicação pixel-pixel de cada camada interpolada individualmente, permitindo a geração de um mapa com maior riqueza de detalhes e melhor resultado de interpolação.

O ponto crítico desta etapa consiste na quantidade de dados existentes e sua disposição em uma malha totalmente irregular. Isto porque o fornecimento das informações utilizadas está condicionada principalmente ao cadastramento em órgãos oficiais dos poços, uma vez que a etapa de campo corrobora, mas não embasa sozinha o desenvolvimento do trabalho.

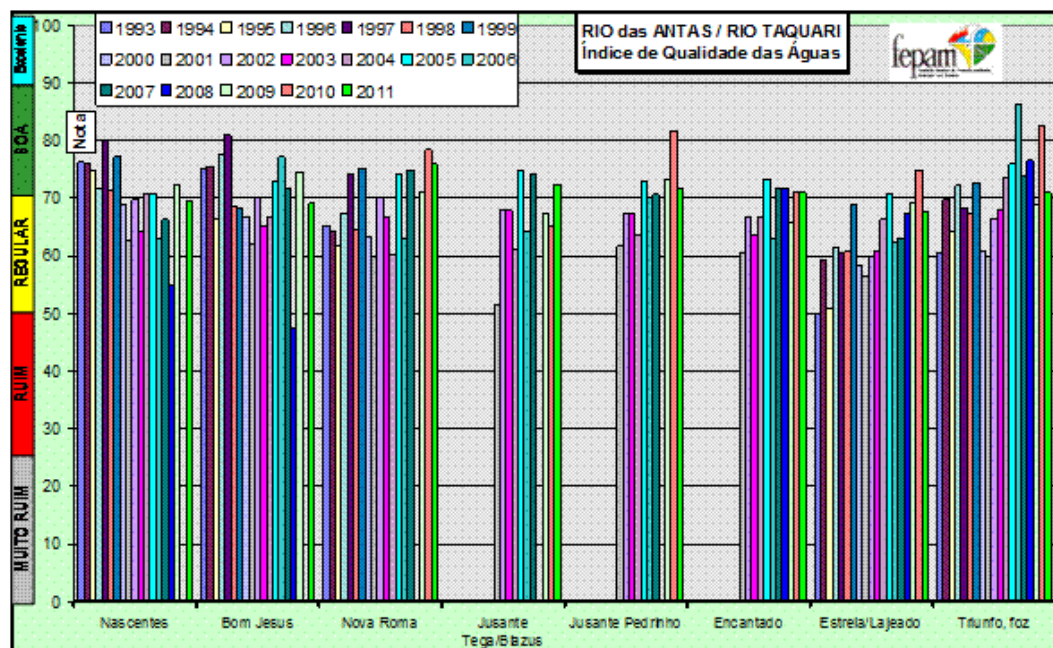
6 ESTADO DA ARTE

A seguir são apresentados estudos desenvolvidos de caracterização hidrológica e hidrogeoquímica de cunho regional (6.1 e 6.2) e local (6.3).

6.1 Contextualização Regional: Hidrologia do Rio Taquari-Antas

A FEPAM realiza o controle trimestral da qualidade dos rios Taquari e Antas desde 1993, o que permitiu a elaboração do diagnóstico chamado “Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do rio das Antas e rio Taquari”. Este analisou os dados coletados entre 1993 e 2011 para oito pontos ao longo dos rios supracitados, sendo um deles no rio Taquari, com ponto de coleta a jusante de Estrela e Lajeado (ponto TA 077), constituindo-se do local de coleta mais próximo da área de estudo. O gráfico abaixo foi retirado do trabalho supracitado, e apresenta a variação do índice de qualidade de águas (IQA) para os oito pontos analisados no estudo.

Figura 11. Classificação da qualidade de águas de acordo com o IQA para os oito pontos analisados pela FEPAM, destacando sua variação temporal de qualidade.



Fonte. FEPAM (s.d. c).

A partir da Figura 11, percebe-se que a porção do Rio Taquari entre Estrela e Lajeado apresenta-se historicamente como o ponto de menor qualidade dentre todos os analisados na bacia, sendo que a qualidade de suas águas variaram de regulares à boas, com a ampla maioria entre regular e boa. Denota-se ainda uma melhora na qualidade das águas entre o trecho de Estrela e Lajeado com o tempo, evoluindo, gradualmente, de regular para boa. O estudo em questão apresenta ainda os resultados de análises que permitiram o enquadramento das águas nas classes regidas pelo CONAMA nº 357. Para o trecho analisado entre Estrela e Lajeado, as águas chegam a atingir Classe 4, com destaque para os teores irregulares de oxigênio dissolvido, presença de coliformes e concentração de metais pesados, como níquel, cromo total, cobre e chumbo.

6.2 Contextualização Regional: Hidrogeoquímica de Municípios Vizinhos

A seguir são destacados artigos desenvolvidos para municípios vizinhos, em mesmo contexto geológico e hidrogeológico do da área de estudo.

Strohschoen et al. (2006) realizou um diagnóstico da situação das água subterrâneas para Lajeado. Este município encontra-se na margem direita do Rio Taquari, a menos de 500 metros do limite municipal de Estrela. Os autores identificaram que existem duas zonas de alta criticidade para os aquíferos freáticos: junto ao centro e no extremo oeste da cidade. É demonstrado ainda que os aquíferos profundos encontram-se em melhores condições, embora existam dois pontos de média a alta criticidade, sendo estes o centro urbano e a divisa com Arroio do Meio. Junto à margem do Rio Taquari, existe criticidade baixa a média-alta para aquíferos rasos e baixa a média para aquíferos profundos. Um mapeamento de potabilidade das águas de subsuperfície para o mesmo município foi publicado por Eckhardt et al (2009), que avaliou as características microbiológicas e físico-químicas de 78 poços tubulares e 22 poços escavados no município e classificou que 76,92% dos poços profundos e apenas 23,08% dos rasos estão dentro do limite de potabilidade.

Outra localidade do Vale do Taquari que teve a qualidade de suas águas subterrâneas avaliadas fora Imigrante, que se localiza a cerca de 5 quilômetros a nordeste do município objeto de estudo. De acordo com Zerwes et al (2015), seis de um total de dez poços analisados

para averiguação da qualidade das águas não atendem os parâmetros mínimos, apresentando fora de parâmetro “níveis de turbidez, colorimetria, sólidos totais, nitrato, Coliformes totais e *Escherichia coli*”. A dureza média das águas analisados foi de 121,13 mg/L de CaCO₃, consistindo em águas moderadamente “duras”. Dos dez poços analisados, as profundidades variaram de 120 metros (vazão de 3,5 m³/h) a 20 metros (15 m³/h), além de um poço captar águas rasas de barramentos. As inadequações com os padrões estabelecidos pelas normas podem ser explicadas pela agricultura e pecuária, somados à ausência de isolamento sanitário para os poços.

As águas subterrâneas do município de Santa Clara do Sul, que se encontra a aproximadamente oito quilômetros noroeste do limite de Estrela, foram estudadas por Paludo (2010). Estas apresentam pH neutros a levemente alcalinos, teores de fluoretos e de cloro residual livre (ausente) inferiores aos recomendados, tendo concentrações entre 0,1 e 0,2 mg/L para o primeiro parâmetro e nula para o segundo.

Outro município vizinho estudado é Roca Sales, situado a pouco mais de oito quilômetros ao norte de Estrela. Bagatini et al (2017) analisaram parâmetros físico e químicos de amostras coletadas em dez poços do município. O pH variou de 6,68 até 8,21, a condutividade elétrica entre 72,76 e 504,4 µs/cm, a dureza entre 78,47 e 292,38 mg/L de CaCO₃. Assim, a água é classificada pelo autores como “dura” e de acordo com padrões da legislação vigente.

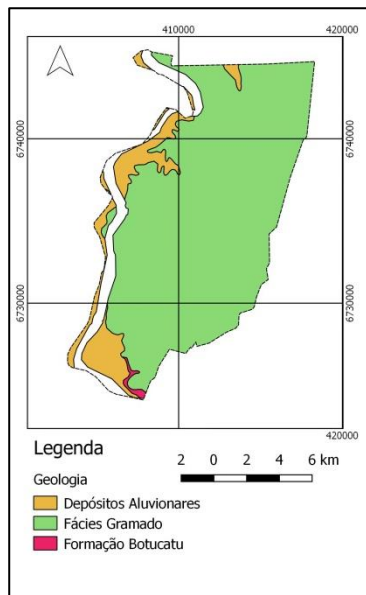
6.3 Contextualização Local: Município de Estrela

Uma breve contextualização geológica é fornecida a seguir. O município encontra-se nos domínios básicos da fácies Gramado da Província do Paraná (CPRM, 2008), com geomorfologia marcada pelo Planalto das Araucárias (CPRM, 2009) e pedologia marcada por nitossolo vermelho eutrófico (IBGE, 2002).

Conforme já discutido, o município encontra-se na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, e a hidrogeologia é marcada principalmente pelo Sistema Aquífero Serra Geral II, embora ao extremo sul do limite municipal aflore o Sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia (CPRM, 2005). As figuras a seguir foram elaboradas pela autora com base

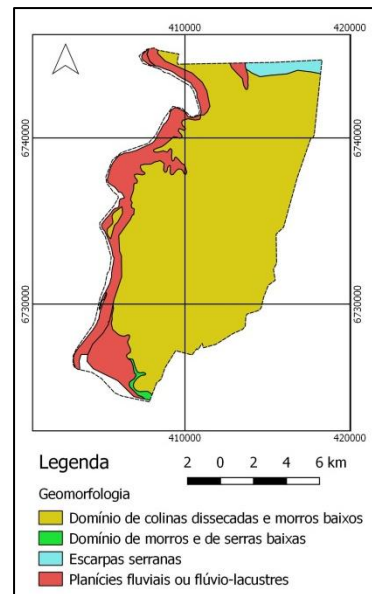
no banco de dados das fontes citadas e manipulação no software Quantum Gis, e ilustram o contexto de geodiversidade do município.

Figura 12. Contexto geológico para o município de Estrela, evidenciando domínio da Fácies Gramado.



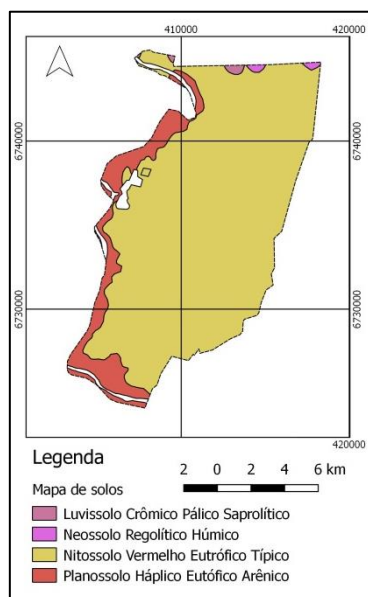
Fonte. Elaborado pela autora a partir de CPRM, 2008.

Figura 13. Contexto geomorfológico para o município de Estrela, evidenciando domínio de colinas dissecadas e morros baixos.



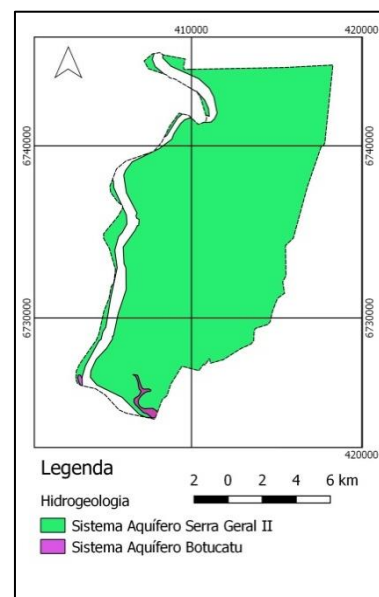
Fonte. Elaborado pela autora a partir de CPRM, 2009.

Figura 14. Contexto pedológico para o município de Estrela, evidenciando domínio de nitossolos e planossolos.



Fonte. Elaborado pela autora a partir de IBGE, 2002.

Figura 15. Contexto hidrogeológico para o município de Estrela, evidenciando domínio do Sistema Aquífero Serra Geral II.



Fonte. Elaborado pela autora a partir de CPRM, 2005.

Em 2006, Schmidt realizou um estudo sobre a qualidade das águas subterrâneas consumidas em dez poços de captação de água subterrânea da porção sudoeste do município de Estrela, região dominada pelas práticas agropecuárias. A autora classifica a geomorfologia local como dominada por coxilhas amplas e suaves, de topo aplainado e ruptura abrupta próximo aos limites com a planície de inundação do rio Taquari, havendo ainda preservação de morros testemunhos de diabásio da Serra Geral ou arenitos do Botucatu. A geologia é dominada por basaltos amigdaloidais preenchidos por calcedônia, quartzo, calcita e/ou outros, podendo haver afloramentos de arenitos interpretados pela autora como intertraps da Formação Botucatu na Formação Serra Geral. A camada de argissolos vermelhos tem espessura variável, podendo chegar a dezenas de metros. Em termos hidrogeológicos, o município realiza captação das águas tanto do Aquífero Botucatu quanto do Sistema Aquífero Serra Geral II.

A avaliação de vulnerabilidade e risco de poluição de águas de subsuperfície para a BHRTA foi publicada por Capalonga (2017). A autora realizou sua avaliação a partir da aplicação do método DRASTIC, que realiza a classificação com base em parâmetros de nível de água, solo, recarga, condutividade hidráulica, meio aquífero, influência de zona vadosa, solo e topografia. Como resultados, a autora defende que 4% da área BHRTA encontra-se em situação de alta vulnerabilidade, 82% em média e apenas 14% em baixa. Entre o mapeamento de risco de poluição, 4% da bacia está em risco elevado, 47% em risco médio e 9% como risco baixo. Capalonga destaca que 229 poços, dos mais de 1.333 poços atualmente em bombeamento na bacia, estão em funcionando em área de risco elevado. Situando a localidade de estudo com o mapa produzido por Capalonga, pode-se ter a informação que o município de Estrela encontra-se em área do mapa classificada como em situação de vulnerabilidade média para as águas subterrâneas. O município é ainda enquadrado como de moderado potencial de poluição por cargas difusas e de moderado risco de poluição de águas subterrâneas.

Schmidt (2006) realizou análise de dez (10) amostras em duas campanhas de coletas em Estrela, sendo cinco (05) amostras de poços escavados e particulares e outros cinco (05) de poços tubulares e comunitários. Entre os resultados, a autora alerta para o não enquadramento aos padrões de potabilidade no critério de coliformes totais em todos os poços particulares, sendo que a maioria destes também apresenta problemas com padrões de pH, turbidez e cor. Situação destoante é encontrada nos poços comunitários, que atendiam os critérios descritos acima, com exceção para uma análise de coliformes totais. Todos os dez poços analisados pela autora atendiam os padrões da Portaria 518 do Ministério Público

(BRASIL, 2004), vigente na época do estudo, para concentração de nitratos, cloretos e dureza. É extremamente importante apontar que um poço profundo (UTM 22J 407402 mE/ 6726643 mN), localizado na região de Figueira no município de estudo, apresentou teores de flúor de 5,52 mg/L na primeira campanha de coleta e de 5,37 mg/L na segunda, sendo, segundo a autora, passível de tamponamento. Schmidt explica que quadros como este foram identificados em Venâncio Aires, e que podem ser resultado das intrusões de diabásio nas rochas sedimentares.

7 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos para as três áreas de enfoque do estudo: hidrogeológica (7.1), hidroquímica (7.2), e qualidade de água (7.3).

7.1 Caracterização do Comportamento Hidrogeológico

Para entender o comportamento hidrogeológico, é preciso primeiramente entender a geologia local. Assim, o presente subcapítulo é organizado de forma a apresentar a geologia (7.1.1), as características dos poços construídos e em bombeamento (7.1.2), o sentido de movimento das águas de subsuperfície (7.1.3) e sua interpretação de interação com o Rio Taquari (7.1.4).

7.1.1 Caracterização Geológica

A caracterização geológica é compartimentada em geologia de superfície, com dados coletados em campo (7.1.1.1), geologia de subsuperfície, com dados disponíveis em perfis construtivos de poços cadastrados no banco de dados elaborado para o presente projeto (7.1.1.2) e na interpretação de imagens de relevo sombreado para determinação de lineamentos (7.1.1.3).

7.1.1.1 Dados de Campo

Durante a atividade de campo foram encontrados afloramentos das rochas basálticas da Formação Serra Geral, arenitos da Formação Botucatu e sedimentos inconsolidados quaternários. Os itens a seguir descrevem os afloramentos considerados como afloramentos tipo, descrevem as principais características identificadas e apresentam registros fotográficos da etapa de campo.

7.1.1.1.1 Formação Serra Geral

O basalto é a rocha dominante em todo o limite municipal, consistindo macroscopicamente em rocha afanítica de coloração cinza amarronzada, podendo ser maciça ou vesículo-amigdalár. Quando presentes, as amígdalas são preenchidas por calcita e zeolita, principalmente, sendo tipicamente arredondadas e milimétricas em feições de topo de derrame e com feições alongadas de dimensões de até quatro centímetros do tipo *pipe* quando em locais de base de derrame.

O afloramento em corte de estrada encontrado junto à coordenada UTM SIRGAS2000 408897mE/6734490mN, com quatro metros de altura e cerca de quarenta metros de continuidade lateral, apresenta uma clara transição entre derrames (Figura 16), marcada ainda pela presença de lentes de aproximadamente 20 cm de areia fina de cor alaranjada entre a superfície irregular do contato entre os derrames (Figura 17).

Figura 16. Interface entre derrames basálticos junto à coordenada SIRGAS2000 408897mE/6734490mN.



Fonte. Foto da etapa de campo.

Figura 17. Detalhe para a presença de lente de arenito na superfície irregular entre derrames no afloramento da Figura 16.



Fonte. Foto da etapa de campo.

7.1.1.1.2 Formação Botucatu

A formação Botucatu aflora na porção sul do município. O arenito é composto pela intercalação de camadas centimétricas de areias finas de coloração vermelho amarronzada com camadas de areias médias de coloração mais clara. A mineralogia da rocha é marcada pela presença de feldspatos, quartzo e argilas oriundas da decomposição de mineralogia detrítica. Esta diferença de coloração é explicada por oxidação diferencial, que marca com nitidez estratificações cruzadas de grande porte, típicas de sistemas deposicionais desérticos. A Figura 18 apresenta um afloramento de 3 metros de altura orientado W-E junto à coordenada SIRGAS2000 406904mE/6725094mN, com detalhamento da estratificação e oxidação diferencial na Figura 19.

Figura 18. Afloramento de arenito Botucatu com estratificação cruzada em corte artificial orientado W-E junto à coordenada SIRGAS2000 406904mE/6725094mN



Fonte. Foto da etapa de campo.

Figura 19. Detalhe para estratificação e oxidação diferencial do afloramento da Figura 18.



Fonte. Foto da etapa de campo.

7.1.1.1.3 *Intertrap dos arenitos da Formação Botucatu na Formação Serra Geral*

O arenito da Formação Botucatu aflora na porção sul do município como região de domínio (Figura 18), mas também sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral, o na forma de *intertraps*, como na Figura 17, Figura 20 e na Figura 21.

A ocorrência como *intertraps* só pode ser afirmada quando da observância do arenito sobreposto à rocha basáltica, indicando o avanço de dunas em períodos inter-derrames basálticos, conforme registrado claramente na Figura 21. O afloramento registrado na Figura 19 e detalhado na Figura 21 consiste em um corte artificial de continuidade lateral de aproximadamente 20 metros e altura de cerca de 10 metros, junto à coordenada UTM SIRGAS2000 409594mE/6733673mN.

Figura 20. Arenito com estratificação de grande porte sobreposto a basalto vesículo-amigdalal, junto à coordenada UTM SIRGAS2000 409594mE/6733673mN.



Fonte. Foto da etapa de campo.

Figura 21. Detalhe para *intertrap*, junto à coordenada UTM SIRGAS2000 409594mE/6733673mN.



Fonte. Foto da etapa de campo.

7.1.1.1.4 Quaternário

Sedimentos quaternários afloram no extremo sul, sudoeste e acompanham o limite do Rio Taquari, marcando as zonas de extravasamento do mesmo como baixos topográficos planos. Os sedimentos consistem principalmente na alteração do material basáltico trazido de montante. Macroscopicamente, consiste em material argilo arenoso de cor marrom, caracterizado por sua de alta plasticidade pela abundante presença de seixos e grânulos bem arredondados, de baixa esfericidade e composição lítica basáltica. A razão de matriz para grãos é de 80/20. A Figura 22 representa a característica plana do local de domínio desta litologia, enquanto que Figura 23 caracteriza o sedimento descrito.

Figura 22. Característica de relevo plano em local de domínio de sedimentos quaternários.



Fonte. Foto da etapa de campo.

Figura 23. Sedimento quaternário, junto à coordenada UTM SIRGAS2000 407380mE/6724599mN.



Fonte. Foto da etapa de campo.

7.1.1.2 Geologia de Subsuperfície

Primeiramente foram cadastrados 168 poços com dados hidrogeológicos. Após a filtragem de dados repetidos, este número foi refinado para 159 poços. Destes 159 poços cadastrados no banco de dados (ver APÊNDICES - C), 96 poços apresentam informações sobre seus perfis geológicos e permitem assim entender o empilhamento de estratos em subsuperfície. A partir das cotas informadas nos cadastros dos poços e daquelas coletadas em campo (ver itens destacados em cinza em APÊNDICES - C), correlacionando com as profundidades de cada limite litológico informado, pode-se entender as cotas e espessuras dos pacotes.

Superficialmente, os solos de absoluto domínio são solos argilosos a síltico argilosos de cor marrom a vermelho. Solos regolíticos e areno-argilosos marrom avermelhado também são relatados. Em média, a espessura média é de 8 metros, embora possa variar de espessuras de 0 até 49 metros, em cotas variando entre 147 até 20,98 metros.

Sotoposto ao pacote de solo, os basaltos da Formação Serra Geral estão contidos em cotas entre 121,50 e -6,80 metros. Os arenitos Botucatu entram-se tanto em forma de *intertrap* entre os derrames dos basaltos do Serra Geral, como sotopostos a estes. Os *intertrap* apresentam espessuras variando de 1,7 até 48,5 metros. Destaca-se que este *intertrap* com aproximadamente 50 metros de espessura foi descrito em perfil litológico disponibilizado pela CORSAN, com localização na coordenada UTM 22 J 407227/6737713, em um perfil de 48,5 metros de arenito bege médio a fino com grãos foscos sobreposto a 39,5 metros de basalto amigdalóide, identificado como 60A em APÊNDICES - C.

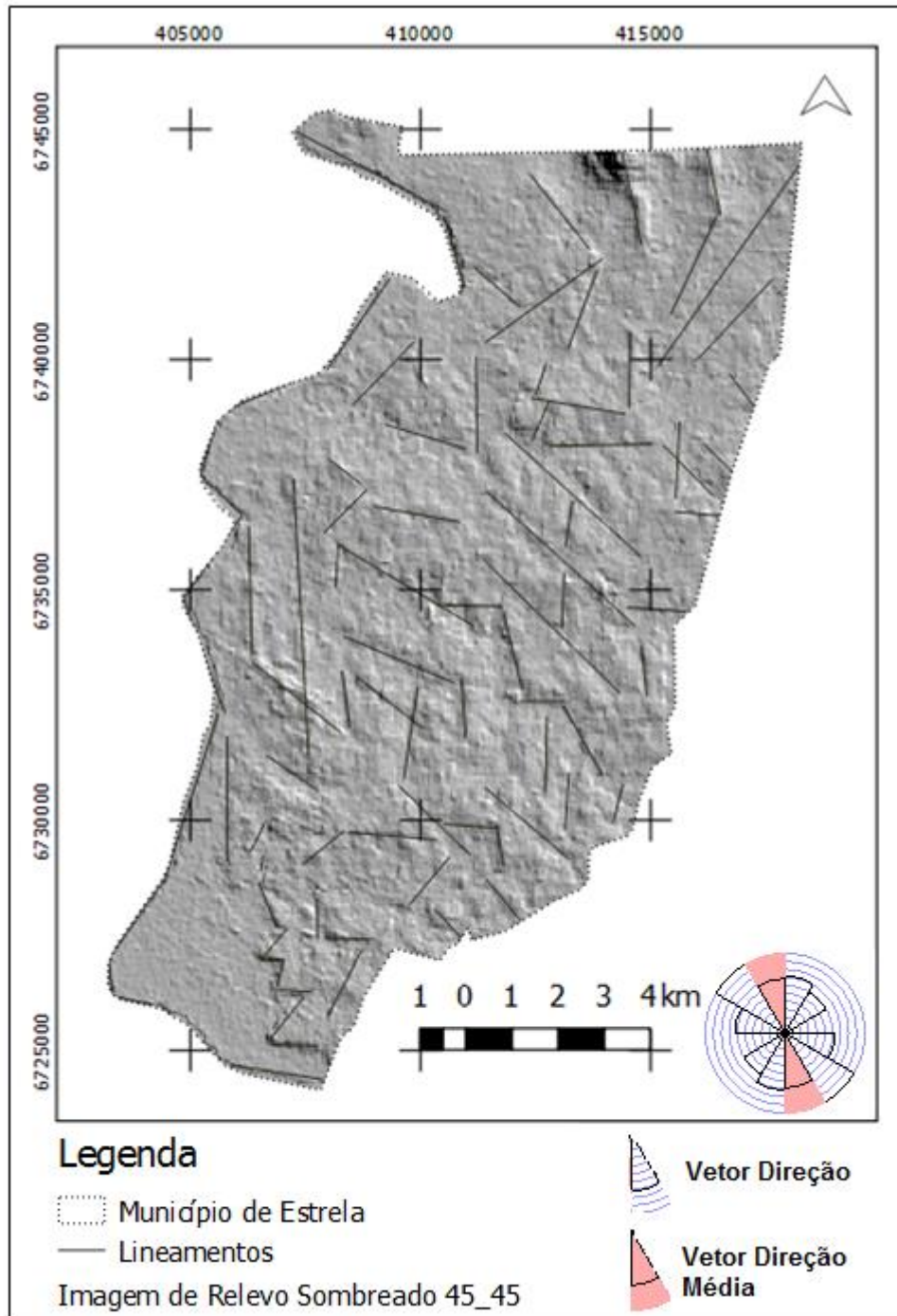
7.1.1.3 Mapa de Lineamentos

A partir da vetorização dos lineamentos, realizada com análise de modelo digital sombreado, pode-se traçar os principais lineamentos em escala 1:155.000 e calcular o diagrama de roseta para definição da direção dominante dos lineamentos (Figura 24). Como elementos geomorfológicos utilizados,

Considerando a quantidade de lineamentos traçados, e não ponderando a pesagem para o comprimento dos lineamentos traçados, observa-se que a dominância de lineamentos é orientada noroeste-sudeste. A direção média é marcada no diagrama de roseta pelo vetor de

coloração rosa avermelhada, indicando a orientação média de nor-noroeste-su-sudeste. Observa-se ainda um sistema de direção nor-nordeste onde se encaixa o Rio Taquari.

Figura 24. Traçado de lineamentos sobre imagens de relevo sombreado, com diagrama de roseta indicando direção predominante e média (vetor rosa avermelhado).

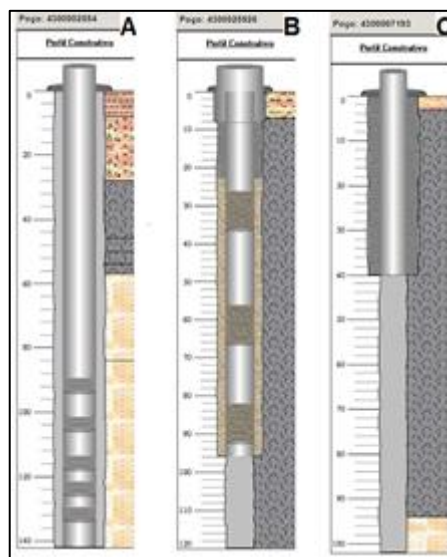






Fonte. Elaborado pela autora com imagens de relevo sombreado processada a partir de imagens do modelo digital de elevação obtidas no website EarthExplorer.

7.1.2 Perfis Construtivos, Geológicos e Ensaios de Bombeamento dos Poços

Conforme mencionado no item 7.1.1.2, dos 159 poços cadastrados no banco de dados elaborados para o presente projeto, apenas 96 (60,38%) apresentam informações sobre seus perfis geológicos que possibilitam o enquadramento nos sistemas aquíferos captados. Destes 96 poços, 17 (10,69%) captam água do Sistema Aquífero Serra Geral II e 34 (21,38%) captam dos arenitos do Aquífero Botucatu. Existem 45 poços (28,30%) classificados como de captação mista, consistindo naqueles poços instalados diretamente na rocha, interceptando litologias de diferentes aquíferos e que não apresentam revestimento como seção filtrante e tubo liso. Estes poços acabam por concentrar em um mesmo poço águas oriundas do SASGII e do AB, por exemplo. A figura abaixo apresenta exemplos de perfis construtivo e geológico para os sistemas captados acima discutidos: Aquífero Botucatu (A), Sistema Aquífero Serra Geral II (B) e Misto (C).

Figura 25. Perfis construtivos e geológicos de poços captando no Aquífero Botucatu (A), Sistema Aquífero Serra Geral II (B) e Misto (C).



	Argila vermelha clara		Selo Sanitário
	Rochas intemperizadas e decompostas		Seção filtrante
	Basalto cinza a vermelho		Tubo liso
	Arenito médio		Perfuração diretamente na rocha, sem revestimento

Fonte. Adaptado de dados disponibilizados pelo SIAGAS/CPRM.

Em termos de teste de bombeamento para a caracterização hidrogeológica, os cadastros apresentam informações sobre vazão, transmissividade e capacidade específica. A tabela abaixo resume estas características para cada aquífero estudado, contemplando o número de variáveis cadastradas no banco de dados para cada parâmetro.

Tabela 1. Estatísticas de dados de bombeamento.

Estatísticas	Aquífero Botucatu			Sistema Aquífero Serra Geral II		
	Vazão (m ³ /h)	Transmissividade (m ² /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Vazão (m ³ /h)	Transmissividade (m ² /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)
Média	29,29	0,24	1,63	22,21	0,75	0,96
Máximo	60,00	1,36	5,03	75,00	1,27	4,40
Mínimo	2,00	0,00	0,17	2,16	0,49	0,03
Desvio Padrão	17,26	0,55	1,32	24,02	0,45	1,32
Nº Variáveis Informadas	34	6	21	17	3	10
Nº Poços Cadastrados		37			17	
Estatísticas	Mistura entre Aquíferos			Sist. Aq. Captado Não Informado		
	Vazão (m ³ /h)	Transmissividade (m ² /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Vazão (m ³ /h)	Transmissividade (m ² /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)
Média	15,91	-	0,93	12,72	-	3,02
Máximo	55,29	-	5,31	62,13	-	14,00
Mínimo	0,88	-	0,02	0,40	-	0,01
Desvio Padrão	15,86	-	1,27	13,33	-	4,09
Nº Variáveis Informadas	37	-	26	60	-	24
Nº Poços Cadastrados		45			63	

Fonte. Elaborado pela autora com dados de SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

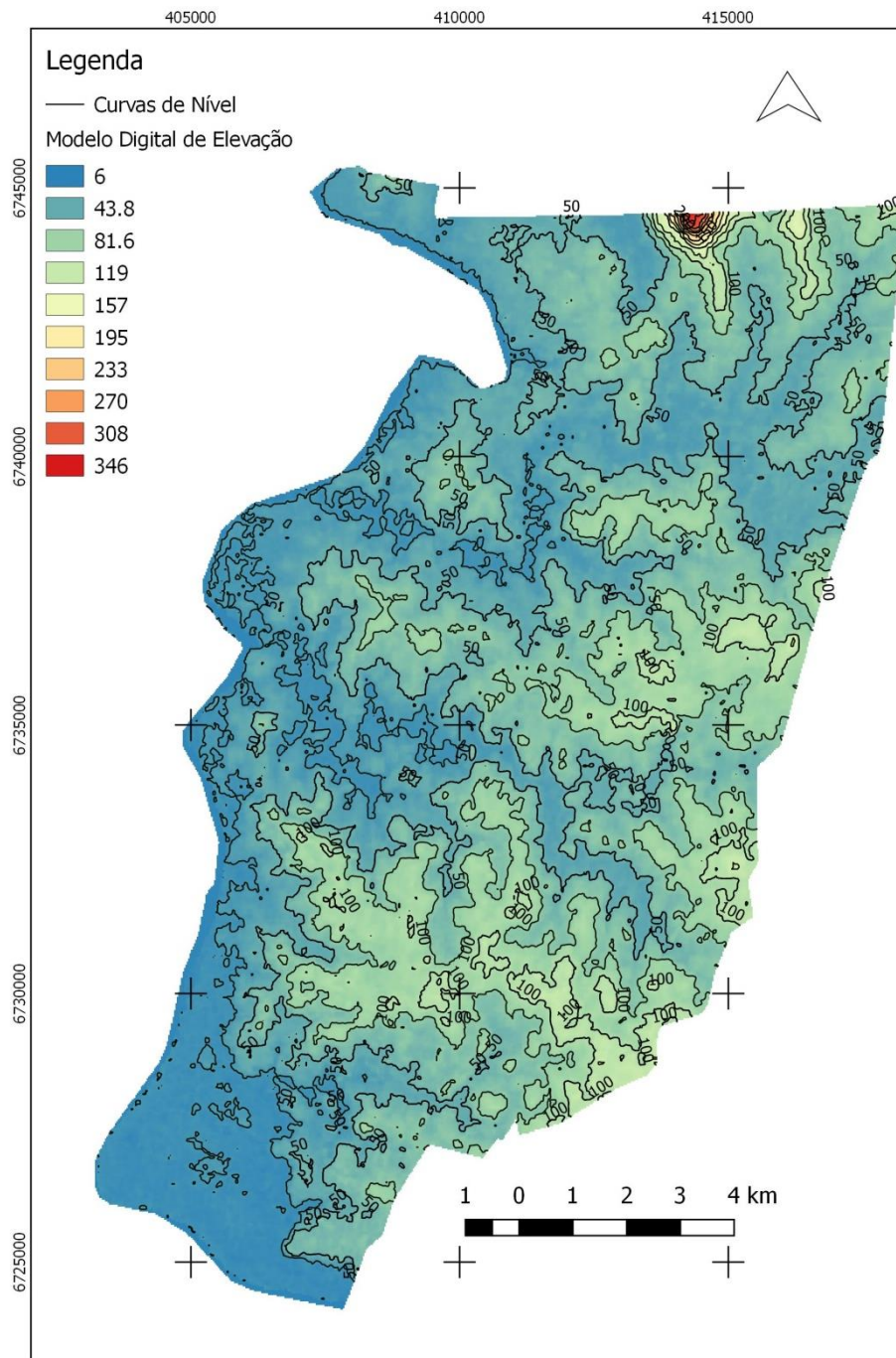
7.1.3 *Discussão de Fluxo Subterrâneo*

A discussão de fluxo subterrâneo é embasada nas cotas calculadas para os níveis estáticos informados nos cadastros construtivos, reforçada dos 19 pontos de GNSS apurados em campo e dos cinco níveis estáticos possíveis de serem medidos com medidor de nível elétrico (ver itens destacados em cinza em APÊNDICES - C). A Figura 26 apresenta o mapa da superfície topográfica, elaborado para correlação da influência topográfica no sentido de fluxo a partir da imagem SRTM. Além deste, foram gerados o mapa potenciométrico para o Aquífero Botucatu e o mapa potenciométrico virtual do o Sistema Aquífero Serra Geral II, apresentado na Figura 27 e na Figura 28, respectivamente.

Salienta-se que a nomenclatura de potencimetria virtual para o SASG II é inspirado no trabalho de Athayde (2013, p. 42) que adota a potencimetria “virtual” como “uma aproximação virtual da superfície equipotencial do SASG” aplicada para aquíferos fraturados onde a porosidade primária é ausente. Nos mapas potenciométricos, as superfícies potenciométricas e superfícies potenciométricas “virtuais” são apresentadas em cota, ou seja, em metros sobre o nível do mar.

A partir do mapa abaixo (Figura 26), pode-se observar que as maiores cotas encontram-se a norte, junto a morros remanescentes. O restante do território é marcado por coxilhas que causam a elevação até cotas moderadas. As drenagens são marcadas por cotas inferiores, encontrando-se tipicamente encaixadas em lineamentos, e conformando a área de domínio de sedimentos quaternários que, além de apresentar as menores cotas registradas, também consiste na região mais plana do município.

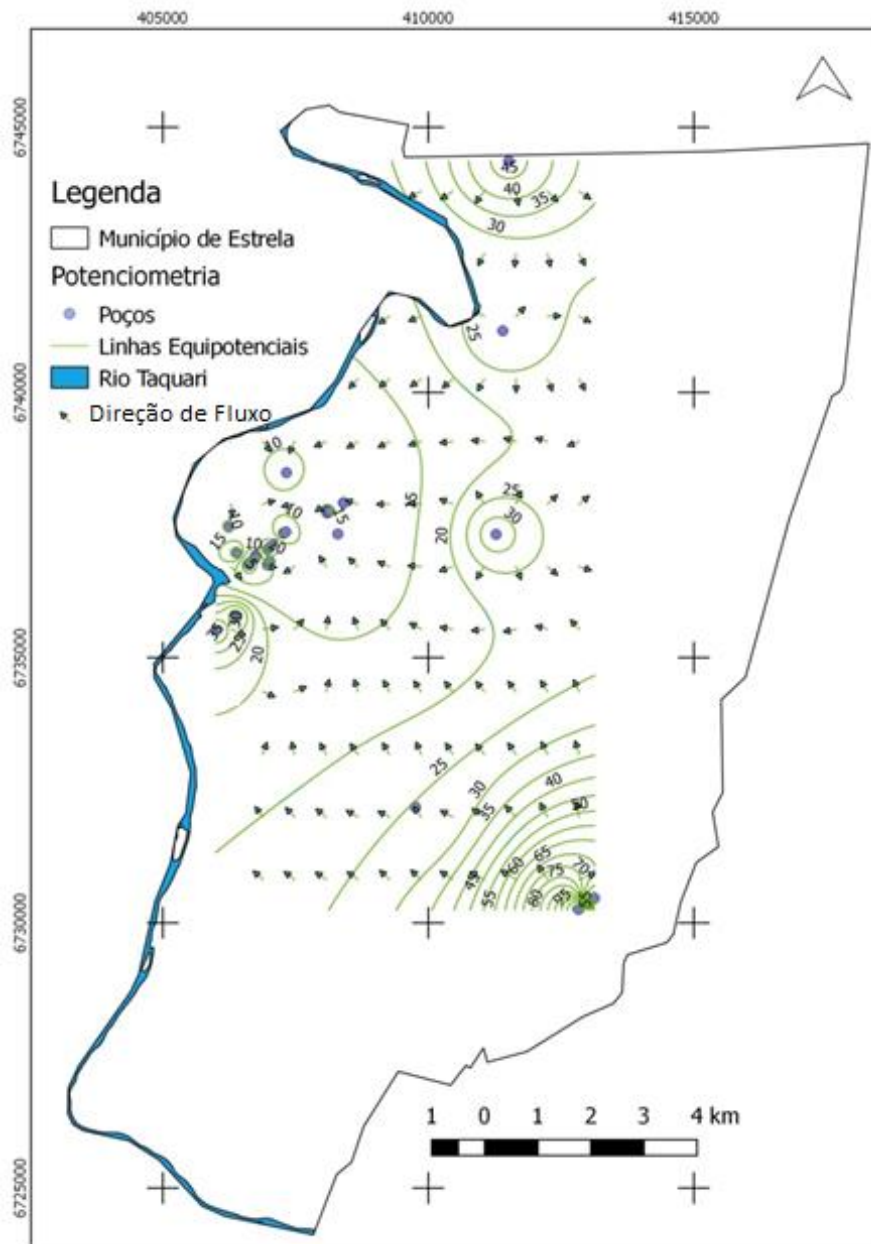
Figura 26. Superfície topográfica para o município de Estrela, com curvas de nível espaçadas em 50 metros.



Fonte. Elaborado pela autora com processamento de dados de imagem SRTM obtidos no EarthExplorer.

A partir da Figura 27 pode-se observar que no Aquífero Botucatu existe uma tendência de as águas se moverem para oeste, condizendo com a topografia que apresenta leve inclinação para oeste, drenando para o Rio Taquari. Como as cotas de nível estático em geral permanecem superiores as cotas do rio, não há indicativo de recarga do aquífero pelo rio.

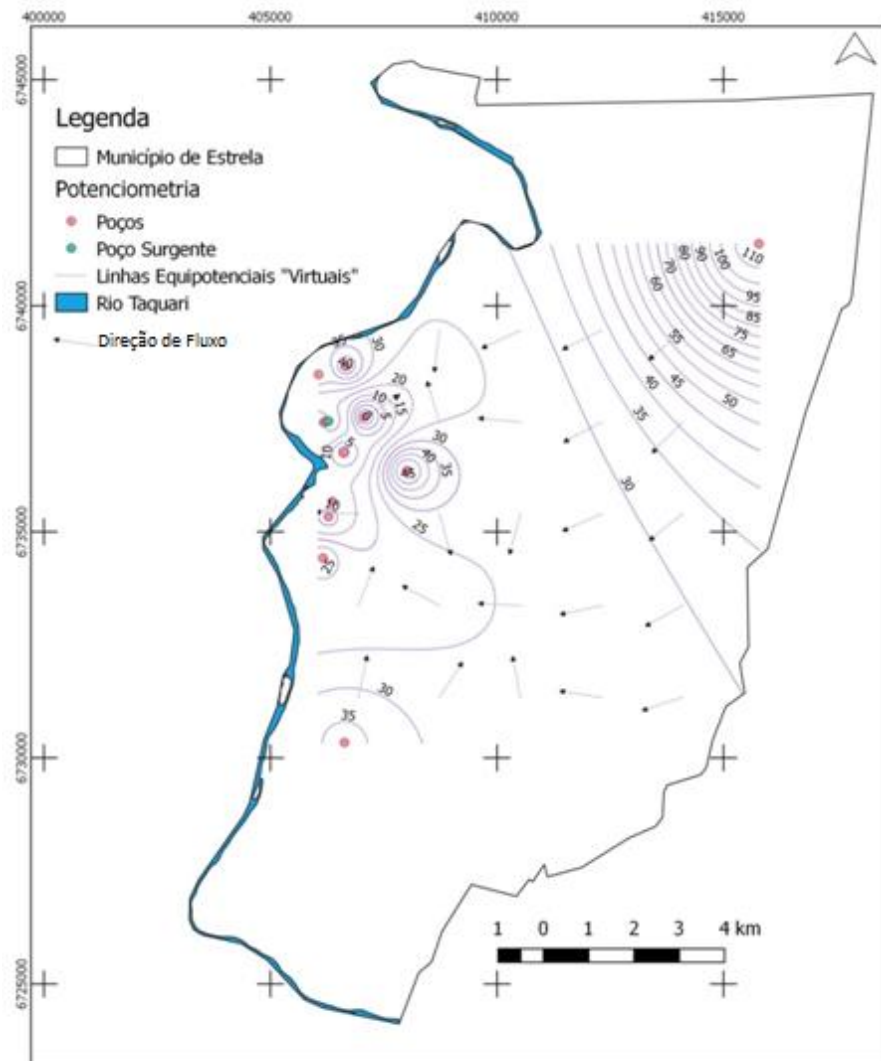
Figura 27. Mapa potenciométrico para Aquífero Botucatu, considerando níveis estáticos dos poços sinalizados.



Fonte. Elaborado pela autora com dados de campo, SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

A Figura 28 apresenta o mesmo sentido de fluxo turbulento para oeste no SASGII, entretanto, a correlação com a superfície topográfica é mais evidente devido ao fluxo mais diretamente direcionado para oeste. A existência de um poço jorrante pode ser explicado por fraturas capazes que trazer águas mais profundas ou mesmo águas oriundas de recargas distantes, com topografia elevada.

Figura 28. Mapa potenciométrico virtual para Sistema Aquífero Serra Geral II, salientando poços cujos níveis estáticos foram utilizados.



Fonte. Elaborado pela autora com dados de campo, SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

7.1.4 Avaliação de Influência Rio-Aquífero

Para entender a possível relação entre o fluxo de subsuperfície e a água superficial do Rio Taquari é necessário entender a cota média do Rio Taquari no trecho estudado e entender se o bombeamento pode influenciar o fluxo nos aquíferos estudados.

Para a determinação do nível médio do Rio Taquari, utilizou-se os dados disponibilizados pela SMAD RS, coletadas junto à estação de código 20 e fornecidos pela NETSENSES/UNIVATES. A estação de controle do nível do rio fica localizada junto na latitude de $-29^{\circ}30'0.90''$ e longitude de $-51^{\circ}58'11.41''$. Para o cálculo do nível médio foram

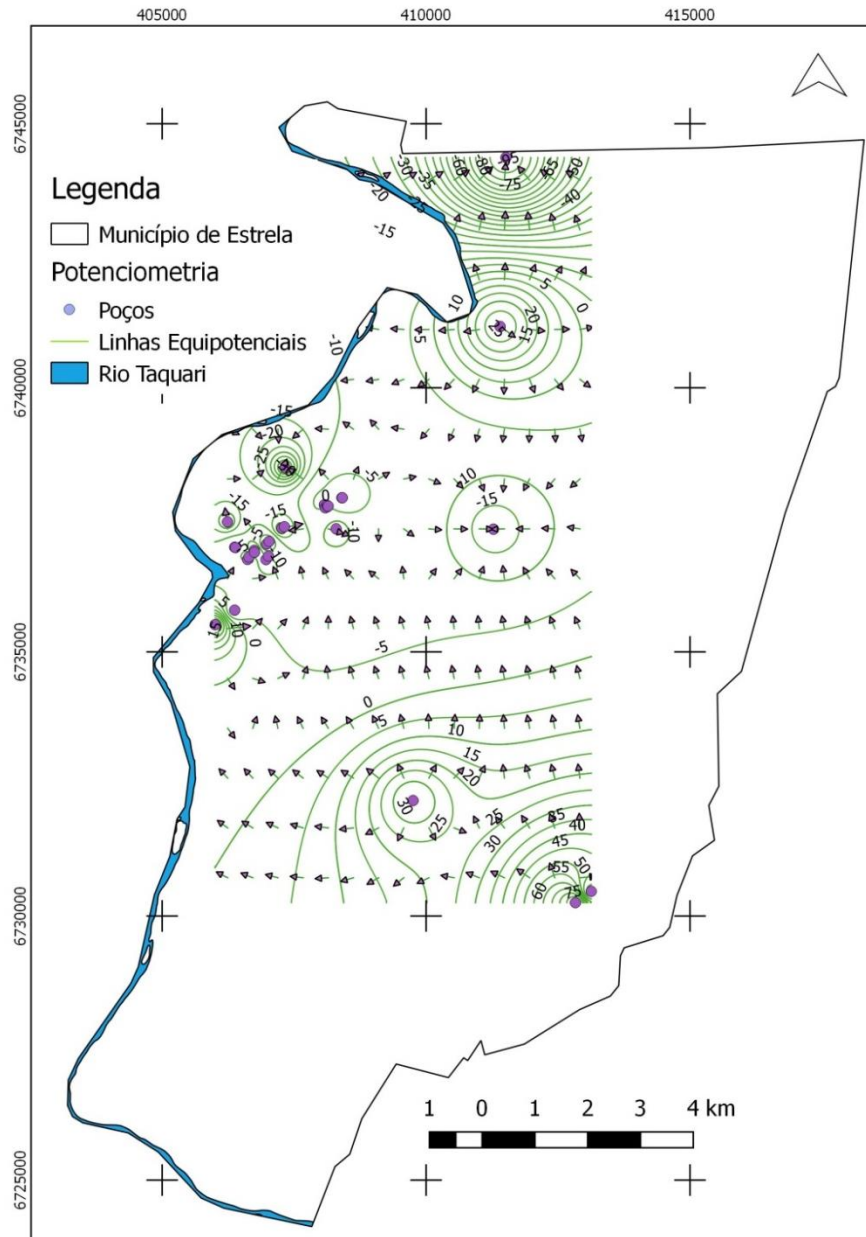
utilizados dados históricos disponibilizados no website da SMAD referentes ao período de 13/03/2014 até 13/03/2017. Realizando a média, tem-se um nível de 12,97 metros.

Para entender a influência do bombeamento, optou-se pela geração de mapas potenciométricos para os dados de nível dinâmico. Assim, comparando os mapas de potenciométrica de nível estático apresentados no subitem acima com os mapas de potenciométrica de nível dinâmico apresentados abaixo pode-se entender possíveis variações.

Comparando a Figura 27 com a Figura 29, pode-se perceber que o sentido geral permanece para oeste, embora junto ao núcleo urbano as cotas de nível dinâmico sejam rebaixadas para até -30 metros em relação ao nível do mar. Outra mudança significativa se dá na porção norte, que tem uma inversão de fluxo de sul-oeste para norte-oeste.

Entretanto, um indicativo de não influência das águas fluviais nas águas de subsuperfície se deve ao fato de as águas do AB serem confinadas, conforme análise das cotas do nível estático serem sobrepostas em relação às cotas de topo do arenito, realizadas para a confecção dos itens 7.1 e 7.3.2.2. Desta forma, mesmo com os níveis dinâmicos muito baixos, não deve haver recarga no AB a partir de águas do rio.

Figura 29. Mapa potenciométrico para Aquífero Botucatu, considerando níveis dinâmicos dos poços sinalizados.

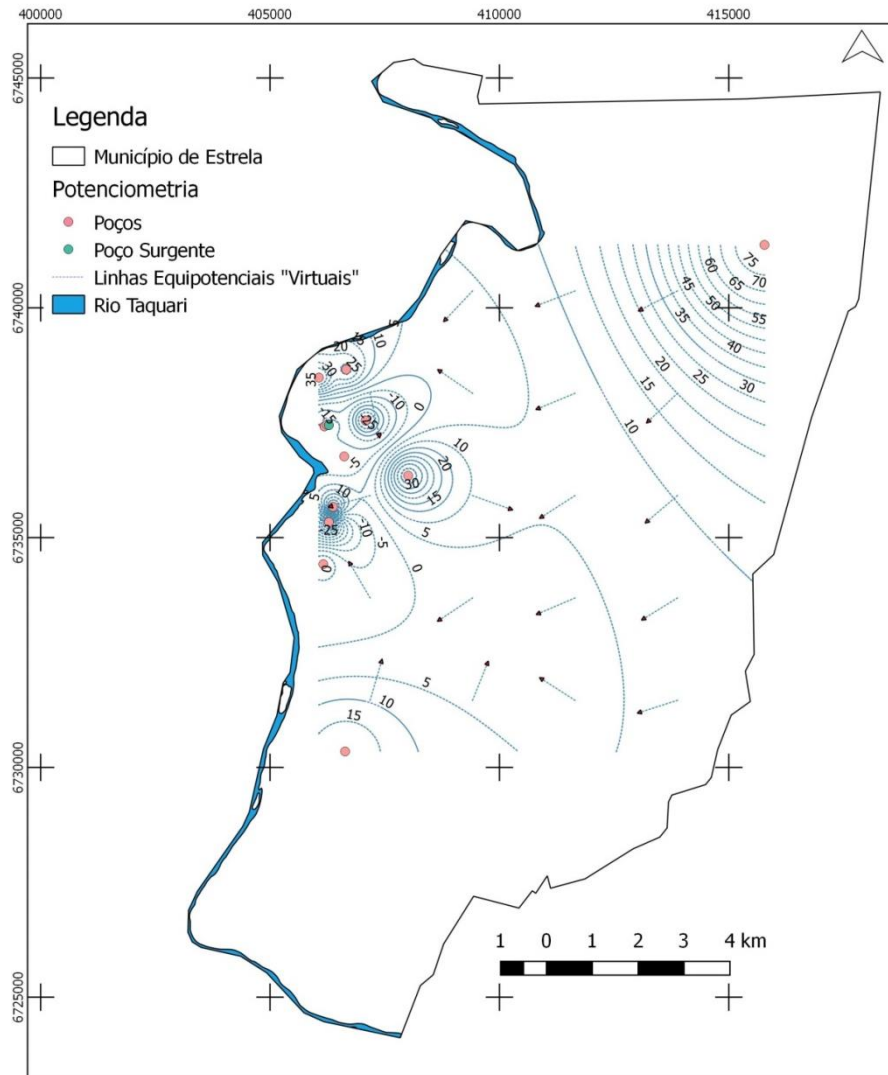


Fonte. Elaborado pela autora com dados de campo, SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Em relação ao sentido de fluxo geral das águas confinadas do aquífero fraturado dos basaltos da Formação Serra Geral, comparando a Figura 28 com a Figura 30 pode-se observar a permanência no sentido de fluxo para oeste.

A interpretação de contribuição do aquífero no rio também é sustentada pela presença de poço com artesianismo jorrante de águas captadas no SASGII.

Figura 30. Mapa potenciométrico virtual para Sistema Aquífero Serra Geral II, salientando poços cujos níveis dinâmicos foram utilizados.



Fonte. Elaborado pela autora com dados de campo, SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

7.2 Caracterização Hidroquímica

A partir da compilação das informações de análises físico-químicas disponibilizadas pelas fontes de dados secundários, pode-se organizar o banco de dados primários com 191 poços. Feito isto, buscou-se identificar valores anômalos ou boletins repetidos pelas diferentes fontes consultadas. Assim, pode-se gerar o banco de dados consolidado com 187 análises (ver APENDICES - D e E). Como os laudos de análise físico-química das águas foram realizados em diferentes datas, por diferentes empresas e para diferentes finalidades, existe uma grande variabilidade nos parâmetros analisados em cada amostra.

7.2.1 Parâmetros Físico-Químicos Característicos

A partir do banco de dados geral elaborado, foi possível realizar a correlação dos principais componentes das águas de Estrela, identificando as principais características das águas explotadas de cada sistema aquífero.

A Tabela 2 apresenta um resumo sobre as principais estatísticas (média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo, mínimo e número de dados) de cada aquífero captado. Para as estatísticas tabeladas foram filtrados *outliers*. Amostras com resultados cadastrados como não detectado ou com concentrações abaixo do limite de detecção do aparelho não foram inseridas nas estatísticas ou nas representações de frequência gráfica por não serem valores específicos. Entretanto, valores cadastrados como zero nos laudos consultados foram mantidos.

A Figura 31 até a Figura 45 apresentam a distribuição gráfica dos elementos químicos em intervalos de classes, tomando o cuidado de identificar as águas de cada aquífero captado: Aquífero Botucatu (AB), Sistema Aquífero Serra Geral II (SASGII), Mistura entre Aquíferos (MA) e Sistema Aquífero Captado não identificado (SACNI).

Tabela 2. Estatística para parâmetros físico-químicos de acordo com aquífero captado.

Parâmetro	Estatísticas	Aquífero Botucatu	Sistema		
			Aquífero Serra Geral II	Mistura entre Aquíferos	Sistema Aquífero Captado Não Informado
Conductividade Elétrica (µS/cm)	Média	260,31	260,67	229,00	232,49
	Mediana	232,10	235,50	205,00	207,30
	Desvio Padrão	96,42	76,80	91,64	119,04
	Coef. Variação	0,37	0,29	0,40	0,51
	Máximo	453,00	435,00	546,00	554,00
	Mínimo	102,50	177,70	76,00	41,00
	Nº Dados	57	16	34	53
Temperatura (°C)	Média	21,00	20,71	20,68	21,43
	Mediana	21,00	21,00	20,50	21,00
	Desvio Padrão	1,37	2,21	1,12	1,23
	Coef. Variação	0,07	0,11	0,05	0,06
	Máximo	25,00	24,00	24,00	24,00
	Mínimo	18,00	15,00	19,00	18,50
	Nº Dados	27	12	17	49

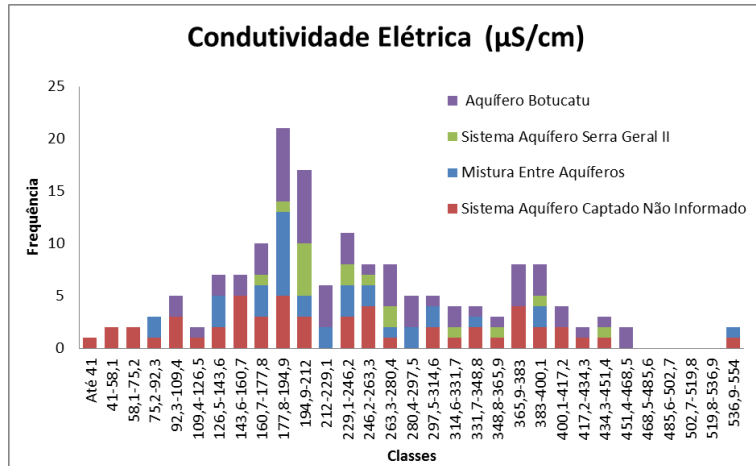
pH	Média	7,25	7,19	7,22	7,24
	Mediana	7,01	7,10	7,00	7,20
	Desvio Padrão	0,70	0,42	0,68	0,79
	Coef. Variação	0,70	0,06	0,09	0,11
	Máximo	9,90	8,30	9,90	9,70
	Mínimo	6,34	6,70	6,50	5,70
	Nº Dados	58	17	38	54
Bicarbonato (mg/L)	Média	135,70	111,01	105,80	200,80
	Mediana	120,75	103,07	103,67	188,87
	Desvio Padrão	50,99	18,08	26,84	80,47
	Coef. Variação	0,38	0,16	0,25	0,40
	Máximo	325,59	155,01	170,63	346,84
	Mínimo	61,41	96,37	29,51	82,94
	Nº Dados	51	8	29	6
Cálcio (mg/L)	Média	25,78	15,45	20,79	20,23
	Mediana	21,80	19,20	20,30	17,70
	Desvio Padrão	9,69	7,08	6,93	15,83
	Coef. Variação	0,38	0,46	0,33	0,78
	Máximo	51,47	21,80	32,00	43,00
	Mínimo	8,50	0,01	3,60	2,00
	Nº Dados	54	11	30	6
Cloro (mg/L)	Média	9,27	7,30	9,47	8,80
	Mediana	7,00	6,20	6,50	5,20
	Desvio Padrão	7,58	4,47	9,34	8,57
	Coef. Variação	0,82	0,61	0,99	0,97
	Máximo	36,00	20,59	43,00	28,40
	Mínimo	2,00	2,75	2,00	2,00
	Nº Dados	58	12	31	7
Magnésio (mg/L)	Média	8,81	8,13	8,26	6,30
	Mediana	8,00	8,53	8,00	3,91
	Desvio Padrão	5,42	2,83	2,81	6,30
	Coef. Variação	0,62	0,35	0,34	1,00
	Máximo	24,00	13,50	14,00	18,00
	Mínimo	0,10	3,56	3,40	0,00
	Nº Dados	57	10	28	6

Sódio (mg/L)	Média	29,95	8,49	11,49	46,77
	Mediana	9,00	8,90	8,00	33,80
	Desvio Padrão	51,59	3,37	13,79	34,53
	Coef. Variação	1,72	0,40	1,20	0,74
	Máximo	251,20	16,43	75,00	93,00
	Mínimo	2,00	4,20	3,25	13,00
	Nº Dados	32	9	24	6
Sulfato (mg/L)	Média	6,26	5,05	5,10	11,48
	Mediana	3,70	4,42	4,52	13,38
	Desvio Padrão	7,75	5,35	3,68	7,74
	Coef. Variação	1,24	1,06	0,72	0,67
	Máximo	28,50	20,00	14,60	21,90
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	2,40
	Nº Dados	45	10	20	5
Carbonato (mg/L)	Média	0,13	0,05	0,38	16,63
	Mediana	0,06	0,04	0,07	0,90
	Desvio Padrão	0,17	0,02	1,39	24,50
	Coef. Variação	1,36	0,54	3,68	1,47
	Máximo	0,71	0,08	7,71	64,20
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,03
	Nº Dados	48	8	29	6
Ferro Total (mg/L)	Média	0,36	0,04	0,08	-
	Mediana	0,10	0,00	0,02	-
	Desvio Padrão	1,10	0,08	0,10	-
	Coef. Variação	3,01	2,00	1,16	-
	Máximo	5,60	0,20	0,30	-
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	-
	Nº Dados	24	5	20	-
Fluoreto (mg/L)	Média	0,22	0,16	0,13	0,52
	Mediana	0,15	0,17	0,10	0,60
	Desvio Padrão	0,22	0,12	0,15	0,28
	Coef. Variação	0,99	0,81	1,19	0,54
	Máximo	0,90	0,30	0,70	0,80
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nº Dados	40	8	22	5

Nitratos (mg/L)	Média	3,30	2,24	2,39	-
	Mediana	3,10	2,57	2,59	-
	Desvio Padrão	2,60	0,93	1,67	-
	Coef. Variação	0,79	0,42	0,70	-
	Máximo	10,54	3,07	5,66	-
	Mínimo	0,17	0,57	0,00	-
	Nº Dados	34	8	20	-
Potássio (mg/L)	Média	1,66	1,20	1,31	1,07
	Mediana	1,50	1,15	1,20	0,70
	Desvio Padrão	0,97	0,50	0,99	1,05
	Coef. Variação	0,58	0,42	0,75	0,98
	Máximo	5,66	2,39	4,30	3,10
	Mínimo	0,20	0,70	0,00	0,20
	Nº Dados	34	8	21	5
Manganês (mg/L)	Média	0,06	1,26	0,05	0,16
	Mediana	0,03	0,03	0,03	0,03
	Desvio Padrão	0,07	2,50	0,07	0,27
	Coef. Variação	1,20	1,98	1,48	1,72
	Máximo	0,35	6,25	0,29	0,70
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nº Dados	30	5	20	5

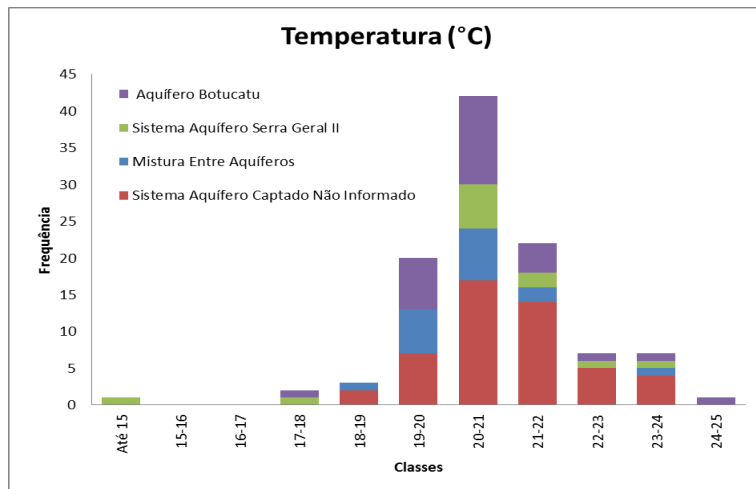
Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 31. Frequência de distribuição de condutividade elétrica (µS/cm).



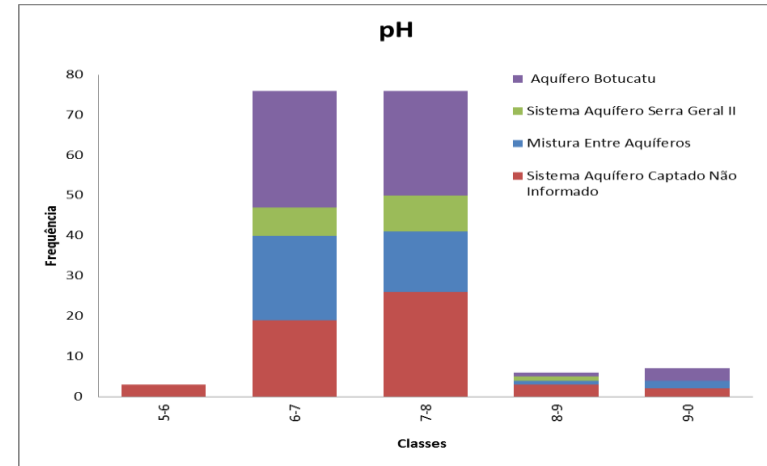
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 32. Frequência de distribuição de temperatura °C.



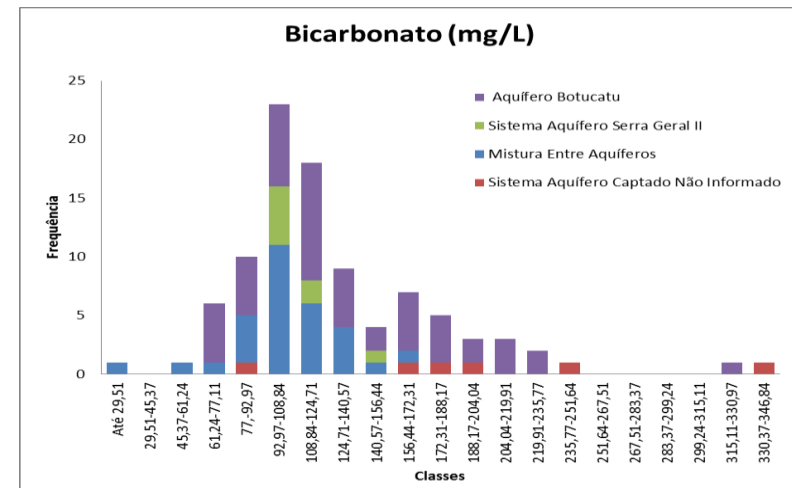
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 33. Frequência de distribuição de pH.



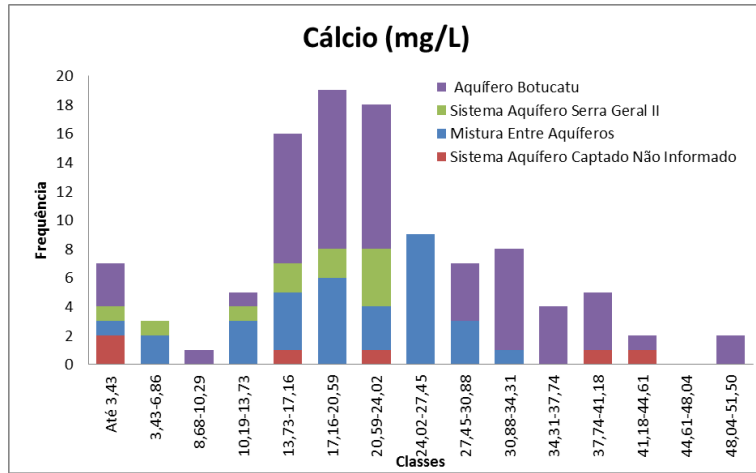
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 34. Frequência de distribuição de bicarbonato (mg/L).



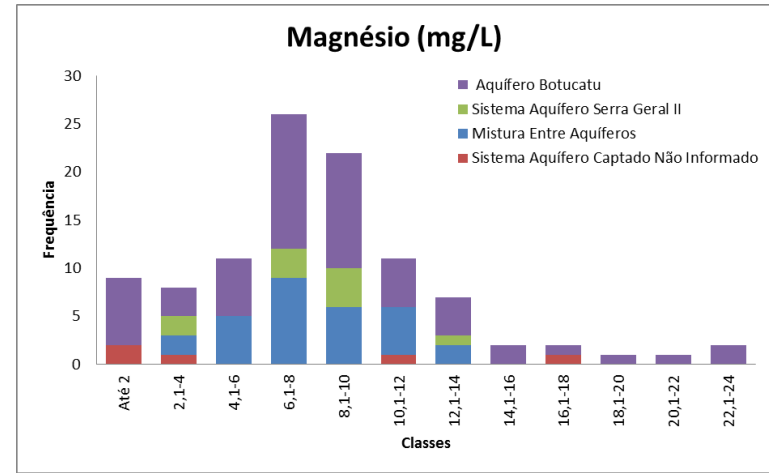
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 35. Frequência de distribuição de cálcio (mg/L).



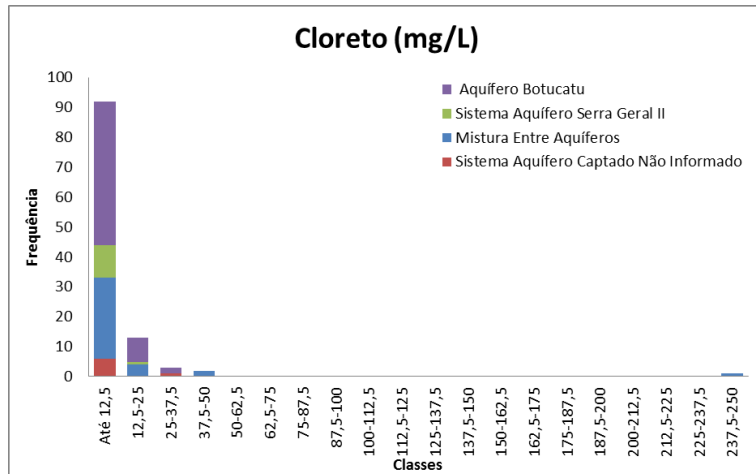
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 37. Frequência de distribuição de magnésio (mg/L).



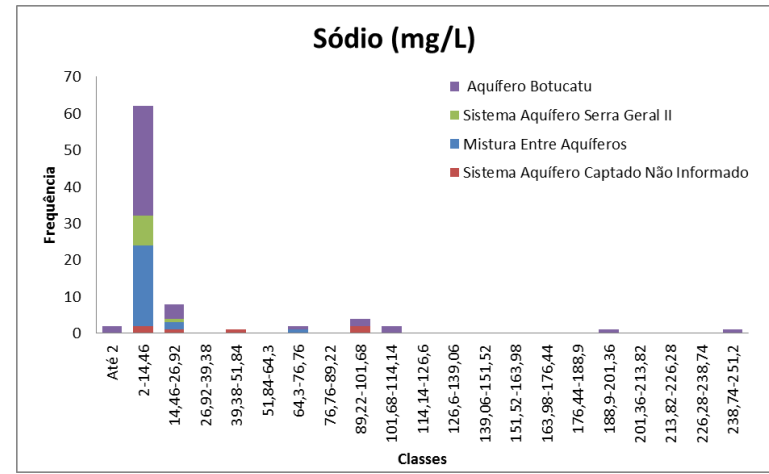
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 36. Frequência de distribuição de cloreto (mg/L).



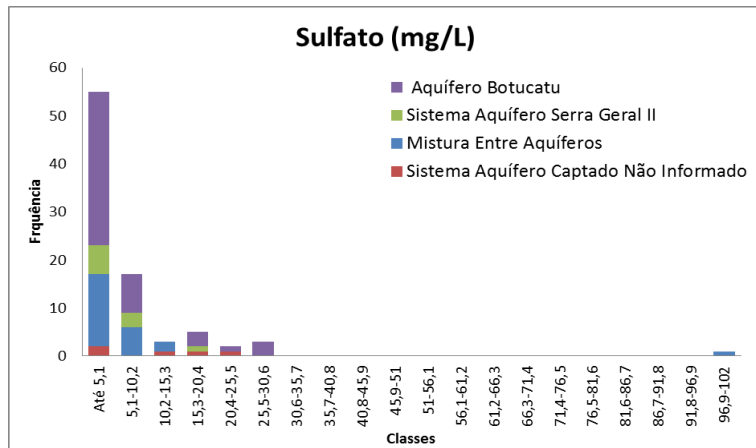
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 38. Frequência de distribuição de sódio (mg/L).



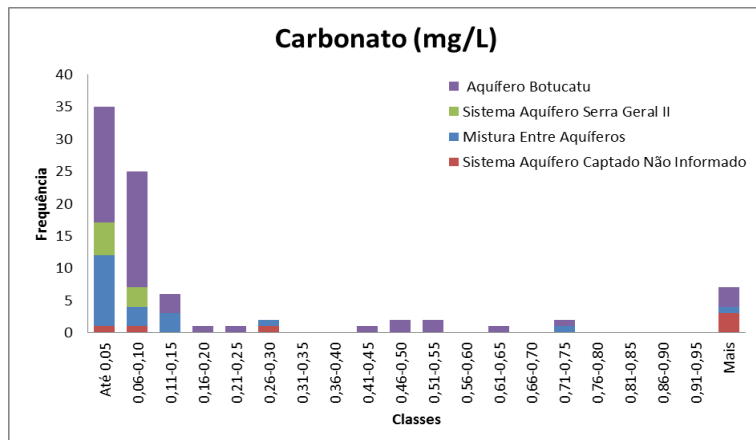
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 39. Frequência de distribuição de sulfato (mg/L).



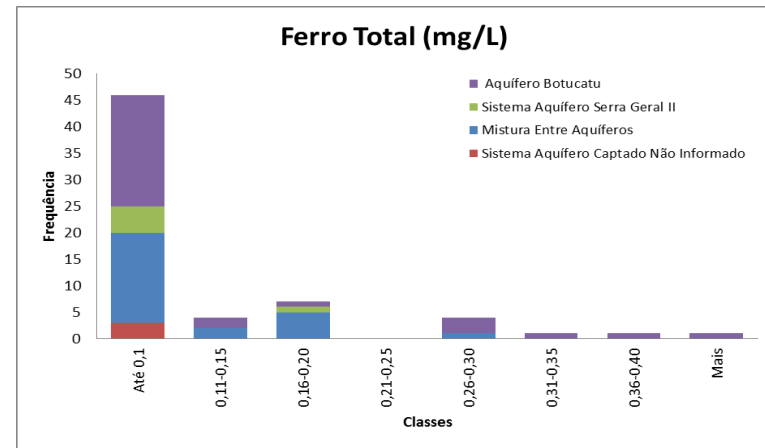
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 40. Frequência de distribuição de carbonato (mg/L), sendo o máximo 85,11 mg/L no Aquifero Botucatu.



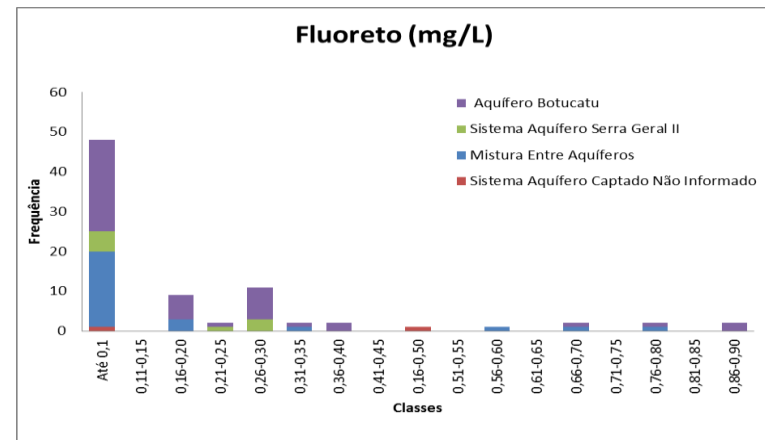
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 41. Frequência de distribuição de ferro total (mg/L), sendo o máximo 5,60 mg/L no Aquifero Botucatu.



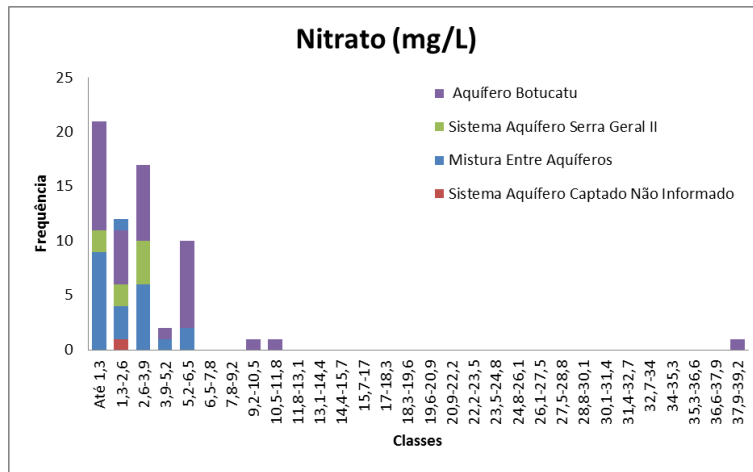
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 42. Frequência de distribuição de fluoreto (mg/L).



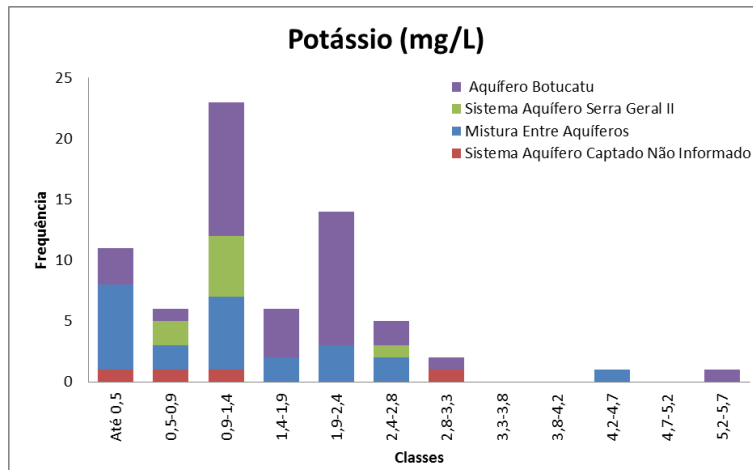
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 43. Frequência de distribuição de nitrato (mg/L).



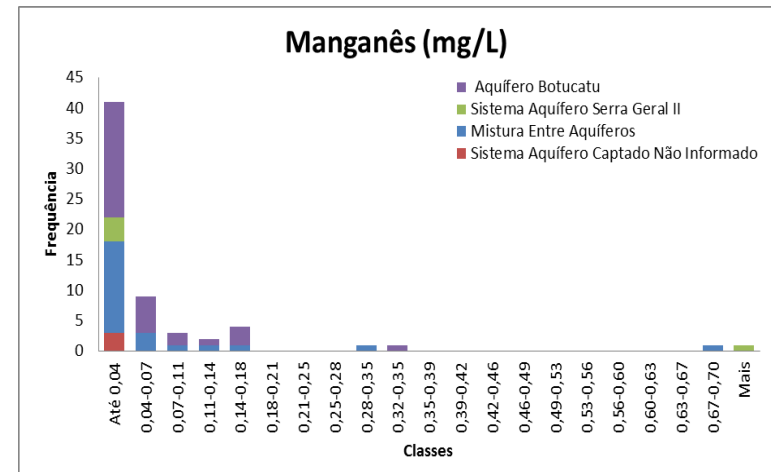
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 44. Frequência de distribuição de potássio (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Figura 45. Frequência de distribuição de manganês (mg/L), sendo o máximo 6,254 mg/L no Sistema Aquífero Serra Geral II.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH/SEMA.

Conforme observado na Tabela 2 e na Figura 31, as condutividades elétricas medidas nas quatro categorias de aquíferos são similares. Os valores médios são de 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para AB e SASGII e de 229 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para MA e 232 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para SACNI, sendo a maior condutividade elétrica registrada no SACNI de 554 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a menor no MA de 76 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em geral, a distribuição de classes das águas do AB e do SASGII tem o mesmo padrão, ambos com duas famílias distintas, em torno de 200 e 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os dados do SACNI e MA são distribuídos por todas as classes e não são passíveis de nenhuma identificação de famílias distintas.

Para temperatura, não foram observadas variações significantes entre os aquíferos. Todas as médias ficaram entre 20 e 21°C. A máxima temperatura foi registrada no AB com 25°C e a mínima no SASGII com 15°C. Com a Figura 32 fica clara que a distribuição pra todos os aquíferos captados é simétrica.

As médias de pH são neutras para as quatro captações. O pH máximo observado foi de 9,90 no AB e MA e o menor valor observado é 5,70 para SACNI. A Figura 33 evidencia a predominância de pH neutros, mas destaca valores básicos para AB, MA e SACNI.

As maiores médias de bicarbonato foram observadas no SACNI (200,80 mg/L), seguido por AB (135,70 mg/L), SASGII (111 mg/L) e 105,8 (mg/L). A maior concentração registrada foi de 346,84 mg/L para o SACNI e a mínima é 29,51 mg/L para MA. A Figura 34 apresenta uma distribuição assimétrica positiva, refletindo a presença de valores extremos para AB e SACNI.

O cálcio médio do AB é de 25,78 mg/L, 20,79 mg/L para MA e 20,23 mg/L para SACNI, sendo a menor média identificada no SASGII, de 15,45 mg/L. A máxima concentração é de 54,47 mg/L para o AB. Com a Figura 35 fica claro que distribuição do cálcio no SASGII é assimétrica positiva concentrando-se em duas modas com valores inferiores a 10 mg/L e em torno de 20 mg/L. Já as águas do AB são bem distribuídas apresentando concentrações inferiores a 5 mg/L até superiores a 55 mg/L. As águas mistas apresentam uma assimetria negativa, com famílias características inferiores a 5 mg/L, em torno de 20 mg/L e de 30 mg/L.

A maior média de cloreto calculada foi de 9,47 mg/L para MA, seguida por 9,27 mg/L para AB, 8,80 mg/L para SACNI e 7,30 mg/L para SASGII. A maior concentração lida é de 43 mg/L no MA e a menor é de 2,00 para AB, MA e SACNI. Esta alta concentração é encontrada no poço cadastrado como 78A (APÊNDICES – C), que apresenta mistura de águas oriundas do SASGII e de argilitos provavelmente da Formação Rio do Rastro, que poderia explicar a maior concentração de cloreto. A Figura 36 evidencia uma distribuição assimétrica positiva, com concentrações dominantes inferiores a 25 mg/L.

As concentrações médias de magnésio para AB, SASG II e MA são na casa de 8 mg/L, sendo inferior no SACNI com 6,30 mg/L. A máxima concentração catalogada é de 24 mg/L para AB. A Figura 37 mostra a distribuição assimétrica positiva para o AB, com distribuição ao longo de todas as classes, variando de inferiores a 2 até 24 mg/L. As águas do SASGII concentram seus teores entre os intervalos de 2,1 e 14 mg/L.

O sódio apresenta variabilidade. As maiores concentrações médias são do SACNI (46,77 mg/L), seguidas pelo AB (29,95 mg/L), MA (11,49 mg/L) e SASG II (8,49 mg/L). A

máxima concentração registrada é de 251,20 para o AB e a mínima é de 2,00 também no mesmo aquífero. A Figura 38 mostra que a grande maioria das amostras apresentam concentrações de entre 2 e 14,46 mg/L. Uma segunda família de águas captadas no AB e SACNI mostram concentrações em torno de 100 mg/L e extremos superiores a 190 mg/L também captados no AB.

As concentrações médias de sulfato para AB, SASGII E MA são entre 5,05 e 6,26 mg/L, sendo a média do SACNI de 1,48 mg/L. O máximo valor cadastrado é de 25,50 mg/L (AB). Com a Figura 39 fica evidente a existência a dominância de concentrações até 5,1 mg/L para todos os grupos estudados.

As concentrações médias de carbonato são de 0,05 mg/L para SASG II, 0,38 mg/L para MA, 0,13 mg/L para AB e de 16,63 mg/L para SACNI. O valor máximo identificado é de 64,20 mg/L no SACNI. A Figura 40 evidencia três famílias para as águas de AB (até 0,25 mg/L, 0,40-0,55 mg/L e superiores a 0,95 mg/L). As concentrações de carbonato no SASGII são inferiores a 0,1 mg/L e configuram apenas uma família.

O ferro total médio do AB é de 0,36 mg/L, da MA é de 0,08 mg/L e do SASGII e de 0,04 mg/L. O SACNI não apresentava dados suficientes para as estatísticas. O máximo registro é de 5,60 mg/L no AB. Com a Figura 41 observam-se duas famílias para o AB, uma marcada por concentrações de até 0,1 mg/L e outra em torno de entre 0,26-0,40 mg/L. As concentrações das águas do SASGII concentram-se nas classes de até 0,2 mg/L em apenas uma família.

Para fluoretos, as maiores médias são encontradas no SACNI (0,52 mg/L), seguido por AB (0,22 mg/L), SASGII (0,16 mg/L) e MA (0,13 mg/L). O valor máximo cadastrado é de 0,90 mg/L (AB). Com a Figura 42 fica evidente uma dominância de concentrações inferiores a 0,1 mg/L para AB, SASGII e MA. As demais concentrações são extremamente variáveis para todas as classificações de captação.

Para nitratos (NO_3), as médias foram de 3,30 mg/L para AB, 2,39 mg/L para MA e 2,24 mg/L SASGII. Os dados de SACNI não teve resolução suficiente para calcular estatísticas. A maior concentração é de 10,54 mg/L para AB. A Figura 43 mostra a distribuição das concentrações, mostrando uma família de águas captadas no AB até 6,5 mg/L e extremos e outliers superiores, que podem ser fontes de contaminação ou problemas analíticos. As concentrações de SASGII se concentram em uma família até 3,9 mg/L. As águas classificadas como mistura apresentam distribuição regular inferiores a 6,5 mg/L.

As maiores concentrações médias de potássio estão associadas ao AB (1,66 mg/L), seguido por MA (1,31 mg/L), então por SASGII (1,26 mg/L) e SACNI (,07 mg/L). O maior

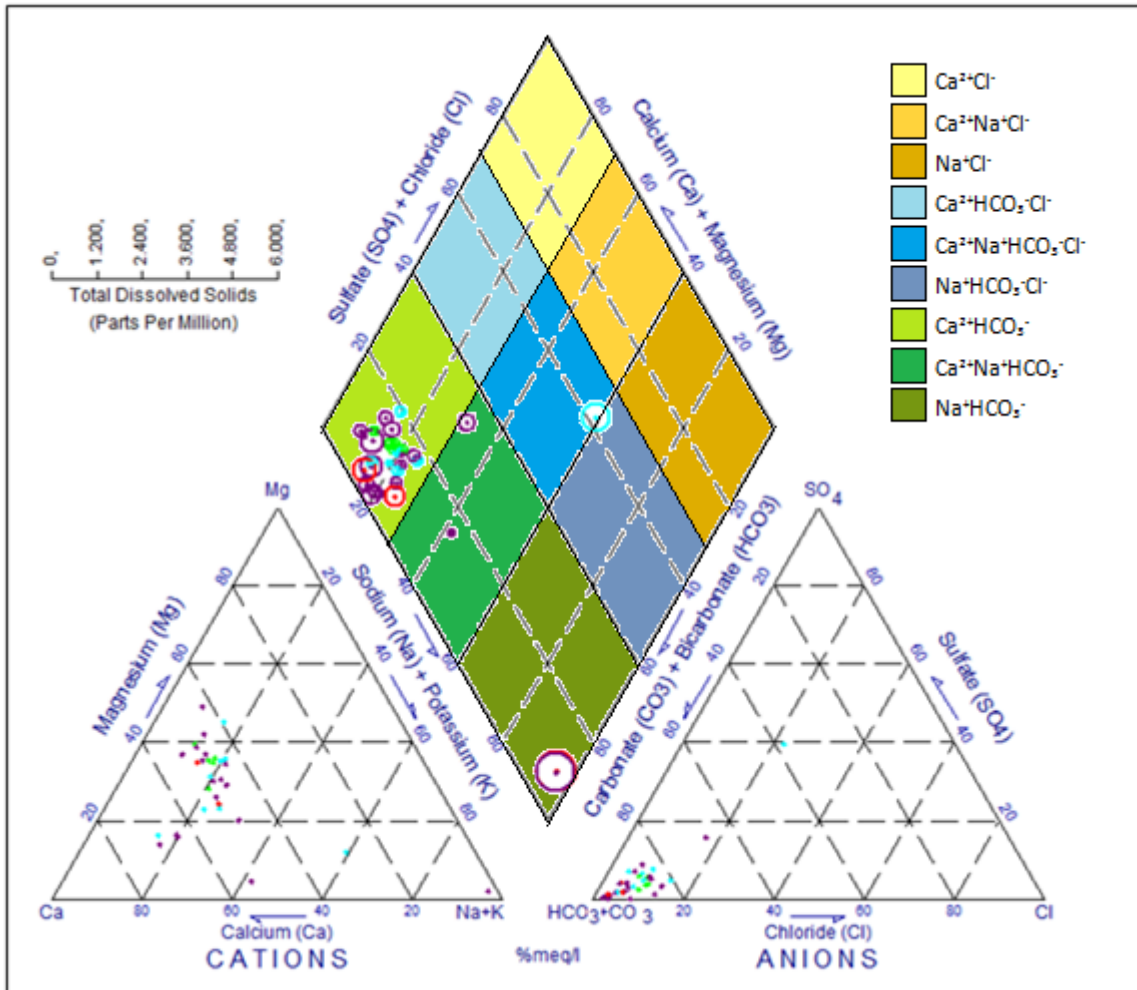
registro é de 5,66 mg/L junto ao AB. A Figura 44 mostra o uma família do AB com leituras entre 0,5 e 2,5 mg/L e um extremo de 5,66 mg/L que provavelmente está associado a uma segunda família. As águas de MA acompanham a distribuição do AB e SASGII, embora um valor extremo seja na casa de 4,30 mg/L.

As maiores concentrações médias de manganês são encontradas junto ao SASGII (1,26 mg/L), seguido pelo SACNI (0,16), AB (0,06 mg/L) e MA (0,05 mg/L). A maior leitura é registrada para o SASGII (6,25 mg/L). Com a Figura 45 observa-se uma distribuição muito irregular das águas do SASGII, com concentrações até 0,03 mg/L e superiores a 0,1 mg/L. As águas do AB e MA apresentam uma distribuição irregular, havendo amostras distribuídas em classes de 0,01 até superiores a 0,1 mg/L.

7.2.2 *Diagrama de Piper*

Para a elaboração do diagrama de *Piper*, apenas 46 amostras do banco de dados apresentam parâmetros para todos os itens necessários: sódio, potássico, cálcio, magnésio, cloreto, carbonato, bicarbonato e sulfato. Assim, das 46 amostras com todos os parâmetros analisados, 41 (89,13%) indicam águas bicarbonatadas cálcicas, 02 (4,34%) são águas bicarbonatadas mistas (cálcio e sódio), 02 (4,34%) são águas bicarbonatadas sódicas e 01 (2,17%) é do tipo $\text{Ca}^{2+}\text{Na}^+\text{HCO}_3^-\text{Cl}^-$ (Figura 46), que pode representar a influência de aquíferos mais profundos com águas de maior confinamento. A classificação foi feita comparando os resultados obtidos no programa *Rock Works 2002* com a classificação apresentada em Deutsch (1997).

Figura 46. Plotagem dos dados químicos no diagrama de Piper, com dados do AB em lilás, SASGII em verde, MA em azul e SACNI em vermelho.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA com plotagem no software Rock Works 2002 e adaptação conforme classes de Deutsch (1997).

7.2.3 Avaliação de Variabilidade Espacial

O presente subcapítulo aborda a variação espacial das águas consumidas no município, tomado o cuidado de identificar o aquífero captado por cada poço. Os mapas foram elaborados por interpolação pelo método da distância na potência dois através da manipulação dos dados com o programa Quantum GIS, conforme detalhado na metodologia. A seguir são apresentadas as principais informações transmitidas pelos mapas gerados, contidos na Figura 47 até Figura 58.

O mapa interpolado de distribuição espacial de condutividade elétrica (Figura 47) aponta para maiores valores junto às águas coletadas ao noroeste e sul do limite municipal, junto à poços com perfil construtivo e consequente enquadramento de aquífero captado não

informado. As menores leituras de condutividade elétrica se dão em poços localizados na porção sudeste. Junto à zona urbana, localizada ao oeste do município, a condutividade elétrica é em torno de 205-270 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Neste setor, observa-se que poços mistos apresentam alta variação de valores de condutividade elétrica (inferiores à 140 até 314 $\mu\text{S}/\text{cm}$ /cm).

Em termos de temperatura, as águas de maiores temperaturas se encontram na porção leste do município, com temperaturas inferiores no sentido oeste (Figura 48). Os valores de pH apresentam baixa variabilidade, sendo praticamente toda totalidade analisada classificada como na faixa da neutralidade (Figura 49). Valores maiores são encontrados na porção nordeste do limite municipal.

Para o bicarbonato (Figura 50), os maiores valores são encontrados junto ao centro urbano, na porção oeste do limite municipal, variando entre 93,5 até 187 mg/L. Observa-se, entretanto, a baixa quantidade de dados para a interpolação na porção leste, diminuindo a qualidade do resultado da interpolação. O cálcio, assim como o bicarbonato, apresenta valores em geral mais elevados junto ao núcleo urbano (10,2-35,9 mg/L) municipal (Figura 51).

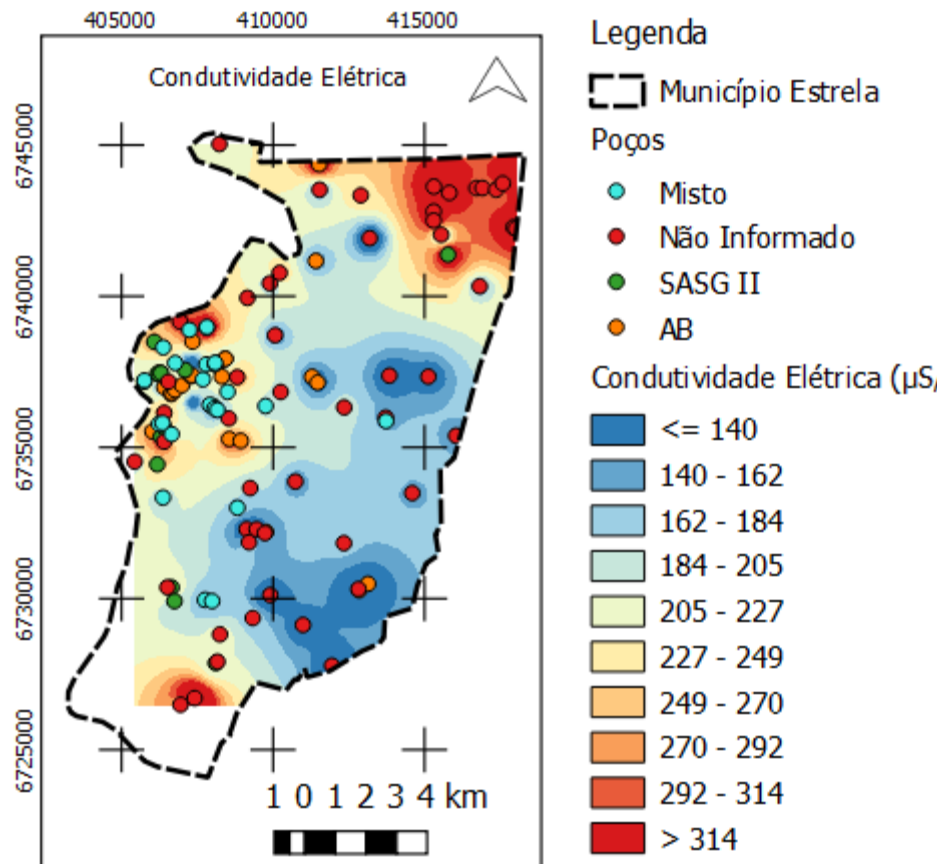
Os valores de cloreto são mais elevados na porção oeste do município, onde podem ser superiores a 11,3 mg/L. Observa-se que poços classificados como de captação em aquífero misto, Botucatu e não identificados concentram os maiores valores. Os poços que captam água do SASG II já apresentam menor salinidade (Figura 52).

Os teores de magnésio são intermediários junto ao núcleo urbano, estando os menores teores do município na porção leste do município (Figura 53). Os maiores teores de sódio são de poços que captam águas do SAB, variando de 22 até superiores a 38,7 mg/L. As concentrações inferiores são dos poços que captam do SASG II (Figura 54).

As maiores concentrações de sulfatos se dão no centro urbano, principalmente associada a poços que captam do SAB, mas não se restringindo a estes, também apresentando altas concentrações nos poços mistos e mesmo do SASG II na mesma região (Figura 55).

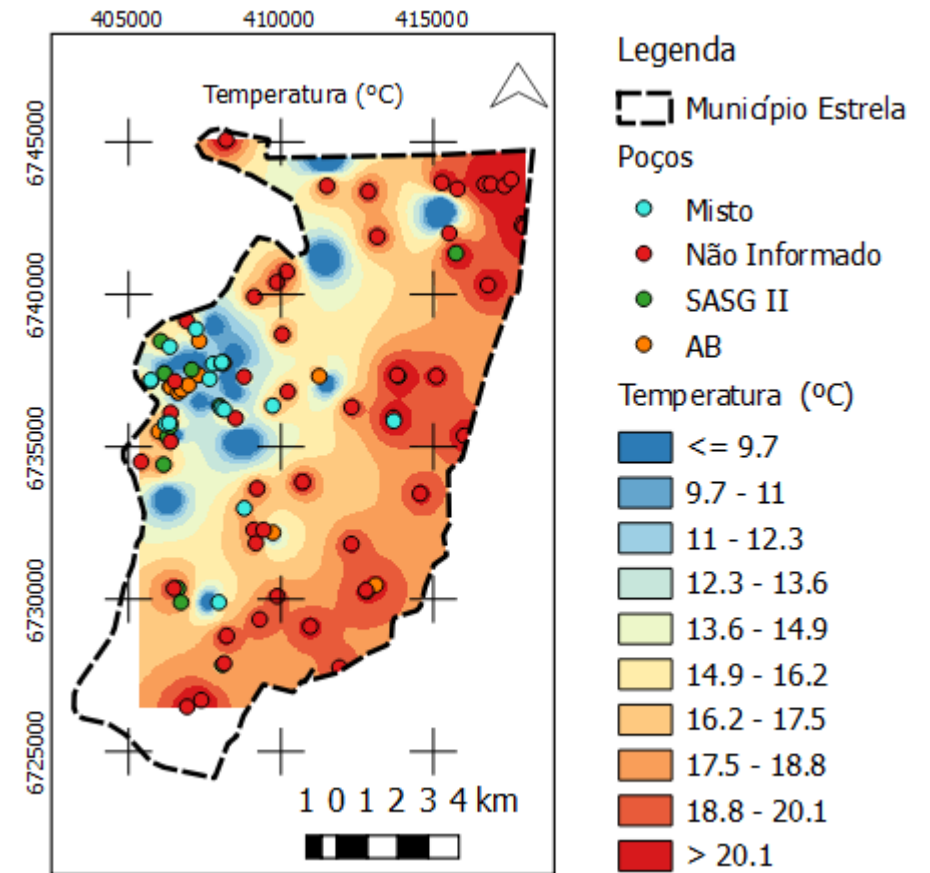
Águas mistas apresentam as maiores concentrações de carbonato, junto ao limite oeste do município. Os valores são inferiores para norte, sul e leste (Figura 56). Os mapas de fluoreto (Figura 57) e potássio (Figura 58) apresentam baixa resolução para a interpolação, mostrando uma distribuição regular e baixa para todo limite interpolado. Embora a quantidade de dados também seja baixa para o mapa de distribuição do manganês, observam-se as maiores concentrações então junto à porção oeste do município, no centro urbano.

Figura 47. Distribuição espacial de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



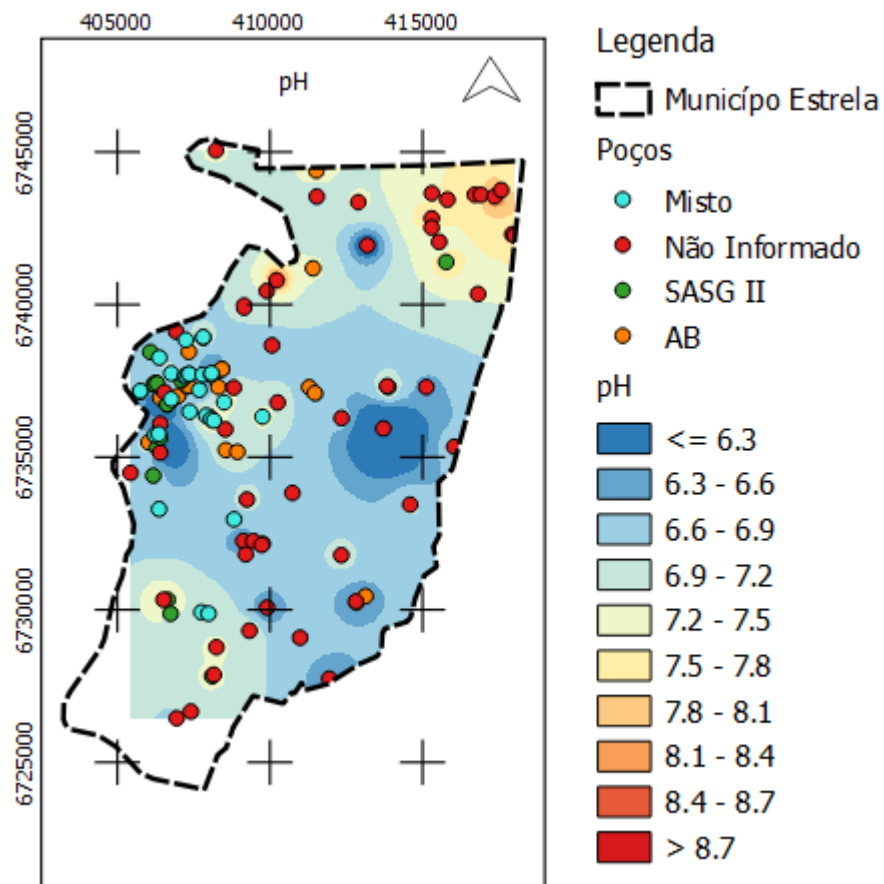
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 48. Distribuição espacial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).



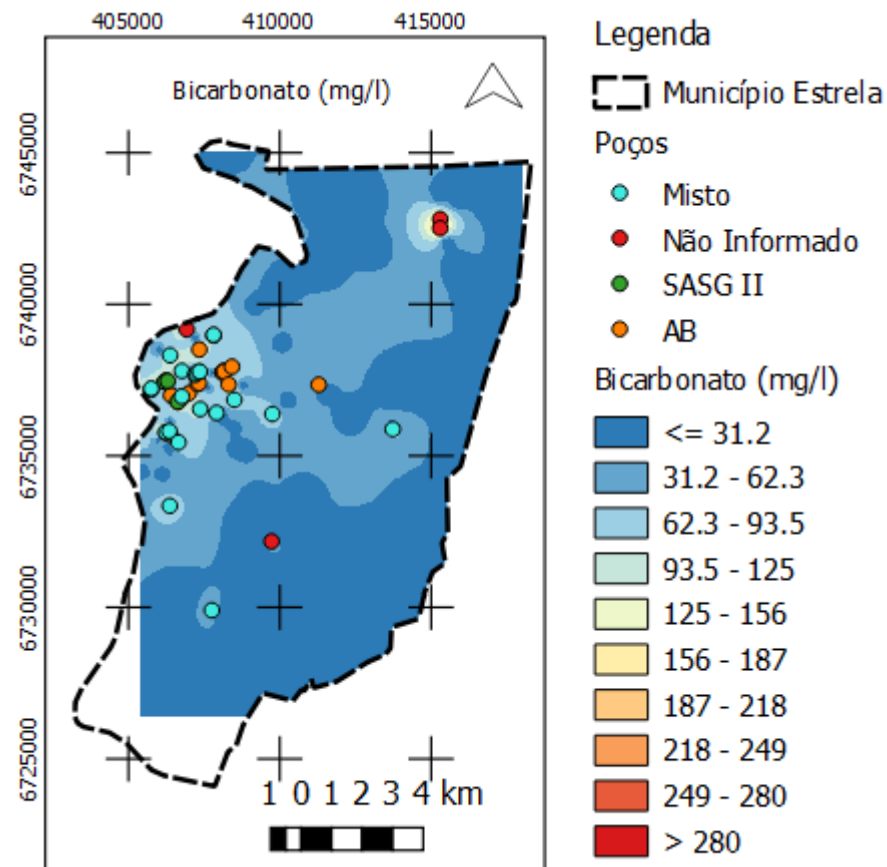
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 49. Distribuição espacial de pH.



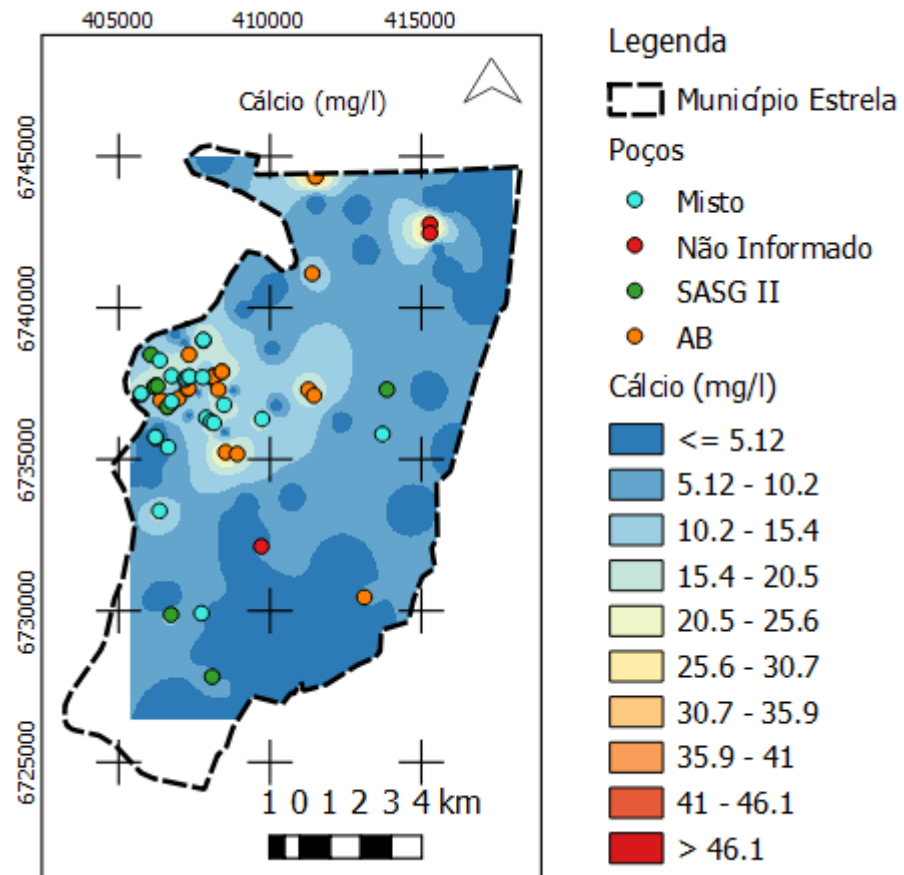
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 50. Distribuição espacial do bicarbonato (mg/L).



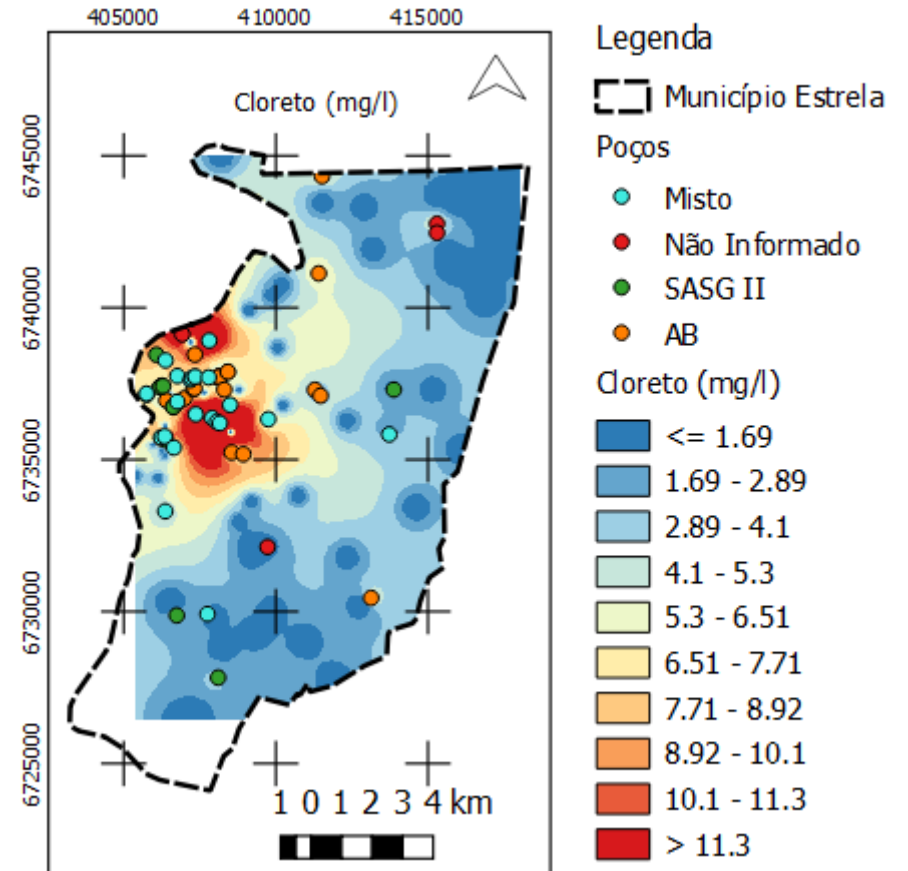
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 51. Distribuição espacial de cálcio (mg/L).



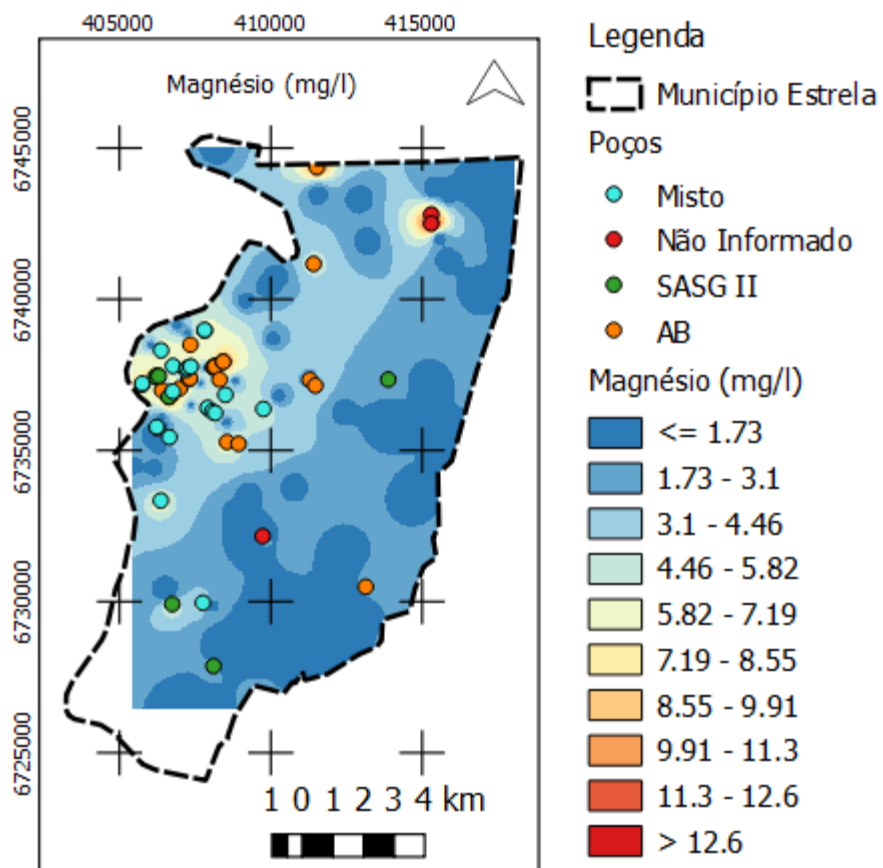
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 52. Distribuição espacial de cloreto (mg/L).



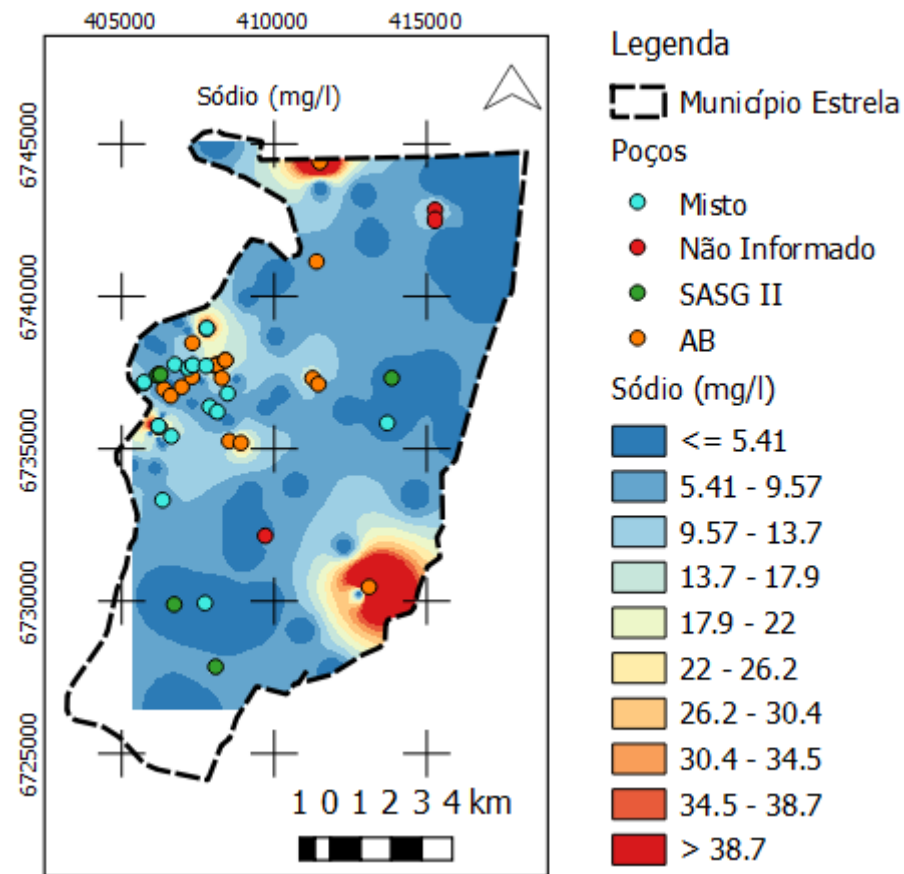
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 53. Distribuição espacial de magnésio (mg/L).



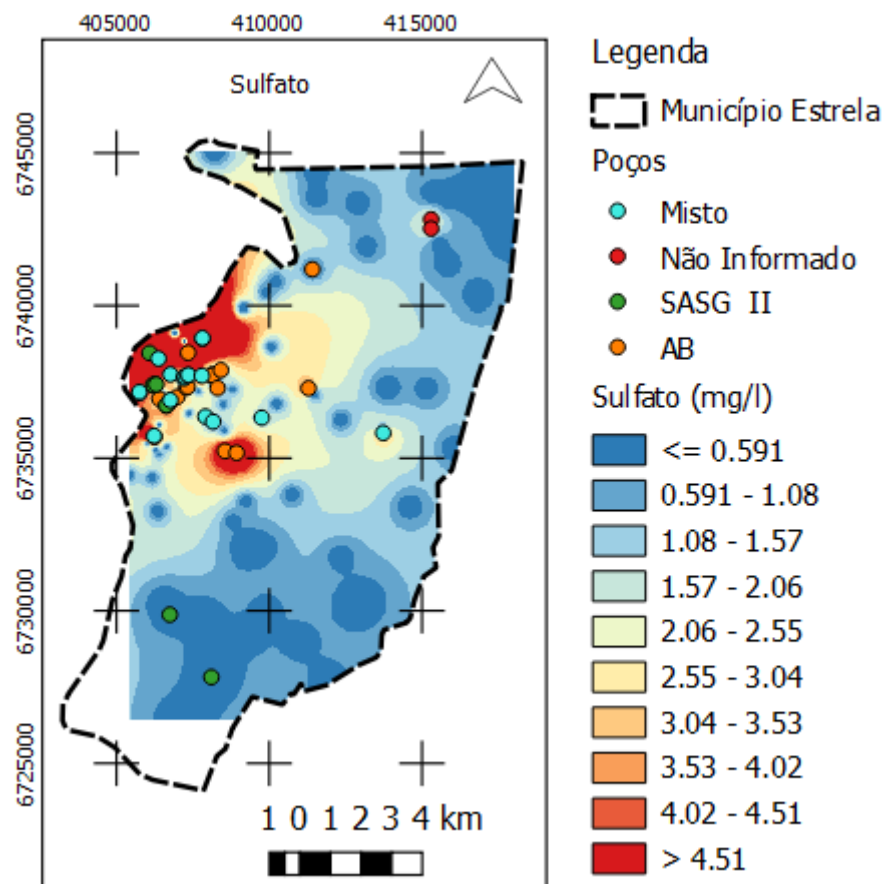
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 54. Distribuição espacial de sódio (mg/L).



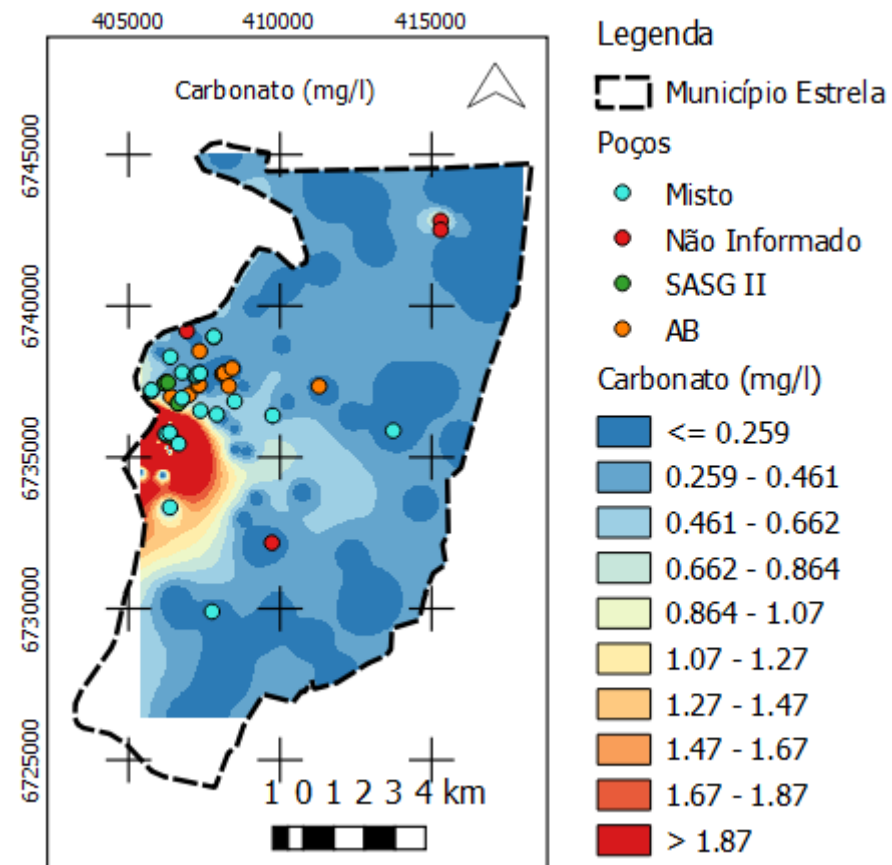
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 55. Distribuição espacial de sulfato (mg/L).



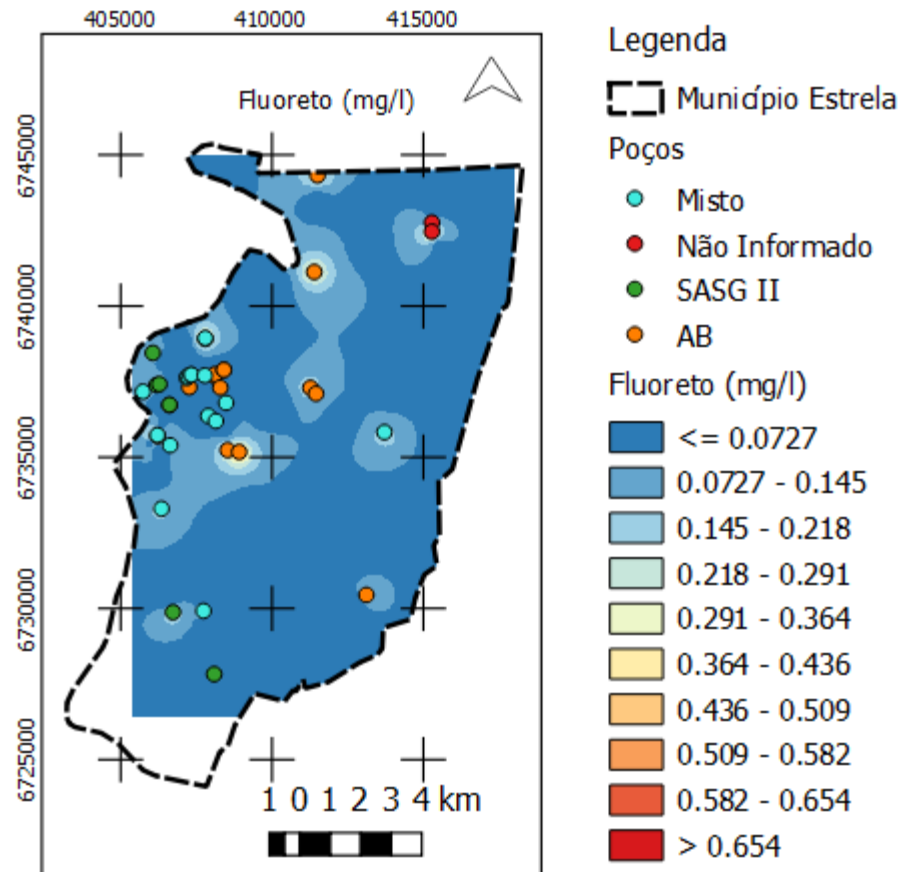
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 56. Distribuição espacial de carbonato (mg/L).



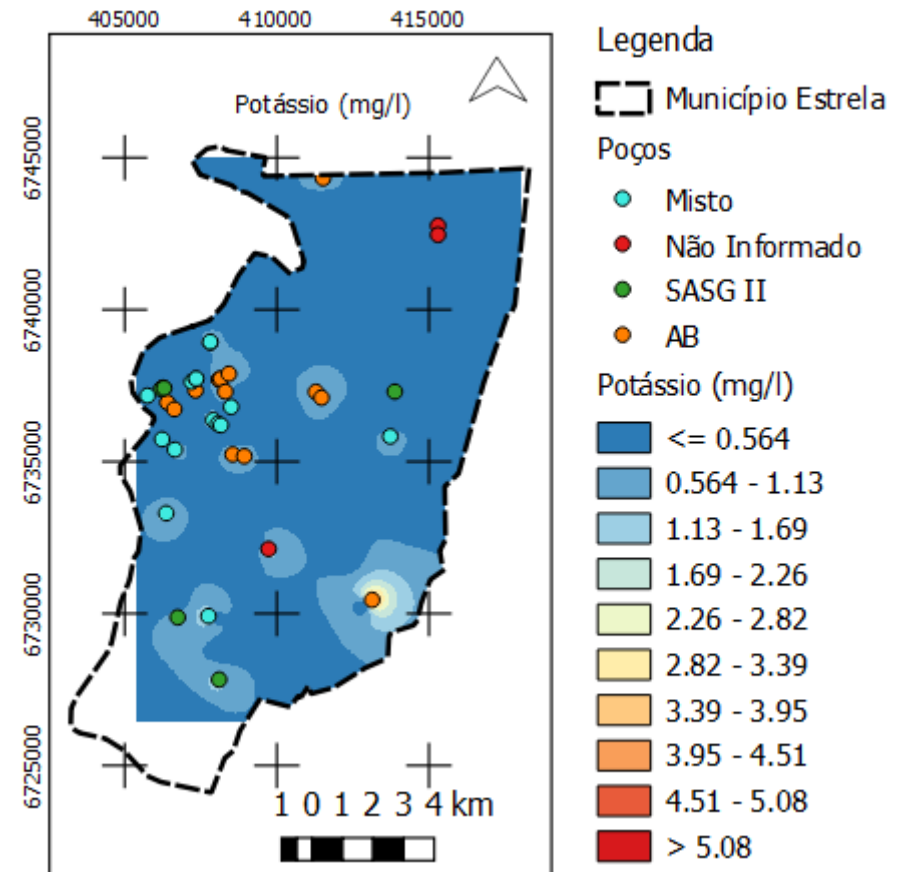
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 57. Distribuição espacial de fluoreto (mg/L).



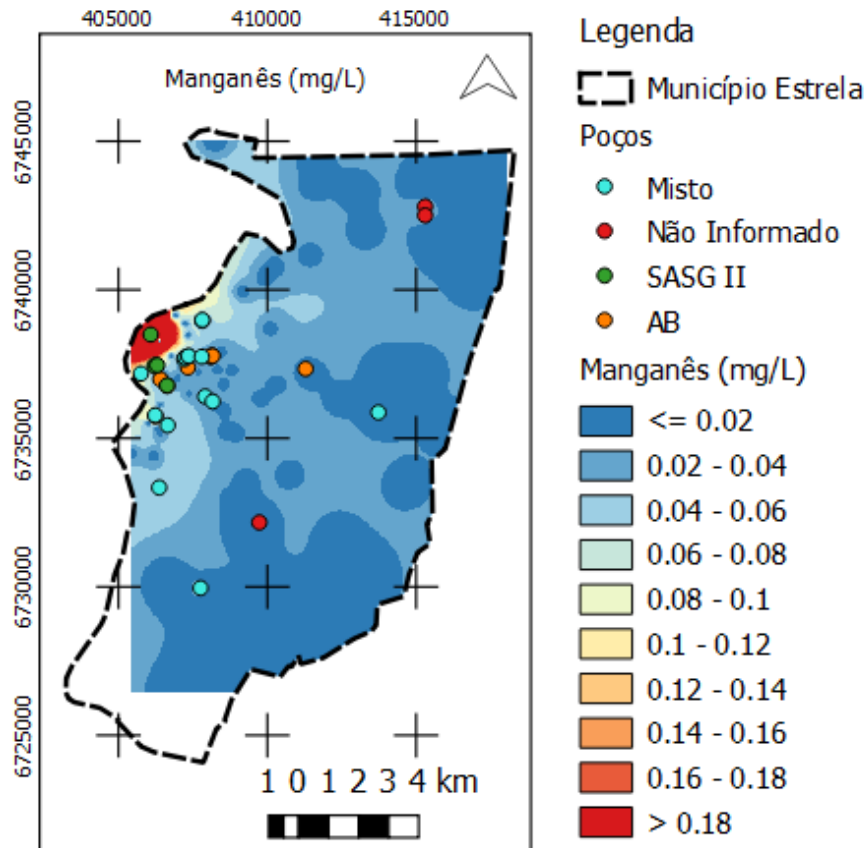
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 58. Distribuição espacial de potássio (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

Figura 59. Distribuição espacial de manganês (mg/L).

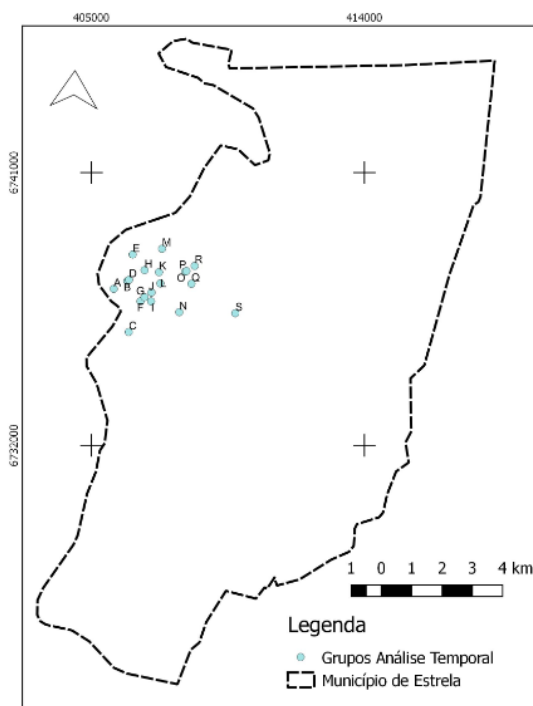


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA em Quantum GIS.

7.2.4 Avaliação de Variabilidade Temporal

Para a análise de variação temporal, buscou-se no banco de dados poços que apresentassem análises com datas diferentes. Desta forma, foi possível organizá-los de acordo com a variação temporal. Observa-se que todos os poços com dados históricos concentram-se na porção central do município, conforme Figura 60 abaixo. O Quadro 4 apresenta as coordenadas e o aquífero captado em cada grupo analisado. Nos itens D e E do capítulo APÊNDICES são identificados os poços e os dados cadastrados em capa poço que compõem os grupos.

Figura 60. Distribuição espacial de poços com dados históricos utilizados para análise de variação temporal.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do CORSAN/SURHI.

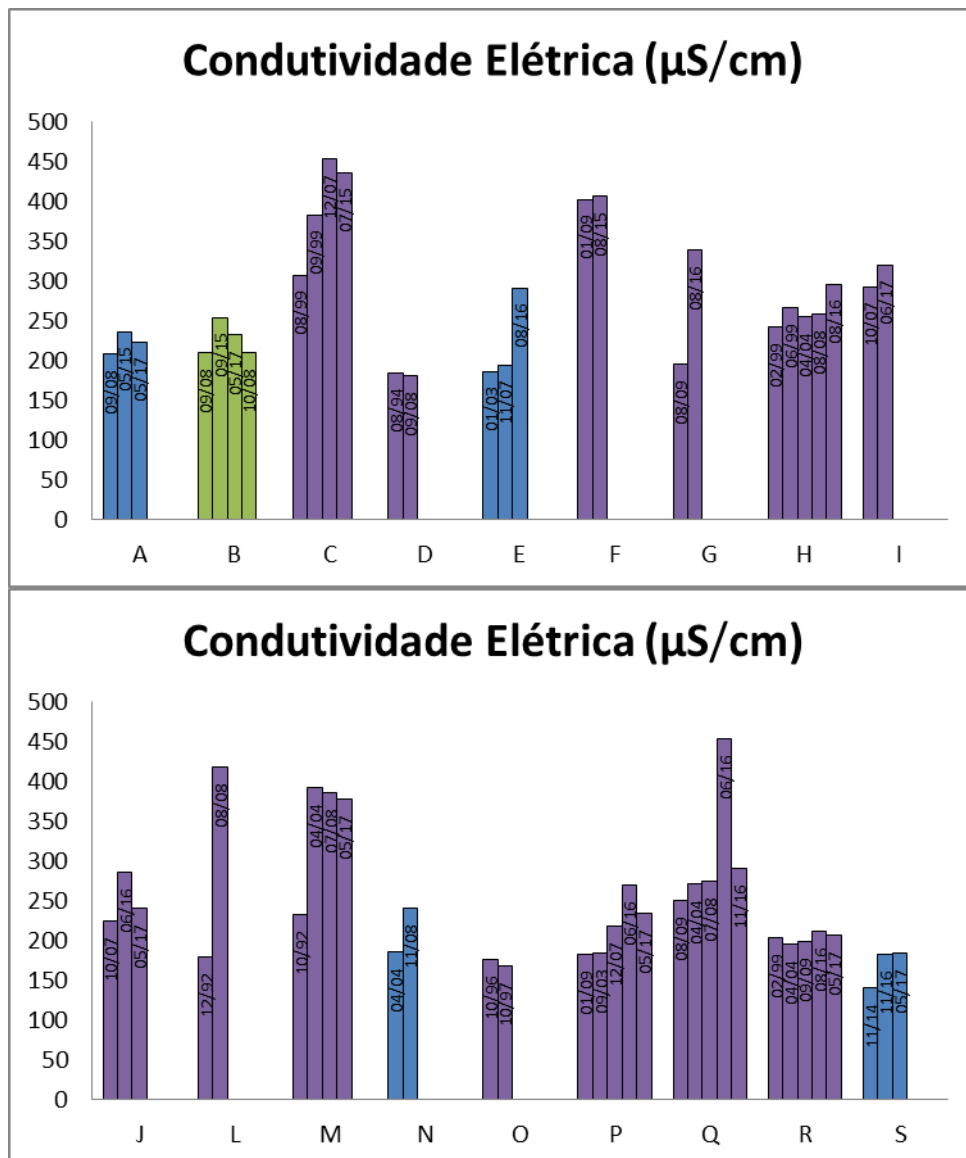
Quadro 4. Coordenadas dos grupos criados para poços com análises de diferentes datas.

Grupo Avaliação Temporal	COORDENADA UTM FUSO 22J		Aquífero Captado
	mE	mN	
A	405734	6737163	Mistura de Aquíferos
B	406183	6737420	Sistema Aquífero Serra Geral II
C	406230	6735737	Aquífero Botucatu
D	406238	6737462	Aquífero Botucatu
E	406360	6738296	Mistura de Aquíferos
F	406618	6736751	Aquífero Botucatu
G	406749	6736886	Aquífero Botucatu
H	406751	6737780	Aquífero Botucatu
I	406968	6736748	Aquífero Botucatu
J	406978	6737042	Aquífero Botucatu
K	407227	6737713	Aquífero Botucatu
L	407271	6737343	Aquífero Botucatu
M	407329	6738487	Aquífero Botucatu
N	407897	6736394	Aquífero Botucatu
O	408090	6737730	Aquífero Botucatu
P	408131	6737748	Aquífero Botucatu
Q	408297	6737331	Aquífero Botucatu
R	408406	6737919	Aquífero Botucatu
S	409745	6736356	Mistura de Aquíferos

Fonte. Elaborado pela autora com dados da SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

A partir da análise da Figura 61, observa-se que os grupos de poços A, B, D, F, H, I, O e R não apresentam grande variação com tempo. Os grupos E, G, J, P, Q e S apresentam aumento de suas condutividades elétricas no ano de 2016. Os grupos L e N apresentam elevações dos valores de condutividade elétrica para o ano de 2008. O grupo C apresenta um aumento em 2007 com leve redução em 2015. O grupo de dados relativo ao ponto M apresenta um expressivo aumento entre as análises de 1992 e 2004, mantendo-se basicamente estável para os anos de 2004, 2008 e 2017.

Figura 61. Variação temporal de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

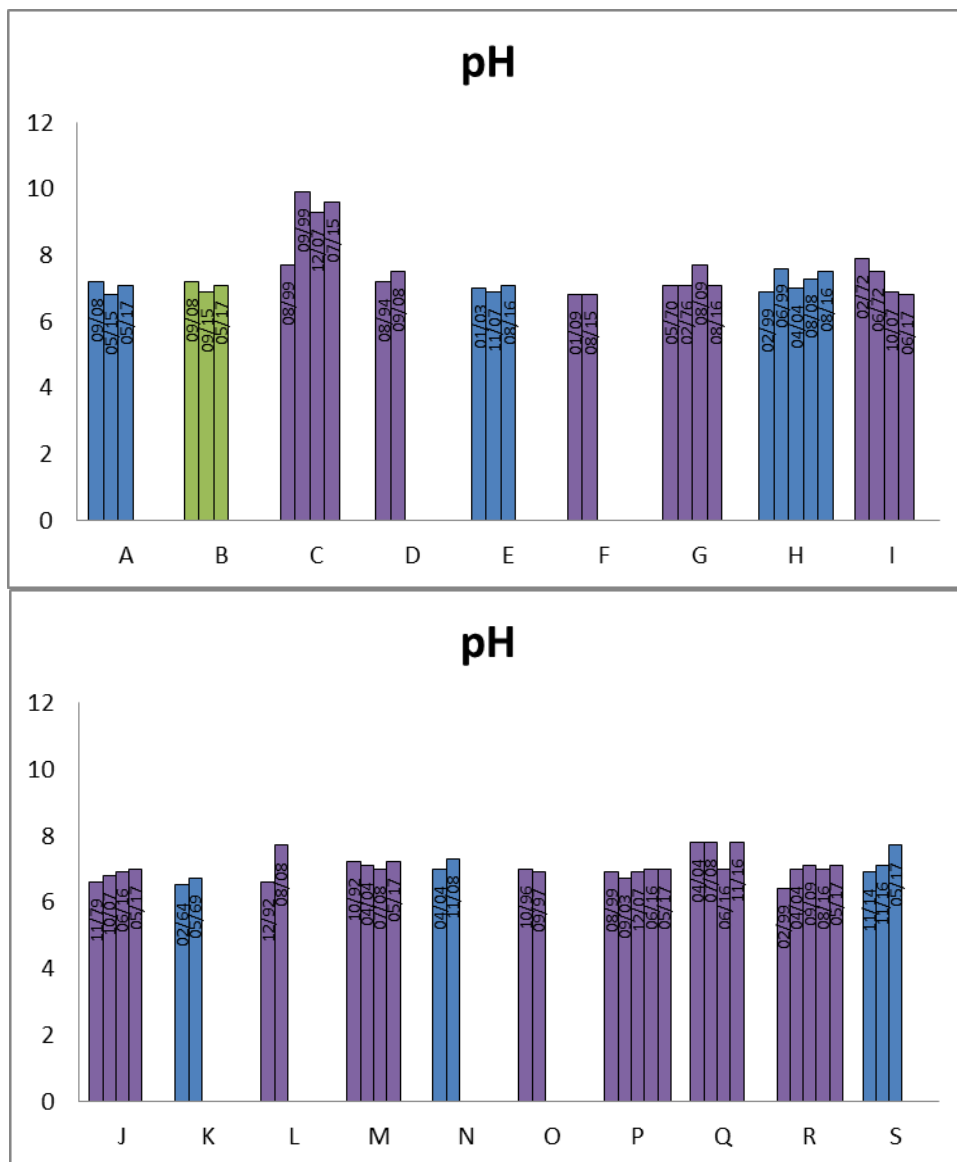


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

A Figura 62 apresenta a variação de pH nos pontos estudados. Em geral, os dados agrupados para os poços A, B, D, E, F, J, K, M, N, O e P são contínuos no tempo. Os dados agrupados em C crescem de 7,7 para 9,9 no ano de 1999, mantendo pH básicos superiores a 9

para análises de 2007 e 2015. Nas análises reunidas para o grupo G, têm-se um aumento de 7,1 registrados em 1970 e 1976 para 7,7 em 2009, retornando para 7,1 em 2016. Em H, observa-se leves aumentos nos anos de 199 e 2006. Para os dados agrupados em I, tem-se um padrão decrescente de pH, com 7,9 registrado em 1972 para 6,8 reportado em 2017. Para o poço agrupado como L, têm um aumento de 6,6 em 1992 para 7,7 em 2008. A alcalinidade de 7,8, medida para os dados do poço Q em 2004, 2008 e 11/2016 decaem levemente para 7 em 06/2016. Em R, tem-se um aumento de 6,4 registrado em 1999 para valores neutros lidos em 2004, 2009, 2016 e 2017. Por fim, as leituras de S se elevam levemente no ano de 2017, embora permaneçam na faixa de neutralidade.

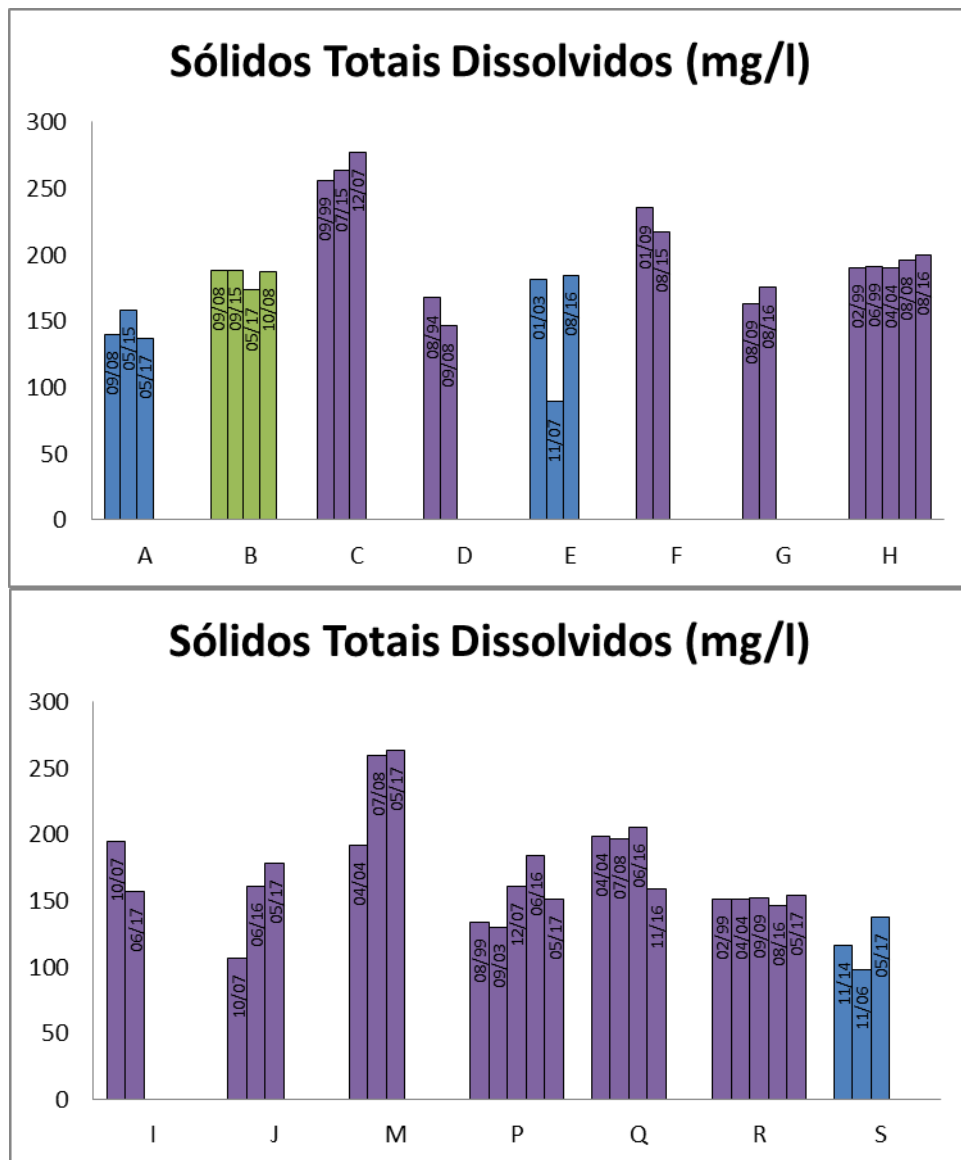
Figura 62. Variação temporal de pH.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para sólidos totais dissolvidos (Figura 63), observam-se as maiores variações nos dados reunidos para os poços E, I, J, M, P, Q e S. No poço E, têm-se uma redução de 181 mg/L em 2003 para 89 mg/L em 2007, com aumento para 184 em 2016. Para I, existe uma redução de 195 mg/L em 2007 para 157 mg/L em 2017. O poço J apresenta aumento gradual de 2007, 2016 e 2017. Para M também existe aumento de 191,9 mg/L em 2004 para 260 mg/L em 2008, mantido com 263 mg/L em 2017. Altos são registrados para o ano de 2016 também para os dados reunidos em P e Q, embora este ano represente uma leve baixa para os dados de R. Para S, existe uma variação de 116 mg/L para 2014, 98 para 2006 e 138 mg/L para 2017.

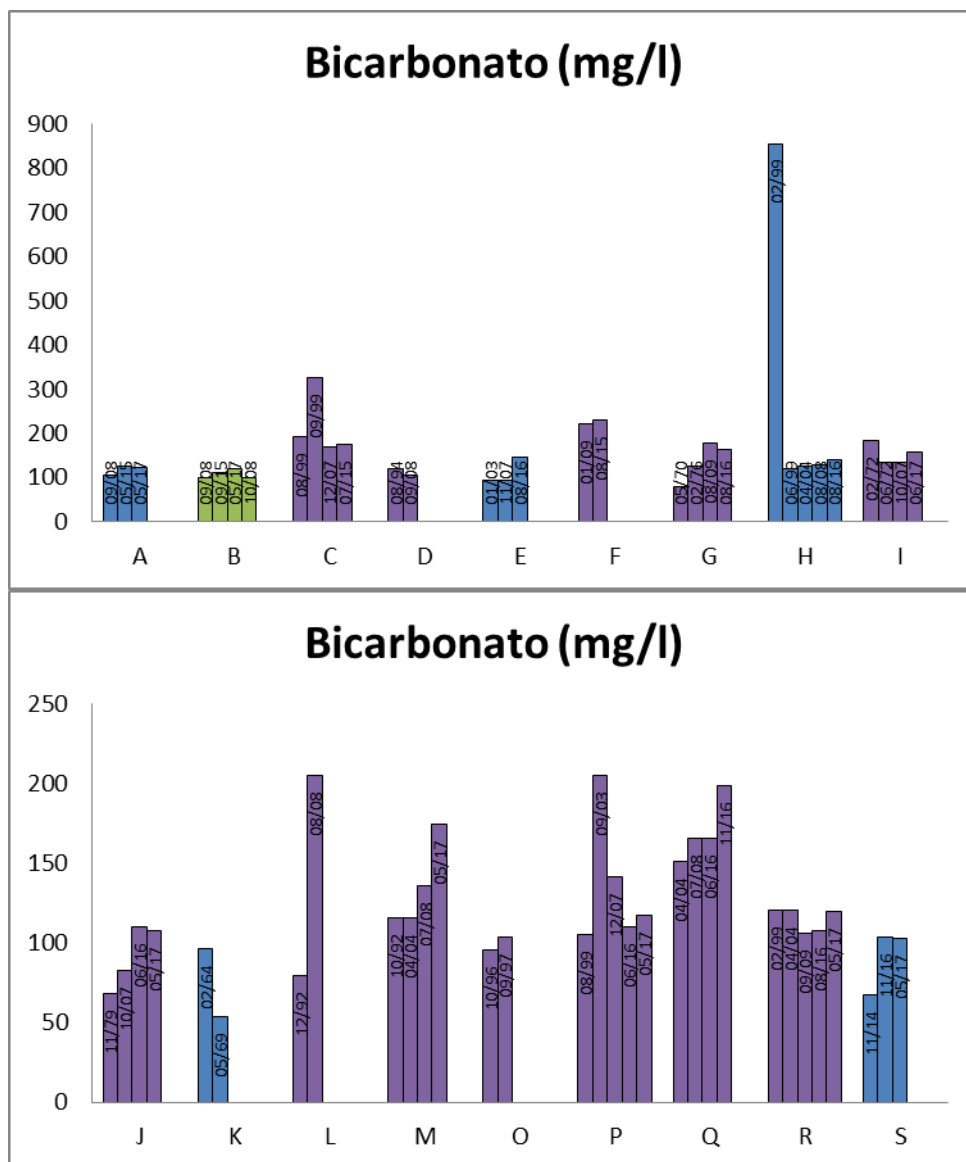
Figura 63. Variação temporal de sólidos totais dissolvidos (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para bicarbonato, os poços com destaque de variação de concentração são C, H, K, L, M, P, Q e S (Figura 64). No poço C destaca-se o aumento de 91,30 mg/L em 08/1999 para 325,99 mg/L em 09/99. O poço H registra a maior variação, com 855 mg/L em 02/1999 para 126,85 mg/L em 06/1999. O poço K também apresenta queda de concentração, reduzindo de 96,37 mg/L em 1964 para 53,67 mg/L em 1969. Um aumento de 115,86 mg/L em 2004 para 35,39 mg/L em 2008 e 174,39 mg/L em 2017 para o poço M. Para o poço P, o ano de destaque é 2003, com 204,93 mg/L. Para o poço Q e S, o ano de destaque é 2016, alcançando concentração de 198,55 mg/L e 103,67 mg/L respectivamente.

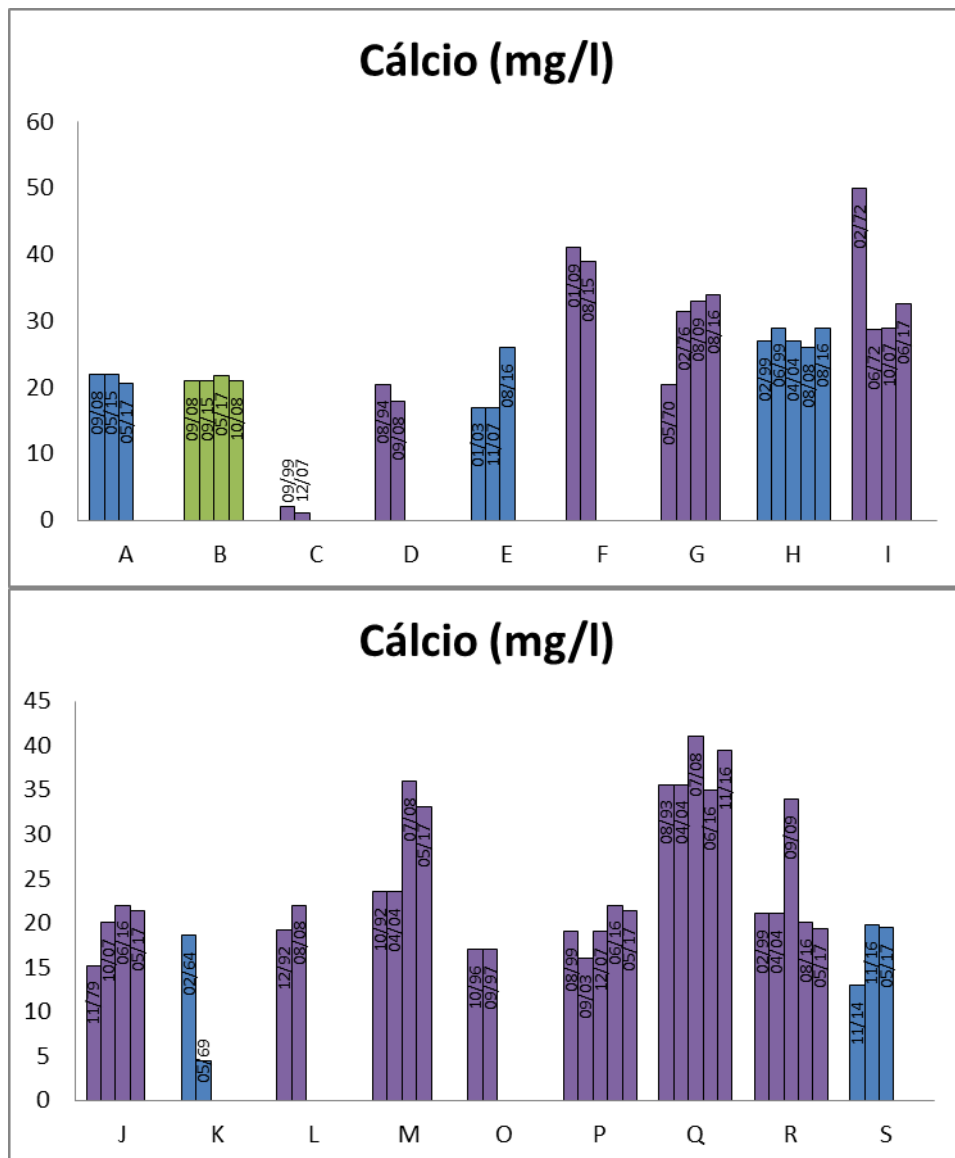
Figura 64. Variação temporal de bicarbonato (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para cálcio (Figura 65), os poços que apresentam maior variabilidade temporal são E, G, I, K, M, Q, R e S. Para o poço E, destaca-se o ano de 2016 onde as concentrações alcançam 26 mg/L. Uma variação crescente ocorre em G, com valores subindo 20,4 mg/L para 33 mg/L em 1976. Para o poço I, o ano de maior concentração é 02/1972, com 50 mg/L, decrescendo para 28,7 mg/L para 06/1972. A maior queda é registrada em K, com 18,6 mg/L em 1964 decaindo para 4,5 mg/L para 1969. O ano de 2008 marca aumento em M e Q e o ano de 2009 marca a máxima concentração registrada em R.

Figura 65. Variação temporal de cálcio (mg/L).

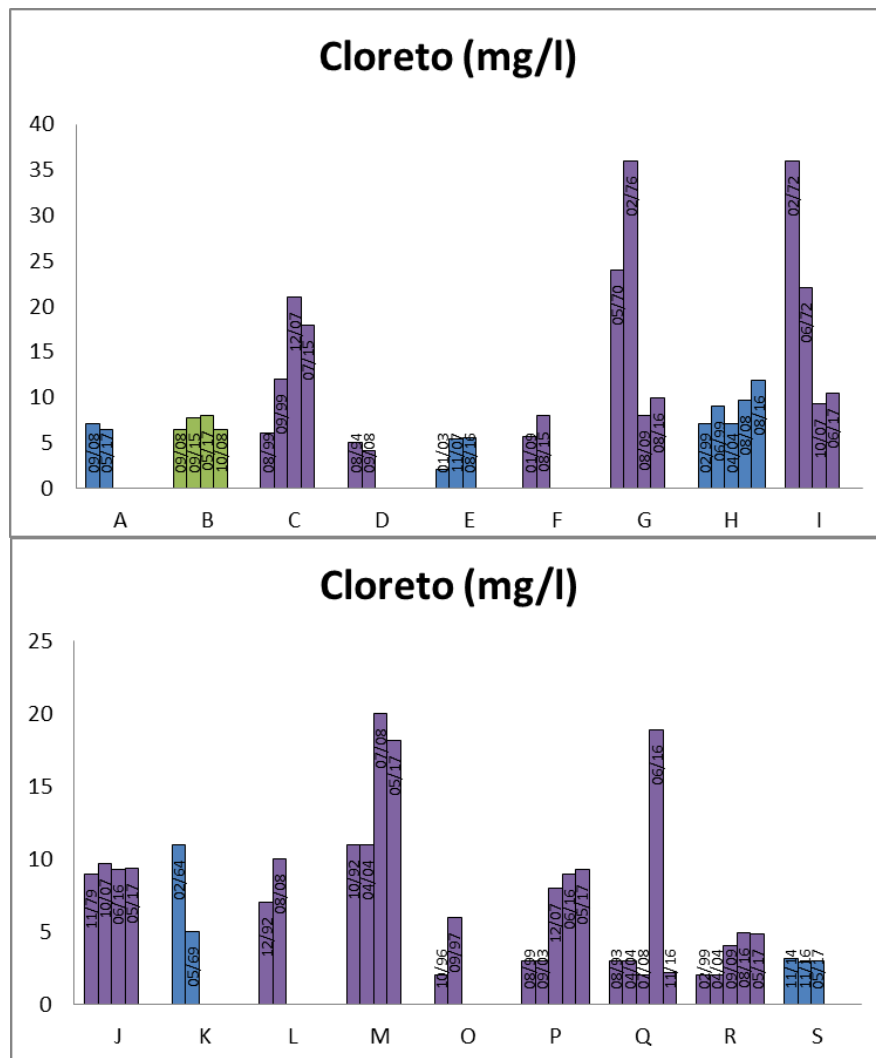


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para o cloreto (Figura 66), as maiores variações são registradas nos poços C, G, I, K, M, O, P e Q. Em C, as concentrações são ascendentes em 1999 e 2007, decaindo em 2005. Em G, os anos de 1970 e 1976 são expressivamente superiores as análises de 2009 e 2016,

com valores de 24, 36, 8 e 9,9 mg/L, respectivamente. Em I, o mesmo padrão é observado com valores de 36 e 22 mg/L amostrados em 1972, contra 9,3 e 10,4 mg/L registrados para 2007 e 2017. Em K, também há uma redução de concentração com o tempo, baixando de 1 mg/L em 1964 para 5 mg/L em 1969. O ano de 2008 marca picos para os dados agrupados nos poços L e M. Para o poço O as concentrações triplicam de 1996 para 1997. Em P, o ano de 2007 marca a elevação e concentração de 3 para 8 mg/L. Por fim, para Q existe uma aumento anômalo em 2016, onde valores na base de 3 mg/L registrados e 1993 e 2004 aumentam para 18,9 mg/L.

Figura 66. Variação temporal de cloreto (mg/L).

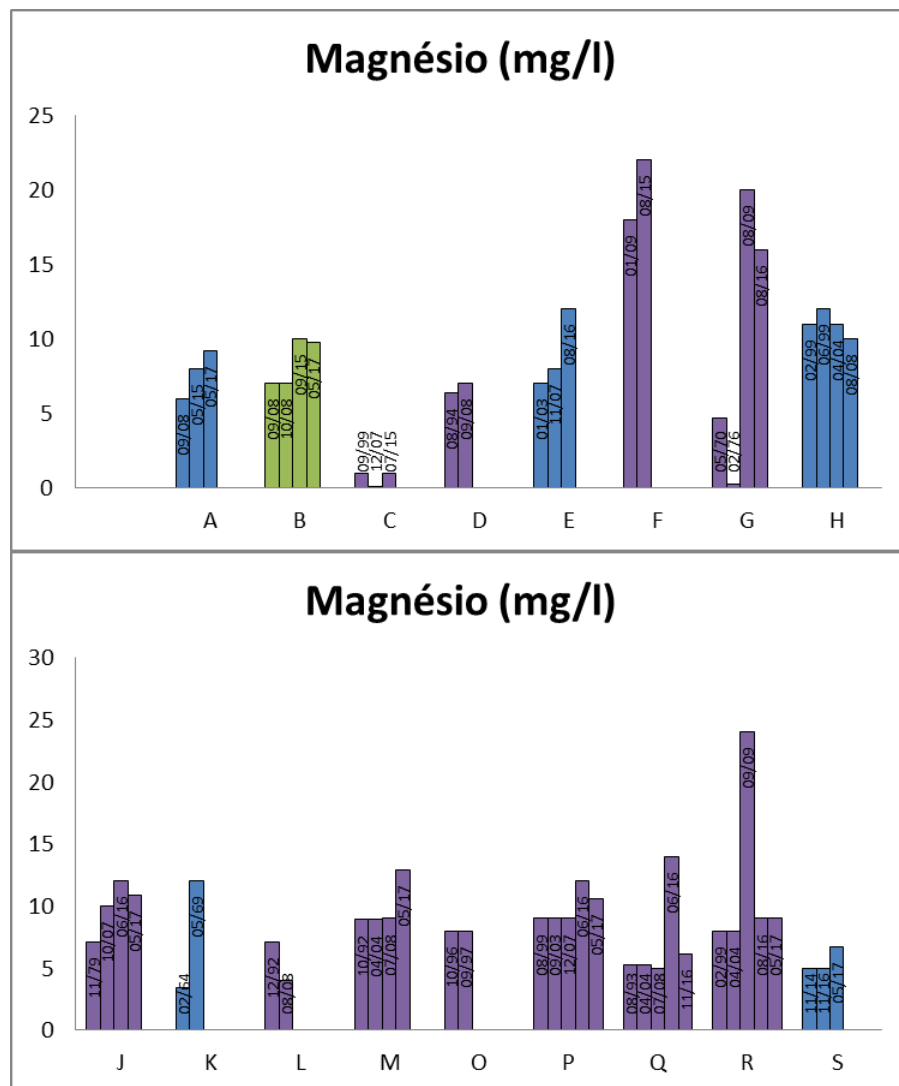


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Em termos de variação temporal de magnésio (Figura 67). Observa-se uma elevação nas concentrações no poço K de 3,4 mg/L em 1964 para 12 mg/L em 1969. Os dados reunidos em G e R refletem variações significativas. O ponto G apresentava 4,7 mg/L em 1970,

diminuindo 0,3 em 1976 e aumentando para 20 mg/L em 2009 e voltando a diminuir em 2016, quando apresentava concentrações de 16 mg/L. Os dados agrupados em para R mostram uma elevação de 8 mg/L registrado em 1999 e 2004 para 24 mg/L em 2009, decaindo para 9 mg/L em 2016 e 2017. O ano de 2015 marca aumento nas concentrações de magnésio das águas registradas nos poços A, B, C e F. Outros anos que se destacam por aumentos são 2016 e 2017, com elevação nas concentrações em E, G, J, P e Q e em A, M e S, respectivamente. Os pontos com variação pouco expressiva foram D e O.

Figura 67. Variação temporal de magnésio (mg/L).

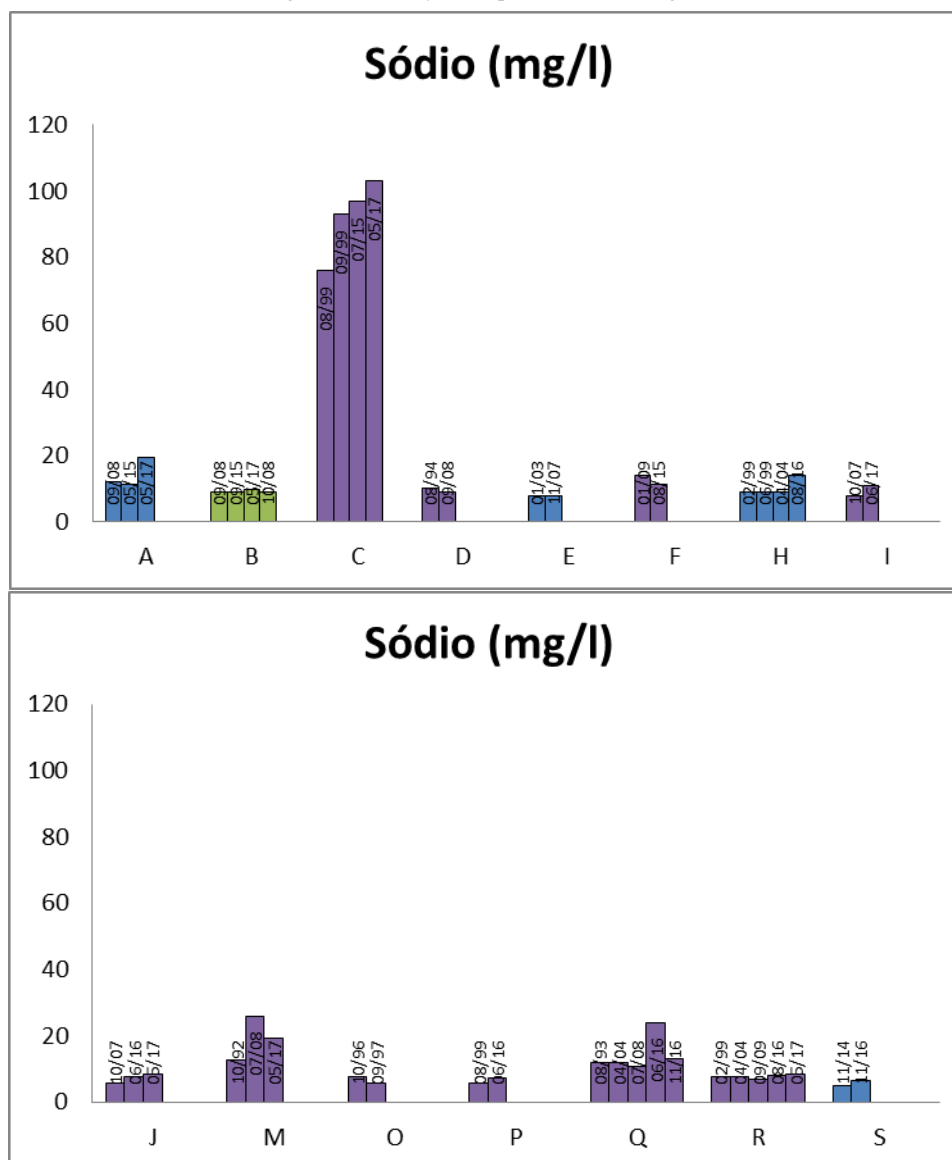


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para sódio (Figura 68) observa-se o alto contraste de concentrações para os dados agrupados para C em relação aos demais poços estudados, com concentrações ascendentes variando de 76 mg/L em 08/1999 para 103 mg/L em 2017. Os anos de 2016 e 2017

apresentam aumento nas concentrações em H, P, Q, J e S e em A e I. O respectivamente. De forma geral, as variações são pouco expressivas e as concentrações podem ser considerada como estáveis em B, D, E e R.

Figura 68. Variação temporal de sódio (mg/L).

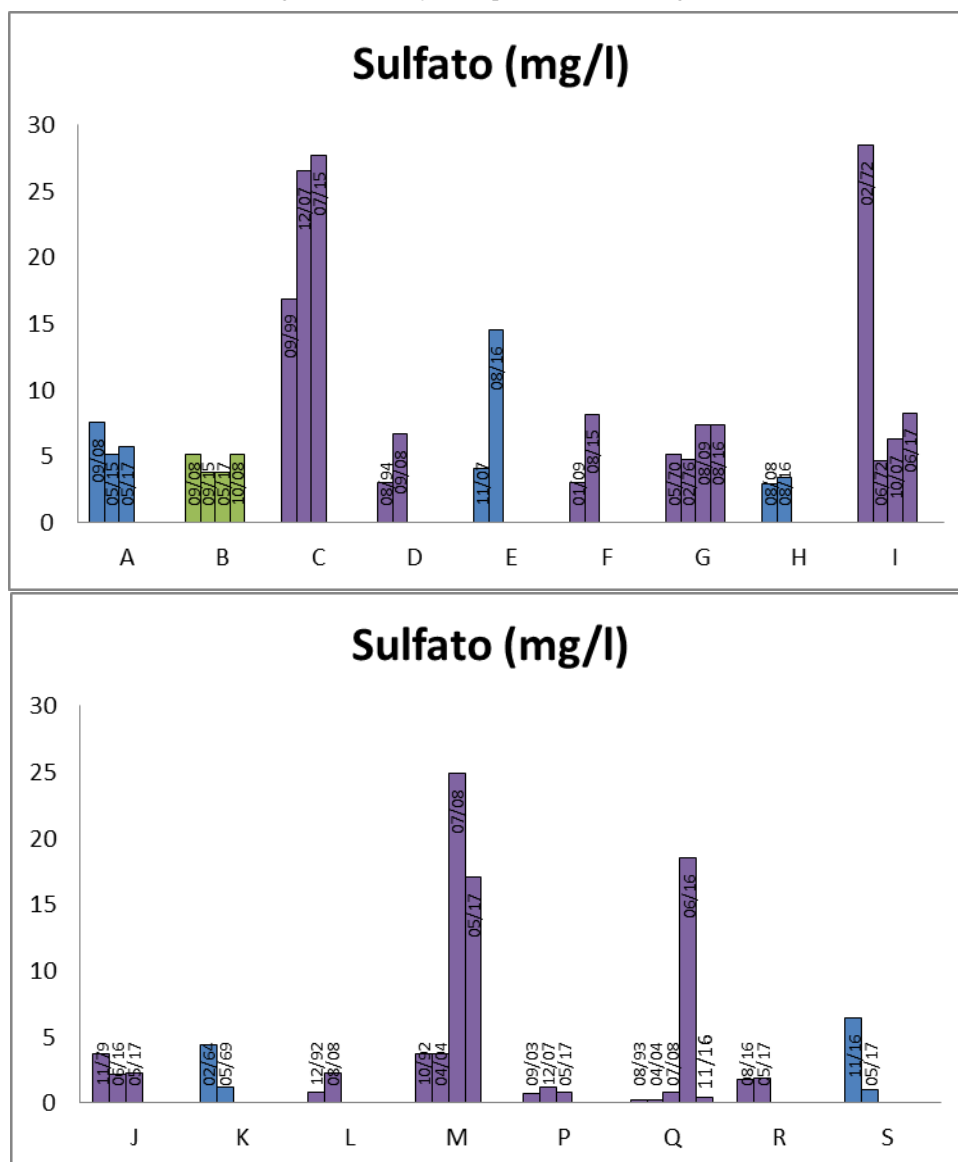


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para a análise de variação de sulfato (Figura 69) observam-se padrões crescentes de concentração em C, D, E, F, H e L, padrões decrescentes em J, K e S, e variabilidade em A, B, G, I, M e Q. Em R não se observou variação. Entre os anos de destaque para aumento de concentrações, têm se 2007, 2008, 2015 e, 2016. Os dados agrupados em I são contrastantes, com queda de 28,5 mg/L em 02/1972 para 4,7 mg/L 06/1972. Outros poços que merecem destaque são o M, com flutuação de 3,7 mg/L em 2004, para 24,9 mg/L em 2008 e 17,1 mg/L

em 2017, o poço Q com variação de 0,2 mg/L em 1993 e 2004 para 0,84 mg/L em 2008, subindo expressivamente para 18,5 mg/L em 06/2016 e reduzindo em 11/2016.

Figura 69. Variação temporal de sulfato (mg/L).

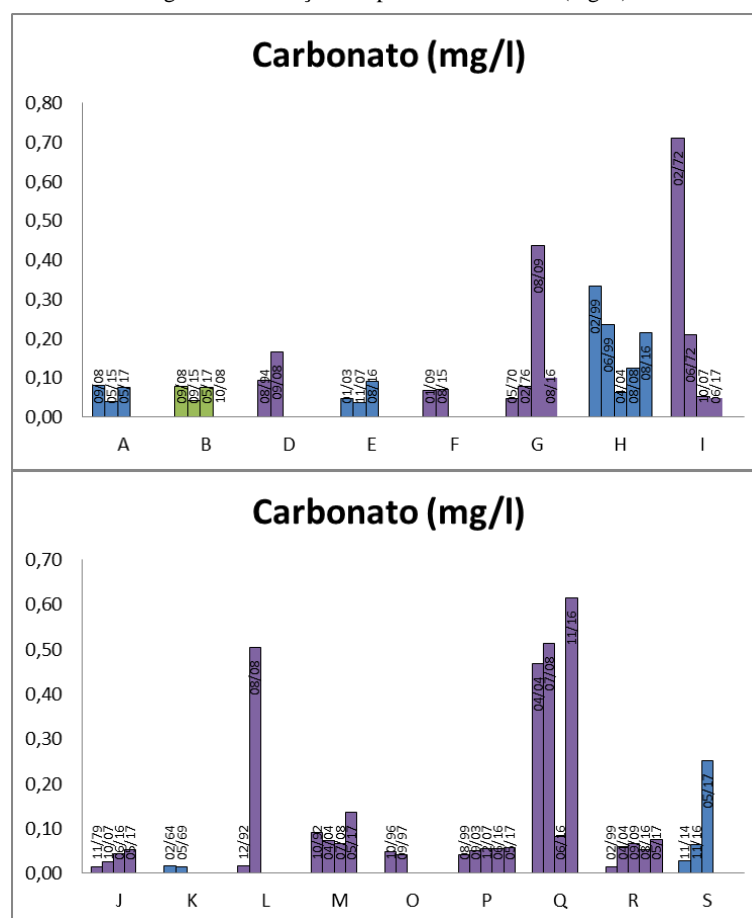


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para o registro de carbonato (Figura 70), observa-se aumento nos registros agrupados para os poços D, J, L e S, com redução expressiva em I, variação de concentrações em A, B, E, G, H, M, Q e R. Como constâncias, destacam-se os pontos F, K, O e P. Como anos de destaque, tem-se 1972, 2004, 2008, 2009, 2016 e 2017. Para o poço G, têm-se um aumento de 0,08 mg/L em 1976 para 0,44 em 2009. O poço I apresenta decaimento em suas concentrações, diminuindo de 0,71 mg/L em 02/1972 para 0,21 mg/L em 06/1972 para 0,05 mg/L em 2007 e 2017. As concentrações de L aumentaram expressivamente de 0,02 mg/L em

992 para 0,50 mg/L em 2008. O ponto Q tem queda de 0,51 mg/L em 2008 para 0,08 mg/L em 06/2016 e aumento para 0,61 mg/L 11/2016. Por fim, o aumento também é notado em S, de 0,06 mg/L em 2016 e 0,25 mg/L em 2017. Entretanto, como as concentrações de carbonato são tão pequenas que, mesmo com os aumentos absolutos significativos, as concentrações ainda são consideradas muito pequenas.

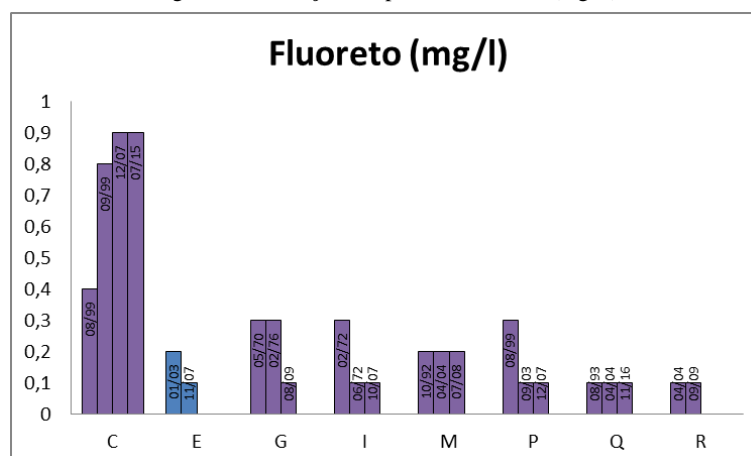
Figura 70. Variação temporal de carbonato (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

A variabilidade de fluoreto (Figura 71) apresenta aumento temporal somente em C. Reduções nas concentrações são observadas em E, G, I e P. Os pontos M, Q e R não apresentam variação. Em C, os teores variam de 0,4 mg/L em 1999 para 0,9 mg/L em 2007 e 2015. O ponto G reduz de 0,3 mg/L medido em 1970 e 1976 para 0,1 mg/L em 2009. Esta mesma redução é observada em I, com 0,3 mg/L em 02/1972 0,1 medido em 06/1972 e 10/2007. Em P, o mesmo padrão se repete, com 0,3 mg/L em 1999 para 0,1 mg/L em 2003 e 2007.

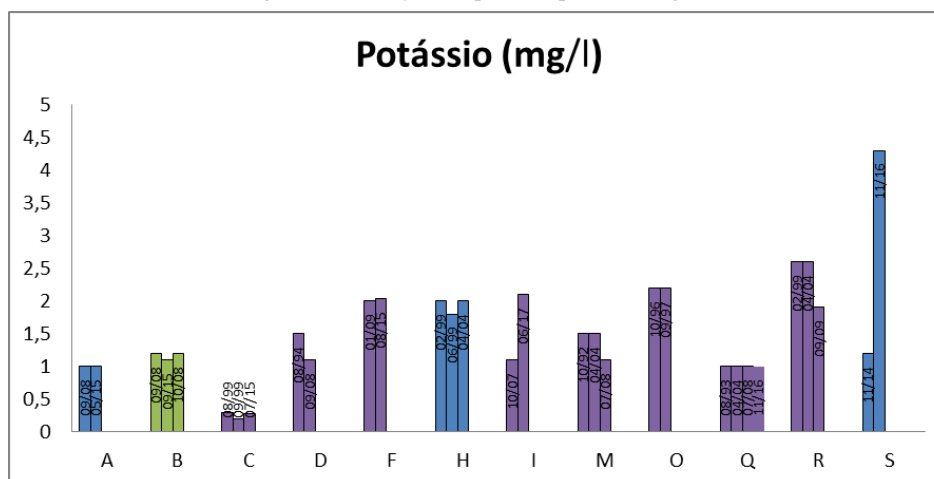
Figura 71. Variação temporal de fluoreto (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Para o potássio (Figura 72), tem-se variação crescente em I e S, decrescente em D, M e R, flutuante em B, C e H e estável em A, F, O e Q. Destacam-se o poço I, com aumento de 1,1 mg/L em 2007 para 2,1 mg/L em 2017 e o poço S, com concentração de 1,2 mg/L em 2014 crescendo para 4,3 mg/L em 2016.

Figura 72. Variação temporal de potássio (mg/L).

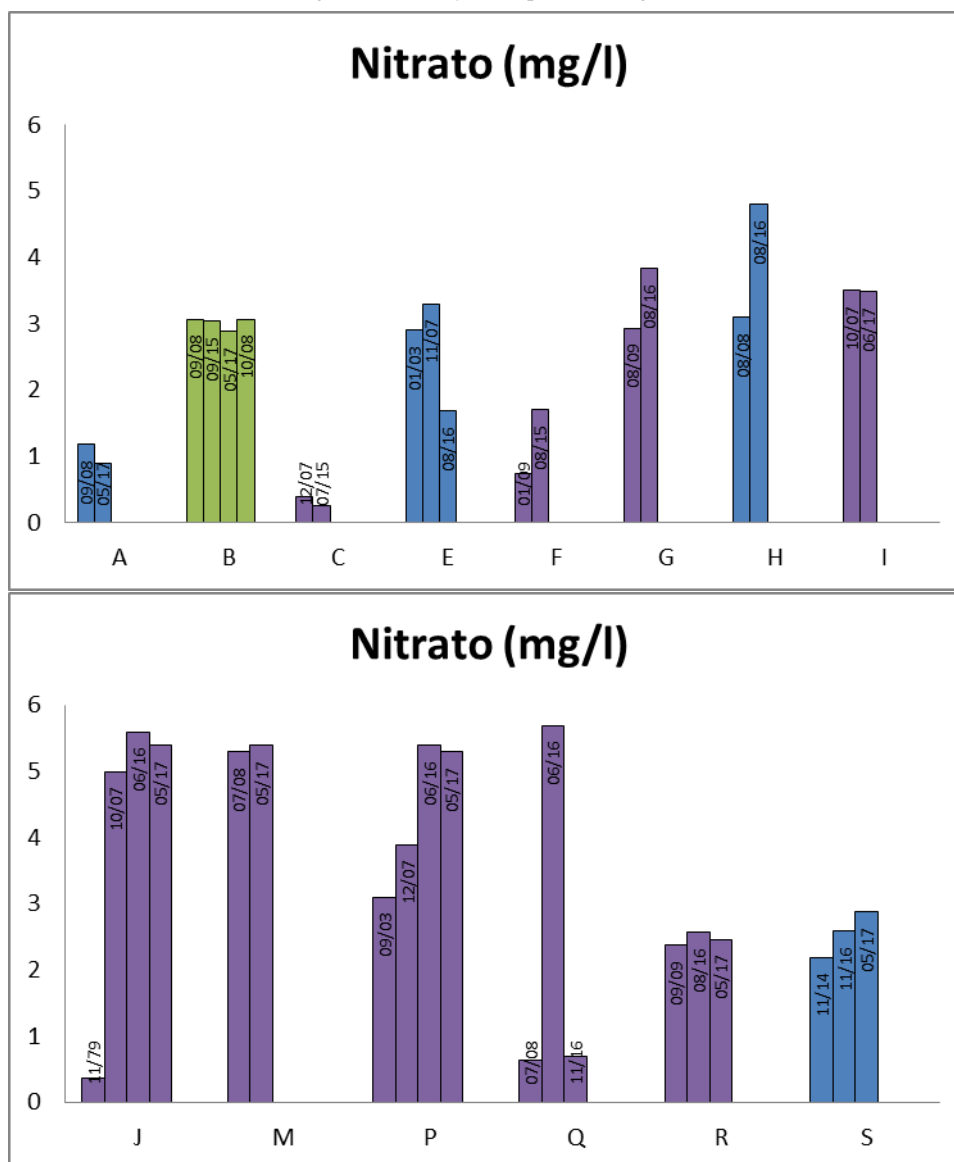


Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Em geral, para os pontos analisados o nitrato apresenta alta variabilidade temporal (Figura 73). Existe aumento nos pontos F, G, H e S, redução em A e C, variação pouco expressiva nos pontos I, M e R, e variabilidade em B, E, J, P e Q. No pontos de destaque de variação, têm-se a redução em E de 3,3 mg/L em 2007 para 1,69 mg/L em 2016, os aumentos em H de 3,1 mg/L m 2008 para 4,8 mg/L em 2016, em J de 0,37 mg/L em 1979 para 5 mg/L

em 2007, e em P de 3,1 mg/L m 2003 para 5,4 mg/L em 2016. Por fim, destaca-se ainda o a variação de Q, com 0,64 mg/L em 2008, 5,7 mg/L em 06/2016 e 0,7 mg/L em 11/2016.

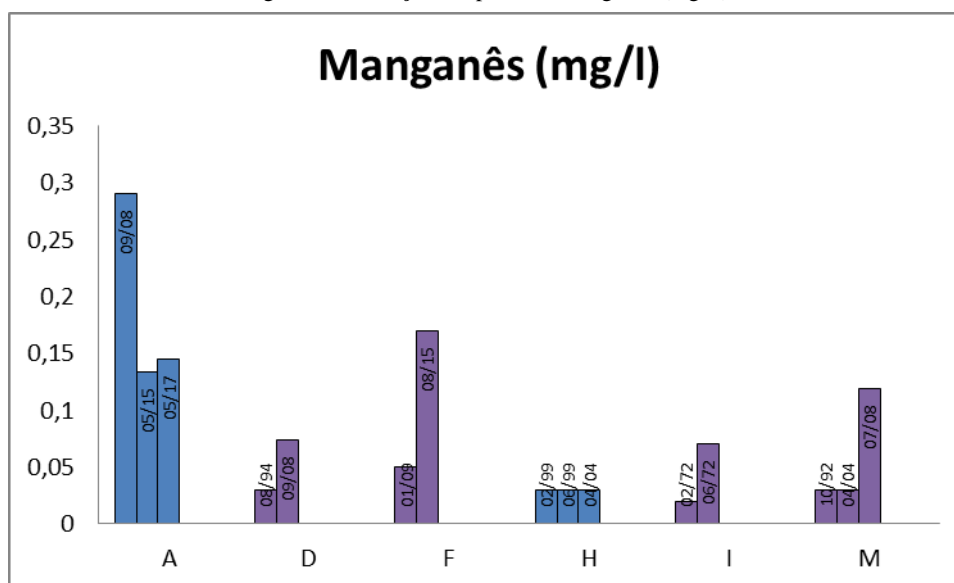
Figura 73. Variação temporal de (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Por fim, o manganês apresenta aumento das concentrações temporais em D, G, F, I e M, estabilização em H e variação em A (Figura 74). Destaca-se o ano de 2008, com altos de concentrações em A, D e M. Em A, as concentrações de 0,29 mg/L de 2008 decaem para 0,134 mg/L em 2015 com leve aumento para 0,145 mg/L em 2017. Em D aumenta de 0,03 mg/L em 1994 para 0,074 mg/L em 2008; em F, de 0,05 mg/L em 2009 para 0,17 mg/L em 2015; em I, de 0,02 em 02/1972 para 0,07 mg/L em 06/1972; em M, de 0,03 mg/L de 1992 e 2004 para 0,119 mg/L 2008.

Figura 74. Variação temporal de manganês (mg/L).



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

7.3 Investigação de Qualidade da Água

A discussão sobre qualidade de água é dividida em duas etapas. Primeiramente são apresentados gráficos de comparação entre concentração lida em poços cadastrados no banco de dados elaborado para este projeto com limites estabelecidos pela legislação vigente. Em um segundo momento é realizado a avaliação de vulnerabilidade dos aquíferos. Estes assuntos são abordados nos subcapítulos 7.3.1 e 7.3.2, respectivamente.

7.3.1 Legislação Vigente

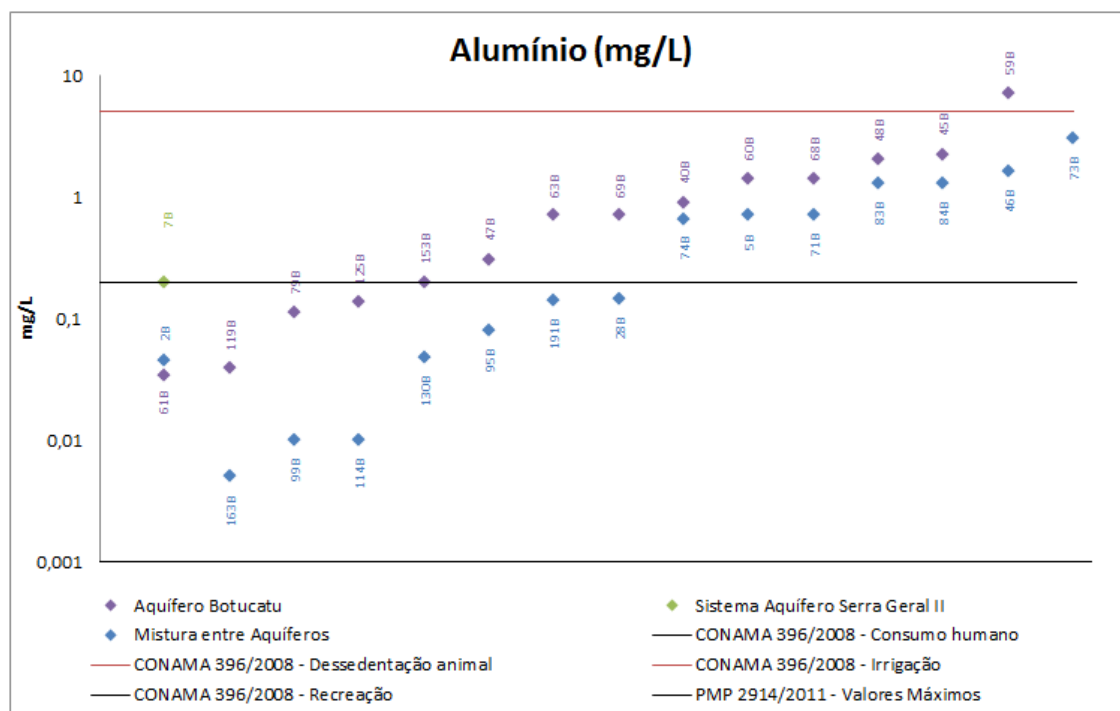
A comparação com a legislação é apresentada abaixo. Os dados cadastrados no banco de dados elaborados para o presente trabalho foram comparados com a CONAMA 396/2008 e com a Portaria do Ministério Público 2914/2011. A primeira legislação citada estabelece valores máximos permitidos de concentrações em $\mu\text{g/L}$ de elementos para diferentes usos: consumo humano, dessedentação de animais, irrigação, recreação. Assim, tomou-se o cuidado de converter as concentrações para mg/L , de modo a comparar concentrações em mesmo grau de grandeza. Em relação à segunda legislação citada, foram comparados os valores máximos permitidos estabelecidos para padrões de potabilidade humana.

Os dados são apresentados de forma gráfica na Figura 75 até a Figura 86. No eixo das ordinárias são plotadas as concentrações cadastradas no banco de dados, em escala

logarítmica quando adequado para melhor visualização dos dados. Optou-se por ordenar os valores em ordem crescente de concentração para facilitar as observações. A coloração de cada ponto plotado identifica o aquífero captado. As linhas representam os limites estabelecidos pelas legislações utilizadas.

Para alumínio (Figura 75), observa-se concentração das águas do AB, MA e do SASGII como adequadas para irrigação e dessedentação animal, com um *outlier* do AB como inadequado para todas as classificações. Em geral, observa-se que as concentrações de alumínio são superiores no AB do que nos poços do MA, havendo concentrações superiores àquelas indicadas para recreação e consumo humano para ambos.

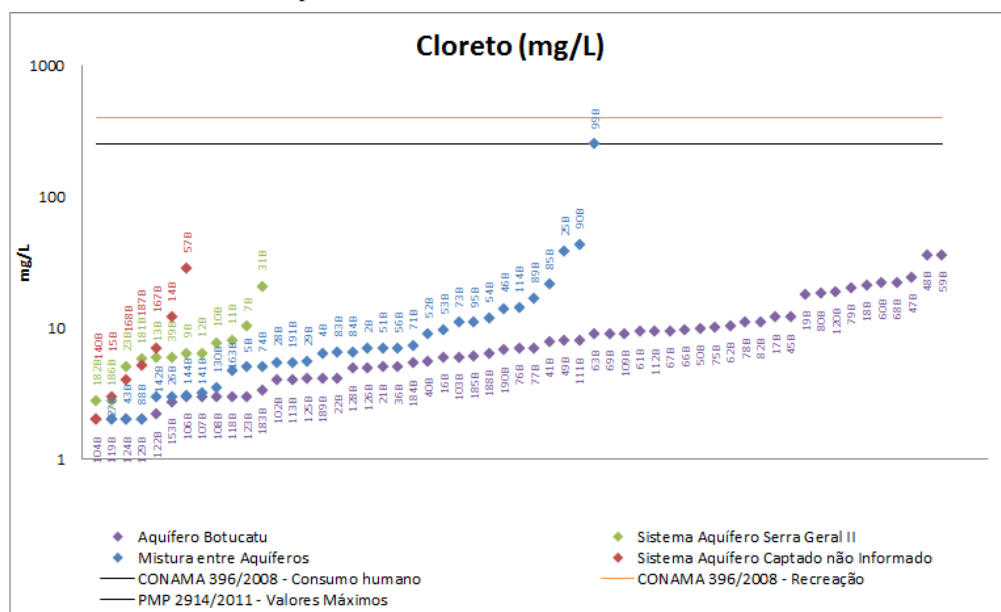
Figura 75. Comparação de concentrações de alumínio (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Para o cloreto (Figura 76), observa-se que com a exceção de um *outlier* de captação mista (250 mg/L), as águas do AB, MA, SASGII e SACNI apresentam teores inferiores a 50 mg/L que compreendem águas de acordo com a legislação tanto para consumo humano como para recreação e irrigação. Destaca-se que o limite de irrigação não foi incluso no gráfico por ser 700 mg/L. Observa-se ainda que de forma geral as concentrações das águas da MA, SASGII e SACNI apresentam concentrações superiores às águas do AB, no qual grande variação é constatada.

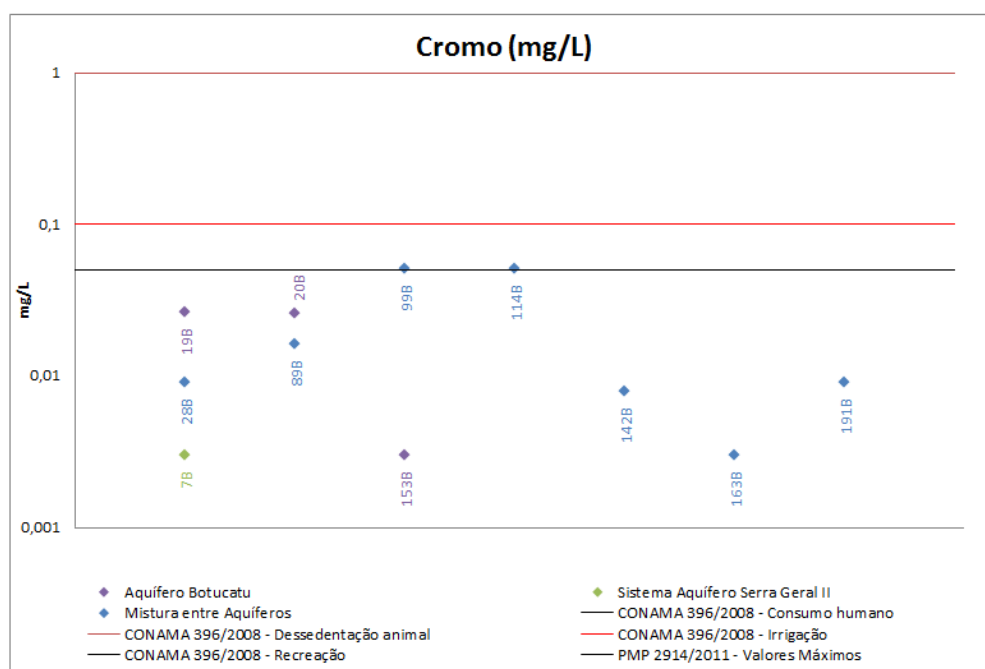
Figura 76. Comparação de concentrações de cloreto (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Para cromo (Figura 77), todos os poços encontram-se de acordo com os limites de dessedentação animal, irrigação e consumo humano, havendo concentrações mais elevadas nas águas oriundas de MA.

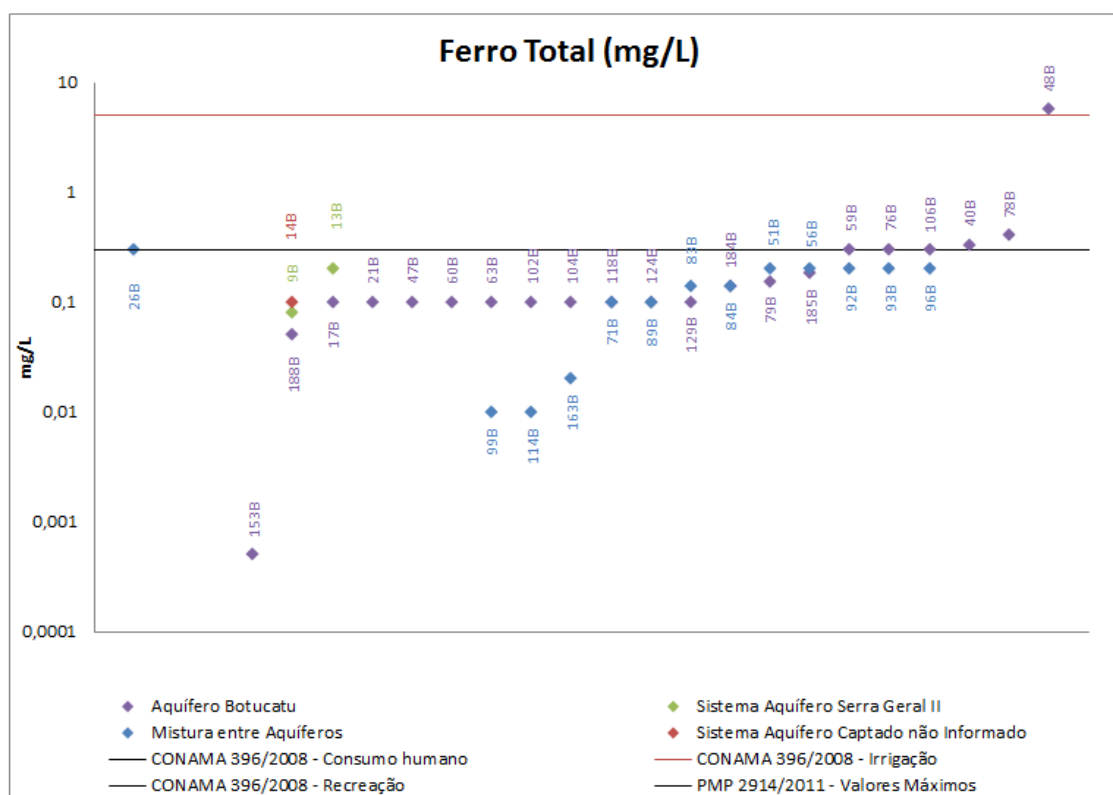
Figura 77. Comparação de concentrações de cromo (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Para ferro total (Figura 78), têm-se maiores concentrações nas águas do AB do que nas águas de MA e SACNI. Existe um *outlier* captado no AB fora dos padrões mesmo de irrigação. Cinco poços do AB também se encontram no limite de potabilidade para recreação e consumo humano. Em geral, as concentrações no AB e SASGII são superiores às captações do MA e do SACNI, não havendo grandes problemas de potabilidade com este elemento para estes grupos.

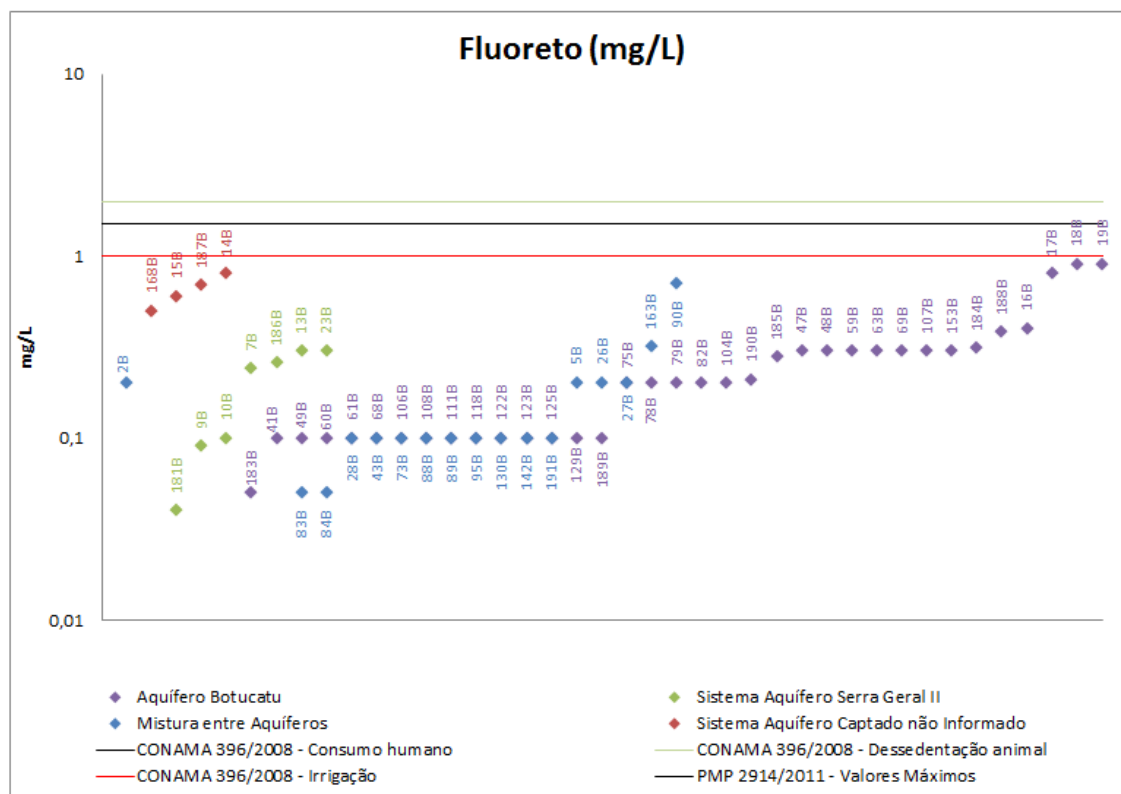
Figura 78. Comparação de concentrações de ferro total (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

As concentrações de fluoreto (Figura 79) apresentam grande variabilidade, embora todas as análises sejam inferiores aos limites máximos permitidos pelas legislações. As águas com maiores concentrações são AB, SACNI, MA e SASG II.

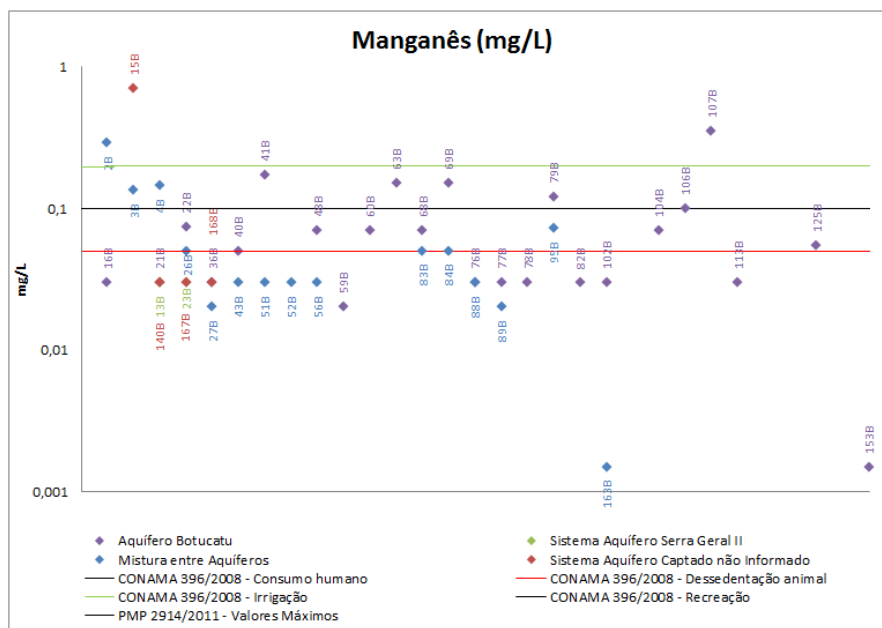
Figura 79. Comparação de concentrações de fluoreto (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

O manganês (Figura 80) consiste em um elemento com complicações em termos de potabilidade. Observa-se a existência de *outliers* acima dos padrões de potabilidade para irrigação para o SACNI, MA e AB. Percebe-se ainda que águas do AB tendem a ter maiores concentrações do que as de MA e SASGII. Águas de todos os sistemas de captação (exceto o SASGII que apresenta apenas um poço com dados de manganês) apresentam alguns poços com concentrações acima do estabelecido para consumo humano e recreação.

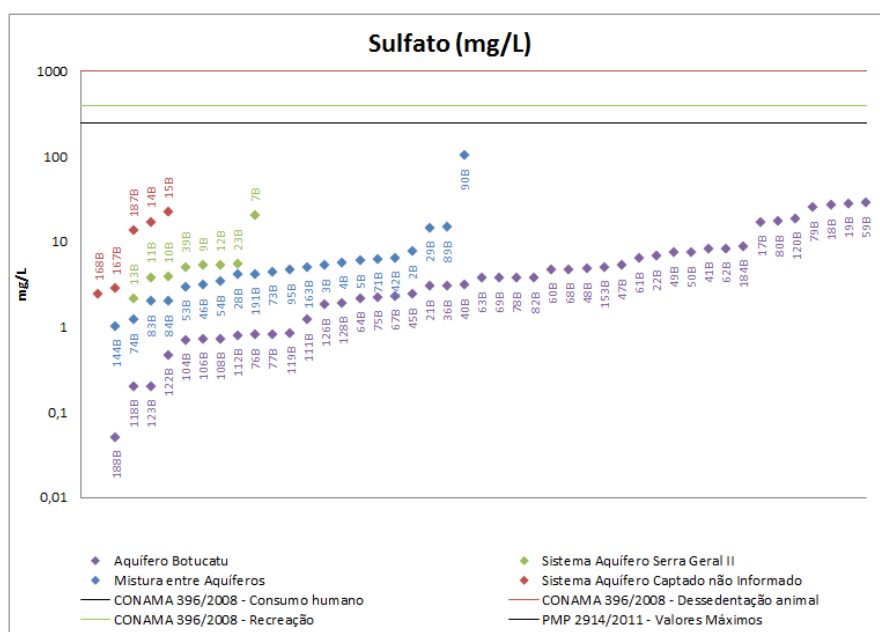
Figura 80. Comparação de concentrações de mangânes (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011. O ponto máxmo foi removido para melhorar a resolução do gráfico (poço 7B com concentração 6,25 mg/L)



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Para sulfato (Figura 81), todas as amostras cadastradas no banco de dados encontram-se dentro dos limites de potabilidade para consumo humano, recreação e dessedentação animal. Destaca-se um valor extremo no MA embora ainda se encontre dentro dos limites.

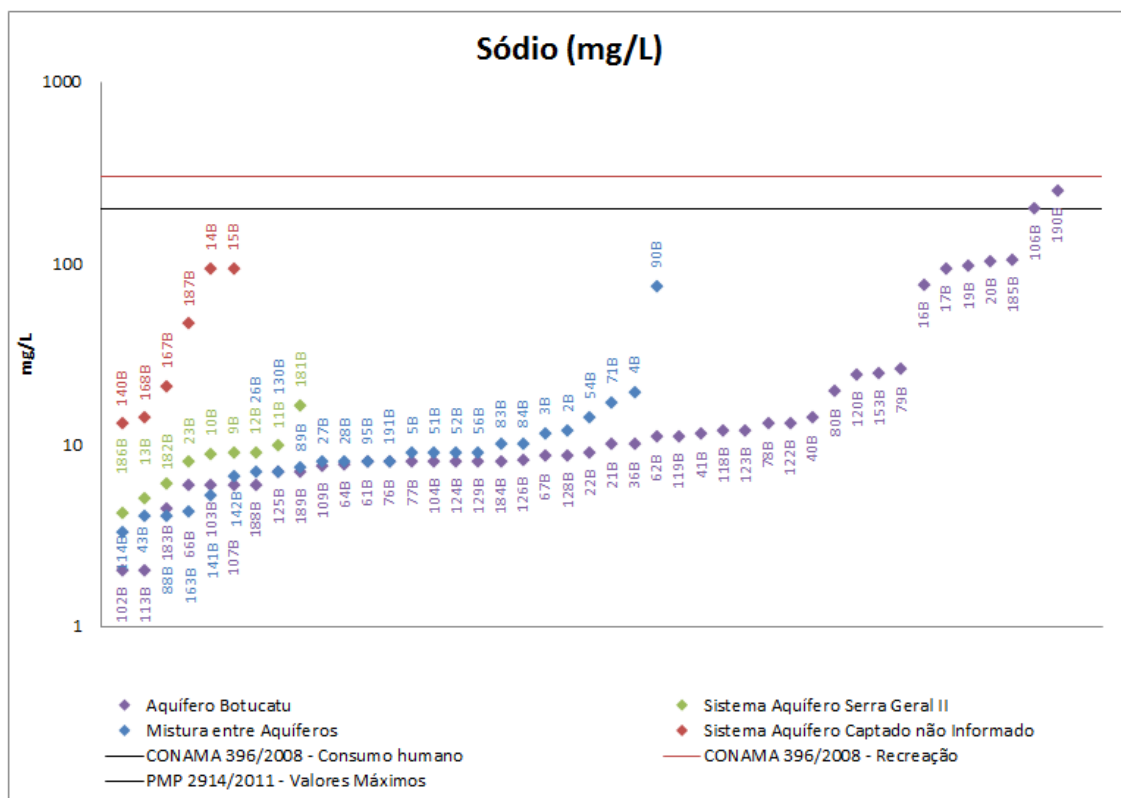
Figura 81. Comparação de concentrações de sulfato (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Para sódio (Figura 82), observa-se a existência de um *outlier* de águas do AB que se enquadra em desacordo com os limites para consumo humano, embora dentro dos limites para recreação. As águas do AB e SACNI apresentam maiores concentrações do que as do MA e SASGII.

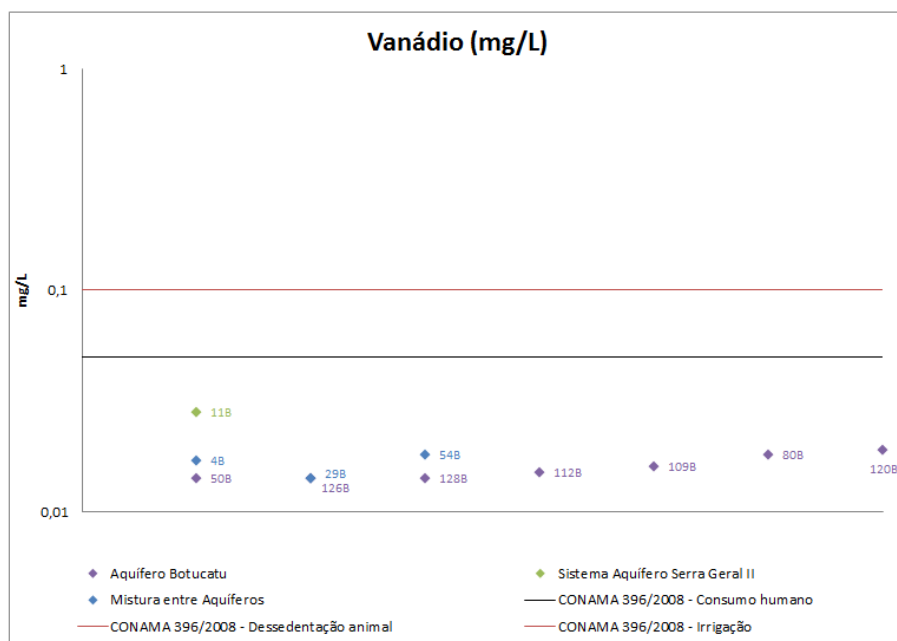
Figura 82. Comparação de concentrações de sódio (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

As águas consumidas no município não apresentam problemas com concentração de vanádio (Figura 83), estando todas as amostras dentro dos padrões de potabilidade.

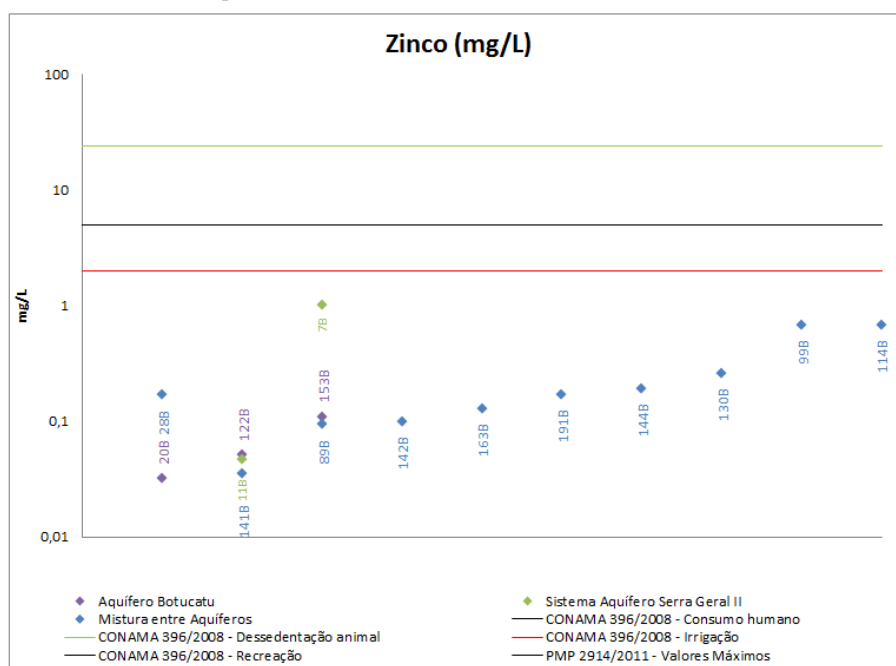
Figura 83. Comparação de concentrações de vanádio (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

O mesmo é observado para zinco (Figura 84), que apresenta todas suas análises dentro dos padrões de potabilidade exigido pelas legislações.

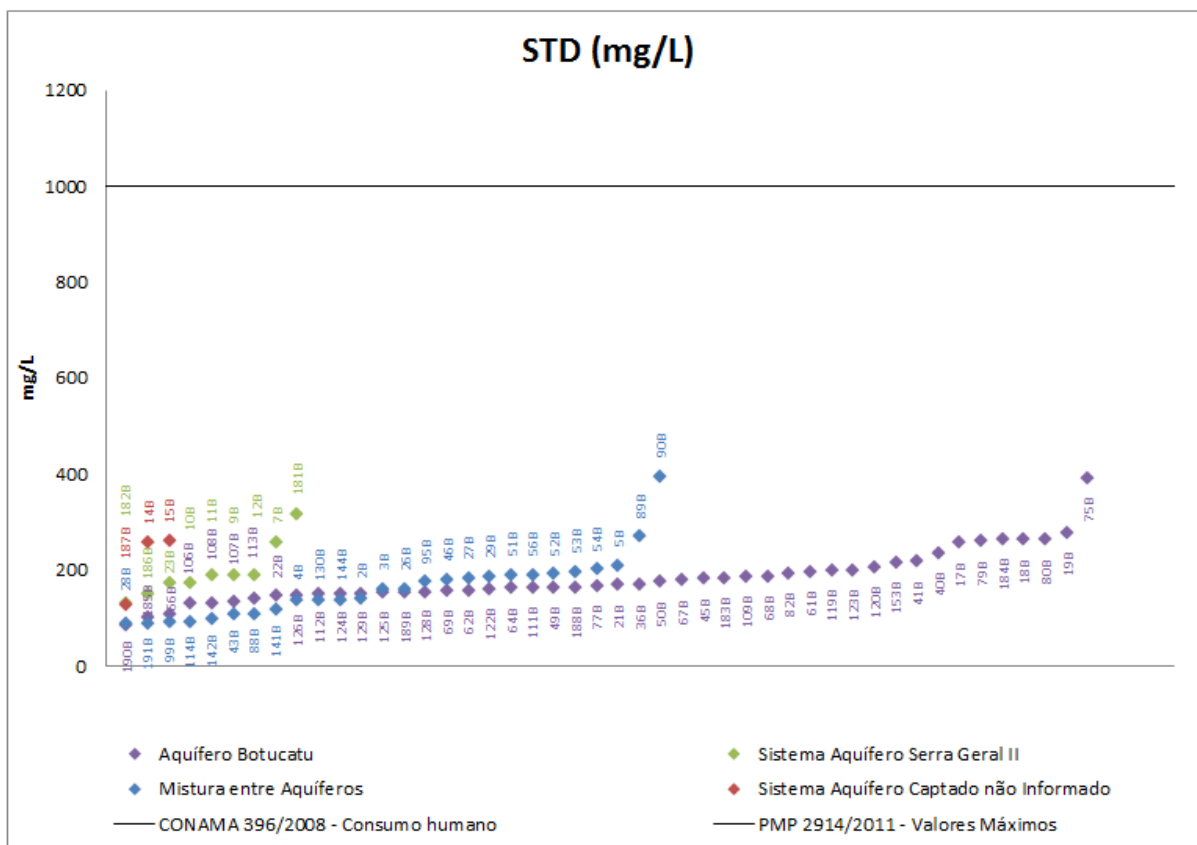
Figura 84. Comparação de concentrações de zinco (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Em relação aos sólidos totais dissolvidos (Figura 85), todos os pontos cadastrados no banco de dados encontram-se em acordo com o estabelecido pela legislação. As maiores concentrações são das águas de MA, seguido por AB, SASGII e SACNI.

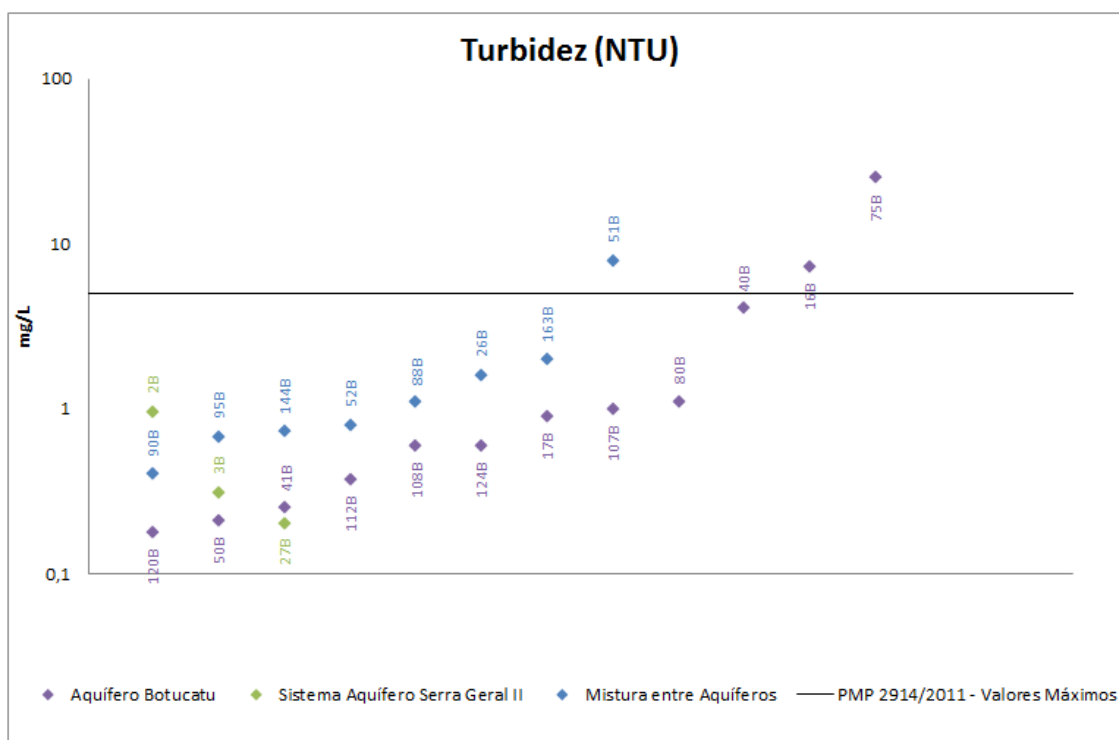
Figura 85. Comparação de concentrações de sólidos totais dissolvidos (mg/L) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

Outro critério de qualidade de água consumida é a turbidez (Figura 86). Observa-se que, no geral, predominam pontos dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Dois *outliers* de captação do AB e um do MA indicam problemas.

Figura 86. Comparação de turbidez (NTU) cadastradas no banco de dados elaborado no presente projeto com limites estabelecidos pela CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério Público 2914/2011.



Fonte. Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI, DRH/SEMA, BRASIL (2008) e BRASIL (2011).

7.3.2 Vulnerabilidade de Aquíferos

O estudo de vulnerabilidade de aquíferos foi desenvolvido para o AB e SASGII. Para a definição dos pesos dos parâmetros, foi realizado um detalhamento sobre os substratos de cobertura, conforme item 7.3.2.1. Feto isto, pode-se aplicar os pesos de cada parâmetro em plataforma SIG, como apresentado no item 7.3.2.2. Por fim, a partir da multiplicação dos pesos calculados, pode-se obter os mapas de vulnerabilidade apresentados no item 7.3.2.3.

7.3.2.1 Descrição do Substrato de Cobertura

Para a descrição do substrato de cobertura foram realizadas coletas de amostras dos principais solos do município (7.3.2.1.1), realizando ensaios de DRX (7.3.2.1.2) e granulometria (7.3.2.1.3) para caracterização de suas características composicionais e texturais.

7.3.2.1.1 Coleta de Solo

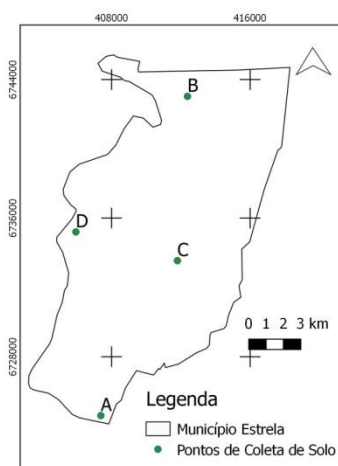
Foram coletadas quatro (04) amostras de solo. Conforme metodologia detalhada, o equipamento de coleta consistiu em um trado helicoidal. As profundidades de coleta foram de aproximadamente 40 cm de profundidade, sempre atentando para a coleta de material in situ. O Quadro 5 apresenta as coordenadas dos locais de coleta, obtidas em campo com GPS Garim de mão e a Figura 87 apresenta a sua distribuição espacial.

Quadro 5. Coordenadas dos locais de coleta de solo.

Coleta	Coordenada SIRGAS 2000	
	UTM E	UMT N
A	407380	6724599
B	412385	6743026
C	411802	6733541
D	405938	6735200

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 87. Disposição georreferenciadas dos locais de coleta de solo



Fonte. Elaborado pela autora.

A amostra A foi coletado em local de deposição de sedimentos quaternários, consistindo macroscopicamente em material argilo arenoso de cor marrom de alta plasticidade. O material é composto por seixos e grânulos bem arredondados, de baixa esfericidade e composição lítica basáltica. A razão de matriz para grãos é de 80/20. A coleta se deu na profundidade de 0,40 m.

A amostra B foi coletada em material solo residual, oriundo da alteração do basalto. Consiste em solo argiloso de cor marrom avermelhado e alta plasticidade. A coleta foi realizada na profundidade de 0,80 m. A coleta C foi realizada em solo residual de alteração de basalto, composto por argila marrom avermelhada de alta plasticidade, coletado em uma profundidade de 0,60 m. A amostra D foi coletada no núcleo urbano, também em material residual oriundo da alteração de basalto. O solo coletado era argiloso de cor marrom, plástico, sendo coletado a 0,60 metros.

7.3.2.1.2 *Difração de Raios X (DRX)*

As quatro (04) amostras de solo coletadas, descritas acima, foram processadas conforme metodologia descrita. Os difratogramas resultantes foram interpretados com auxílio de técnico responsável do Laboratório de Difração de Raio X da UFRGS e são encontrados no capítulo APÊNDICES - A **Difração de Raios X**. Os resultados das análises apontam para as seguintes composições, compiladas no quadro abaixo.

Quadro 6. Compilação dos resultados obtidos com a análise de DRX.

Amostra	Composição Mineralógica
A	Esmectita, ilita, quartzo, plagioclásio
B	Esmectita, anfibólio, caulinita, quartzo, feldspato potássico, hematita
C	Esmectita, anfibólio, caulinita, quartzo, feldspato potássico, hematita
D	Caulinita, quartzo, plagioclásio, hematita

Fonte . Elaborada pela autora.

A partir dos resultados, observa-se a presença de argilas expansivas do tipo esmectita/montmorilonita nas amostras A, B e C. Argilas não expansivas como ilita e caulinita são encontradas nas amostras A (ilita) B, C e D (caulinita). A hematita, mineral tipicamente secundário, é encontrada nas amostras B, C e D.

7.3.2.1.3 *Granulometria*

As mesmas amostras utilizadas para análises de DRX foram processadas com auxílio do técnico do Laboratório de Sedimentologia da UFRGS para a determinação

granulométricas. Os laudos são encontrados no capítulo APÊNDICES - B Análises Granulométricas. Os resultados compilados são apresentados no Quadro 7 e na Figura 88.

Quadro 7. Compilação dos resultados das análises granulométricas, com escala da peneira, tamanho de grão retido, frequência simples e acumulada (%).

Amostra A			
Escala (mm)	Tamanho de Grão	Frequência Simples (%)	Frequência Acumulada (%)
16	Seixo	0	0
8		0	0
4		0	0
2	Grânulo	0,254	0,2539
1	Areia muito grossa	0,166	0,4203
0,5	Areia grossa	0,202	0,6224
0,25	Areia média	0,241	0,8630
0,125	Areia fina	0,808	1,6705
0,062	Areia muito fina	2,895	4,5659
0,0039	Silte	61,816	66,3818
0,0002	Argila	33,68	100

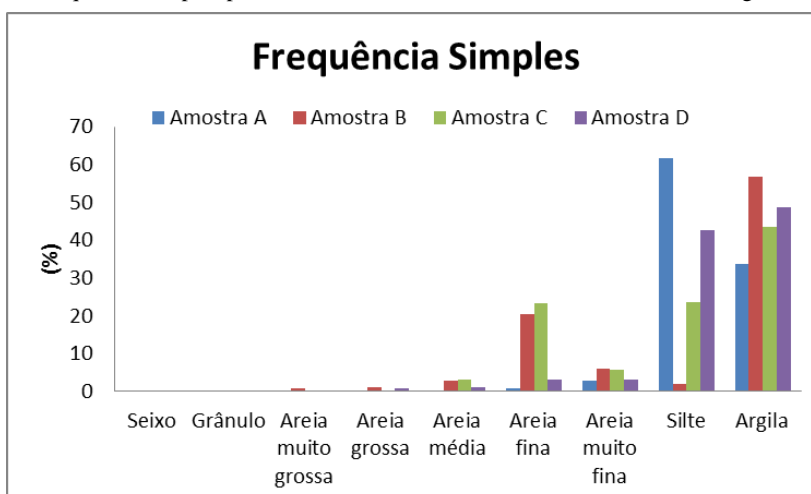
Amostra B			
Escala (mm)	Tamanho de Grão	Frequência Simples (%)	Frequência Acumulada (%)
16	Seixo	0	0
8		0	0
4		0	0
2	Grânulo	0,176	0,1757
1	Areia muito grossa	0,946	1,1215
0,5	Areia grossa	1,128	2,2498
0,25	Areia média	2,770	5,0211
0,125	Areia fina	20,406	25,4273
0,062	Areia muito fina	5,908	31,3353
0,0039	Silte	1,868	43,2037
0,0002	Argila	56,796	100

Amostra C			
Escala (mm)	Tamanho de Grão	Frequência Simples (%)	Frequência Acumulada (%)
16	Seixo	0	0
8		0	0
4		0	0
2	Grânulo	0	0
1	Areia muito grossa	0,103	0,1032
0,5	Areia grossa	0,270	0,3730
0,25	Areia média	3,284	3,6571
0,125	Areia fina	23,427	27,0843
0,062	Areia muito fina	5,666	32,7505
0,0039	Silte	23,725	56,4759
0,0002	Argila	43,524	100

Amostra D			
Escala (mm)	Tamanho de Grão	Frequência Simples (%)	Frequência Acumulada (%)
16	Seixo	0	0
8		0	0
4		0	0
2	Grânulo	0	0
1	Areia muito grossa	0,314	0,3143
0,5	Areia grossa	0,746	1,0606
0,25	Areia média	1,280	2,3414
0,125	Areia fina	3,031	5,3723
0,062	Areia muito fina	3,244	8,6163
0,0039	Silte	42,731	5,3471
0,0002	Argila	48,653	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 88. Frequência simples para as amostras A, B, C e D, distribuídas em classes granulométricas.



Fonte. Elaborado pela autora.

As amostras são compostas majoritariamente por silte e argila. As amostras A e D apresentam classificação textural de Shepard como lama. As amostras B e C têm enriquecimento em areia fina, sendo classificadas como lama com areia para a mesma classificação.

7.3.2.2 Método GODS

O método GODS foi aplicado separadamente para o SASGII (7.3.2.2.1) e para o AB (7.3.2.2.2), valendo-se de ponderações diferenciadas para cada processamento. Cada camada apresentada nos subitens a seguir foi criada e transformada em arquivo vetorial. A multiplicação pixel a pixel destas produziu os mapas de vulnerabilidade apresentados em 7.3.2.3.

7.3.2.2.1 Sistema Aquífero Serra Geral II

Para o Sistema Aquífero Serra Geral II foi estabelecido os seguintes parâmetros:

- G: devido a característica de aquífero fraturado, cuja configuração de grau de confinamento fica prejudicada, optou-se pela utilização do parâmetro 0,5. Esta pesagem é coerente com a ponderação aplicada por Reginato e Ahlert (2013) para o mesmo tipo de aquífero, que justificam a atribuição de peso 0,5, nas palavras dos autores, pelo “comportamento diferenciado (livre ou confinado)

em função dos condicionantes geológicos (estruturas primárias e tectônicas)”. O mapa gerado apresenta ponderação única para toda a área dos basaltos e é apresentado na Figura 89.

- O: os estratos de cobertura das rochas basálticas consistem nos solos residuais oriundos da decomposição do basalto, conforme contatado nas coletas de amostras de solo realizadas para o presente projeto. Assim, atribuiu-se o valor de 0,4, correspondentes aos solos residuais, também configurando um mapa de ponderação única (Figura 90).
- D: esta classe é determinada pela distância até o nível estático, sendo utilizados dados medidos em campo e cadastrados no banco de dados. Estes dados foram interpolados pelo método IDW e geraram o mapa apresentado na Figura 91. Para o geoprocessamento foram atribuídos os pesos apresentados no Quadro 8.

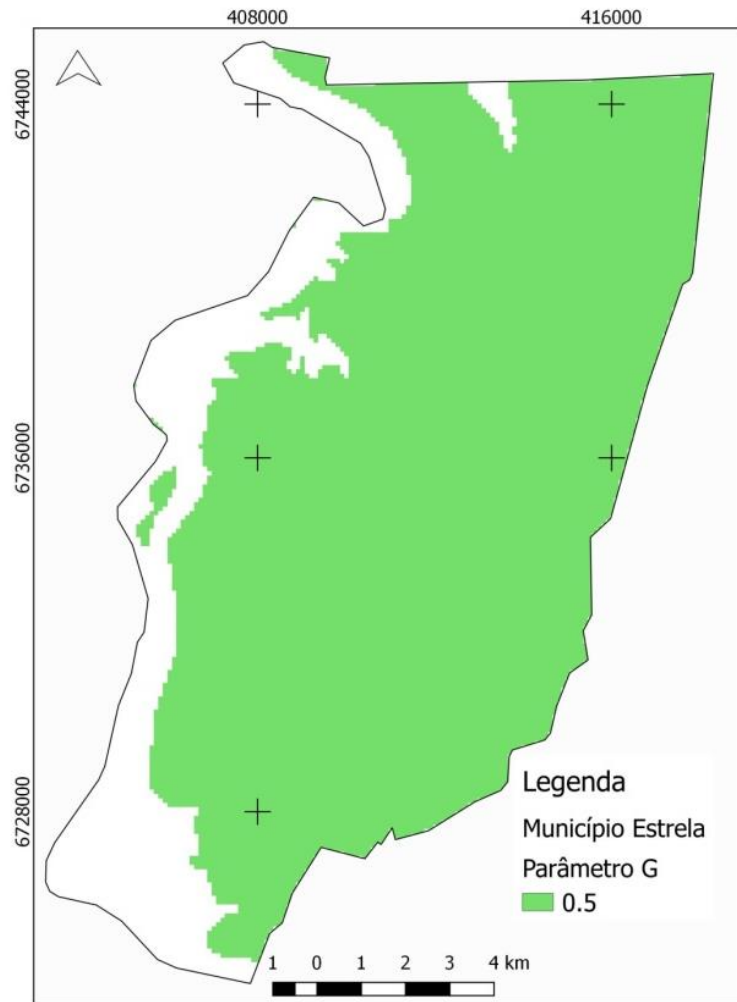
Quadro 8. Pesos aplicados para o parâmetro D na análise de vulnerabilidade do SASGII.

Profundidade N.E. (m)	Peso Atribuído
Jorrante	0,1
>100	0,4
50-100	0,5
20-50	0,6
10-20	0,7
5-10	0,8
2-5	0,9
<2	1

Fonte. Elaborado pela autora.

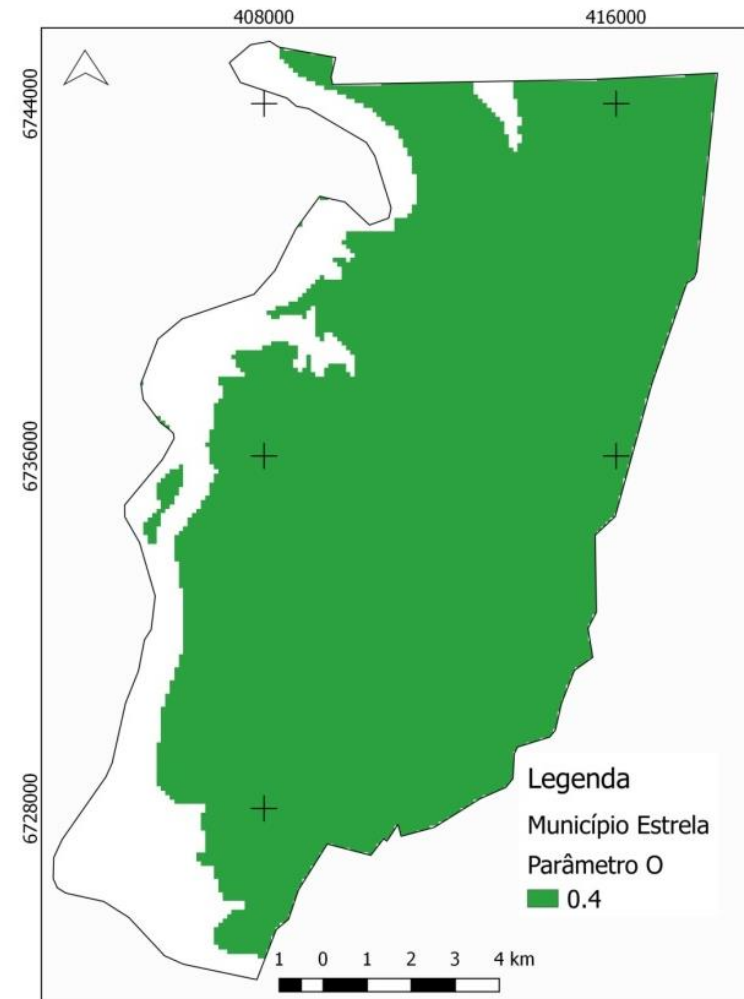
- S: este parâmetro é condicionado pelo tipo de cobertura, sendo utilizados os resultados das análises granulométricas e de DRX para a caracterização dos solos residuais de basalto. Estes nitossolos são compostos principalmente por argila e silte, sendo composto por mineiras expansivos (esmectitas) e não expansivos (ílita e caulinita), além de quartzo e óxido de ferro. Assim, atribuiu-se o peso único de 0,6 para toda a área de afloramento.

Figura 89. Mapa para parâmetro G para Sistema Aquífero Serra Geral II.



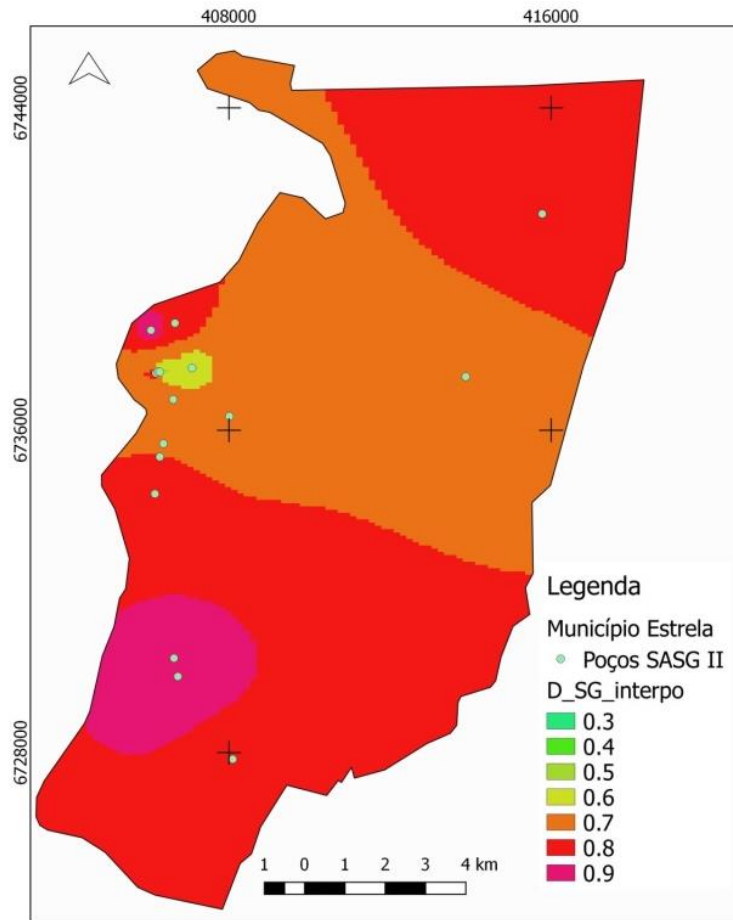
Fonte. Elaborado pela autora.

Figura 90. Mapa para parâmetro O para Sistema Aquífero Serra Geral II.



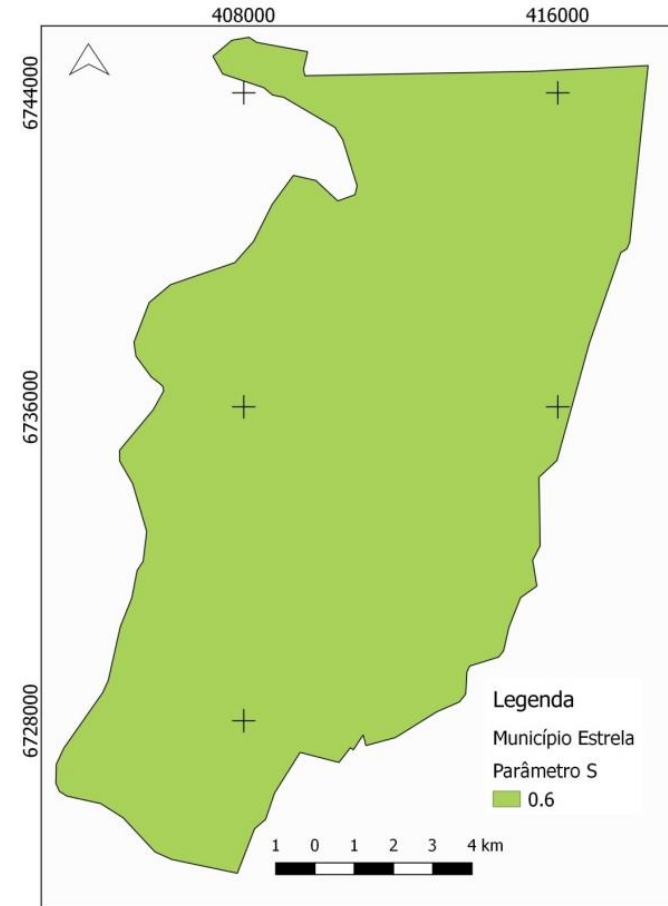
Fonte. Elaborado pela autora.

Figura 91. Mapa para parâmetro D para Sistema Aquífero Serra Geral II.



Fonte. Elaborado pela autora.

Figura 92. Mapa para parâmetro S para Sistema Aquífero Serra Geral II.



Fonte. Elaborado pela autora.

7.3.2.2.2 Aquífero Botucatu

Para o Aquífero Botucatu foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- G: Em relação ao grau de confinamento, atribuiu-se 1,0 para a porção livre aflorante no extremo sul do município e 0,2 para a porção sotoposta aos basaltos da Formação Serra Geral. O mapa gerado é apresentado na Figura 93.
- O: o arenito é encontrado tanto aflorante junto a porção extremo sul do município, como sotoposto aos basaltos. Para a porção aflorante livre, atribuiu-se o grau de 0,75. Para a porção sotoposta aos basaltos, atribuiu-se o valor de 0,32, que equivale a multiplicação da confinação pelo solo residual de basalto (0,4) e pela rocha basáltica fraturada (0,8). O resultado é o mapa da Figura 94.
- D: esta classe é determinada pela distância até o topo do arenito, sendo utilizados dados de perfil construtivos e geológicos cadastrados no banco de dados elaborado. Foram utilizadas informações de poços classificados como de captação do AB e do MA, de forma a aumentar o número de dados interpolados pelo método IDW. A interpolação gerou o mapa apresentado na Figura 95. Para o geoprocessamento foram atribuídos os pesos apresentados no Quadro 9.

Quadro 9. Pesos aplicados para o parâmetro D na análise de vulnerabilidade do AB.

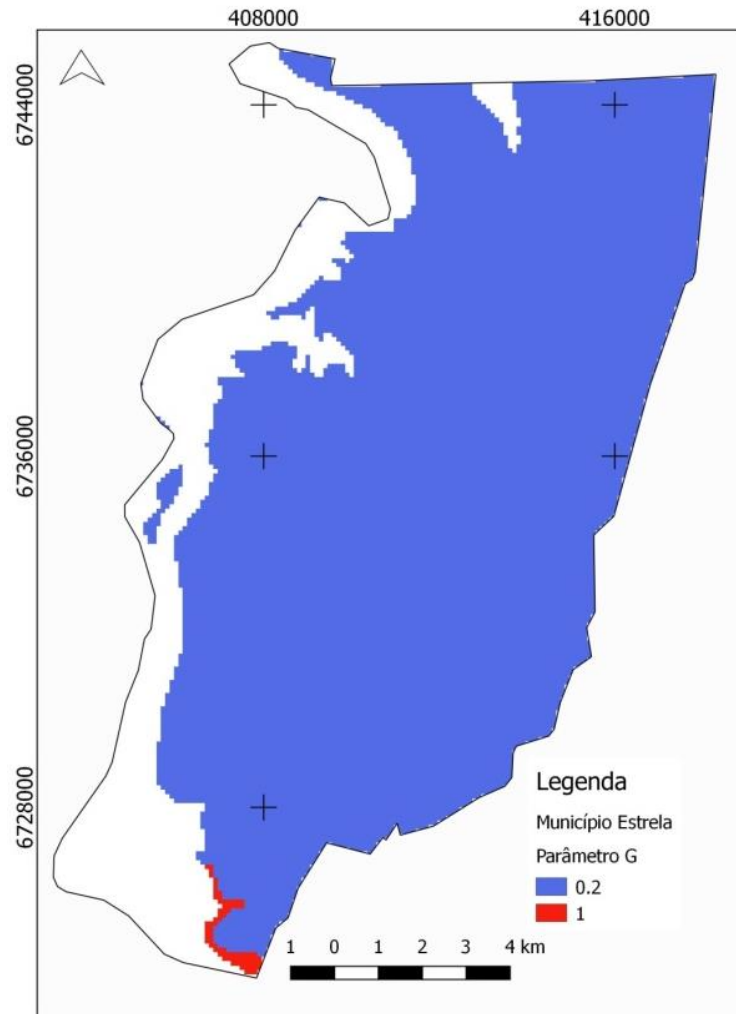
Profundidade Topo Arenito (m)	Peso Atribuído
>100	0,4
50-100	0,5
20-50	0,6
10-20	0,7
5-10	0,8
2-5	0,9
<2	1

Fonte. Elaborado pela autora.

S: dada a similaridade granulométrica e composicional entre as análises de nitossolos com planossolos, optou-se pela manutenção da atribuição de peso 0,6. O mapa gerado é apresentado na Figura 96

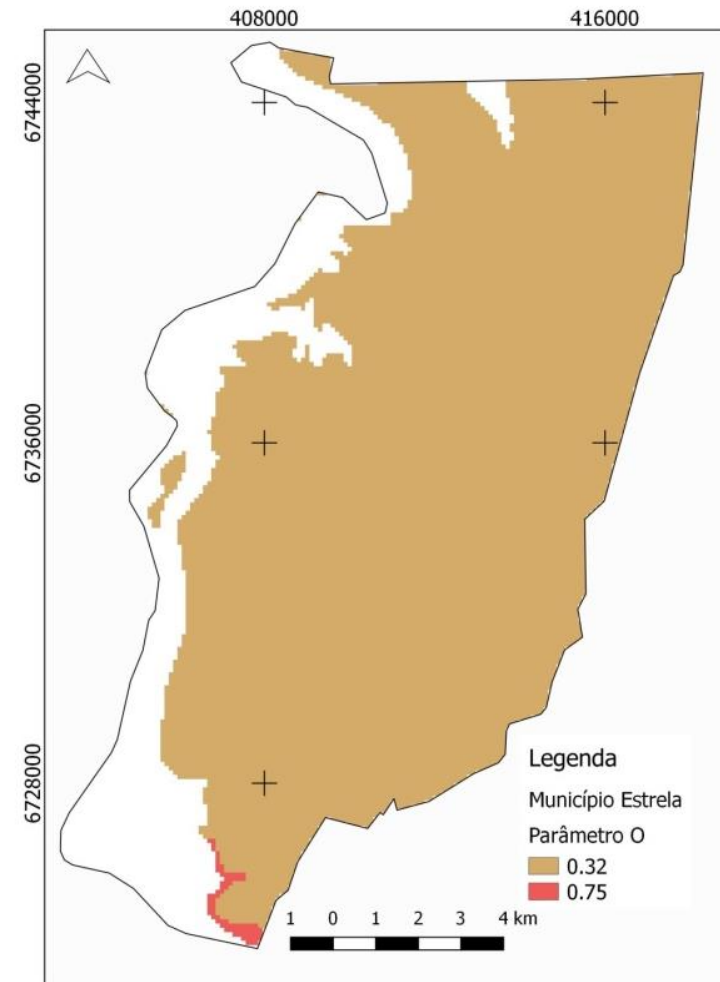
- Figura 96.

Figura 93. Mapa para parâmetro G para Aquífero Botucatu.



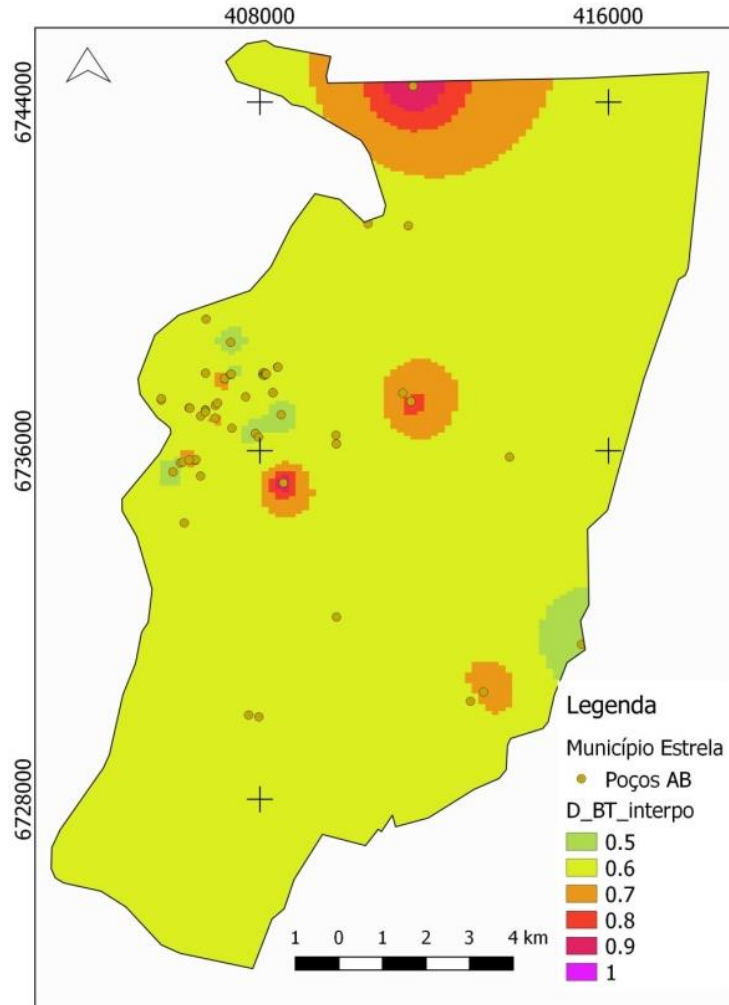
Fonte. Elaborado pela autora.

Figura 94. Mapa para parâmetro O para Aquífero Botucatu.



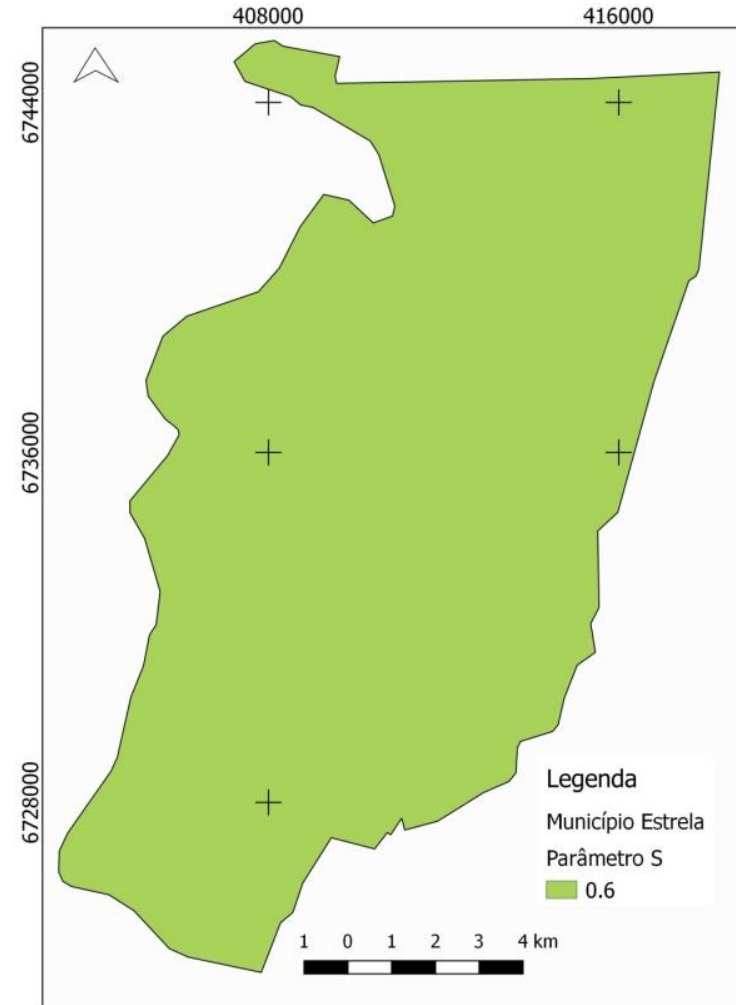
Fonte. Elaborado pela autora.

Figura 95. Mapa para parâmetro D para Aquífero Botucatu.



Fonte. Elaborado pela autora.

Figura 96. Mapa para parâmetro S para Aquífero Botucatu.



Fonte. Elaborado pela autora.

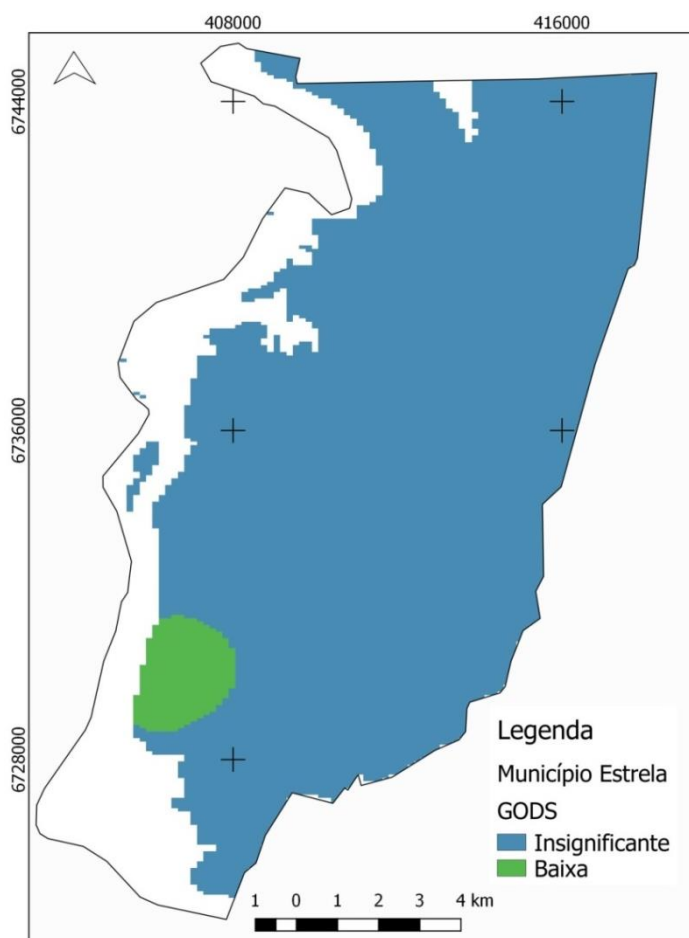
7.3.2.3 Mapa de Vulnerabilidade

Os itens a seguir apresentam, respectivamente, os mapas gerados conforme metodologia GODS para o SASGII II (7.3.2.3.1) e AB (7.3.2.3.2).

7.3.2.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral II

A Figura 97 apresenta o mapa de vulnerabilidade gerado a partir da multiplicação pixel a pixel dos mapas apresentados na Figura 89 até Figura 92. Observa-se a absoluta dominância de terrenos de vulnerabilidade insignificante. Uma pequena porção ao sudoeste apresenta vulnerabilidade baixa como reflexo da menor profundidade até o nível estático.

Figura 97. Mapa de Vulnerabilidade GODS para Sistema Aquífero Serra Geral II.

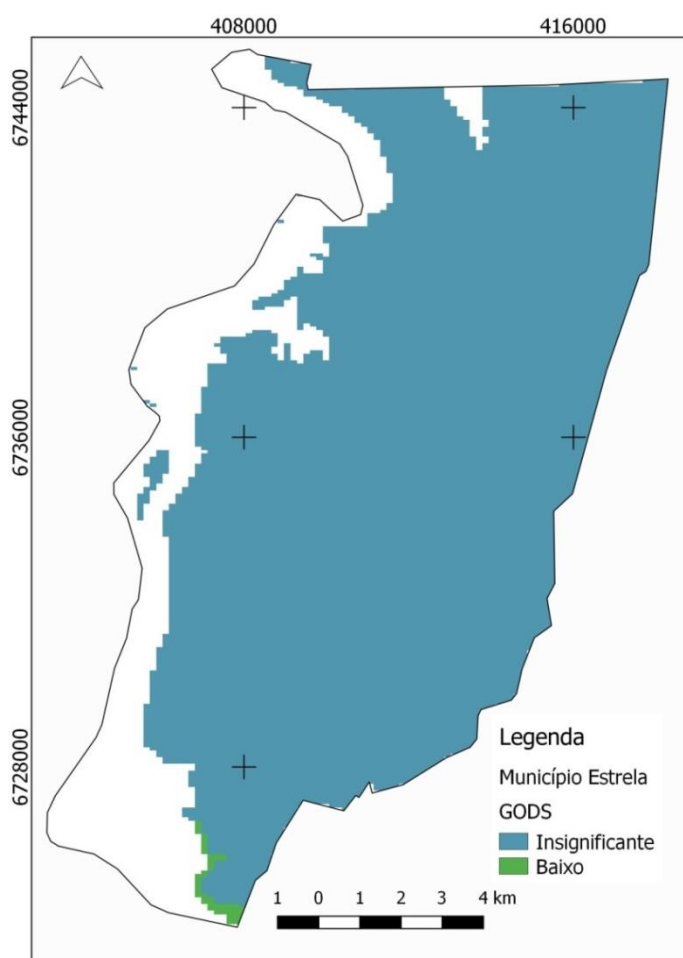


Fonte. Elaborado pela autora.

7.3.2.3.2 Aquífero Botucatu

Com a multiplicação pixel a pixel dos mapas apresentados na Figura 93 até Figura 96 obteve-se a Figura 98. O resultado para a vulnerabilidade calculada para o AB é muito similar ao obtido para o SASGII. Para o aquífero sotoposto aos basaltos, a classificação de vulnerabilidade resultante foi insignificante, sendo considerada baixa para a porção aflorante das rochas areníticas.

Figura 98. Mapa de Vulnerabilidade GODS para Aquífero Botucatu.



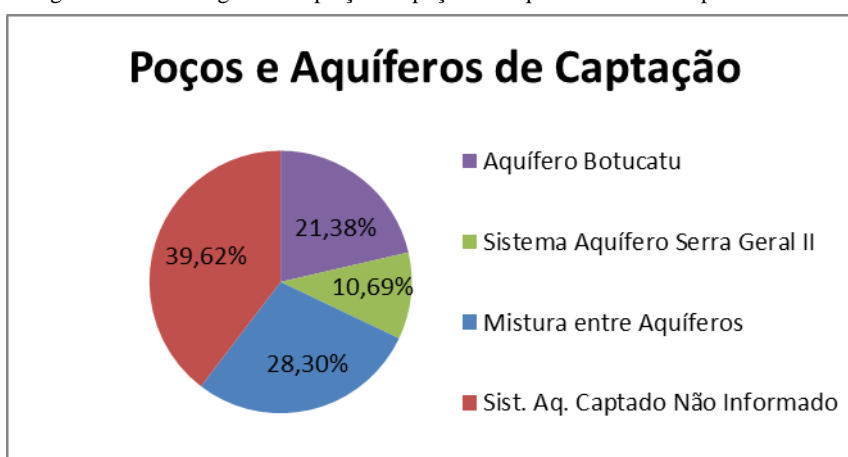
Fonte. Elaborado pela autora.

8 DISCUSSÕES

8.1 Caracterização do Comportamento Hidrogeológico

Para a caracterização hidrogeológica (7.1) foram estudados perfis construtivos, geológicos e resultados de ensaios de bombeamento. Dos poços cadastrados, observa-se que a maioria não apresenta seus perfis construtivos e geológicos e, portanto são chamados de Sistema Aquífero Captado não Informado (SACNI), sendo provavelmente reflexo dos poços mais antigos, onde as exigências de controle e fiscalização pública eram menores. Dos poços que apresentam informações sobre seus perfis geológicos, a maior parte capta em poços instalados diretamente na rocha, ou seja, não apresentam revestimento ou tubulação lisa/filtrante e assim são interpretados como de captação de águas mistas, representando possivelmente a falta de preocupação técnica na instalação dos mesmos em relação a possibilidade de mistura de aquíferos de características diferentes. Posteriormente, os arenitos do Aquífero Botucatu são a fonte mais importante e seguida desta os basaltos do Sistema Aquífero Serra Geral II. A figura abaixo apresenta a percentagem de poços captando em cada grupo definido.

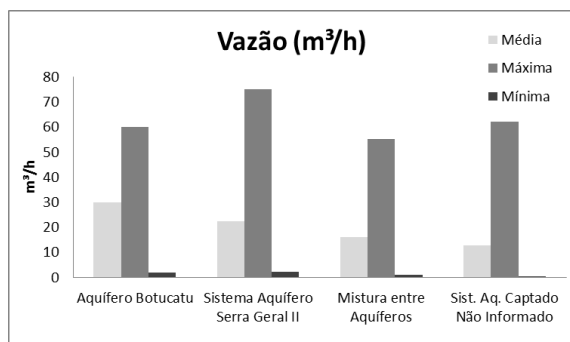
Figura 99. Percentagem de captação de poços em aquíferos no município de Estrela.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS, CORSAN e DRH.1

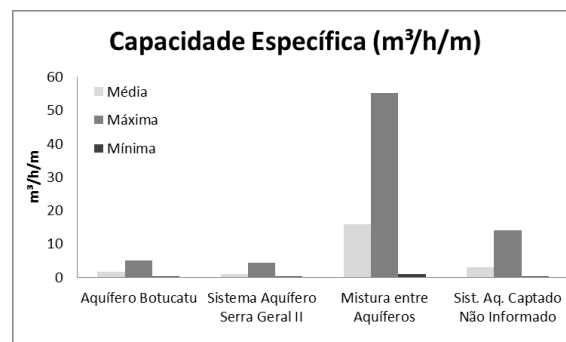
Em resumo, a maior vazão média é encontrada no Aquífero Botucatu (Figura 100). A maior capacidade específica média é calculada para o Sistema Aquífero Captado não Informado (Figura 101). A maior transmissividade média é registrada no Sistema Aquífero Serra Geral II (Figura 102). Abaixo são discutidas e interpretadas as principais características.

Figura 100. Resumo das estatísticas de vazão para AB, SASGII, MA e SACNI.



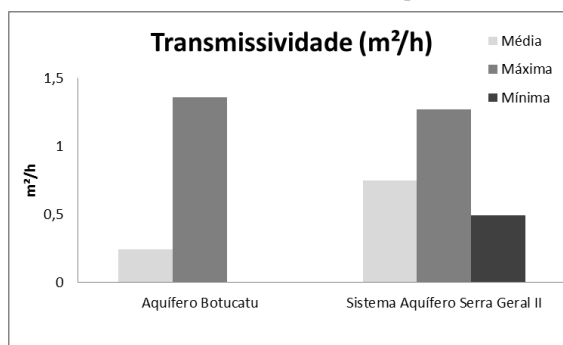
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 101. Resumo das estatísticas de capacidade específica para AB, SASGII, MA e SACNI.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 102. Resumo das estatísticas de transmissividade para AB, SASGII, MA e SACNI.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Os poços enquadrados no SACNI apresentam vazões médias de 12,72 m³/h, variando entre 62,13 e 0,40 m³/h. A capacidade específica média é de 3,02 m³/h/m, variando entre 14 e 0,01 m³/h/m. Assim, a análise das estatísticas do SACNI sugerem diferentes fontes, uma vez considerada a discrepância entre vazões e capacidade específica, que podem ser ou não promissoras. Os dados cadastrados neste grupo não apresentaram dados de transmissividade suficientes para apresentação estatística.

Para os poços captando água das fraturas do SASGII, as vazões médias foram calculadas em 22,21 m³/h, variando entre 75 e 2,16 m³/h. A capacidade específica média é 0,96 m³/h/m, variando entre 4,40 e 0,03 m³/h/m. A transmissividade média é de 0,75 m²/h, variando de 1,27 e 0,49 m²/h. A variabilidade entre características hidrogeológicas desse grupo pode ser explicada pelo abastecimento de água por fraturas. Conforme Reginato e Ahlert (2013), aquíferos fraturados apresentam comportamento hidrogeológico diferenciado explicado pelas estruturas primárias e tectônicas que constituem condicionantes geológicas. Além disto, característica como rugosidade e coeficiente de atrito das paredes das fraturas

condutoras de água e geometria das fraturas também pode ser determinante ao regime de escoamento (CPRM, 2008). Os dados de capacidade específica não são promissores, embora as vazões sejam muito boas.

No AB, a vazão média é de 29,29 m³/h, variando entre 60 e 2 m³/h. A capacidade específica média é de 1,63 m³/h/m, oscilando entre 5,03 e 0,17 m³/h/m. A transmissividade média é de 0,24 m²/h, variando entre 1,36 e 0 m²/h. Embora o AB consista em um aquífero poroso, os dados indicam substanciais variações nas características hidrogeológicas. Estas podem ser reflexo das diferenças de confinamento do aquífero, que pode ser livre ou sobreposto a camadas de basalto de espessuras superiores a cem metros, bem como variações de porosidade e permeabilidade. Assim como no SASGII, as vazões são podem ser boas embora em geral a capacidade específica seja baixa.

Por fim, no grupo enquadrado como MA, as vazões médias são de 15,91 m³/h, variando entre 55,29 e 0,88 m³/h. A capacidade específica média é de 0,93 m³/h/m, variando entre 5,31 e 0,02 m³/h/m. Não houveram dados suficientes para cálculo de estatística de transmissividade. Aqui a variação pode ser reflexo de fontes misturadas ou mesmo de contribuição dominante de um aquífero. Por exemplo, as maiores vazões poderiam ser reflexo de predominância de abastecimento do SASGII enquanto que poços com maior capacidade específica podem refletir uma maior importância do AB.

Em termos de lineamentos e fluxo, percebe-se que a predominância de lineamentos é orientada noroeste-sudeste, com orientação média de nor-noroeste-su-sudeste. Observa-se que as fraturas de maior continuidade são orientadas noroeste-sudeste (variando de 0,7 até 4,2 km), havendo influência de lineamentos de menor porte de direção praticamente norte-sul, com dimensões entre 0,3 e 5,8 km. Zonas de lineamentos podem gerar conexões e conseqüente mistura entre aquíferos localizados em diferentes profundidades (TEIXEIRA & VIERO, 2017). Observa-se ainda a clara configuração de rio encaixado em lineamentos do Rio Taquari. Isto é um indicativo da possibilidade de correlação entre águas movidas pelas fraturas noroeste-sudeste, que considerando suas orientações e aspectos topográficos do terreno, cujas cotas são maiores a norte e a leste e gradam para cotas menores a oeste junto ao rio, drenariam para o mesmo, configurando zonas de recarga subterrânea no corpo hídrico superficial. Além disto, os lineamentos que moldam o Rio Taquari podem estabelecer conexões hidráulicas com os aquíferos confinados mais profundos, sendo recarregado por águas oriundas destes.

Os mapas potenciométricos indicam forte controle de topografia tanto para o Aquífero Botucatu como para o Sistema Aquífero Serra Geral II, que têm suas potencimetrias de nível

estático e dinâmico com fluxo predominante para oeste, junto a localização do Rio Taquari, com nível estático do aquífero superiores ao nível do rio. O fluxo no SASGII pode ser considerado livre e ocorre naturalmente para as cotas mais baixas, junto ao Rio. Já o AB, confinado, pode gerar descarga no recurso hídrico superficial tanto por ascendência através de fraturas, como por descarga direta em caso de afloramento na calha do rio. Isto, adicionadas à interpretação apresentada acima quando da discussão da importância dos lineamentos, leva a interpretação de que o Rio Taquari consiste em uma zona de descarga do SASGII e do AB. Desta forma, é concluída a interpretação do Rio Taquari, no trecho de estudo, ser categorizado como um rio abastecido por água subterrânea, ou seja, efluente, negando a hipótese de que o curso hídrico poderia afetar a qualidade das águas de subsuperfície.

8.2 Caracterização Hidrogeoquímica

A partir da caracterização hidroquímica pode-se identificar padrões de variação entre as águas dos diferentes aquíferos captados e mesmo para um mesmo aquífero. Com o item 7.2.2, observa-se que a dominância é de águas bicarbonatadas cálcicas, indiferentemente do aquífero captado e de suas variações espaciais. Para as águas do AB, interpretando gráficos de frequência apresentados no item 7.2.1 percebe-se a existência de duas famílias para as águas, interpretadas como águas de recarga mais recentes e de maior confinamento. Para as águas do SASGII, o item citado indica duas famílias, uma com recarga recente e uma segunda mais antiga e de maior interação com as rochas que as armazenam, provavelmente com contribuição de recarga ascendente. Para as águas de MA, existe uma maior semelhança com águas do AB, indicando uma provável maior contribuição dos arenitos em relação aos basaltos para estes poços. Destaca-se que esta classe recebe ainda influência dos argilitos e arenitos da Formação Santa Maria (Grupo Rosário do Sul) e da Formação Rio do Rastro, conforme registros do SIAGAS/CPRM. As águas do SACNI são as que dispõem da maior restrição de variabilidade de parâmetros nas análises físico-químicas e apresentam alta variabilidade de seus resultados, o que dificulta sua correlação com prováveis sistemas de captação.

No geral, observando os histogramas apresentados no item 7.2.1, percebe-se que os valores médios dos principais elementos químicos não apresentam significativas assinaturas capazes de permitir a geração de padrões específicos para águas de diferentes sistemas. No geral, as concentrações de bicarbonato, cloreto, magnésio, sódio, cálcio, sulfato, carbonatos,

ferro total, fluoreto, nitratos e potássio são maiores nas águas do AB em relação ao SASGII. Valores intermediários entre aqueles captados no AB e SASGII são registrados para muitos elementos analisados nas águas captadas do MA, como cálcio, magnésio, sódio, sulfato, carbonatos, ferro total, nitratos e potássio, o que pode reforçar a interpretação do efeito da mistura de águas entre AB e SASGII, descrita como comum entre águas do Aquífero Serra Geral com águas mais profundas a partir da conexão por fraturas e falhas (KERN et al.; 2008; NANNI et al., 2013, apud TEIXEIRA; VIERO, 2017). A seguir são discutidas brevemente possibilidade de origem dos principais elementos das águas.

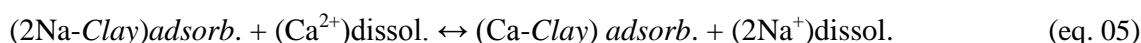
Para entender a origem da condutividade elétrica, correlacionou-se este item com os sólidos dissolvidos totais (Figura 103), observando uma correlação moderada. Os maiores conteúdos de STD são encontrados no AB, indicando aquífero com maior tempo de residência (TEIXEIRA; VIERO, 2017). As menores concentrações são do MA e SASGII, reforçando o indicativo de mistura entre os aquíferos diferentes. Considerando que STD compreendem o peso total do somatório dos componentes minerais das águas (CPRM, 2008), é aprofundada a discussão dos principais íons das águas subterrâneas identificados neste estudo: cálcio, sódio, bicarbonato, sulfato, ferro, manganês e nitrato.

A partir da comparação do cálcio com a alcalinidade (Figura 104), observa-se moderada a alta correlação. Considerando a dominância de águas neutras a alcalinas em todos os grupos analisados, a fonte mais provável do cálcio vem da hidrólise da calcita, que libera cálcio e bicarbonato e promove a alcalinidade (TEIXEIRA; VIERO, 2017). Esta reação é descrita pela equação abaixo (eq 04), apresentada por Deutsch (1997) e também em Teixeira e Viero (2017), que também descrevem a calcita como mineral presente em porções confinadas do AB e em amígdalas e fraturas no SASGII. Esta interpretação pode ser comprovada quando analisada a Figura 106, que, dadas as exceções interpretadas como causadas por águas captadas de aquíferos mais profundos ou oriundas de análises possivelmente problemáticas, apresenta alta correlação entre o bicarbonato e o cálcio.



Sabendo que a dissolução da calcita é favorecida pela troca entre cálcio e sódio (PETALAS et al., 2009) e que aumentos em sódio dissolvidos nas águas subterrânea em geral é explicado por diminuição de cálcio e magnésio devido a troca de íons causada por argilominerais (CLARK; FRITZ, 1997), a investigação sobre a correlação e origem do sódio foi iniciada comparando sua relação com a alcalinidade, relatada como baixa (Figura 105).

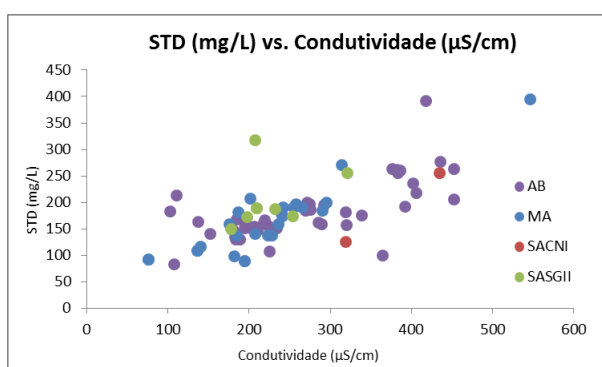
Como a correlação de alcalinidade com sódio é extremamente superior do que com o cálcio, existe um favorecimento a hipótese de troca de íons. A Figura 106 mostra que sódio somado a cálcio tem melhor correlação com o bicarbonato do que somente o sódio comparado ao bicarbonato (Figura 107), indicando que existem no mínimo duas fontes de sódio. A primeira fonte é então interpretada como sendo o sódio oriundo da troca de íons de sódio e cálcio em argilominerais, conforme descrita pela equação abaixo (eq. 05), também descrita no trabalho de Teixeira e Viero (2017).



A equação permite entender que para gerar o balanço iônico, o sódio adsorvido na argila é trocado pelo cálcio, removendo este do sistema e colocando o sódio em solução. A segunda fonte de sódio pode ser da dissolução do feldspato ou mistura com águas mais profundas, de maior confinamento e interação água-rocha. Para isto, correlacionou-se a concentração de sódio+cálcio com alcalinidade e sulfato (Figura 109), obtendo uma correlação muito forte, que indica que minerais com sulfato podem ser a fonte do cálcio que causa a troca catiônica com o sódio.

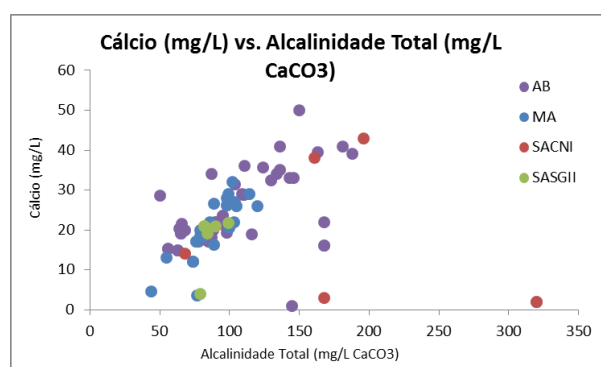
A origem do ferro, manganês e alumínio é interpretada como oriunda da presença de sólidos em suspensão, uma vez considerada a baixíssima solubilidade destes componentes (SPOSITO, 1989). Os sólidos em suspensão se associam à turbidez da água, e equivalem aos componentes em tamanho silte, argila, além de matéria orgânica (CPRM, 2008). A Figura 110 apresenta o gráfico que correlaciona sulfato e ferro total, mostrando a inexistência de correlação entre os elementos, eliminando qualquer correlação de ferro com a pirita, indicando assim, a maior probabilidade da fonte como sólidos em suspensão.

Figura 103. Sólidos dissolvidos em comparação com condutividade elétrica.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do

Figura 104. Correlação entre cálcio e alcalinidade total.

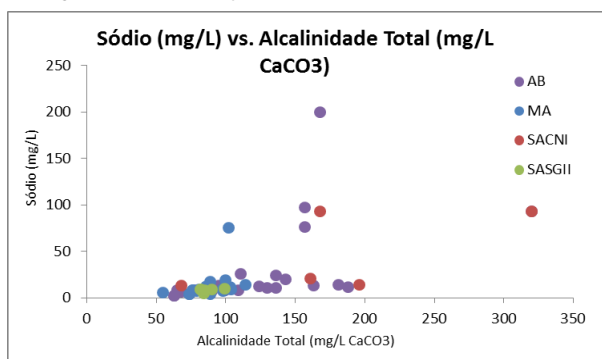


Fonte. Elaborado pela autora com dados do

SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

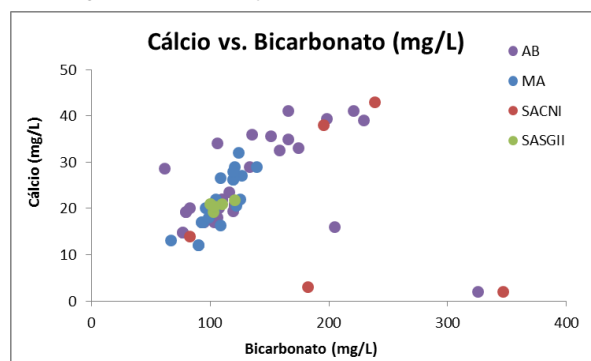
SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 105. Correlação entre sódio e alcalinidade total.



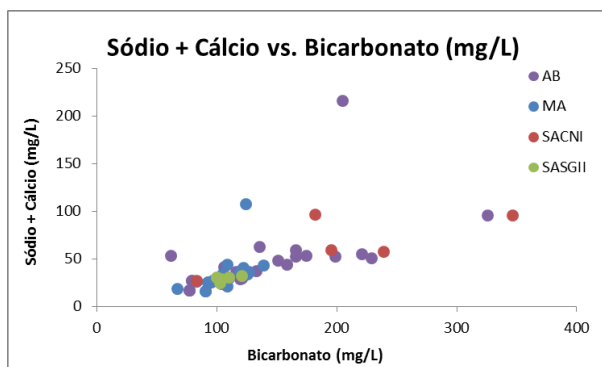
Fonte. . Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 106. Correlação entre cálcio e bicarbonato.



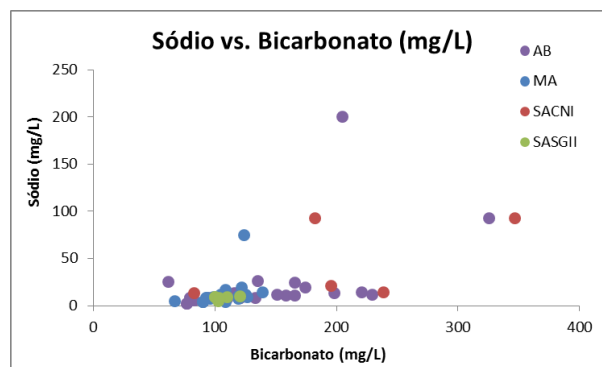
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 107 Correlação entre cálcio+sódio e bicarbonato.



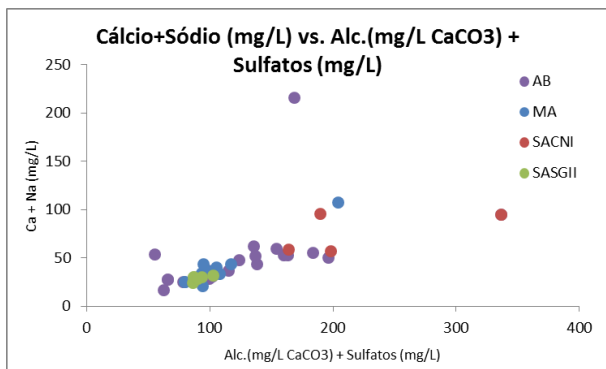
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 108. Correlação entre sódio e bicarbonato.



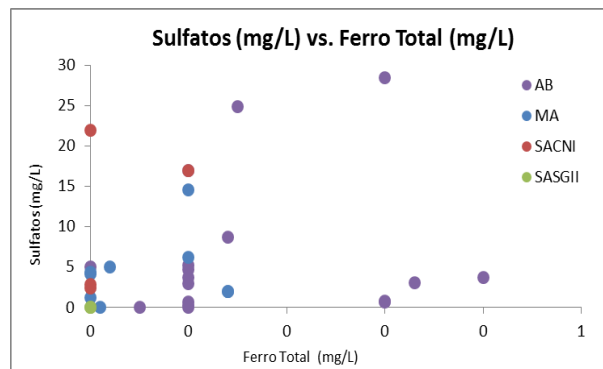
Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA.

Figura 109. Correlação entre cálcio+sódio e alcalinidade+sulfato.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA

Figura 110. Correlação entre sulfato e ferro total.



Fonte. Elaborado pela autora com dados do SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA

Por fim, considerando que em geral concentrações de nitrato em todos os sistemas aquíferos são baixas, pode-se atrelar como fontes naturais para este componente concentrações de até 8,5 mg/L (ROISENBERG et al., 2003). Entre fontes naturais, podem ser atribuídas como oriundo da deposição atmosférica e reciclagem de nitrato na zona insaturada do solo quando da ocorrência de chuvas em eventos de recarga (MCMAHON; BOHLKE, 2006; ROISENBERG et al., 2003), ou oriunda da decomposição de matéria orgânica (ROISENBERG et al., 2003). Foram observadas raras análises químicas que registram concentrações superiores a 8,5 mg/L, indicando a possibilidade de contaminação antropogênica, como por aplicação de fertilizantes ou sistema de esgoto inadequado (ROISENBERG et al., 2003; REGINATO, 2012).

Em termos de variabilidade espacial das águas explotadas (item 7.2.3), tem-se correlação de maiores concentrações de elementos de acordo com a distribuição geográfica. No centro urbano (centro-oeste do município) destacam-se maiores índices de condutividade elétrica, bicarbonato, cálcio, cloreto, magnésio, sulfato, carbonato e manganês; no sudeste, o sódio; no norte, condutividade elétrica, temperatura, pH, cloreto e sódio; no sul, condutividade elétrica, temperatura. Estas correlações de variação espacial podem ser dar em decorrência de distribuição geográfica das famílias, ou em decorrência de a maior quantidades de dados ser encontrada na porção oeste do município, junto ao centro urbano, refinando os dados no local.

Em termos de variação temporal (7.2.4), destacam-se contrastes significantes entre análises mais antigas (anos 70) em relação àquelas realizadas para os mesmos poços nos anos 2000, estas variações podem ser explicadas por variações e melhorias em técnicas com o passar dos anos e aumento de tecnologia em coletas e análises. Em geral, as variações são baixas, havendo maiores oscilações nos registros e condutividade elétrica, cálcio, bicarbonato e manganês. Essas variações não implicam, entretanto, necessariamente em erro analítico ou de técnica analítica, nem mesmo em contaminação antrópica, uma vez que a variação química das águas subterrânea ao longo do tempo é registrada em muitos aquíferos no Brasil e no mundo (Viero, et. al., 2009; Roisenberg, et al., 2003) e que elementos indicativos de contaminação antrópica, como nitrato e cloreto não apresentam aumentos substanciais em geral. Nos anos 2000, destacam-se variações nos anos 2007, 2008, 2009, 2016 e 2017. Para poços com variações mais recorrentes, tem-se os poços nomeados como E, G, H, I, L, M, O, P, Q e S. Vale destacar novamente que esta análise limitou-se a porção urbana do município, não podendo se interpretar correlação temporal para a porção rural do município.

8.3 Investigação de Qualidade da Água

Em termos de investigação de qualidade (7.3), percebe-se que em geral as concentrações dos elementos químicos estão dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente (7.3.1). Como elementos com poços pontuais com concentrações fora dos padrões, destacam-se o alumínio, ferro total e manganês para AB; manganês e alumínio para o SASGII, MA e SACNI, e turbidez para MA e AB.

As coletas de solo para análise granulométrica e de DRX (7.3.2) indicam que tanto os nitossolos como os planossolos têm características muito similares, como frações granulométricas dominadas por frações argila e silte e composições de argilas expansivas e não expansivas. Isto se deve ao fato de os nitossolos serem solos residuais do basalto e, conforme clastos basálticos arredondados observados em campo junto ao ponto de coleta dos planossolos, estes consistem em solos transportados oriundos da decomposição do basalto. Isto justifica que, embora os processos pedogenéticos sejam diferentes, os solos gerados apresentam alta similaridade.

Com a aplicação do método GODS (7.3.2.2), percebe-se que a vulnerabilidade tanto para as águas contidas nos basaltos da Formação Serra Geral, como nos arenitos da Formação Botucatu, é classificadas como insignificante a baixa. Isto é justificado pela Formação Serra Geral, que origina solos argilosos que recobrem as rochas vulcânicas, gerando uma camada praticamente selante, e pelo confinamento registrado para o Aquífero Botucatu.

8.4 Comparação de Resultados com Estado da Arte

Em relação à contextualização regional apresentada no item 4, observa-se que as águas contidas no SASGII na área de estudo apresentam vazões médias superiores aquelas citadas por Reginato (2012) e Leão et al. (2016), transmissividade média superior ao apresentado pelo Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, mantendo classificação no diagrama de *Piper* condizente (REGINATTO, 2012; GASTMANS et al., 2017). Isto pode ser explicado pelo fato de a área de estudo encontrar-se em porção de encosta do planalto, aonde os níveis potenciométricos do AB são elevados e que podem levar a recarga deste no SASGII através

de fraturas e lineamentos, conforme comentado por Leão et al. (2016). Além disto, este é um aquífero de comportamento diferenciado (REGINATTO, 2012), que pode ter vazões elevadas quando sobrepostos a arenitos e com maior grau de faturamento (CPRM, 2005). Em relação ao AB, os dados locais são condizentes com os apresentados no Mapa Hidrogeológico Estadual.

Correlacionando os resultados obtidos com o presente estudo com aqueles apresentados no item 6.3, observa-se coerência com os mapas geológicos (CPRM, 2008), geomorfológico (CPRM, 2009), pedológico (IBGE, 2002) e hidrogeológico (CPRM, 2005).

O estudo de vulnerabilidade do presente estudo, desenvolvido pelo método GODS, indicou vulnerabilidades insignificantes a baixas, diferente do obtido por Capalonga (2017) pelo método DRASTIC, que classifica a área do município como média. Esta diferença pode ser oriunda pelas diferentes escalas de estudo, uma vez que o estudo de Capalonga se aplicou a inteira BHRTA, tanto como pela maior nível de informação aplicado ao método DRASTIC empregado pelo estudo citado.

Em relação ao estudo de Schmidt (2006), problemas com nitratos, cloretos são confirmados pontualmente, mas o presente estudo não reconhece pontos com problema devido ao excesso de flúor, sendo o cenário oposto, com concentrações menores do que 0,2 mg/L identificado como a causa maior dos problemas relacionadas a este elemento. Isto pode ser explicado pelo enfoque da autora em poços escavados além de poços tubulares e no enfoque na área de pesquisa na porção rural ao sul do município, onde os dados obtidos neste trabalho são menos densos.

9 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo, foi possível realizar uma caracterização hidroquímica e hidrogeológica das águas subterrâneas do Município de Estrela no tempo e no espaço, realizando ainda um estudo de qualidade e vulnerabilidade de aquífero, de forma atender o objetivo principal e as metas estabelecidas no início do projeto.

A geologia local é composta por arenitos da Formação Botucatu sotopostos a basaltos da Formação Serra Geral. As rochas vulcânicas consistem na litologia dominante aflorante no município, sendo a porção aflorante da Formação Botucatu pouco expressiva e localizada na porção sul do município, junto aos depósitos quaternários formados na planície de inundação do Rio Taquari.

Com o estudo de 159 poços, observou-se que 63 poços não apresentam informações sobre seus perfis geológicos, sendo classificados como SACNI. Dos demais, 34 captam no Aquífero Botucatu, 17 no Sistema Aquífero Serra Geral II e 45 captam águas mistas em poços instalados sem revestimento e atravessando diferentes litologias como Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Formação Santa Maria (Grupo Rosário do Sul) e Formação Rio do Rastro. A maior vazão média é encontrada no Aquífero Botucatu (29,29 m³/h). A maior capacidade específica média é calculada para o Sistema Aquífero Captado não Informado (3,02 m³/h/m). A maior transmissividade média é registrada no Sistema Aquífero Serra Geral II (0,75 m²/h). As características hidrogeológicas do SASGII apresentam dados superiores aos indicados na bibliografia, sendo interpretados como consequência da influência de águas do AB sotoposto, gerada pela interação das águas a partir de fraturas. Estas foram mapeadas pelo mapa de lineamentos, que apresenta predominância noroeste-sudeste, com orientação média de nor-noroeste-su-sudeste e lineamentos de maior continuidade orientadas noroeste-sudeste (item 7.1.1.3). Observa-se ainda um sistema de direção nor-nordeste onde se encaixa o Rio Taquari.

Em termos de potenciométrica, têm-se um forte controle topográfico mostrando movimento preferencial para oeste, no sentido do Rio Taquari. Como as cotas estáticas das águas subterrâneas do AB e do SASGII são em geral superiores ao nível do Rio Taquari, caracterizam o rio como uma zona de descarga das águas subterrâneas, ou seja, um rio efluente. Futuramente, em termos de continuação e complementação deste estudo, poderiam ser calculados os cones de rebaixamento de todos os poços situados nas margens do rio

Taquari, envolvendo uma etapa de campo para coleta de coordenadas X, Y e Z com GNSS e medição de níveis dinâmicos durante o bombeamento, de forma a refinar este estudo.

Em relação à caracterização hidroquímica, existe uma predominância de consumo de águas bicarbonatadas cálcicas em todos os aquíferos captados. Conclui-se a individualização de duas famílias para as águas do AB, com águas de recarga mais recentes de maior confinamento. Para o SASGII foram interpretadas duas famílias, uma com recarga recente e uma segunda mais antiga e de maior interação com as rochas que as armazenam, provavelmente com contribuição de recarga ascendente, indicada como possíveis por Leão et al. (2016). Para as águas de MA, existe semelhança maior com AB, indicando maior contribuição dos arenitos. Em relação as SACNI, a distribuição não segue um padrão, indicando correlações com AB, SASGII e MA. Em geral, existe uma deficiência de informação hidroquímicas e hidrogeológicas para os poços instalados no SACNI. O sistema aquífero mais explorado no município é o AB, que apresenta as melhores vazões de bombeamento.

Em termos de qualidade, as águas exploradas dos diferentes aquíferos não apresentam maiores problemas. Os elementos com maior incidência de poços com concentrações acima do permitido pela legislação são o manganês e o alumínio, associados, provavelmente, a sólidos em suspensão. Poucas evidências de contaminação de origem antrópica são verificadas, estando restritas ao registro de um poço com nitrato acima dos valores naturais, onde possivelmente sofrem com influência de fertilizantes químicos ou orgânicos ou esgotos dispostos inadequadamente. Uma possível ação complementar seria o levantamento das áreas de captura de recarga e das áreas de proteção microbiológicas dos poços (WAHNFRIED; HIRATA, 2005), correlacionadas à uma campanha de campo para realizar e cadastrar as condições dos poços, realizando o levantamento daqueles que necessitam de manutenção ou mesmo tamponamento.

Seria interessante ainda o aprofundando do estudo sobre a influência do manganês e alumínio da água, correlacionando com estudos de geologia médica. Este se justificam devido aos indicativos de que a exposição crônica a elevadas concentrações destes elementos possa estar vinculada ao desenvolvimento de desordens de movimento como parkinsonismo, no caso do manganês (GUILARTE, 2011), e afetando processos neurofisiológicos que podem carrear degeneração típica da doença de Alzheimer, no caso do alumínio (FERREIRA et al., 2008). Para isto, é sugerido um estudo de adensamento de coletas de água e realização de novas análises químicas, de modo a aperfeiçoar o mapa de distribuição espacial das concentrações de manganês e permitir a elaboração do mapa de variação espacial das concentrações de

alumínio (não apresentado no presente estudo por baixa resolução), correlacionando geoespacialmente com evidências médicas destas desordens, de modo a investigar se essa correlação existe e, se comprovada, nortear a adoção de ações preventivas e corretivas.

Em relação à avaliação de vulnerabilidade pelo método GODS, tem-se uma vulnerabilidade insignificante absolutamente dominante, tanto para o AB, quando para o SASGII. Em termos de detalhamento, futuros estudos poderiam abordar outras metodologias, como DRASTIC, para identificação de pontos mais problemáticos. Além disto, seria interessante o desenvolvimento de um estudo sobre a influência dos lineamentos/fraturas na vulnerabilidade das águas subterrâneas. Em geral, atribui-se o resultado de baixa a insignificante vulnerabilidade como função dos solos residuais locais que, tanto para os nitossolos como para os planossolos, são espessos e apresentam abundância de argilas e óxidos capazes de conter a percolação de contaminantes.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. C. Delimitação de estruturas geológicas lineares a partir de relevo sombreado. **QGIS Brasil**, 2016. Disponível em: <<http://qgisbrasil.org/blog/2016/11/07/interpretacao-de-estruturas-geologicas-lineares-partir-de-relevo-sombreado/>>. Acesso em: 11 Junho 2018.

AQUINO, R. D. S. Levantamento gravimétrico do litoral médio do Estado do Rio Grande do Sul: parte central emersa da Bacia de Pelotas. UFRGS, 2017.

ATHAYDE, G. B. Compartimentação hidroestrutural do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no estado do Paraná, Brasil. **Tese de Doutorado**, Curitiba, 2013.

BAGATINI, M.; BONZANINI, V.; OLIVEIRA, E. C. Análise da qualidade da água em poços artesianos na região de Roca Sales, Vale do Taquari. **Caderno Pedagógico**, Lajeado, v 14, n 1, p 84-91, 2017.

BRASIL. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 05 de Março de 2005**. Brasília: [s.n.], 2005.

BRASIL. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 396 de 03 de Abril de 2008**. Brasília: [s.n.], 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº 518 de 25.03.2004**. Estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, a quem cabe a missão de “vigilância da qualidade da água” para consumo humano. [S.l.]: [s.n.], 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº 2914 de 12.12.2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. [S.l.]: [s.n.], 2011.

BENCKE, J. Venância Aires é o quarto maior poluidor da bacia hidrográfica Taquari-Antas. **Folha do Mate**, 2017. Disponível em: <<http://www.folhadomate.com/noticias/local/venancia-aires-e-o-quarto-maior-poluidor-da-bacia-hidrografica-taquari-antas>>. Acesso em: 2017 Outubro 23.

CAPALONGA, S. Avaliação do risco de poluição da água subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

CLARK, I.D; FRITZ, P. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Cleaveland: CRC Press, 1997.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br>>.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000**. Porto Alegre. 2005.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul Escala 1:750.000**. Porto Alegre. 2008.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa de Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Ministério de Minas e Energia. Porto Alegre. 2009.

DEUTSCH, W. J. **Groundwater Geochemistry**: fundamentals and applications to contamination. New York: CRC Press LLC, 1997.

EARTH Explorer. USGS Science for a changing world. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 11 Junho 2018.

ECKHARDT, R. R. et al. Mapeamento e avaliação da potabilidade da água subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 58-80, 2009.

FERREIRA, P. C. et al. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Rev. Latino-Am**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 151-157, Nov 2008. ISSN 1518-8345.

FEPAM- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Região Hidrográfica do Guaíba. **Qualidade Ambiental**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>>. Acesso em: 22 Outubro 2017a.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Região Hidrográfica do Guaíba Rio Taquari e Rio das Antas. **Qualidade Ambiental**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/taquariantas.asp>>. Acesso em: 23 Outubro 2017b.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do rios das Antas e Rio Taquari. **Qualidade Ambiental - Região Hidrográfica do Guaíba**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp>. Acesso em: 16 Outubro 2017c.

FOSTER, S. Fundamental concept in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. **Proc. Intl. Conf.** Vulnerability of soil and groundwater to pollution Nordwijk, The Netherlands, April 1987.

FOSTER, S. et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. [S.l.]: Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment**: a methodology using available data. Lima, Peru: WHOPAHO/HPE-CEPIS, 1988.

GASTMANS, D.; MENEGÁRIO, A. A.; HUTCHEON, I. Stable isotopes, carbon-14 and hydrochemical composition from a basaltic aquifer in São Paulo State, Brazil. **Springer**, Berlin, v. 150, n. 76, Fevereiro 2017.

GOOGLE. **Google Maps website**, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>.

GUILARTE, T. R. Manganese and Parkinson's disease: a critical review and new findings. **Ciênc. saúde coletiva [online]**, v. 16, n. 11, p. 4519-4566, 2011. ISSN 1413-8123.

HINRICHS, R. Difração de raios X com incidência rasante (GIXRD). In: _____ **Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do RS**. IGeo/UFRGS, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul Escala 1:1.000.000, n. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estrela. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2008. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430780&idtema=20&search=rio-grande-do-sul|estrela|pesquisa-nacional-de-saneamento-basico-2008>>. Acesso em: 20 Outubro 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama. **Estrela**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/estrela/panorama>>. Acesso em: 2017 Outubro 22.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas e Municípios do Rio Grande do Sul**. [S.l.]. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. MAPGEO 2015. **Modelo de Ondulação Geoidal**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>.

KERN, M.L.; VIERO, A.P; MACHADO, G. The fluoride in the groundwater of Guarani Aquifer System: the origin associated with black shales of Paraná Basin. **Environmental Geology Journal**, v. 55. n.6, p. 1219-1233, 2008.

KIMMELMANN, A. A.; REBOUÇAS, S. A. D. C.; SANTIAGO, M. M. F. 14C. Analyses of groundwater from the Botucatu Aquifer system in Brazil. **Radiocarbon**, v. 31, n. 3, p. 926-933, 1989.

LEÃO, M. I.; CAICEDO, N. O. L.; ALFONSO, R. Hidrogeologia da Bacia do Rio Taquarí/Antas-RS. **X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 06 Janeiro 2016.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J. A. M. D. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Esc Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 155-159, Junho 2001.

MCMAHON, P. B.; BOHLKE, J. K. Regional Patterns in the Isotopic Composition of Natural and Anthropogenic Nitrate in Groundwater, High Plains, U.S.A. **Environmental Science and Technology**, 40: 2965-2970, 2006.

MITAS, L.; MITASOVA, H. Spatial interpolation, 1999. p. 481-492.

NANNI, A.S; ROISENBERG, A; HOLLANDA, M.H.B.M; MARIMON, M.P.C; VIERO, A.P; SCHEIBE, L.F. Fluoride in the Serra Geral Aquifer System: Source Evaluation Using Stable Isotopes and Principal Component Analyses. **Journal of Geology Research**, p.1-9, 2013.

QGIS. **Análise Espacial** (Interpolação). Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html>.

PALUDO, Diego. Qualidade da água de poços artesanais do município de Santa Clara do Sul. 2010. 75 f. f. Monografia (Bacharel em Química industrial) - Curso de Química Industrial, Centro Universitário Univates, Lajeado, RS, 2010.

PETALAS, C; PISINARAS, V; GEMITZI, A; TSIHRINTZIS, V, A; OUZOUNIS, K. Current conditions of saltwater intrusion in the coastal Rhodope aquifer system, northeastern Greece. *Science Direct Journal*, v.237, n. 1-3, p. 22-41, 2009.

REGINATO, P. A. R. et al. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre do manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. ***Ambi-Agua***, v.7, n.2, p. 143-162, 2012.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. ***Águas Subterrâneas***, v. 27 (2), p. 32-46, 2013.

ROISENBERG, C.; VIERO, A. P.; ROISENBERG, A.; SCHWARZBACH, M.S.R.; MORANTE, I.C. 2003. Caracterização geoquímica e gênese dos principais íons das águas subterrâneas de Porto Alegre, RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n.4, p. 137-147.

ROSSETTI, L. et al. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. ***Journal of Volcanology and Geothermal Research***, 2017. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008.

SCHERER, C. M. S. Eolian dunes of the Botucatu Formation (cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. ***Elsevier Sedimentary Geology***, 137, 15 Julho 2000. 68-84.

SCHMIDT, E. I. **Estudo da qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste do município de Estrela - RS**. Lajeado: UNIVATES, 2006.

SEMA - SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. G040 - Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/g040-bacia-hidrografica-do-rio-taquari-antas>>.

SEMA - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Relatório Anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul Edição 2007/2008**. Porto Alegre. 2008.

SEMA – SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000 – BCRS25**. Porto Alegre. 2018.

SENNA, J. A. Caracterização de argilas de utilização na indústria cerâmica por espectroscopia de reflectância. **Dissertação (Mestrado em Metalogênese-Sensoriamento Remoto)-Instituto de Geociências**, 2003

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. Princípios de Análise Instrumental. Bookman, Porto Alegre, n. 5, p. 836, 2002.

SMAD - SISTEMA DE MONITORAAMENTO E ALERTA DE DESASTRES DO RIO GRANDE DO SUL. Estações: Estrela Porto - Rio Taquari. **SMAD RS**. Disponível em: <<http://www.smad.rs.gov.br/estacoes/informacaoDaEstacao.php?codigo=20>>. Acesso em: 07 Agosto 2018.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. Oxford Univesity Press. New York. 277 p.1989.

STROHSCHOEN, E. et al. Diagnóstico da água subterrânea no município de Lajeado-RS. **XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2006.

TEIXEIRA, G. V.; VIERO, A. P. Hydrogeochemical evolution of mesozoic aquifers in the southern Paraná basin in western Rio Grande do Sul State, Brazil. **Revista águas subterrâneas, Brazil**, v. 31, n. 1, p. 36-51, 2017.

VIERO, A. P.; ROISENBERG, C. ; ROISENBERG, A. ; VIGO, A. 2009. The origin of fluoride in the granitic aquifer of Porto Alegre, Southern Brazil. *Environmental Geology*, v. 56, p. 1707-1719

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. **Perímetros de proteção de poços**: uma importante ferramenta para a. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. [S.l.]: [s.n.]. 2005.

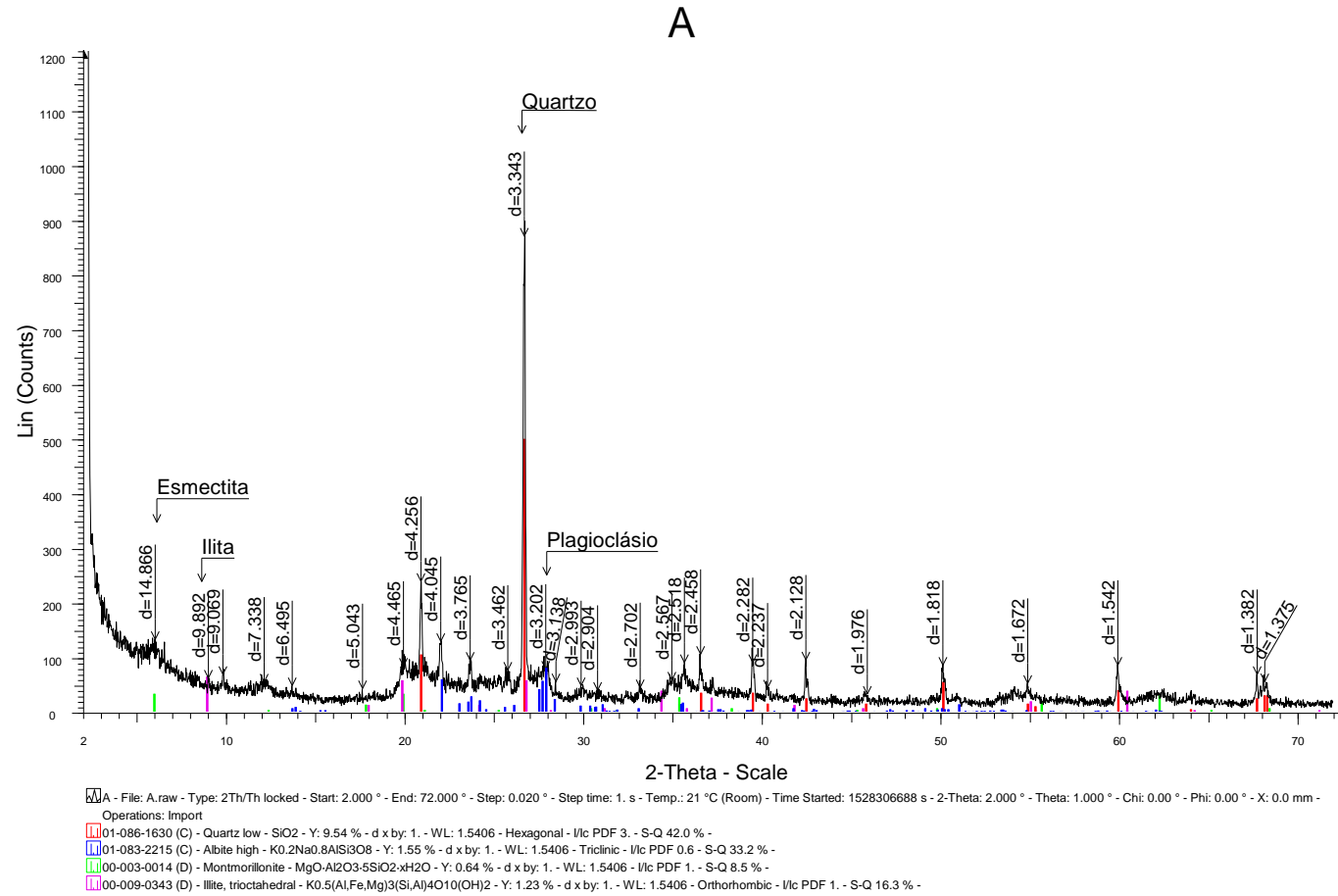
WILDNER, W.; LOPES, R. D. C. Evolução Geológica: do Paleoproterozoico ao recente. In: VIERO, A. C. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM - Serviço Geológico Brasileiro, p. 15-34, 2010.

ZERWES, C. M. et al. Análise da qualidade de água de poços artesianos do município de Imigrante, Vale do Taquari/RS, Santa Maria, Set-Dez abr. 2015. 651-663, v 37, n 4, doi Zerwes, Cristian Mateus; Scchi, Mariela Inês; Calderan, Thanabi Bellenzier; Bortoli, Jaqueline de; Tonetto, Jaqueline Fernandes; Toldi, Maicon; Oliveira, Eniz Concição de; Santana, Eduardo Rodrigo Ramos de.

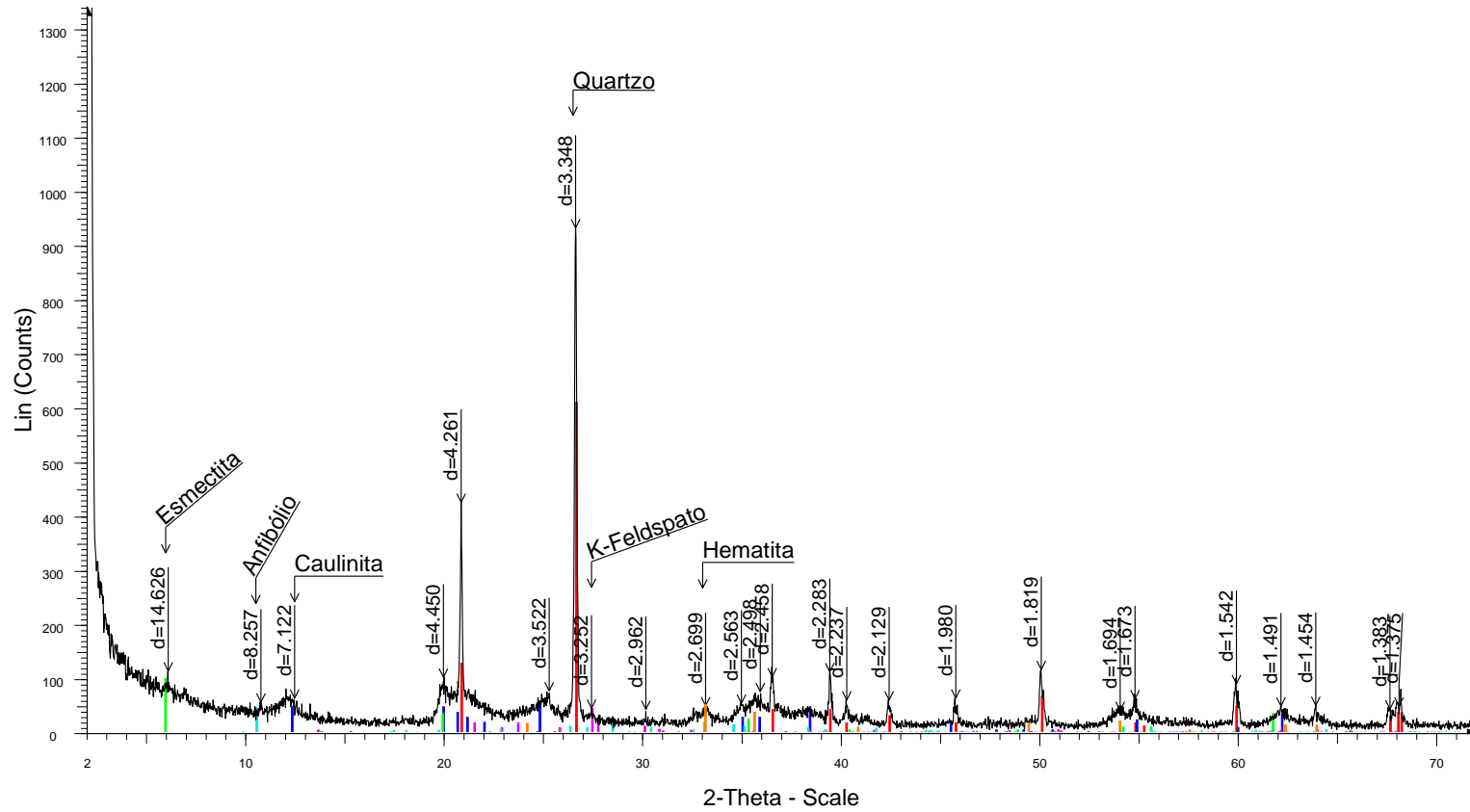
APÊNDICES

Apêndice A – Difração de Raios X.....	148
Apêndice B – Análises Granulométricas.....	152
Apêndice C – Banco de dados resumidos com dados hidrogeológicos, , elaborado com dados obtidos com SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA e destacando com preenchimento em cinza dados coletados em campo.....	156
Apêndice D – Banco de dados resumidos com dados hidroquímicos, elaborado com dados obtidos com SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA – parte I.....	164
Apêndice E – Banco de dados resumidos com dados hidroquímicos, elaborado com dados obtidos com SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA – parte II.....	173

A. Difração de Raios X

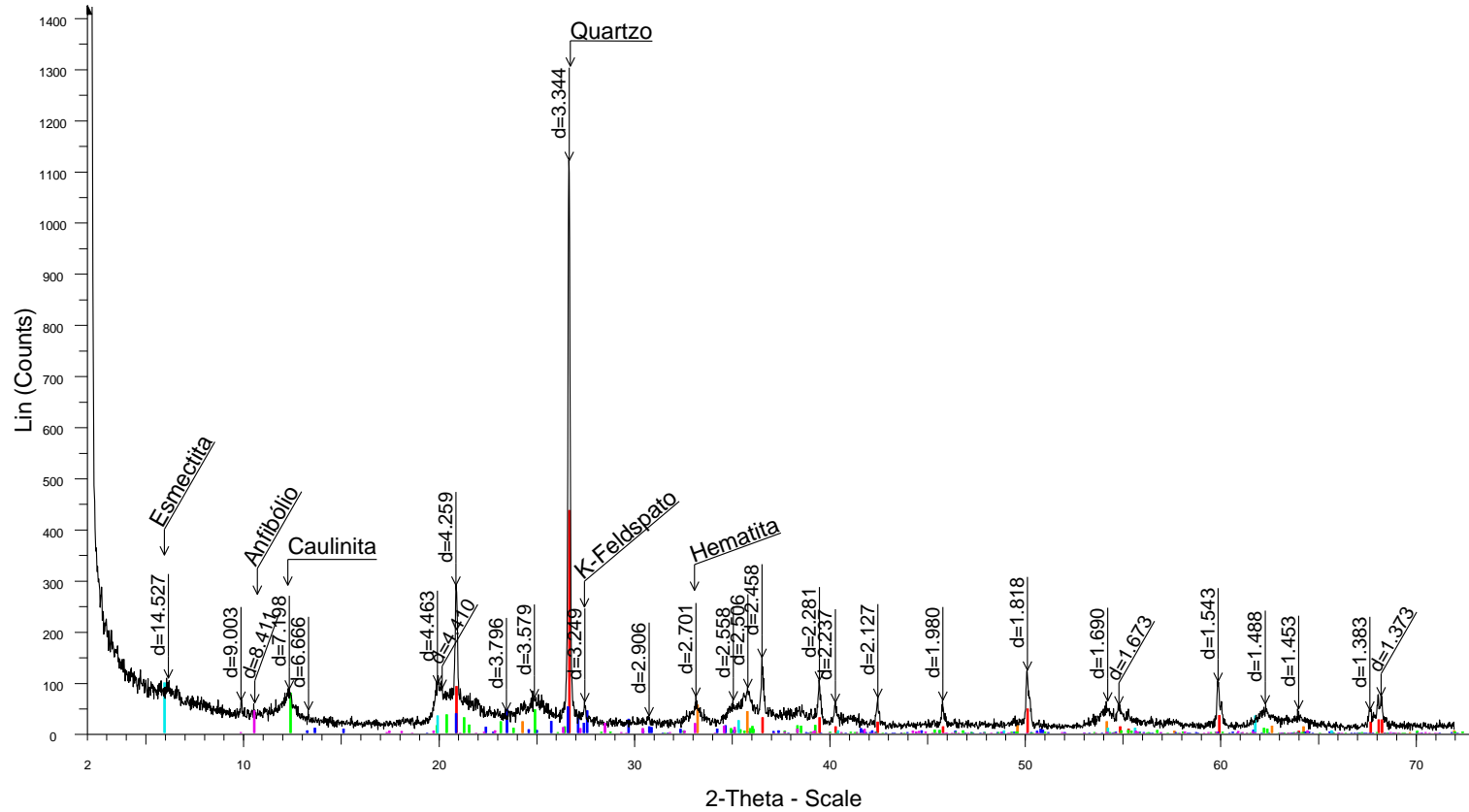


B



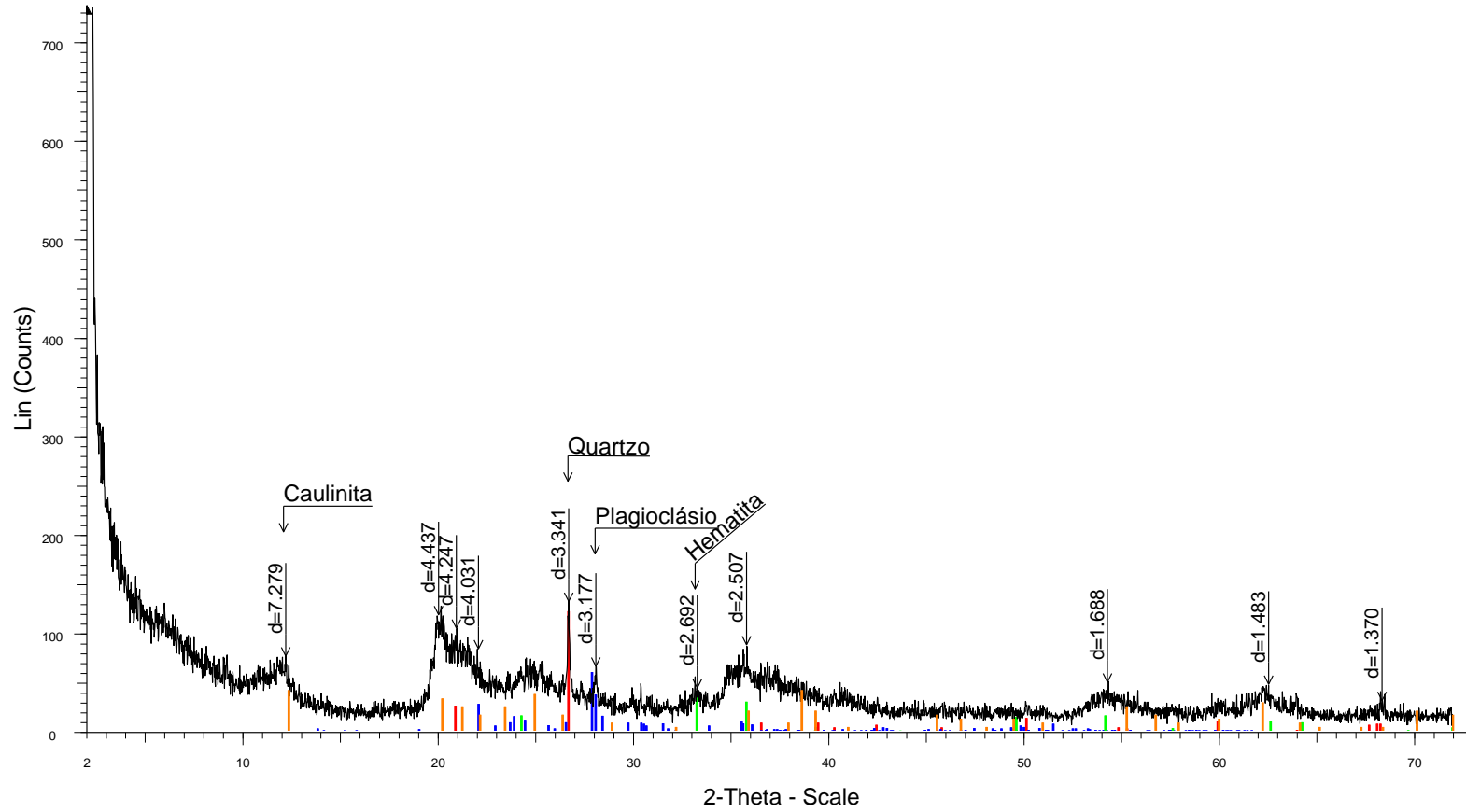
B - File: B.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 21 °C (Room) - Time Started: 1528310656 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm -
 Operations: Import
 01-086-1630 (C) - Quartz low - SiO2 - Y: 11.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/lc PDF 3. - S-Q 40.2 % -
 00-001-0527 (D) - Kaolinite - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 1.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/lc PDF 1. - S-Q 11.7 % -
 00-003-0015 (D) - Montmorillonite (bentonite) - (Na,Ca)0.3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2·xH2O - Y: 1.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - I/lc PDF 1. - S-Q 19.9 % -
 01-077-0982 (C) - Sanidine - K0.42Na0.58Ca0.03AlSi3O8 - Y: 0.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/lc PDF 0.6 - S-Q 14.8 % -
 01-073-1135 (C) - Amphibole - Al3.2Ca3.4Fe4.0K.6Mg6.0Na1.0Si12.8O44(OH)4 - Y: 0.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/lc PDF 0.9 - S-Q 10.2 % -
 01-086-0550 (C) - Hematite - synthetic - Fe2O3 - Y: 0.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.R.axes - I/lc PDF 3.3 - S-Q 3.2 % -

C



C - File: C.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 21 °C (Room) - Time Started: 1528387840 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm -
 Operations: Import
 01-086-1630 (C) - Quartz low - SiO₂ - Y: 8.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/lc PDF 3. - S-Q 30.8 % -
 01-085-0599 (C) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 1.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.R.axes - I/lc PDF 2.9 - S-Q 4.1 % -
 01-086-0683 (C) - Sanidine - from Volkesfeld, Eifel, Germany - (K_{0.831}Na_{0.169})(AlSi₃O₈) - Y: 1.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/lc PDF 0.6 - S-Q 17.4 % -
 01-080-0885 (C) - Kaolinite - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄ - Y: 1.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/lc PDF 1. - S-Q 16.1 % -
 00-003-0015 (D) - Montmorillonite (bentonite) - (Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂·xH₂O - Y: 1.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - I/lc PDF 1. - S-Q 21.0 % -
 01-073-1135 (C) - Amphibole - Al_{3.2}Ca_{3.4}Fe_{4.0}K_{0.6}Mg_{6.0}Na_{1.0}Si_{12.8}O₄₄(OH)₄ - Y: 0.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/lc PDF 0.9 - S-Q 10.6 % -

D



■ D - File: D.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 21 °C (Room) - Time Started: 1528391936 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm -
 Operations: Import
■ 01-086-1630 (C) - Quartz low - SiO₂ - Y: 2.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3. - S-Q 20.2 % -
■ 01-083-1371 (C) - Labradorite - Ca_{0.64}Na_{0.35}(Al_{1.63}Si_{2.37}O₈) - Y: 1.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 0.6 - S-Q 52.5 % -
■ 01-085-0599 (C) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 0.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.R.axes - I/c PDF 2.9 - S-Q 6.6 % -
■ 00-002-0105 (D) - Kaolinite - H₄Al₂Si₂O₉/Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O - Y: 0.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/c PDF 1. - S-Q 20.7 % -

B. Análises Granulométricas

CECO- CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEANICA

ANALISE INCOMPLETA DA AMOSTRA - PROGRAMA PANICOM / SAG

AMOSTRA: a LOTE: 00
 PROJETO: L.H.:
 COLETA : // LATITUDE :
 ANALISE: // LONGITUDE:
 EQUIP: PROF:
 COR:

ESCALA (mm)	ESCALA (PHI)	MATERIAL (g)	FRE.SIM(%)	FRE.ACUM(%)
-4	16.0000	0.0000	0.000	0.0000
-3	8.0000	0.0000	0.000	0.0000
-2	4.0000	0.0000	0.000	0.0000
-1	2.0000	0.1112	0.254	0.2539
0	1.0000	0.0729	0.166	0.4203
1	0.5000	0.0885	0.202	0.6224
2	0.2500	0.1054	0.241	0.8630
3	0.1250	0.3537	0.808	1.6705
4	0.0620	1.2682	2.895	4.5659
8	0.0039	27.0757	61.816	66.3818
12	0.0002	14.7250	33.618	100.0000

PESO INICIAL DA AMOSTRA.....: 43.7877
 PESO INICIAL DE GROSSEIROS....: 1.9870
 PESO FINAL DE GROSSEIROS.....: 1.9999
 PESO FINAL DA AMOSTRA.....: 43.8006

COR DA AMOSTRA:

CLASSIFICACAO POR FREQUENCIA SIMPLES

CASCALHO...: 0.2539
 AREIA.....: 4.3120
 SILTE.....: 61.8158
 ARGILA.....: 33.6182

CLASSIFICACAO TEXTURAL (SHEPARD):

LAMA

CECO- CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEANICA

ANALISE INCOMPLETA DA AMOSTRA - PROGRAMA PANICOM / SAG

AMOSTRA: B LOTE: 00
 PROJETO: L.H.:
 COLETA : // LATITUDE.:
 ANALISE: // LONGITUDE:
 EQUIP: PROF:
 COR:

ESCALA (mm)	ESCALA (PHI)	MATERIAL (g)	FRE. SIM (%)	FRE. ACUM (%)
-4	16.0000	0.0000	0.000	0.0000
-3	8.0000	0.0000	0.000	0.0000
-2	4.0000	0.0000	0.000	0.0000
-1	2.0000	0.0574	0.176	0.1757
0	1.0000	0.3091	0.946	1.1215
1	0.5000	0.3687	1.128	2.2498
2	0.2500	0.9056	2.771	5.0211
3	0.1250	6.6684	20.406	25.4273
4	0.0620	1.9306	5.908	31.3353
8	0.0039	3.8784	11.868	43.2037
12	0.0002	18.5600	56.796	100.0000

PESO INICIAL DA AMOSTRA.....: 32.8083
 PESO INICIAL DE GROSSEIROS...: 10.3699
 PESO FINAL DE GROSSEIROS.....: 10.2398
 PESO FINAL DA AMOSTRA.....: 32.6782

COR DA AMOSTRA:

CLASSIFICACAO POR FREQUENCIA SIMPLS

CASCALHO...: 0.1757
 AREIA.....: 31.1596
 SILTE.....: 11.8685
 ARGILA.....: 56.7963

CLASSIFICACAO TEXTURAL (SHEPARD):

LAMA COM AREIA

CECQ- CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEANICA

ANALISE INCOMPLETA DA AMOSTRA - PROGRAMA PANICOM / SAG

AMOSTRA: C LOTE: 00
 PROJETO: L.H.:
 COLETA : // LATITUDE :
 ANALISE: // LONGITUDE:
 EQUIP: PROF:
 COR:

ESCALA (mm)	ESCALA (PHI)	MATERIAL (g)	FRE. SIM (%)	FRE. ACUM (%)
-4	16.0000	0.0000	0.000	0.0000
-3	8.0000	0.0000	0.000	0.0000
-2	4.0000	0.0000	0.000	0.0000
-1	2.0000	0.0000	0.000	0.0000
0	1.0000	0.0427	0.103	0.1032
1	0.5000	0.1117	0.270	0.3730
2	0.2500	1.3593	3.284	3.6571
3	0.1250	9.6967	23.427	27.0843
4	0.0620	2.3453	5.666	32.7505
8	0.0039	9.8201	23.725	56.4759
12	0.0002	18.0150	43.524	100.0000

PESO INICIAL DA AMOSTRA.....: 41.3522
 PESO INICIAL DE GROSSEIROS...: 13.5171
 PESO FINAL DE GROSSEIROS.....: 13.5557
 PESO FINAL DA AMOSTRA.....: 41.3908

COR DA AMOSTRA:

CLASSIFICACAO POR FREQUENCIA SIMPLES

CASCALHO...: 0.0000
 AREIA.....: 32.7505
 SILTE.....: 23.7254
 ARGILA.....: 43.5241

CLASSIFICACAO TEXTURAL (SHEPARD):

LAMA COM AREIA

CECO- CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEANICA

ANALISE INCOMPLETA DA AMOSTRA - PROGRAMA PANICOM / SAG

AMOSTRA: D LOTE: 00
 PROJETO: L.H.:
 COLETA : // LATITUDE :
 ANALISE: // LONGITUDE:
 EQUIP: PROF:
 COR:

ESCALA (mm)	ESCALA (PHI)	MATERIAL (g)	FRE.SIM(%)	FRE.ACUM(%)
-4	16.0000	0.0000	0.000	0.0000
-3	8.0000	0.0000	0.000	0.0000
-2	4.0000	0.0000	0.000	0.0000
-1	2.0000	0.0000	0.000	0.0000
0	1.0000	0.1013	0.314	0.3143
1	0.5000	0.2405	0.746	1.0606
2	0.2500	0.4128	1.281	2.3414
3	0.1250	0.9768	3.031	5.3723
4	0.0620	1.0455	3.244	8.6163
8	0.0039	13.7714	42.731	51.3471
12	0.0002	15.6800	48.653	100.0000

PESO INICIAL DA AMOSTRA.....: 32.2079
 PESO INICIAL DE GROSSEIROS...: 2.7565
 PESO FINAL DE GROSSEIROS.....: 2.7769
 PESO FINAL DA AMOSTRA.....: 32.2283

COR DA AMOSTRA:

CLASSIFICACAO POR FREQUENCIA SIMPLES

CASCALHO...: 0.0000
 AREIA.....: 8.6163
 SILTE.....: 42.7308
 ARGILA.....: 48.6529

CLASSIFICACAO TEXTURAL (SHEPARD):

LAMA

C. Banco de dados resumidos com dados hidrogeológicos, elaborado com dados obtidos com SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA, e destacando com preenchimento em cinza dados coletados em campo.

Poço	Sistema Aquífero Final	Coordenada X	Coordenada Y	Z	NE	NE COTA	ND	ND COTA	Vazão	Capacidade Específica	Transmissividade
				m	m	m	m	m	m ³ /h	m ³ /h/m	m ² /s
1A	SACNI	405414	6734513	22	5	17	21	1	3,50	0,22	
2A	MA	405686	6737156	20,98	9,05	11,93	35	-14,02	50,00	1,93	
3A	MA	405735	6737199	25	8,53	16,47	17,7	7,3	48,65	5,31	
4A	SACNI	405988	6738643	36	-			36			
5A	AB	406003	6735515	84	43,12	40,88	52,05	31,95	3,98	0,45	
6A	SACNI	406012	6738701	-	15		67		3,00	0,06	
7A	SASGII	406063	6738481	37	4	33		37	60,00		
8A	SASGII	406160	6734422	38	10	28	35	3	12,77	0,51	
9A	MA	406175	6735725	22,76	8,7	14,06	61,95	-39,19	15,00		
10A	SASGII	406183	6737420	24	16,37	7,63	30	-6	60,00	4,40	
12A	SASGII	406185	6737420	30	0	30	27	3	53,50		
13A	SACNI	406215	6735760	25	32,71	-7,71	60	-35	60,00	2,20	
14A	SACNI	406224	6735727	34	32,71	1,29	60,9	-26,9	62,13	2,20	
15A	AB	406230	6735737	34	43,25	-9,25	75	-41	60,00	2,70	
16A	SASGII	406235	6737454	26	11,42	14,58	84	-58	30,00	0,41	

17A	AB	406238	6737462	24	14,85	9,15	50	-26	30,00	0,85	
18A	MA	406261	6734343	41	-			41			
19A	MA	406281	6735997	40	18,03	21,97	25,62	14,38	16,50		
20A	SASGII	406281	6737447	30	0	30	15,14	14,86	75,00		
21A	SASGII	406707	6737734	26,37	19	7,37	87	-60,63	2,16	0,03	
22A	MA	406328	6736919	-	13,48		38,67		45,00		
23A	MA	406338	6735790	45	43	2	49	-4	3,58	0,60	
25A	MA	406355	6733322	36	13,85	22,15	60	-24	50,00	1,08	
26A	MA	406308	6738285	28,1	13,8	14,3	68,5	-40,4	40,00	0,72	
27A	SASGII	406372	6735668	30	16,8	13,2		30	11,00		
28A	AB	406374	6735790	40	1,98	38,02	50,55	-10,55	27,69	0,57	
29A	AB	406374	6736982	39	13,48	25,52	38,67	0,33	45,00		
30A	SACNI	406387	6735173	69	16,7	52,3		69	3,80		
31A	SACNI	406390	6736128	107	21,5	85,5		107	5,00		
32A	AB	406390	6736975	30	12,33	17,67	44,73	-14,73	38,60		
33A	SACNI	406499	6730347	38	10,1	27,9		38	11,50		
34A	MA	406518	6735776	32	7	25	62	-30	2,80		
35A	SACNI	406529	6737161	44	22	22	23,5	20,5	5,00	3,33	
36A	MA	406530	6735796	40	7	33	62	-22	2,80		
37A	SASGII	406617	6736764	24,98	21,8	3,18	34,2	-9,22	15,00	1,21	
38A	AB	406618	6736751	33	34,78	-1,78	48	-15	20,00	1,51	

39A	SASGII	406634	6730345	40	4	36	22	18	6,24	0,35	
41A	MA	406636	6735420	44	18,29	25,71	73,94	-29,94	4,71	0,09	
42A	AB	406641	6736795	22	21,8	0,2		22	3,80		
43A	SASGII	406659	6738658	51	7	44	24,5	26,5	12,18	0,70	
44A	AB	406745	6736922	35	24,05	10,95	48,21	-13,21	28,12	1,16	
45A	MA	406748	6736935	40	19,45	20,55	30,77	9,23	18,86		
46A	AB	406749	6736886	30	30,7	-0,7	60,25	-30,25	35,00	1,15	
47A	MA	406707	6737734	30	22,1	7,9	60	-30	30,00	0,79	
49A	MA	406762	6739021	30	13	17	15	15	5,00		
50A	MA	406874	6735610	-	-						
51A	SACNI	406911	6739153	41	21,4	19,6		41	26,70		
52A	SACNI	406931	6726457	45	26	19		45	1,20		
53A	AB	406968	6736748	26	21,79	4,21	48	-22	30,00		
54A	AB	407049	6737134	59,29	34,37	24,92	50	9,29	45,00	2,88	
55A	AB	407015	6736812	25	8,04	16,96	27,87	-2,87	47,37		
56A	AB	407027	6737092	35	17,01	17,99	38,07	-3,07	41,68		
57A	SASGII	407083	6737546	46	51	-5	84	-38	3,30	0,10	
58A	MA	407190	6737655	50	16,37	33,63	23,98	26,02	15,23	2,00	
59A	MA	407226	6738877	41	16,1	24,9		41	25,00		
60A	MA	407227	6737713	-	16,37		23,98		15,00		
61A	AB	407281	6737374	68,11	64	4,11	100	-31,89	10,00	0,28	

62A	AB	407316	6737370	61	54	7	73,31	-12,31	20,31	1,05	
63A	MA	407324	6737576	59	24,12	34,88	37,73	21,27	12,18		
64A	AB	407321	6738481	43,18	37,53	5,65	90	-46,82	20,00	0,38	
66A	MA	407330	6737751	52	-			52			
67A	MA	407340	6737759	-	25,63		52,48		5,21	0,19	
68A	MA	407357	6736518	-	8		27		2,50	0,13	
69A	SACNI	407395	6726676	41	34,7	6,3		41	4,30		
71A	SACNI	407473	6733820	60	-			60			
72A	MA	407546	6736536	29	3,57	25,43		29			
73A	MA	407555	6736534	29	-			29			
74A	MA	407672	6737237	49	29	20	39	10	6,00	0,60	
75A	MA	407741	6729933	80	-			80			
76A	MA	407782	6737734	62	45,12	16,88	55,4	6,6	8,00	0,78	
78A	MA	407800	6738973	21	5,1	15,9	68	-47	10,00	0,16	
79A	MA	407897	6736394	54	15,57	38,43	105	-51	8,00	0,10	
80A	MA	407897	6736394	59	8,77	50,23	114	-55	12,00	0,11	
81A	MA	407974	6729892	85	29	56	45	40	5,00	0,31	
82A	SASGII	408010	6736347	62	11	51	18	44	12,00	1,71	
83A	MA	408050	6736270	70	18,01	51,99	59,86	10,14	3,88	0,09	
84A	MA	408067	6737745	68	50	18	55	13	3,00	0,60	
85A	AB	408073	6737786	72	59	13	62,5	9,5	17,60	5,03	

86A	AB	408088	6737737	-	58,4		80,42		44,00	1,96	
87A	AB	408090	6737730	74	63,87	10,13	87,12	-13,12	31,68	1,36	
88A	AB	408122	6737777	72	64,11	7,89	86	-14	35,00	1,60	
89A	AB	408131	6737748	79	64,11	14,89	86	-7	35,00	1,45	
90A	AB	408146	6737761	82	58,4	23,6	80,42	1,58	44,00	2,00	
91A	MA	408149	6736224	59	18,01	40,99	59,86	-0,86	3,00	0,07	
92A	SACNI	408149	6727885	58	37,8	20,2		58	8,60		
93A	SACNI	408217	6745035	47	22,1	24,9		47	4,30		
94A	SACNI	408234	6728788	42	24,8	17,2		42	6,10		
95A	AB	408297	6737331	56	45,73	10,27	72	-16	55,00	2,47	
97A	AB	408406	6737919	61	49,2	11,8	60	1	50,00	4,63	
99A	MA	408487	6736827	87	49,14	37,86	154	-67	6,00	0,06	
100A	SACNI	408526	6735942	90	10	80	15	75	7,00	1,40	
101A	SACNI	408820	6735236	34,07	17,52	16,55	10,1	23,97	1,00	10,00	
102A	SACNI	408803	6737311	74	27,4	46,6		74	15,00		
103A	MA	408812	6732985	95	25	70	81	14	0,88	0,02	
104A	SACNI	408883	6735168	34	12	22	18	16	18,00	3,00	
105A	SACNI	408900	6735300	-	-		14		5,00		
106A	SACNI	408900	6735100	33	23	10	35	-2	1,50	0,13	
107A	SACNI	409118	6732275	92	8	84	80	12	3,50	0,05	
108A	SACNI	409143	6739938	54	8,2	45,8		54	4,75		

109A	SACNI	409160	6732025	95	14	81	100	-5	0,40	0,01	
110A	SACNI	409194	6731838	84	19,4	64,6		84	4,30		
111A	SACNI	409233	6733636	48	25,8	22,2		48	6,90		
112A	SACNI	409319	6729330	71	0	71		71	14,80		
113A	SACNI	409447	6732272	41	13	28		41	11,50		
114A	SACNI	409712	6732144	50	4,38	45,62	20,52	29,48	36,00	2,33	
115A	MA	409740	6736354	73	23,86	49,14	41,66	31,34	15,24	0,86	
116A	MA	409745	6736356	63	23,68	39,32	41,66	21,34	15,00		
117A	MA	409754	6736159	54	-			54			
118A	MA	409754	6736159	54	-			54			
119A	AB	409755	6732184	34	9,1	24,9		34	8,90		
120A	SACNI	409886	6740418	55	33,9	21,1		55	6,20		
121A	SACNI	409897	6730090	116	29,9	86,1		116	17,40		
122A	SACNI	410057	6738700	64	11,9	52,1		64	7,80		
123A	SACNI	410207	6740767	61	38,1	22,9		61	2,40		
124A	SACNI	410242	6736821	109	14,4	94,6		109	4,20		
125A	MA	410479	6741210	-	29		36		12,18	1,74	
126A	SACNI	410729	6733852	97	20,9	76,1		97	2,60		
127A	SACNI	410980	6729101	71	14,1	56,9		71	7,90		
128A	AB	411279	6737324	45	12,3	32,7	63,34	-18,34	34,40	0,67	
129A	SACNI	411482	6743477	59,42	27,4	32,02		59,42	5,60		

130A	SACNI	411940	6727752	117	26,5	90,5		117	10,80		
131A	SACNI	412333	6731810	61	30	31		61	14,20		
132A	SACNI	412300	6736259	66,33	27,8	38,53		66,33	5,60		
133A	SACNI	412813	6730289	145	33	112	70	75	4,00	0,11	
134A	AB	412832	6730250	147	38	109	67	80	4,83	0,17	
135A	SACNI	412890	6743335	68	6,3	61,7		68	7,00		
136A	SACNI	413186	6741916	64	7,4	56,6		64	9,20		
137A	SACNI	413716	6735970	135	31,8	103,2		135	2,90		
138A	MA	413729	6735855	-	55,1		58,19		12,20	3,95	
139A	SACNI	413838	6737361	98	25,7	72,3		98	3,90		
140A	SACNI	414593	6733470	72	18,9	53,1		72	5,50		
141A	SACNI	415125	6737328	94	18,15	75,85		94	13,90		
142A	SACNI	415300	6742800	-	13		50		25,00	0,68	
143A	SACNI	415300	6742500	-	2,53		11,96		33,00	3,50	
144A	SACNI	415307	6743625	113	10,89	102,11	22	91	31,70	2,85	
145A	MA	415385	6731556	150	7	143	60	90	5,00	0,09	
146A	SACNI	415548	6742030	104	0	104	25	79	33,00	1,32	
147A	SASGII	415776	6741369	119	6	113	40	79	6,50	0,19	
148A	SACNI	415817	6743418	117	10,89	106,11	22	95	37,70	3,39	
149A	SACNI	416041	6735370	106	21,8	84,2		106	11,30		
150A	SACNI	416717	6743576	136	12	124	19	117	5,00	0,71	

151A	SACNI	416823	6740320	81	9,5	71,5		81	28,90		
152A	SACNI	416917	6743576	136	12	124	19	117	5,00	0,71	
153A	SACNI	417367	6743522	103	2,53	100,47	10,46	92,54	31,70	4,00	
154A	SACNI	417585	6743731	103	8	95	30	73	15,00	0,68	
155A	SACNI	417943	6742278	110	35	75	36	74	14,00	14,00	
156A	SACNI	418023	6742236	110	35	75	36	74	14,00	14,00	
157A	SASGII	408105	6727848	40,46	17,9		29,7	10,76	10,00		0,50
158A	SASGII	413877.44	6737330.40	86	39,9		45,22	40,78	5,00		1,27
159A	AB	411464.50	6737131.20	5	8	-3	24,43	-19,43	8,00		0,00
160A	AB	408540.79	6735260.72	-	2,58		2,68		4,00		0,05
161A	AB	411843	6744472	48,74	2,2	46,54	148,15	-99,41	60,00		0,00
162A	SASGII	406725	6729886	44,92	2,03		11,18	33,74	3,00		0,49
163A	SACNI	408963	6735292	34,07	114,7		108,63	-74,56	12,00		0,00
164A	AB	411405.62	6741162.87	63	33,19	29,81	34,46	28,54	2,00		0,00
165A	AB	408414.91	6737919.13	61	49,2	11,8	60,8	0,2	40,00		0,00
166A	AB	413131	6730467	61,71	10,07	51,64	24,65	37,06	15,00		1,36
167A	MA	406360	6738296	-	13,8		45,52		55,29	1,74	
168A	SACNI	407969	6736310	61,87	12,9	48,97					

D. Banco de dados resumidos com dados hidroquímicos, elaborado com dados obtidos com SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA – parte I

Poço	Análise Temporal	Aquifero Captado	Coordenada X	Coordenada Y	Alc. Total	Alumínio	Bicarbonato calculado	Cálcio	Carbonato calculado	Cloreto	Condutividade Elétrica	Cromo	Ferro Total
					mg/L CaCO ₃	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µs/cm	mg/L	mg/L
1B		SACNI	405414	6734513							151		
2B	A	MA	405734	6737163	86	0,045	104,88	22	0,08	7	208	ND	<0,08
3B		MA	405734	6737163	103	ND	125,64	22	0,04	ND	236	ND	ND
4B		MA	405734	6737163	100	ND	121,96	20,6	0,08	6,4	223	ND	ND
5B		MA	405735	6737199	81	0,7	98,76	18	0,12	5	202		
6B		AB	406003	6735515							381		
7B		SASGII	406063	6738481		0,2		0,005		10,2	321	0,003	
8B		SASGII	406160	6734422							270		
9B	B	SASGII	406183	6737420	82	<0,031	100,00	21	0,08	6,4	210	ND	<0,08
10B		SASGII	406183	6737420	90	ND	109,78	21	0,04	7,7	254	ND	ND
11B		SASGII	406183	6737420	99	ND	120,74	21,8	0,07	8	232	ND	ND
12B		SASGII	406183	6737420	82	0	100,04	21	0,00	6,4	210	0	0
13B		SASGII	406185	6737420	84		102,46	19,2	0,04	6	195,2		0,2
14B		SACNI	406215	6735760	320		346,84	2	64,20	12	435		0,1
15B		SACNI	406224	6735727	168		182,09	3	33,71	3		0,02	0
16B	C	AB	406230	6735737	157		191,30		0,47	6	307		0

17B		AB	406230	6735737	320		325,59	2	85,11	12	383		0,1
18B		AB	406230	6735737	145		168,48	1	14,50	21	453		
19B		AB	406230	6735737	157	ND	174,16	ND	26,87	17,9	436	0,026	ND
20B		AB	406230	6735737		ND						0,0259	<0,049
21B	D	AB	406238	6737462	99		120,73	20,5	0,09	5	185		0,1
22B		AB	406238	6737462	87	<0,031	106,06	18	0,16	4,1	181	ND	ND
23B		SASGII	406281	6737447	85		103,68	20,4	0,04	5	197,8		
24B		SASGII	406282	6735338							435		
25B		MA2	406338	6735790	29		29,51		7,71	37,98	392		
26B		MA	406350	6733321	79		96,36	20	0,04	3	175,9		0,3
27B	E	MA	406360	6738296	77		93,92	17	0,05	2	186,7		0
28B		MA	406360	6738296	76	0,143	92,70	17	0,04	5,4	194,4	0,009	ND
29B		MA	406360	6738296	120	ND	146,35	26	0,09	5,5	291	<0,005	ND
30B		MA	406360	6738296									
31B		SASGII	406372	6735668	127,08		155,01		0,06	20,59	365		
32B		AB	406374	6735790									
33B		AB	406374	6736982									
34B		SACNI	406387	6735173							384		
35B		SACNI	406390	6736128							419		
36B		AB	406390	6736975	99		120,72	20,5	0,12	5	191		
37B		SACNI	406499	6730347							238		
38B		SACNI	406529	6737161							341		
39B		SASGII	406615	6736765	79	0	96,37	4	0,02	6			
40B	F	AB	406618	6736751	181	0,899	220,79	41	0,07	5,6	402	ND	0,33

41B		AB	406618	6736751	188	ND	229,32	39	0,07	7,9	406	ND	ND
42B		SASGII	406634	6730345							239		
43B		MA	406636	6735420	74		90,28	12	0,00	2	136,1		0
44B		AB	406641	6736795							395		
45B		AB	406745	6736922	66	2,2	80,50	21,6	0,04	12	319		
46B		MA	406748	6736935	77	1,6	93,87	3,6	0,15	14			
47B		AB	406749	6736886	64	0,3	78,06	20,4	0,05	24			0,1
48B	G	AB	406749	6736886	104	2	126,84	31,5	0,08	36			5,6
49B		AB	406749	6736886	146		177,90	33	0,44	8	195,3		
50B		AB	406749	6736886	134	ND	163,43	34	0,10	9,9	339	ND	ND
51B		MA	406751	6737780				27		7	242		0,2
52B	H	MA	406751	6737780	99		120,66	29	0,24	9	266		0
53B		MA	406751	6737780	105		128,04	26	0,13	9,6	258		
54B		MA	406751	6737780	114	ND	138,97	29	0,22	11,8	296	<0,005	ND
55B		MA	406751	6737780									
56B		MA	406751	6737780	104		126,85	27	0,06	7	255		0,2
57B		SACNI	406911	6739153	129,78		158,30		0,06	28,4	377		
58B		SACNI	406931	6726457							257		
59B	I	AB	406968	6736748	150	7	182,64	50	0,71	36			0,3
60B		AB	406968	6736748	110	1,4	134,09	28,7	0,21	22			0,1
61B		AB	406968	6736748	109	0,034	132,95	29	0,05	9,3	293	<0,007	<0,08
62B		AB	406968	6736748	130	ND	158,57	32,5	0,05	10,4	320	<0,005	ND
63B	J	AB	406978	6737042	56	0,7	68,31	15,2	0,01	9			0,1
64B		AB	406978	6737042	90	ND	109,78	22	0,04	9,3	286	ND	ND

65B		AB	406978	6737042									
66B		AB	406978	6737042	68	ND	82,95	20	0,03	9,7	225	<0,007	<0,08
67B		AB	406978	6737042	88	ND	107,33	21,3	0,05	9,4	240	<0,005	ND
68B		AB	407015	6736812	110	1,4	134,20	28,7	0,00	22	276		
69B		AB	407027	6737092	56	0,7	68,31	15,2	0,03	9	223		
70B		SASGII	407083	6737546							279		
71B		MA	407190	6737655	89	0,7	108,56	26,5	0,04	7,34			0,1
72B		MA	407226	6738877							386		
73B	K	MA	407227	6737713	79	3	96,37	18,6	0,02	11			0
74B		MA	407227	6737713	44	0,66	53,67	4,5	0,01	5			0
75B	L	AB	407271	6737343	168		204,70	22	0,50	10	418		
76B		AB	407271	6737343	65		79,29	19,2	0,02	7	179,3		0,3
77B		AB	407316	6737370	65		79,28	19,2	0,03	7	219		
78B	M	AB	407329	6738487	95		115,85	23,5	0,09	11	232,1		0,4
79B		AB	407329	6738487	111	0,112	135,39	36	0,07	20	386	<0,007	0,15
80B		AB	407329	6738487	143	ND	174,39	33,1	0,14	18,2	377	<0,005	ND
81B		AB	407329	6738487									
82B		AB	407329	6738487	95		115,86	23,5	0,07	11	392		
83B		MA	407330	6737751	98	1,3	119,54	26,2	0,03	6,5			0,14
84B		MA	407340	6737759	98	1,3	119,54	26,2	0,03	6,5			0,14
85B		MA	407357	6736518	140		170,63		0,33	21,3			
86B		SACNI	407395	6726676							554		
87B		MA	407672	6737237							181		
88B		MA	407741	6729933	74		90,24	12	0,07	2	136,1		0

89B		MA	407782	6737734				0,001		16,83	314	0,016	0,1	
90B		MA	407800	6738948	102		124,32	32	0,24	43	546		0	
92B	N	MA	407897	6736394									0,2	
93B		MA	407897	6736394									0,2	
94B		MA	407897	6736394										
95B		MA	407897	6736394	84	0,079	102,43	20	0,10	11	241	ND	ND	
96B		MA	407897	6736394							186			0,2
97B		MA	407974	6729892								169		
98B	O	SASGII	408010	6736347							181			
99B		MA	408050	6736270		0,01		27		250	76	0,051	0,01	
100B		MA	408067	6737745							335			
101B		MA	408073	6737786							302			
102B		AB	408088	6737737	63		76,85	14,8	0,02	4	152,2			0,1
103B		AB	408090	6737730	85		103,68	17	0,04	6	167,9			0
104B	AB	408090	6737730	78		95,14	17	0,05	2	176,6			0,1	
106B		AB	408122	6737777	168		204,96	16	0,00	3	189		0,3	
107B	P	AB	408131	6737748	86		104,90	19	0,04	3	182,6		0	
108B		AB	408131	6737748	168		204,93	16	0,05	3	184,1		<0,08	
109B		AB	408131	6737748	90	ND	109,77	22	0,05	9	270	ND	ND	
110B		AB	408131	6737748										
111B		AB	408131	6737748	116		141,49	19	0,06	8	218			
112B		AB	408131	6737748	96	ND	117,09	21,4	0,06	9,3	234	<0,005	ND	
113B		AB	408146	6737761	63		76,85	14,8	0,02	4	152,2			
114B		MA	408149	6736224		0,01		27		14,18	76	0,051	0,01	

115B		SACNI	408149	6727885							197		
116B		SACNI	408217	6745035							207,3		
117B		SACNI	408234	6728788							230		
118B	Q	AB	408297	6737331				35,6		3	249,7		0,1
119B		AB	408297	6737331	136	0,039	165,66	41	0,51	2	275	<0,007	<0,08
120B		AB	408297	6737331	136	ND	165,88	35	0,08	18,9	453	ND	ND
122B		AB	408297	6737331	163	<0,08	198,55	39,4	0,61	2,19	290	<0,005	<0,049
123B		AB	408297	6737331	124		151,04	35,6	0,47	3	272		
124B		AB	408406	6737919	99		120,77	21	0,01	2	203		0,1
125B	R	AB	408406	6737919	87	0,135	106,11	34	0,07	4,07	198,9	<0,007	ND
126B		AB	408406	6737919	88	ND	107,33	20	0,05	4,95	211	<0,005	ND
127B		AB	408406	6737919									
128B		AB	408406	6737919	98	ND	119,52	19,4	0,07	4,88	207	<0,005	ND
129B		AB	408406	6737919	99		120,75	21	0,06	2	195		0,1
130B		MA	408487	6736827	98	0,048	119,18	28	0,73	3,5	228	ND	ND
131B		SACNI	408526	6735942							251		
132B		SACNI	408803	6737311							359		
133B		MA	408812	6732985							181		
134B		SACNI	409118	6732275							51		
135B		SACNI	409143	6739938							235		
136B		SACNI	409194	6731838							190		
137B		SACNI	409233	6733636							180		
138B		SACNI	409319	6729330							178		
139B		SACNI	409447	6732272							64,1		

165B	SACNI	414593	6733470							150		
166B	SACNI	415125	6737328							95,5		
167B	SACNI	415300	6742800	161		195,64	38	1,51	7	336		0
168B	SACNI	415300	6742500	196		238,97	43	0,30	4	375		0
169B	SACNI	415307	6743625							413		
170B	SACNI	415548	6742030							143		
171B	SASGII	415776	6741369							396		
172B	SACNI	415817	6743418							390		
173B	SACNI	416041	6735370							142		
174B	SACNI	416717	6743576							309		
175B	SACNI	416823	6740320							166		
176B	SACNI	416917	6743576							309		
177B	SACNI	417367	6743522							249		
178B	SACNI	417585	6743731							406		
179B	SACNI	417943	6742278							375		
180B	SACNI	418023	6742236							375		
181B	SASGII	408093	6727838				12,64		5,74	208		0
182B	SASGII	413877	6737330				13,75		2,75			0
183B	AB	411464	6737131				17		3,3	102,5		
184B	AB	408540	6735260				51,47		5,35	382		0,14
185B	AB	411515	6744364				41,87		6,1	365		0,18
186B	SASGII	406730	6729889				15,2		2,8	177,7		0
187B	SACNI	408921	6735202				21,4		5,2	319		
188B	AB	411405	6741162				12,94		6,4	137,1		0,05

189B		AB	408414	6737919				34		4,07	198,9		
190B		AB	413131	6730464				8,5		6,8	108		
191B		MA	406360	6738296	76	0,14	92,70	17	0,04	5,4	194,4	0,009	0

E. Banco de dados resumidos com dados hidroquímicos, elaborado com dados obtidos com SIAGAS/CPRM, CORSAN/SURHI e DRH/SEMA – parte II

Poço	Fluoretos	Magnésio	Manganês	Nitratos	pH	Potássio	Sulfatos	Sódio	Sólidos Dissolvidos Totais	Turbidez	Temp.	Vanádio	Zinco
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NTU	°C	mg/L	mg/L
1B					7,1						21,0		
2B	0,2	6	0,29	1,18	7,2	1	7,6	12	140	0,95			ND
3B	ND	8	0,134	ND	6,8	1	5,2	11,4	158	0,31			ND
4B		9,2	0,145	0,89	7,1		5,7	19,4	137	<0,22	20	0,017	<0,029
5B	0,2	8,9			7,4	1	5,9	9	206,6		20,5		
6B					9						21,0		
7B	0,24		6,254	0,571	6,7		20		256		20,5		1,026
8B					7,1						21,0		
9B	<0,09	7	ND	3,07	7,2	1,2	5,2	9	188	<0,62			<0,14
10B	0,1	10	ND	3,04	6,9	1,1	3,83	8,9	173	1			ND
11B		9,8	ND	2,88	7,1		3,77	9,81	187	<0,22	21	0,028	0,047
12B	0	7	0	3,07		1,2	5,2	9	188	0			0
13B	0,3	9,5	0,03		6,9	0,7	2,1	5					
14B	0,8	1	0		9,7	0,2	16,9	93	256		24,0		
15B	0,6	0	0,7	0,1	9,7		21,9	93	260	0,2			0
16B	0,4		0,03		7,7	0,3		76		7,3			

17B	0,8	1	0		9,9	0,2	16,9	93	256	0,9			
18B	0,9	0,1		0,4	9,3		26,5		263	ND			
19B	0,9	1	ND	0,25	9,6	0,28	27,7	97	277	<0,17			ND
20B			<0,006					103			25	0,073	0,032
21B	0	6,4	0,03		7,2	1,5	3	10	167,4				
22B	<0,09	7	0,074	0,17	7,5	1,1	6,7	9	146	ND			<0,14
23B	0,3	9,2	0,03		6,9	0,7	5,4	8	172,7	0,2			
24B					7,2						21,5		
25B					9,9						21,0		
26B	0,2	8	0,05		6,9	1,5		7	158	1,6			
27B	0,2	7	0,02	2,9	7			8	181	0,2			
28B	0,1	8	ND	3,3	6,9	0,8	4,1	8	89	ND			0,17
29B		12	ND	1,69	7,1		14,5		184	<0,17	24	0,014	ND
30B													
31B					6,9						21,0		
32B											19,5		
33B											20,0		
34B					7						20,5		
35B					7,8						19,0		
36B		6,4	0,03		7,3	1,5	3	10	167,4		20,5		
37B					7,8						20,0		
38B					7,3						18,5		
39B	0	13,5	0		6,7		5			0			
40B	<0,18	18	0,05	0,75	6,8	2	3,06	14	235	4,1			<0,14

41B	0,1	22	0,17	1,7	6,8	2,03	8,2	11,4	217	0,25			ND
42B					7,5						21,0		
43B	0,1	7	0,03	0		2,4		4	108	1,1			
44B											21,0		
45B		0,8			7		2,4		181,3		19,5		
46B		13,3			7,5		3,1		177,6	3,0			
47B	0,3	4,7	0		7,1		5,2						
48B	0,3	0,3	0,07		7,1		4,8						
49B	0,1	20		2,93	7,7		7,4		163	ND			
50B		16	ND	3,83	7,1		7,4		175	0,21	22	0,014	<0,029
51B	0	11	0,03		6,9	2		9	190	7,9			
52B	0	12	0,03		7,6	1,8		9	191	0,8			
53B	<0,09	10		3,1	7,3		2,92		196	<0,62			
54B			ND	4,8	7,5		3,38	14,1	200	<0,17		0,018	ND
55B													
56B	0	11	0,03		7	2		9	190		21,0		
57B					6,9						21,0		
58B					6,7						21,0		
59B	0,3	1,1	0,02		7,9		28,5						
60B	0,1	9,7	0,07		7,5		4,7						
61B	0,1	14	ND	3,5	6,9	1,1	6,3	8	195	ND			ND
62B	0	15,3	ND	3,48	6,8	2,1	8,3	11	157	<0,22			ND
63B	0,3	7,1	0,15	0,37	6,6		3,7						
64B		12	ND	5,6	6,9		2,16	7,8	161	<0,17	20	<0,013	ND

65B													
66B	<0,08	10	ND	5	6,8	0,7		6	107	ND			ND
67B		10,9	ND	5,4	7		2,3	8,62	178	<0,22	20	<0,013	ND
68B	0,1	9,7	0,07				4,7		185,5		20,0		
69B	0,3	7,1	0,15	0,37	6,9		3,7		156		20,0		
70B					8,3						22,0		
71B	0	9,1	0		6,9	0	6,2	17		0,9			
72B					6,8						20,0		
73B	0,1	3,4	0		6,5		4,4						
74B	0	12	0		6,7		1,2						
75B	0,2	4		5,3	7,7		2,21		391	25			
76B	0	7,1	0,03		6,6	2,1	0,8	8					
77B		7,1	0,03		6,9	2,1	0,8	8	166,3		21,0		
78B	0,2	8,9	0,03		7,2	1,5	3,7	13					
79B	0,2	9	0,119	5,3	7	1,1	24,9	26	260	ND			ND
80B		12,9	ND	5,4	7,2		17,1	19,6	263	1,1	22	0,018	ND
81B											18		
82B	0,2	8,9	0,03		7,1	1,5	3,7		191,9		21,0		
83B	0,05	8,2	0,05	0,88	6,7	0	2	10					
84B	0,05	8,2	0,05	0,88	6,7	0	2	10		0,6			
85B					7,6								
86B					7,3						23,0		
87B					6,6						20,0		
88B	0,1	7	0,03	0	7,2	2,4		4	108	1,1			

89B	0,1		0,02	1,28	6,9		14,6	7,42	270		20,0		0,094
90B	0,7	8	0		7,6	1,2	102	75	395	0,4			
92B													
93B													
94B													
95B	0,1	14	0,072	2,69	7,3	1,9	4,64	8	174	0,68			<2
96B					7						21,0		
97B					7,2						20,5		
98B					7						20,5		
99B		4,77		5,66	9,5	0,21			92		19,5		0,6823
100B					6,8						21,5		
101B					6,8						21,0		
102B	0	6,3	0,03		6,6	2,2	0	2					
103B	0	8	0		6,9	2,2		6					
104B	0,2	8	0,07		7	2,2	0,7	8					
106B	0,1	9	0,1	3,1			0,71	200	130		21,5		
107B	0,3	9	0,35		6,9	2,9		6	134	1			
108B	0,1	9	<0,02	3,1	6,7		0,71		130	0,6			
109B		12	ND	5,4	7		<1,79	7,6	184	ND	21	0,016	ND
110B													
111B	0,1	9		3,9	6,9		1,2		161	ND			
112B		10,6	ND	5,3	7		0,79		151	0,37	21	0,015	ND
113B		6,3	0,03		6,6	2,2		2	141	0,5			
114B	0	4,77	0	5,66	6,8	0,21	0	3,2477	92		19,5		0,6823

115B					7,2						21,0		
116B					7,3						22,0		
117B					7,4						22,0		
118B	0,1	5,3	0			1	0,2	12					
119B	<0,09	5	ND	0,64	7,8	1	0,84	11	197				ND
120B		14	ND	5,7	7		18,5	24,1	205	0,18	21	0,019	ND
122B	0,1	6,1	ND	0,7	7,8	1	0,46	13,1	159	<0,22			0,051
123B	0,1	5,3			7,8	1	0,2	12	198,8		21,5		
124B		8	0		6,4	2,6		8	151	0,6			
125B	0,1	24	0,055	2,38	7,1	1,9	<1,79	7	152	ND			ND
126B		9	ND	2,57	7		1,8	8,22	146	<0,17	24	0,014	ND
127B													
128B		9	ND	2,47	7,1		1,88	8,73	154	<0,22		0,014	<0,029
129B	0,1	8	0		7	2,6		8	151		20,5		
130B	0,1	4	ND		8,1	0,4	<1,79	7	137	<0,62			0,26
131B					7,4						21,0		
132B					7,8						21,5		
133B					6,8						19,0		
134B					5,7						20,0		
135B					7,1						21,5		
136B					6,9						20,0		
137B					7,2						22,0		
138B					7,2						21,0		
139B					6,7						20,0		

140B		4	0,03		6,9	3,1		13		0,8			
141B	<0,07	5	ND	2,19	6,9	1,2	<1,79	5,2	116	0,36			0,035
142B	0,1	5	ND	2,59	7,1	4,3	6,4	6,68	98	<0,22			0,099
144B		6,7	ND	2,88	7,7		1,01		138	0,73	21	<0,013	0,193
145B					7						21,0		
146B					7,1						21,5		
147B					6,1						20,0		
148B					6,7						22,0		
149B					8,9						21,5		
150B					7,3						21,0		
151B					6,8						23,0		
152B					6,7						21,5		
153B	0,3	1,42	0,0015	0,73	7,01	1,32	5	24,87	213	0,13	23,0		0,11
154B					6,8						21,0		
155B					6,2						20,0		
156B					7,2						21,0		
157B					6,8						21,0		
158B					5,7						20,0		
159B					7,2						21,0		
160B					7,3						21,0		
161B					5,7						21,0		
162B					6,9						22,0		
163B	0,32		0,0015	0,4		1,3	5	4,28		2	22,0		0,13
164B					7						21,5		

165B					7						21,0		
166B					6,5						21,0		
167B	0	11	0,03		8,2	0,4	2,8	21		0,7			
168B	0,5	18	0,03		7,4	0,7	2,4	14		1,2			
169B					7,3						24,0		
170B					6,9						21,0		
171B					8						24,0		
172B					7,8						21,0		
173B					6,9						22,0		
174B					7,6						24,0		
175B					7,2						22,0		
176B					7,6						24,0		
177B					8,9						22,0		
178B					7,6						23,0		
179B					7,8						23,0		
180B					7,8						23,0		
181B	0,04	3,56		2,14	7,36	2,39	0	16,43	317		15		
182B		3,84		2,25	7,41	0,98		6,08	130		23		
183B	0,05	5,46		0,97	6,34	1,18		4,41	183				
184B	0,31	10,32		10,04	7,42	1,04	8,72	8,1	262				
185B	0,28	12,03		1,57	7,59	1,29		103,3	100				
186B	0,26	7,85		0,93	7,11	1,3	0	4,2	150		18		
187B	0,69	3,81		1,62	7,02	0,95	13,38	46,6	125				
188B	0,38	5,75		39,22	7,32		0,05	6	163				

189B	0,1	24		10,54	7,1	1,9		7	152				
190B	0,21	3,72			6,56	5,66		251,2	83		21		
191B	0,1	8	0	3,3	6,9	0,8	4,1	8	89				0,17