



FLORA DALLAGNOL CEZIMBRA

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DO
AQUÍFERO RIO BONITO NOS MUNICÍPIOS DE ACEGUÁ, HULHA NEGRA
E CANDIOTA E ANÁLISE DO SEU ASPECTO TRANSFRONTEIRIÇO**

Porto Alegre

2019

FLORA DALLAGNOLCEZIMBRA

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DO
AQUÍFERO RIO BONITO NOS MUNICÍPIOS DE ACEGUÁ, HULHA NEGRA
E CANDIOTA E ANÁLISE DO SEU ASPECTO TRANSFRONTEIRIÇO**

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

Orientador: Prof.Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

Coorientador: Mestre Ricardo Maahs

Supervisor(a): Geól. Roberto Kirchheim

Porto Alegre, 2019

CIP - Catalogação na
Publicação

Cezimbra, Flora Dallagnol
Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica do
Aquífero Rio Bonito nos Municípios de Aceguá, Hulha
Negra e Candiota e Análise do seu Aspecto
Transfronteiriço / Flora Dallagnol Cezimbra. -- 2019.
124 f.
Orientador: Pedro Antônio Roehe Reginato.

Coorientadores: Ricardo Maahs, Roberto Eduardo
Kirchheim.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Aquífero Rio Bonito. 2. Aquífero
transfronteiriço Permo-Carbonífero. 3. Formação Rio
Bonito. 4. Hidroestratigrafia. I. Reginato, Pedro
Antônio Roehe, orient. II. Maahs, Ricardo, coorient.
III. Kirchheim, Roberto Eduardo, coorient. IV. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DO AQUÍFERO RIO BONITO NOS MUNICÍPIOS DE ACEGUÁ, HULHA NEGRA E CANDIOTA E ANÁLISE DO SEU ASPECTO TRANSFRONTEIRIÇO**, elaborado por FLORA DALLAGNOL CEZIMBRA, como requisito parcial do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Leão

Dra. Raquel Barros Binoto

Dr. José Luiz Flores Machado

a Sylvia e a Nini

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Eduardo e Maritania, que juntos me conceberam e me oportunizaram o milagre da vida e me ensinaram que existe um abismo entre o nascer e o tornar-se humano. Humanizar-se é um exercício diário e o cultivo graças a vocês.

A minha tia Margareth, minha fada-madrinha, minha segunda mãe, que sempre se preocupou em zelar por minha segurança e aceitou dividir seu espaço comigo, me dando confiança para querer construir o meu.

Aos meus irmãos, Lua e Francisco, pelo vínculo único que temos a oportunidade de compartilhar e com isso termos coragem pra seguir caminhos diferentes, sabendo que sempre teremos essa ligação.

Ao Pedro Reginato, que ensina com maestria e transforma qualquer um dos seus alunos em potenciais hidrogeólogos.

Ao Roberto, que me deu a oportunidade única de trabalhar em um projeto que me aproximou do que eu acredito ser importante para o mundo e portanto acercou-me da minha própria existência.

Ao Ricardo, que tomou para si o desafio de fazer esse projeto se tornar concreto e o fez com louvor.

Ao Celso, que acompanhou desde o início minha caminhada na geologia e que nunca duvidou das minhas habilidades como futura geóloga.

A Sylvia e a Nini minhas amigas que estão longe, mas que quando estiveram por perto me resgataram dos meus naufragos internos e sempre me ofereceram uma praia tranquila para descansar antes de eu seguir viagem.

A Bruna e a Helena, minhas amigas que estão perto, que dividem uma ligação importante, que andam de mãos dadas comigo desde muito tempo e que estarão comigo nessa nova fase que estou entrando.

A Amanda, a Mariana W. e a Mariana A., obrigada pelo apoio, pela presença, sobretudo pela amizade.

Ao Nunes, pela paciência que tinha comigo e me ensinou a cultiva-la, tornando-me uma pessoa melhor.

A Maria, a Duda, a Thaysa e a Irina pelas experiências e histórias que compartilhei com cada uma.

A Ana, a Júlia, a Maria, a Pilar, a Sara, a Sheila e a Sylvia por serem meu "*equipin*" durante o intercâmbio e por me receber tão bem em seu país .

A UFRGS, universidade pública e de qualidade, que deve continuar buscando novos padrões de excelência, mas sempre acessível a todas e a todos os brasileiros.

*"A nossa grande tarefa está em conseguirmo-
nos tornar mais humanos."*

José Saramago (1922 -2010)

RESUMO

O presente trabalho realizou um estudo sobre o Aquífero Rio Bonito (ARB), nos municípios de Aceguá, Hulha Negra e Candiota, RS. O estudo teve como objetivo a caracterização geológica, hidrogeológica e hidroquímica do aquífero nas localidades mencionadas, bem como abordou seu aspecto transfronteiriço com o Aquífero Tres Islas, localizado no Uruguai. Para tanto foi construído um banco de dados feito a partir de um levantamento bibliográfico, inventário e cadastramento de poços de captação através do SIAGAS (CPRM), dados obtidos em atividade de campo e informações obtidas a partir de 11 perfis descritivos de furos sondagem, cedidos pela CPRM. A caracterização geológica foi feita a partir da construção de seções de correlação estratigráfica *strike* e *dip* utilizando o *datum* de inundação máxima do Palermo, onde se definiu quatro grupos de arenitos, relacionando-os com os ambientes deposicionais e determinando pela interpretação do Raio Gama a presença ou não de argilominerais. Com as potenciais camadas aquíferas definidas pela seção de correlação *strike* e a tendo como base, os furos de sondagem foram ajustados segundo a cota do terreno, resultando no modelo hidrogeológico conceitual que definiu quatro camadas aquíferas para o ARB. Para uma tentativa de análise mais aprofundada dessas camadas, tanto para a caracterização hidrogeológica, como hidroquímica, as cotas do terreno dos poços foram relacionadas com as dos furos de sondagem das correlações *strike* e *dip* e a partir da profundidade final do poço se inferiu quais as camadas aquíferas o poço interceptava. Assim, os parâmetros hidrogeológicos e hidroquímicos foram analisados para os poços que interceptavam uma ou mais camadas do modelo. Os valores mais altos de vazão e capacidade específica foram relacionados aos poços que interceptam as quatro camadas (30 m³/h e 6,25 m³/h/m) e as profundidades dos poços demonstraram que grande parte dos poços não chega a penetrar essa camada de maneira efetiva. A caracterização hidroquímica contou com análise de 14 poços, de maneira geral os poços apresentam pH fracamente alcalino, com a média de 20,9°C e valores altos de Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) em alguns poços, com valor máximo para 2670 µS/cm e 973 mg/L, respectivamente. A análise dos parâmetros hidroquímicos em poços que interceptam uma ou mais camadas indicou uma concentração alta de CE e STD para as camadas 1 e 2 e a diminuição progressiva dos mesmos para as camadas profundas, tal fato foi relacionado com o paleoambiente marinho transicional da camada aquífera superficial. As águas das amostras analisadas foram classificadas em sua maioria como bicarbonatadas sódicas e cálcicas, com baixo a alto risco de salinização e baixo a forte risco de sódio, apenas quatro poços apresentaram valores acima do permitido para os componentes organolépticos e inorgânicos. Observou-se a partir da construção de uma tabela com os marcos jurídicos do Brasil e do Uruguai que já existem acordos de cooperação entre os países citados, facilitando um possível plano de gestão para o Aquífero Rio Bonito/Tres Islas, que apresentou vazões de até 50m³/h no lado Uruguaio, mostrando que esse é um aquífero ainda pouco estudado e pode se tornar estratégico para região.

Palavras-Chave: Aquífero Rio Bonito, Aquífero transfronteiriço Permo-Carbonífero, Formação Rio Bonito

ABSTRACT

The present work's aim is to carry out a study on the Rio Bonito Aquifer (ARB) in the municipalities of Aceguá, Hulha Negra and Candiota, RS. The objective of the study is to geologically, hidrologically and hydrochemically characterize the aquifer in said regions, as well as to adress its cross-border aspect with the Tres Islas Aquifer, located in Uruguai. For this purpose, a database was developed, based on bibliographical survey, inventory and registering of wells through SIAGAS (CPRM), data collected in field research and information obtained from 11 descriptive profiles of boreholes, by the CPRM. The geological characterization was made from the building of stratigraphic correlation sections strike and dip, using the datum of maximum flood for Palermo, where four groups of sandstones were defined, connecting them to the deposicional environments and determining, through the Gama Ray, the presence or absence of clay minerals. With the potential aquifer layers defined by the section of correlation strike and having it as basis, the drillholes were ajusted according to the terrain's quota, resulting in the conceptual hydrogeological model that defined four aquifer layers for the ARB. In an effort to conduct a more in-depth analyses of these layers, for both hydrogeological and hydrochemical characterization, the quotas of the wells' terrain were correlated to the quotas of the strike and dip correlation boreholes and the final depth of the well showed which aquifer layers the well intercepted. That way, the hydrogeological and hydrochemical parameters were analyzed for the wells intercepting one or more layers of the model. The highest flow rates and the specific capacity were linked to the wells intercepting the four layers (30m³/h and 6,25m³/h/m) and the depth of the wells made clear that many of them don't penetrate this layer effectively. The hydrochemical characterization involved the analyses of 14 wells. The wells generally show slightly alkaline pH levels, averaging at 20,9°C and high values for Electrical Conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDC) in some wells, with maximum value of 2670 µS/cm and 973 mg/L, respectively. The analyses of the hidrochemical parameters in wells that intercept one or more layers indicated a high concentration of CE and STD for the layers 1 and 2 and their progressive decrease for the deep layers. This fact was linked with the transitional maritime paleoenvironment of the superficial aquifer layer. The waters of the analyzed samples were mostly classified as sodium bicarbonated and calcium bicarbonated, with low to high risk of sanilization and low to strong risk of sodium, only four wells showed values over the limit for organoleptic and inorganic componentes. It was observed, by creating a chart of the legal framework from Brazil and Uruguay, that cooperation deals between said countries already exist, facilitating a possible management plan for the Rio Bonito/Tres Islas Aquifer, that has presented outflows of up to 50m³/h on the side of Uruguay, demonstrating that this is an insufficiently studied aquifer with potential to become strategic to the region.

Keywords: Rio Bonito Aquifer, Permo-Carboniferous Transboundary Aquifer, Rio Bonito Formation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização geral da área do trabalho	21
Figura 2. Mapa simplificado da Bacia do Paraná com indicação da profundidade até o embasamento, a Supersequência Gondwana I, em amarelo e a região aproximada da área de estudo está identificada pelo retângulo vermelho. Fonte: Modificado de Milani <i>et al.</i> (2011)	25
Figura 3. Distribuição crono-estratigráfica do pacote Carbonífero-Eotriássico da Bacia do Paraná. Pode-se observar a mudança no sentido regional do <i>onlap</i> no limite do Grupo Itararé para o Grupo Guatá. Fonte: Modificado de Milani (2011).....	26
Figura 4. Contato em discordância angular entre Formação Rio Bonito (base) e ritmitos da Formação Palermo (topo). Fonte: Modificado de Milani (2011).....	27
Figura 5. Mapa geológico da região estudada. Fonte: Modificado CPRM (2008)	28
Figura 6. Mapa hidrogeológico com unidades aquíferas aflorantes e produtividade na área do projeto. Fonte: Modificado de Machado e Freitas (2005))	33
Figura 7. Mapa do Sistema Aquífero Permo-Carbonífero pela primeira identificado e publicado no ISARM (<i>Internationally Shared Aquifer Resources Management</i>). Fonte:modificado de Kettelhyt et al, 2007.....	38
Figura 8. Correlação estratigráfica Uruguai -Brasil, na região de estudo. Com destaque para a Formação Tres-Islas - Grupo Guatá. Modificado de Capecí (2013).	39
Figura 9. Fluxograma apresentando as etapas do projeto, notar que a construção do banco de dados foi essencial para o desenvolvimento do projeto.	40
Figura 10. Janela do <i>software Excel</i> mostrando uma das folhas de excel que compõem o banco de dados.....	42
Figura 11.Exemplo de perfil descritivo do Projeto Grande Candiota. Fonte: CPRM	43
Figura 12. Janela de visualização do software Adobe Illustrator utilizado para vetorizar os perfis de sondagem selecionados.....	44
Figura 13. Mapa da região de estudo com a localização dos furos de sondagem, poços do SIAGAS, pontos de campo (afloramentos e poços). Fonte: Elaborado no <i>software ArcMap</i>	45
Figura 14. Parte da tabela usada para a classificação dos poços segundos as camadas que estes interceptam.	46
Figura 15. Continuação da tabela anterior, com os dados hidrogeológicos.	47
Figura 16. Coleta das amostras de água durante atividade de campo.	47
Figura 17. Matéria publicada no Jornal Minuano, no dia 19 de dezembro de 2017, que relata a situação frágil do abastecimento de água nos municípios de Hulha Negra e Candiota.	

Fonte: http://tribuna.dominioserver.com.br/acionamento-de-agua-ja-e-realidade-em-hulha-e-candiota-nao-descarta/	49
Figura 18. Notícia publicada no dia 10 de fevereiro de 2018. Relato sobre as perdas que a falta de água, causada pela estiagem trouxe para o município. Fonte: te:http://www.jornalminuano.com.br/noticia/2018/02/10/candiota-decreta-situacao-de-emergencia-e-adota-acionamento	50
Figura 19. "Hulha Negra começa a racionar água", matéria do Jornal Tribuna do Pampa, trazendo a notícia que mais uma vez, a cidade adotou medidas de racionamento. Fonte: http://www.tribunadopampa.com.br/hulha-negra-comeca-a-racionar-agua/	50
Figura 20. Gráfico mostra em porcentagem, as principais formações encontradas para a captação das águas no município.....	51
Figura 21. Gráfico que apresenta as porcentagens das principais formações cadastradas no SIAGAS no município de Candiota. Fonte: Banco de dados.....	52
Figura 22. Gráfico que apresenta as porcentagens das principais formações cadastradas no SIAGAS no município de Hulha Negra. Fonte: Banco de dados.....	53
Figura 23. Gráfico que apresenta, em porcentagem, a situação dos poços da região dos três municípios. Fonte: Banco de dados.	54
Figura 24. Gráfico com número de poços e as origens geológicas da água captada. Fonte: SIAGAS.	55
Figura 25. Número de poços em cada município da área de estudo, Candiota com 17 poços e Hulha Negra com 33 poços, totalizando 50 poços. Fonte: Gráfico baseado nas informações do SIAGAS	55
Figura 26. Gráfico que apresenta os tipos de poços e a respectiva quantidade de cada um, que foram encontrados em campo.....	56
Figura 27. Gráfico gerado no Excel para mostrar a situação dos poços, classificados como ND (Não determinado); Equipado; fechado; bombeando; parado e abandonados; não instalado e produtivo.....	57
Figura 28. Localização e fotos das surgências encontradas em campo.	58
Figura 29. Surgência próximo à fronteira dos municípios de Aceguá e Candiota.....	59
Figura 30. a) Caixa de proteção a nascente;b) poço escavado 1 e c) poço escavado 2.	60
Figura 31. Poços em diversos estados de precariedade foram encontrados. a) Problemas como incrustação ferruginosa. b) Poços com estrutura de cimento que o mantinha submerso. c) Poço protegido por estrutura de cimento aberta que enchia de água, acelerando processos de desgaste dos materiais.	61

Figura 32. Gráfico gerado no <i>Excel</i> para mostrar em porcentagem, os principais destinos do uso da água subterrânea nos municípios de Candiota e Hulha Negra.	62
Figura 33. Figura da região de estudo ilustrando os locais onde afloram as Formações Rio Bonito e Palermo, os lineamentos estruturais (CPRM, 2008), com os furos de sondagem selecionados para a caracterização geológica e os afloramentos encontrados na saída de campo.....	63
Figura 34.2.a) Uma das cachoeiras aflorantes das fraturas dos corpos graníticos encontrados na propriedade. 2.b) Vista da geomorfologia local, colinas e vale. 2.c) Aspecto geral do local onde se extraía carvão. 3.d) Detalhe da camada de carvão sobreposta aos conglomerados matriz suportados com lentes de arenito.	65
Figura 35. Afloramento localizado na barragem próximo à localidade de Seival. 2.a) Barrancos do leito do arroio com litologia variando em camadas centimétricas de arenitos fino a médio e pelitos; 2.b) Afloramento com mais de 40 m extensão, onde é possível ver o fluxo do arroio. 3.c) Conglomerados na base em altitudes menores (179m). 4.d) Pelitos com lentes de arenito que variam de 5 a 15 cm.....	66
Figura 36. a) Aspecto geral do afloramento de arenitos maciços a beira da estrada (barranco de aproximadamente 2 m de altura e extensão quilométrica). 29.b) Foto de detalhe de uma camda de arenito maciço com água vertendo de uma fratura.	67
Figura 37. Correlação estratigráfica <i>STRIKE</i> (Anexo I).....	69
Figura 38. Correlação Estratigráfica <i>DIP</i> (Anexo II).....	70
Figura 39. Sucessão sedimentar típica da área de estudo com interpretação dos sistemas deposicionais (modificado de Holz et al. 2006). Note a correlação do grupos areníticos identificados (Grupo 1 - sistema deposicional flúvio-deltaico; Grupo 2 – sistema deposicional estuarino lagunar; Grupo 3 – subsistema de barreira costeira; Grupo 4 – sistema deposicional marinho raso).	75
Figura 40. Gráfico com intervalo de profundidades dos poços.....	77
Figura 41. Gráfico com intervalos de profundidades de entrada de água de seis poços do banco de dado.....	77
Figura 42. Nível estático do Sistema Aquífero Rio Bonito.	78
Figura 43. Capacidade específica dos poços do Sistema Aquífero Rio Bonito.....	79
Figura 44. Vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Rio Bonito.	80
Figura 45. Modelo hidrogeológico do aquífero feito a partir dos furos de sondagem do Projeto Grande Candiota (CPRM). Os tons de azul indicam os aquíferos dentro do Aquífero Rio Bonito, a cor marrom representa os aquíferos presentes (Anexo III).	83
Figura 46. Intervalos de vazões e comparação entre a camada 1 e as camadas 1 e 2, camadas 1,2 e 3 e camadas 1,2,3, e 4.....	87

Figura 47. Avaliação da produtividade segundo a vazão (Q), intervalos definidos por Struckmeir & Margat, modificado por Diniz (2012).	88
Figura 48. Intervalos de produtividade para cada um dos agrupamentos de camadas aquíferas.	88
Figura 49. Variação da condutividade elétrica entre os poços.	91
Figura 50. Variação dos valores de sólidos totais dissolvidos (STD) dos poços.	91
Tabela 6. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1"	92
Figura 51. Classificação pela Dureza Total (mg/CaCO ³) - (Custódio & Lamas, 1983)	96
Figura 52. Diagrama de Piper com os valores dos 11 poços plotados.	97
Figura 53. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços que captam água da camada 1.	98
Figura 54. geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços que interceptam as camadas 1 e 2.	99
Figura 55. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços que interceptam as quatro camadas aquíferas.	99
Figura 56. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços sem classificação quanto as camadas.	100
Figura 57. Diagrama da US <i>Dept. of Agriculture</i> .	101
Figura 58. Contato abrupto entre Formação <i>San Gregorio</i> e Formação <i>Tres Islas</i> próximo a Melo, localidade próxima a fronteira do Brasil. Fonte: Modificado de Capeci (2013).	112
Figura 59. Afloramento do que é considerado Formação <i>Fraile Muerto</i> no Uruguai, próximo a cidade de Melo. Fonte: Modificado de Capeci (2013).	113

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadros

Quadro 1. Síntese e características gerais das unidades litoestratigráficas	29
Quadro 2. Unidades Aquíferas presentes na área e síntese descritiva segundo Machado & Freitas, 2005).	33
Quadro 3. Descrição simplificada dos grupos de arenitos identificados e indicação do ambiente deposicional associado a cada grupo (baseado em Holz, 2003; Hozl et al. (2006)).	71
Quadro 5. Poços com as respectivas classificações sobre as camadas aquíferas e a classificação das águas segundo Diagrama de Piper.	98
Quadro 6. Aspectos legais e institucionais relevantes sobre a gestão dos recursos hídricos do Uruguai e do Brasil. Fonte: Marco Legal e institucional na Gestão dos Sistemas Aquíferos Transfronteiriços das Américas, ISARM (2007).	108
Quadro 7. Correlação entre as Formações permianas do Uruguai e do Brasil. Fonte: Modificado de Capeci (2013)	111

Tabelas

Tabela 1. Dados dos 10 furos de sondagem selecionados para a construção da caracterização geológica e hidrogeológica. Fonte: Perfis descritivos da CPRM do Projeto Grande Candiota. ...	43
Tabela 2. Localização, número de poços visitados em campo e o tipo de poço encontrado.....	57
Tabela 3. Valores mínimos, médios e máximos das profundidades dos poços, nível estático, vazão e capacidade específica.	76
Tabela 4. Dados de profundidade, nível estático, vazão e capacidade específica dos poços que captam água das camadas aquíferas do Aquífero Rio Bonito.....	85
Tabela 5. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando todos os valores disponíveis do banco de dados.	90
Tabela 6. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1"	92
Tabela 7. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1e 2"	93
Tabela 8. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1, 2 e 3".	93
Tabela 9. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1, 2 ,3 e 4.	94
Tabela 10. Dados de dureza total.	95
Tabela 11. Valores estatísticos dos parâmetros organolépticos da água, com VPM, número de dados analisados e nº de dados acima do VPM.....	103
Tabela 12. Valores estatísticos dos parâmetros inorgânicos da água, , com VPM, número de dados analisados e nº de dados acima do VPM.....	103
Tabela 13. Informações sobre os poços que extraem água da Formação Tres Islas na localidade de Isidoro Noblía. Fonte: Dados cedidos pelo CeReGAS.	114

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	22
1.1.1 Objetivo Geral	22
1.1.2 Objetivos específicos	22
2. ESTADO DA ARTE	23
2.1. ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL	23
2.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA LOCAL	28
2.2.1. Formação Rio Bonito	30
2.2.2. Formação Palermo	31
2.3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	31
2.3.2. Aspecto Transfronteiriço do Aquífero Rio Bonito	37
3. METODOLOGIA	40
3.1. ETAPAS DA METODOLOGIA	40
3.1.1. Levantamento Bibliográfico:	41
3.1.2. Inventário e cadastramento de pontos de captação,	41
3.1.3. Obtenção de dados em Campo	41
3.1.4. Banco de Dados	42
3.1.5. Caracterização Geológica	42
3.1.6. Caracterização Hidrogeológica	46
3.1.7. Avaliação Hidroquímica:	47
3.1.8. Avaliação do Aspecto Transfronteiriço:	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1. RECURSOS HÍDRICOS	49
4.1.1 Importância dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região	49
4.1.2 Captação da Água Subterrânea	51
4.1.3. Poços que captam água do Sistema Aquífero Rio Bonito	54
4.1.4 Tipos e Situação dos Poços	56
4.1.5 Pontos de captação e surgência encontrados em campo	57
4.1.6 Usos da Água	61
4.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	63
4.1.2 Correlações Estratigráficas a partir dos Furos de Sondagem	67
4.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	76
4.2.1 Análise dos Parâmetros Hidrogeológicos	76
4.2.2 Modelo Hidrogeológico Conceitual	80
4.2.3 Análise dos Parâmetros para Poços que Interceptam uma ou mais Camadas	84
4.2.4 Avaliação do Potencial Hidrogeológico	87
4.3 ANÁLISE HIDROQUÍMICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	90
4.3.1 Análise Hidroquímica Geral	90
4.3.2. Análise Hidroquímica para Poços que Interceptam uma ou mais Camadas	92

4.3.3. Dureza Total	95
4.3.4 Classificação das Águas no Diagrama de Piper	97
4.3.5 Análise da Água Subterrânea para Irrigação	101
4.3.6. Potabilidade das Águas do Aquífero Rio Bonito	102
4.5 AVALIAÇÃO DO ASPECTO TRANSFRONTEIRIÇO DO AQUÍFERO RIO BONITO E CORRELAÇÃO COM OS DADOS HIDROGEOLÓGICOS DO URUGUAI	105
4.5.1 Levantamento do Marco Legal e Institucional na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneas para o Brasil e o Uruguai	105
4.5.2 Aspectos Geológicos	110
4.5.3 Aspectos Hidrodinâmicos	114
4.5.4 Estudos futuros sobre Aquífero Rio Bonito/ <i>Tres Islas</i>	115
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
7. ANEXOS	123

1. INTRODUÇÃO

O acesso à água potável não é uma realidade para mais de 1,8 bilhões de pessoas e os efeitos da escassez de água no mundo afetam mais de 40% da população mundial. A projeção é que haja um aumento dessa porcentagem, assim como o aumento da demanda pelos recursos hídricos: sejam superficiais ou subterrâneos (ODS, 2015).

As águas subterrâneas constituem noventa e oito por cento do volume total da água doce disponível em todo o planeta (ISARM, 2007). Estão armazenadas em aquíferos que possuem diferentes características hidrogeológicas, localizados, por sua vez, em diferentes níveis de profundidade: podendo apresentar variáveis níveis de confinamento. O aumento da demanda pelas águas subterrâneas faz com que seja necessário o desenvolvimento de estudos para melhorar o entendimento sobre os respectivos sistemas aquíferos. Para tanto é imprescindível a compreensão do arcabouço geológico da área, dos tipos de aquíferos e suas características hidrodinâmicas e hidroquímicas, bem como o desenvolvimento de tecnologias e estratégias de gestão dos mesmos.

O presente trabalho se ocupa da caracterização hidrogeológica da Unidade Aquífera Rio Bonito (doravante ARB), localizado no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil. A área que abrange os municípios de Aceguá, Candiota e Hulha Negra na região da fronteira com o Uruguai foi alvo de estudos de maior detalhamento. A referida unidade faz parte do Sistema Aquífero Palermo - Rio Bonito (conforme definido por Freitas & Machado, 2005), que se estende pela borda sudeste da Bacia do Paraná. Apesar do baixo potencial hidrogeológico atribuído a mesma, se comparado a outros aquíferos do RS, salienta-se que a mesma possui expressiva importância regional e local. Trata-se da principal e única fonte de abastecimento de vasta região no extremo sul do Estado (Goffermann, 2012). Neste sentido, vale lembrar a importância desta unidade aquífera para os assentamentos rurais e áreas urbanas de vários municípios na fronteira sul do RS, dentre os quais, aqueles acima citados. Além disso, dita unidade foi classificada como tendo

características transfronteiriças pelo programa ISARM da UNESCO/OEA (2007), reconhecendo-a como Sistema Aquífero Transfronteiriço Permo-Carbonífero (doravante SAPC). Esta característica transfronteiriça deve ser considerada como uma oportunidade de avaliar estratégias de uso e gestão conjuntas, no caso, entre Brasil e Uruguai (já que a mesma se estende através do território de ambos os países).

Assim, a partir da caracterização hidrogeológica o presente trabalho se propõe a compreender melhor as características e potencialidades do ARB, tendo como impulso a demanda pelas águas subterrâneas na região. Idem vale para a avaliação do aquífero da formação estratigráfica correlata e análoga no Uruguai, denominada de Tres Islas, e localizada no nordeste do Uruguai.

O presente estudo tem como objetivo gerar dados e informações que contribuam para o melhoramento da gestão deste aquífero levando em consideração as leis e regulamentações, nas diferentes esferas (federal, estadual, provincial). Neste sentido, vale enfatizar as experiências trazidas à tona pelos Planos de Ação Local dos Pilotos (PALP's) elaborados pelo PEA (Programa Estratégico de Ação) para o Aquífero Guarani .

A Figura 1 fornece a localização geográfica do presente estudo, com a delimitação da área de ocorrência da respectiva unidade aquífera no Brasil e no Uruguai e a localização dos municípios, onde foram realizados estudos de detalhe.

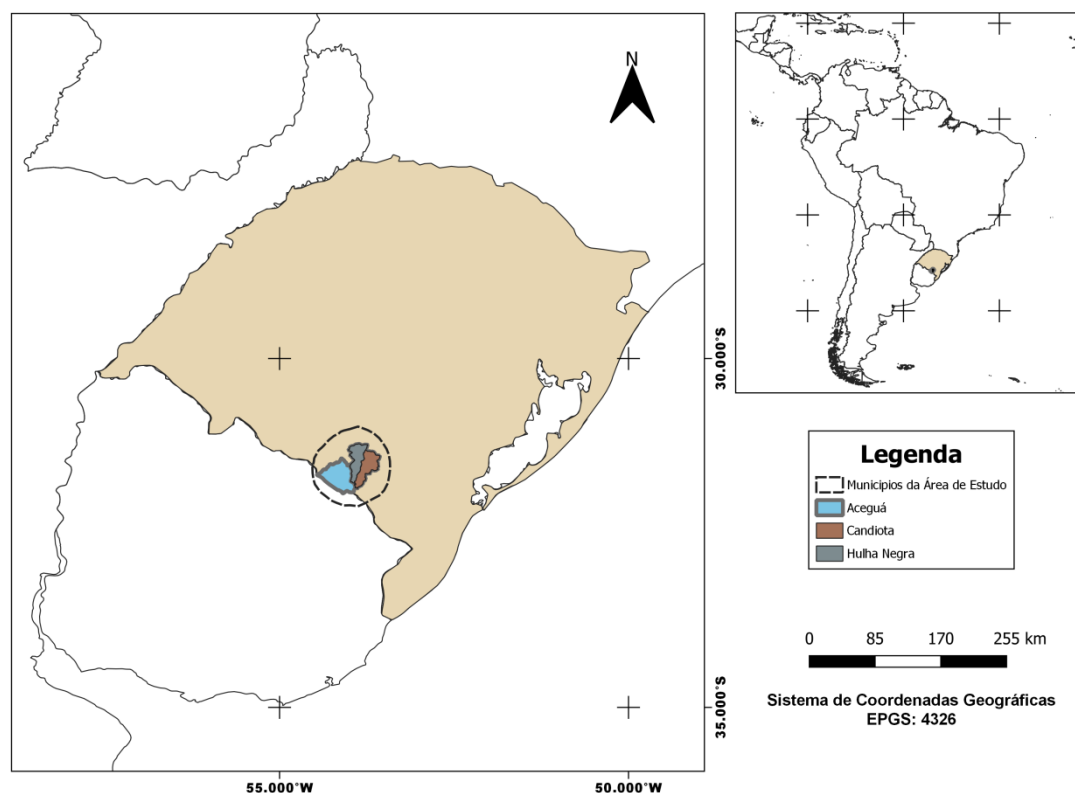


Figura 1. Mapa de localização geral da área do trabalho

A região do presente estudo está localizada no sudoeste do RS, mais precisamente compreendida entre os municípios de Candiota, Hulha Negra e Aceguá. Trata-se de uma região que impõe limitações de ordem física à ocupação e uso em virtude de chuvas mal distribuídas, estiagem de longa duração, solos expansivos e pouco espessos, além de aquíferos poucos produtivos (Kirchheim et al, 2012). Mesmo assim, dita região foi palco de políticas agrárias passadas com a instalação de mais de 70 assentamentos da reforma agrária, envolvendo aproximadamente 5 mil famílias.

O aumento da demanda por recursos hídricos na área acirrou a busca por alternativas de fontes subterrâneas. Extensivas campanhas de perfuração de poços ocorreram, sem, entretanto resolver o problema da demanda. A complexidade e particularidade dos aquíferos não eram levadas em consideração, resultando em poços de baixa produtividade (devido a erros locais e de completção) e ou qualidade química das águas fora dos padrões de potabilidade (Kirchheim et al ,2012).

A justificativa do desenvolvimento do presente estudo advém de uma demanda premente por água de qualidade para consumo e produção agrícola.

Uma melhor compreensão do aspecto transfronteiriço desta unidade aquífera também passa a ser uma justificativa para a realização do estudo. A gestão adequada destas águas subterrâneas requer conhecimento de suas características hidrogeológicas, hidrodinâmicas e hidroquímicas. Dados compilados e obtidos em território Brasileiro podem ser comparados aos dados existentes no Uruguai, gerando passos concretos para uma discussão de caráter transfronteiriço e cooperação. Trata-se de um assunto muito discutido desde a ratificação do denominado Acordo Guarani por parte de Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, e que pode facilitar a obtenção de recursos para maiores estudos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é realizar uma avaliação hidrogeológica da unidade aquífera ARB com base em estudos existentes e informações primárias obtidas na região de fronteira entre o Brasil e Uruguai (com ênfase nos municípios de Candiota, Hulha Negra e Aceguá no RS).

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Avaliar e analisar o uso da água subterrânea do ARB na região de estudo;
- Analisar e discorrer sobre as características hidrogeológicas, hidrodinâmicas e hidroquímicas do aquífero;
- Empreender uma discussão do aspecto transfronteiriço do referido aquífero, correlacionado estratigraficamente à Formação Tres Islas no Uruguai;
- Realizar uma avaliação das políticas e sistemas de gestão adotados para águas subterrâneas no Brasil e Uruguai com base nas legislações específicas de ambos os países.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo busca apresentar e discorrer sobre os trabalhos de caráter geológico e hidrogeológico considerados referenciais. Para uma melhor compreensão do contexto geológico, o capítulo de revisão bibliográfica foi dividido em arcabouço geológico regional e local e, logo, em seus aspectos hidrogeológicos. Para o arcabouço geológico regional faz-se referência a autores que estudaram a Bacia do Paraná, porém dando enfoque na assim denominada Super Sequência Gondwana I, que albergam os arenitos da Formação Rio Bonito, alvo do presente estudo. Em seguida, são trazidas referências específicas sobre as formações de interesse na região e do estudo, apresentando, sucintamente, a evolução estratigráfica e características sedimentológicas e estratigráficas. Finalmente, uma vez apresentado o arcabouço geológico, são fornecidas as referências de caráter hidrogeológico.

2.1. ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL

A região do presente estudo está inserida no limite entre duas grandes províncias geotectônicas, a saber, Bacia Sedimentar do Paraná e o Escudo Cristalino. Importante comentar que estes estratos sedimentares, ocorrentes na porção relativa à Bacia Sedimentar do Paraná, constituem, em realidade, uma feição de borda, caracterizada por delgadas coberturas cobrindo o embasamento cristalino. O arranjo espacial dos tipos litológicos na área e os efeitos tectônicos superimpostos constituem-se no que se denomina arcabouço geológico da área, de fundamental importância no entendimento dos processos hídricos.

Do ponto de vista geomorfológico (segundo Plano da Bacia do Rio Negro, Magna, 2007) a área está inserida dentro da Província Geomorfológica da Depressão Central Gaúcha ou Depressão Periférica, entre o maciço do Escudo Sul-Riograndense a leste e as cuestas do planalto da campanha a oeste. O relevo forma coxilhas de topo semi-tabular e eventualmente cuestas, nos casos de uma maior inclinação dos estratos. Podem se formar cristas mais elevadas nos casos onde a coesão dos estratos é garantida por processos de silicificação e/ou formação de crostas ferruginosas. As vertentes podem variar

desde curtas e íngremes onde as drenagens são mais encaixadas e as diferenças de cota são maiores até longas e suaves, formando amplas bacias de acumulação e captação, de grande relevância para a estratégia de açudagem.

Para Milani & Ramos (1998), a Bacia do Paraná é uma vasta região de sedimentação situada na porção centro-leste da América do Sul (recobre cerca de 1.500.000 km²) e inclui porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (Melfi et. al, 1988; Milani, 2004).

A evolução da Bacia do Paraná aconteceu durante o Paleozóico e o Mesozóico, abrigando um importante registro estratigráfico desde o Neordoviciano até o Neocretáceo. Nessa bacia são reconhecidas seis unidades aloestratigráficas de segunda ordem, também chamadas de Supersequências Estratigráficas (Milani 1997), sendo elas as seguintes: a) Rio Ivaí; b) Paraná; c) Gondwana I; d) Gondwana II; e) Gondwana III e f) Bauru. A Figura 2 apresenta ditas unidades.

Segundo Milani et. al (2007) o registro estratigráfico da Bacia do Paraná compreende um pacote sedimentar-magmático com uma espessura total máxima em torno 7 mil metros, coincidindo geograficamente com o depocentro estrutural da sinéclise com a região da calha do Rio Paraná. Três das supersequências da Bacia do Paraná correspondem a ciclos transgressivos-regressivos Paleozóicos e as outras são pacotes sedimentares continentais Mesozóicos com rochas ígneas associadas.

Para efeitos deste estudo, principalmente na região alvo, interessa as formações pertencentes à Supersequência Gondwana I. Segundo Milani et al (2007), os registros iniciais da seção gondwânica da Bacia do Paraná são de autoria de Orville Derby (1878). Porém, quem primeiro agrupou o conjunto de estratos e os classificou foi White (1908), no "Sistema de Santa Catarina"(as nomenclaturas adotadas por White se mantêm, de maneira geral, pouco modificadas até os dias de hoje). Entretanto, o detalhamento da sequência e a visão litoestratigráfica contemporânea do pacote permo-carbonífero devem-se em grande parte à Schneider *et al* (1974).

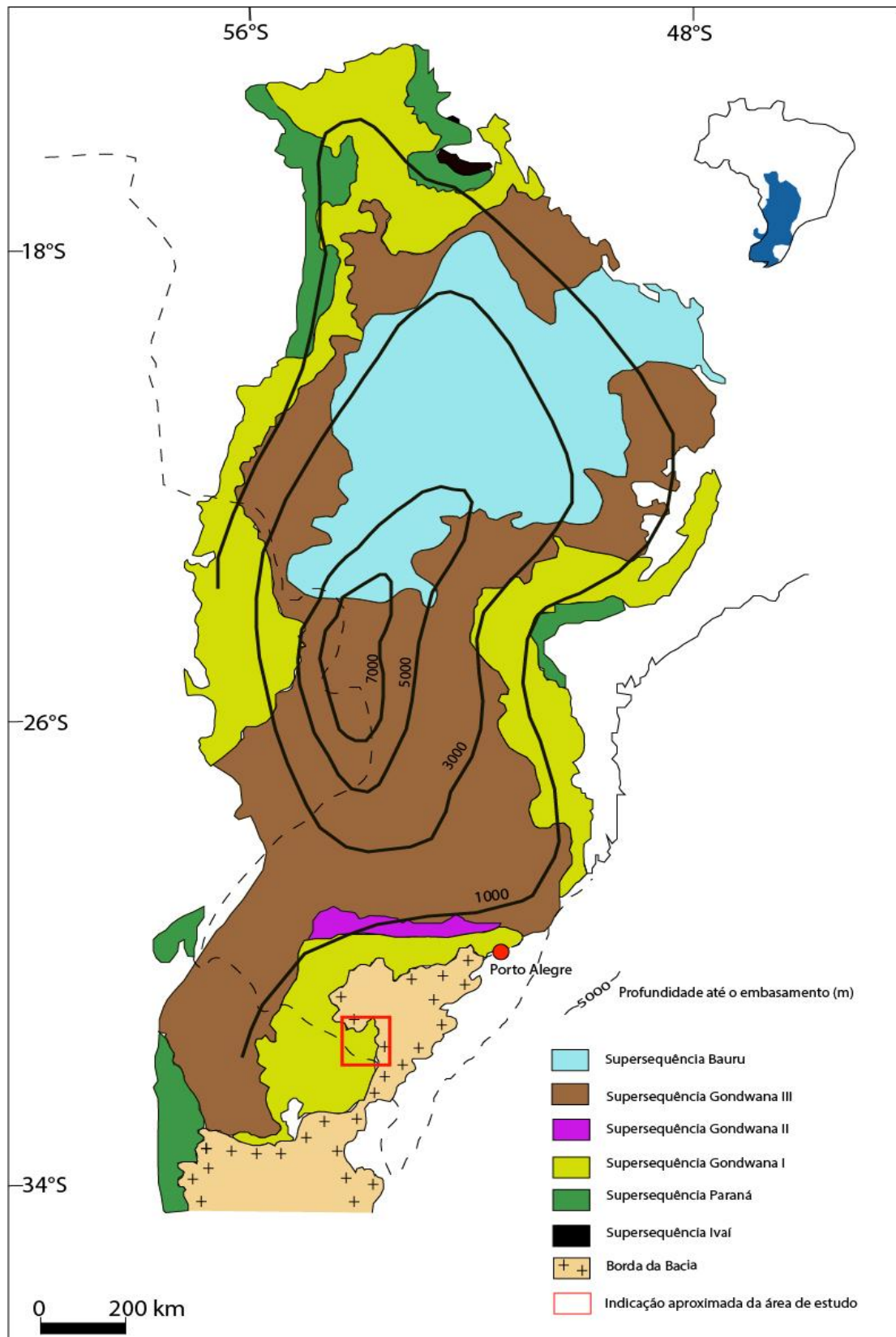


Figura 2. Mapa simplificado da Bacia do Paraná com indicação da profundidade até o embasamento, a Supersequência Gondwana I, em amarelo e a região aproximada da área de estudo está identificada pelo retângulo vermelho. Fonte: Modificado de Milani *et al.* (2011)

Em relação a sua datação, Soares (1991) se referiu ao pacote como Sequência Tectosedimentar Pensilvaniana-Permiana, enquanto Milani *et al* (1994) o denominou de Sequência Carbonífera- Eotriássica, porém, para ambos, delimitados na Era Paleozóica.

A Supersequência Gondwana I representa o maior volume sedimentar da Bacia do Paraná, aflorando em um cinturão quase contínuo ao longo da sinéclise e exibindo, em subsuperfície, uma espessura total máxima da ordem de 2.500 m (Milani *et al* ,2007). Este mesmo autor considera que essa sequência inclui os seguintes pacotes litoestratigráficos: Grupo Itararé e Formação Aquidauana, Grupo Guatá, Grupo Passo Dois e Formações Pirambóia e Sanga do Cabral. O autor posicionou a unidade alo estratigráfica, temporalmente, entre o Moscoviano (Neocarbonífero) e o Scythiano (Eotriássico) (Figura 3).

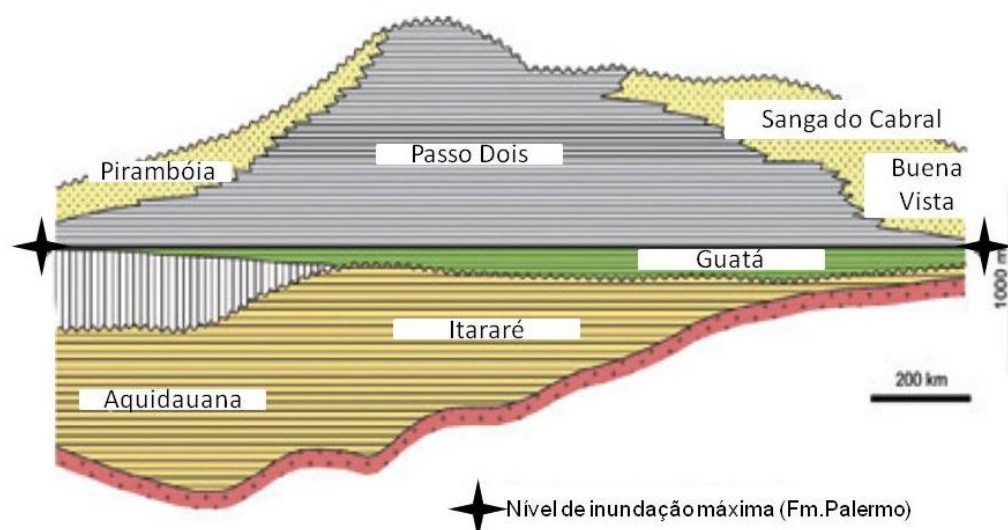


Figura 3. Distribuição crono-estratigráfica do pacote Carbonífero-Eotriássico da Bacia do Paraná. Pode-se observar a mudança no sentido regional do *onlap* no limite do Grupo Itararé para o Grupo Guatá. Fonte: Modificado de Milani (2011).

O autor sugere que durante o Eocarbonífero, o continente Gondwana, que estava em elevadas latitudes na porção Sul ocidental, iniciou um processo de glaciação continental. O fato de haver geleiras dificultou a formação de sistemas deposicionais e a acumulação sedimentar expressiva. Esse período representa uma lacuna expressa entre os estratos neodevonianos da Formação Ponta Grossa e os neocarboníferos do Grupo Itararé e Formação

Aquidauana. A base da supersequência Gondwana I é diretamente relacionada com depósitos de degelo dos glaciares mississipianos.

A consequência dessas mudanças mencionadas foi que o limite físico entre os estratos de idade Devoniana e os de idade Carbonífera (na base da Supersequência Gondwana I), segundo Milani (1997), se expressa como uma discordância de larga continuidade. A subsidência da Bacia do Paraná no Carbonífero foi significativa na porção setentrional, onde acumulou 1500 m de rochas sedimentares das unidades Aquidauana-Itararé. No período Permiano o *onlap* estratigráfico se direciona mais ao sul. A partir da base da Formação Rio Bonito, o sentido do *onlap* se inverteu.

A Bacia do Paraná durante a sedimentação Permo-Carbonífera registrou uma movimentação tectônica, evidenciada por Zalán et.al. (1990) por três importantes eventos que podem ser relacionados aos lineamentos do substrato da Bacia. As discordâncias locais em seções aflorantes, como o contato discordante Rio Bonito / Palermo, próximo a Bagé, são indícios de movimentações tectônicas no Neo-Permiano (Milani 2011) (Figura 4).

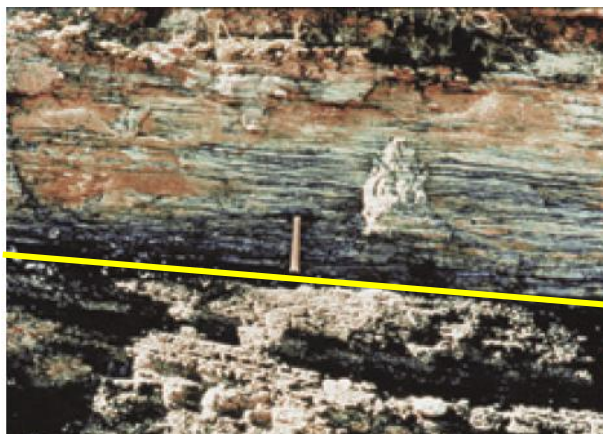


Figura 4. Contato em discordância angular entre Formação Rio Bonito (base) e ritmitos da Formação Palermo (topo). Fonte: Modificado de Milani (2011).

2.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA LOCAL

A descrição geológica de detalhe será realizada para esta porção da borda da Bacia do Paraná, em território Brasileiro, envolvendo os municípios referidos anteriormente. O arcabouço litológico aflorante na área foco do estudo mostra-se bastante diverso, conforme evidenciado pelo mapa da Figura 5. O Quadro 1, formulado a partir dos mapas geológicos da Folha de Pedro Osório, Folha Hulha Negra, bem como as cartas SH-21 e SH-22 ao milionésimo (documentos produzidos pela CPRM), sintetiza as informações geológicas.

O detalhe descritivo neste caso recai sobre as rochas que compõem as Formações Rio Bonito e Palermo.

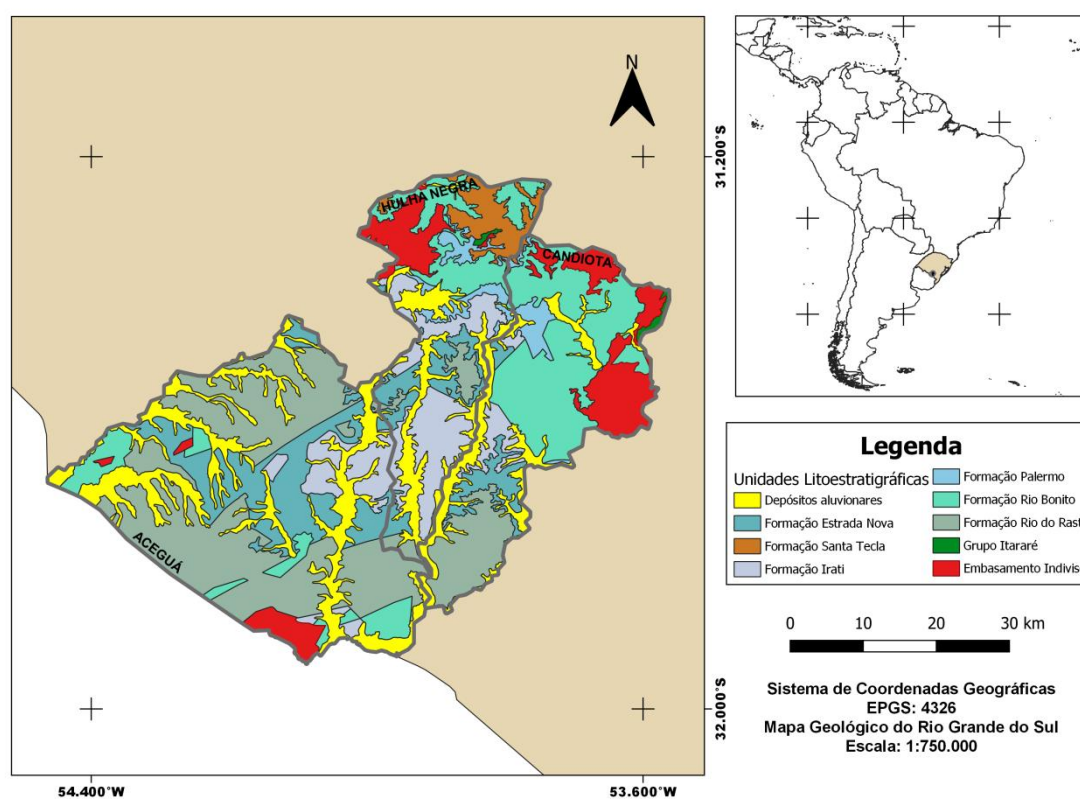


Figura 5. Mapa geológico da região estudada. Fonte: Modificado CPRM (2008)

O aspecto estrutural caracteriza-se por um sistema ortogonal de falhas de gravidade com alto ângulo e direções NE-SW e SE-NW, formando sucessivas estruturas de graben e horst. As principais falhas NE-SW alinham-se paralelamente à grande Falha da Açoteia, falha da região localizada no limite sudeste (CPRM, 2016).

Quadro 1. Síntese e características gerais das unidades litoestratigráficas

Província Geotectônica	Denominação Estratigráfica	Litotipos Principais
Depósitos Quaternários	Aluviões	Areias Grossas e Finas, Cascalhos e sedimentos siltico-argilosos
Coberturas Cenozóicas	Fm Santa Tecla	Arenitos de granulação fina a média bem selecionados com clastos de quartzo; conglomerados Cársticos e crostas silicosas
	Fm Rio do Rastro	Argilitos, siltitos e arenitos finos a muito finos em camadas tabulares ou lenticulares alongadas. Cores rósea a avermelhada. Arenitos de granulação fina, róseos maciços ou com estratificação planoparalela e ou cruzada acanalada. Camadas tabulares ou lenticulares
	Subgrupo Estrada Nova	Folhelhos Arenosos, Siltitos Arenosos e Arenitos Finos cinza a bege com estratificação wavy e linsen. Apresenta concreções calcáreas
	Fm Irati	Folhelhos siltitos e argilitos cinza, calcáreos e margas esbranquiçadas com estratificação planoparalela
	Fm Palermo	Heterolitos, siltitos, siltitos Arenosos e arenitos muito finos com estratificação hummocky, siltitos e folhelhos.
	Fm Rio Bonito	Porção basal constituída de arcóseos grossos cinza, camadas lenticulares maciças ou com estratificação acanalada; intercalação de arenitos finos e siltitos carbonosos. Porção mediana com siltitos cinza carbonosos incluindo camadas de carvão. Porção de topo formada por quartzarenitos lenticulares médios a finos maciços ou estratificados
	Grupo Itararé	Diamectitos cinza de matriz pelítica a arenosa e arenitos finos a muito finos
Escudo Cristalino	Rochas metassedimentares, ígneas e metamórficas indivisas	

Fonte: Elaborado a partir do Mapa Geológico da Folha de Uruguaiana, CPRM, 2004

As Formações Palermo e Rio Bonito fazem parte do Grupo Guatá, definido por Gordon Jr (1974) no Estado de Santa Catarina, próximo à localidade de Guatá. A Formação Rio Bonito, base do Grupo Guatá, é composta por sucessões costeiras, seguidas por sequências deposicionais típicas de ambiente marinho de plataforma rasa (Formação Palermo). Holz et al (2010) propõe que estas duas formações teriam se depositado simultaneamente, proporcionando a ocorrência de ciclos de interdigitação. A

seguir, um detalhamento de cada uma das Formações que interessam para os efeitos da descrição hidrogeológica que segue.

2.2.1. Formação Rio Bonito

Na porção sul da Bacia do Paraná a formação Rio Bonito é equivalente, estratigraficamente, à Formação Três Islas no Uruguai, bem como às formações Tietê (senso Fulfaro *et al.* 1991) e a Tatuí na porção centro-norte da Bacia. O pacote sedimentar que sucede os depósitos glaciais do Itararé foi definido como uma cunha transgressiva em *onlap* de sul para norte com os depósitos da Formação Rio Bonito, que foi definido por Northfleer *et al* (1969) como um "extenso *front* deltaico". Milani *et al* (2007) ainda ressalta a ciclicidade sedimentar que pode ser observada na Formação Rio Bonito, interpretada como oscilações do nível de base na bacia de acumulação.

A transgressão marinha é registrada desde a base do Grupo Guatá, sendo comuns retrabalhamentos dos lobos deltaicos por ação das marés. Ainda segundo o artigo de Milani *et al.* (2007) a Formação Rio Bonito, em razão dessa alternância entre pacotes arenosos e ora pelíticos, foi subdividida em três membros: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis. (Schneider *et al.* 1974).

Milani *et al* (2007) descreve o membro Paraguaçu como o registro da subida do nível do "mar Palermo", que na sequência recobriria a bacia, representado pelos pacotes pelíticos de espessura significativa. Os carvões do membro Siderópolis são resultados das barreiras lagunares ao longo da costa, que localmente desenvolveram turfeiras. A unidade superior da formação Rio Bonito inclui arenitos finos, siltitos e siltitos carbonosos que se intercalam a camadas de carvão (Bortoluzzi *et al*, 1987). O carvão ocorre na porção meridional da Bacia do Paraná, sendo Bonito, Barro Branco e Candiota, localidades com grande significância econômica para o Estado do Rio Grande do Sul. Alves (2004) definiu que as camadas de carvão arranjam-se em um padrão retrogradacional, de sul para norte seguindo a tendência transgressiva que dominava em escala maior. No norte, as seções média e superior da Formação Rio Bonito, em conjunto com a Formação Palermo, são agrupados na Formação Tatuí (Scheinder *et al*, 1974).

Na região de São Gabriel, segundo Gofferman *et al* (2015) a Formação Rio Bonito é constituída por camadas de quartzo arenito de granulação fina a média, grãos esbranquiçados, intercalados com siltitos cinza escuros, siltitos carbonosos e camadas de carvão.

2.2.2. Formação Palermo

Segundo Milani *et al.* (2007) a Formação Palermo é composta por siltitos e siltitos arenosos, com intercalações subordinadas de camadas de arenitos médios a grossos, eventualmente com grânulos na base. Do ponto de vista litológico, a unidade é composta, em seu intervalo inferior, por uma interlaminação de silte e areia fina a muito fina, com laminação ondulada, wavy e linsen, drapes, localmente flaser, frequentemente com bioturbações e fluidizações que deformam a laminação. Intercalados no conjunto são encontrados leitos e lentes de arenito fino a médio, menos comumente grosso a muito grosso com grânulos esparsos e, eventualmente, com estratificação cruzada por truncamento de ondas (*hummocky*). Estes leitos mostram contatos abruptos, erosivos, com as camadas sotopostas, e possuem cimento carbonático. Milani *et al* (2007) considera a ocorrência de folhelhos cinza-escuros como um horizonte de correlação regional relacionado ao nível de inundação máximo do Palermo.

2.3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Deve-se salientar que, diferentemente do que normalmente costuma ser o cenário dos estudos dos recursos hídricos superficiais, para os quais conta-se com séries históricas de vazões, no que diz respeito às águas subterrâneas, as informações são pontuais, limitadas no espaço e no tempo. Existem informações sobre um universo restrito de poços existentes, dos quais se obtém apenas um “retrato” de informação, já que se trata de um evento de leitura sem monitoramento sistemático.

Entretanto, ao mesmo tempo, pode-se afirmar que em parte dos Municípios de Candiota, Hulha Negra e Aceguá, se detém inusitado grau de informação geológica, tendo em vista as inúmeras campanhas de sondagem visando à delimitação de zonas carboníferas. Embora o objetivo sempre tenha

sido a prospecção de carvão, trata-se de informação bastante útil no entendimento da dinâmica dos aquíferos.

Obviamente o dínamo da procura por maior entendimento da circulação das águas subterrâneas depende de demandas por água, o que, considerando a baixa densidade demográfica da área, acabou por muito tempo não acontecendo. Recentemente com a vinda de famílias assentadas e os efeitos negativos torna das sistemáticas estiagens nesta região, o tema acabou ganhando novo fôlego.

Tradicionalmente, em função de seu arcabouço geológico/hidrogeológico, as disponibilidades hídricas subterrâneas nas regiões de borda da Bacia do Paraná (afloramentos de rochas permianas) sempre foram consideradas inexistentes ou mesmo irrelevantes. Apesar da inexistência de um aquífero produtivo de caráter regional (como o aquífero Guarani), existe água subterrânea passível de extração, a qual pode representar uma alternativa importante no atendimento a certas demandas.

A caracterização hidrogeológica advém das definições realizadas para o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, na escala 1:750.000, (Machado e Freitas, 2005), concluído e disponibilizado pela CPRM através de convênio com a Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente – DRH/SEMA (Figura 6).

O Mapa Hidrogeológico vale-se de sistematização segundo a lógica da produtividade dos sistemas aquíferos avaliados segundo sua capacidade específica em $m^3/h/m$, identificando adicionalmente o tipo de porosidade (primária ou secundária – por fraturamento). A leitura do mapa, portanto, permite identificar regiões com maior produtividade específica (em função da escala do mapa é mais conveniente tratar de probabilidade), ou seja, trata-se de uma ferramenta real de planejamento. Acompanhando o mapa, estes mesmos sistemas aquíferos foram caracterizados do ponto de vista químico de suas águas subterrâneas, sendo identificadas algumas restrições quanto à potabilidade e uso para irrigação, por exemplo.

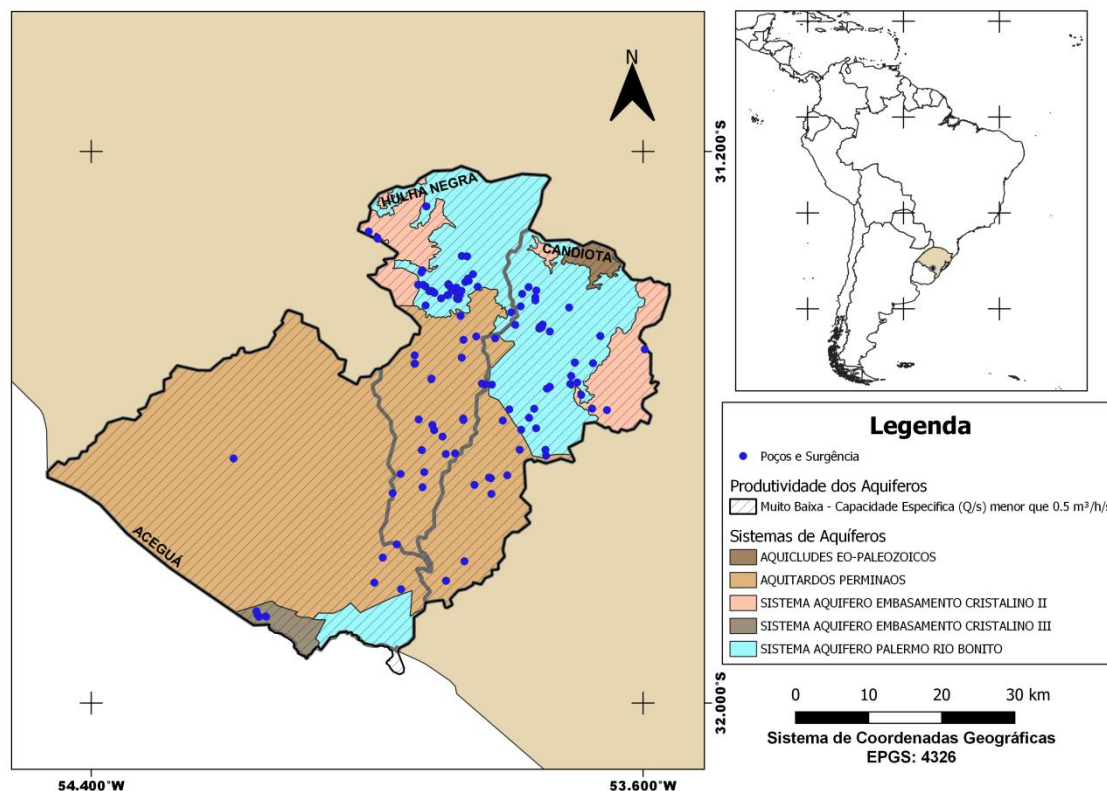


Figura 6. Mapa hidrogeológico com unidades aquíferas aflorantes e produtividade na área do projeto. Fonte: Modificado de Machado e Freitas (2005))

O Quadro 2, por sua vez, identifica as unidades aquíferas encontradas na área de estudo e apresenta a respectiva descrição de caráter genérico.

Quadro 2. Unidades Aquíferas presentes na área e síntese descritiva segundo Machado & Freitas, 2005).

Agrupamentos segundo Potencialidade (*)	Sistemas Aquíferos	Descrição geral
Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular	Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito	Tal sistema aquífero circunda a região alta das rochas do embasamento cristalino, desde Candiota até Santo Antônio da Patrulha, passando ainda pelos municípios de Dom Pedrito, São Gabriel, Minas do Leão e Cachoeirinha. Suas litologias são representadas por arenitos finos a médios, cinza a esbranquiçados, intercalados com camadas de siltitos argilosos, carbonosos de cor cinza-escuro. As capacidades específicas são em média inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os poços apresentam vazões bastante irregulares e dependem da interceptação de algum horizonte mais arenítico ou um sistema de fraturas. Em médias as vazões ficam em torno de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ atingindo em casos excepcionais mais de $10 \text{ m}^3/\text{h}$. As águas subterrâneas são predominantemente carbonatadas sódicas. A interconexão entre os aquíferos e as camadas carboníferas determina a mineralização indesejada das águas. As salinidades variam entre 800 e 1.500 mg/l. Em grandes profundidades as águas são salinas com sólidos totais dissolvidos superiores a 10.000 mg/l.

		Podem ocorrer drenagem de águas sulfurosas, tornando-as no conjunto inaproveitáveis.
Aquíferos limitados de baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas	Aquitardos Permianos	Localizam-se em uma estreita faixa na depressão periférica, circundando o embasamento cristalino, desde Candiota no sul do Estado até Taquara no leste. Trata-se de siltitos argilosos, argilitos cinza-escuros, folhelhos pirobetuminosos e pequenas camadas de margas e arenitos. Normalmente os poços que captam somente essas litologias apresentam vazões muito baixas ou estão secos. As capacidades específicas são geralmente inferiores a 0,1 m ³ /h/m e as águas podem ser duras, com grande quantidade de sais de cálcio e magnésio.
	Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II	Compreende basicamente as áreas correspondentes aos limites do embasamento cristalino, e inclui municípios como Bagé, Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul e pequena porção de Porto Alegre. Compreende todas as rochas graníticas, gnássicas, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorizados que estão localmente afetadas por fraturamentos e falhas. Geralmente apresentam capacidades específicas inferiores a 0,5 m ³ /h/m, ocorrendo também poços secos. As salinidades nas áreas não cobertas por sedimentos de origem marinha são inferiores a 300 mg/l. Poços nas rochas graníticas podem apresentar enriquecimento em flúor.
Aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas	Aquicludes Eo-Paleozóicos	Ocupam as áreas do centro ao leste do embasamento cristalino entre os municípios de Caçapava do Sul, Bagé, Lavras do Sul e Vila Nova do Sul. Constituem-se de arenitos finos a médios, róseos a avermelhados, muito endurecidos pelos cimentos ferruginosos, calcíticos e silicosos, proporcionando uma porosidade muito baixa. Também se intercalam espessas camadas de conglomerados e ritmitos pelíticos (turbiditos). Apesar da predominância de arenitos, a sua cimentação praticamente impermeabiliza a rocha, dando como resultado poços tubulares secos ou de vazão insignificante.
	Sistema Aquífero Embasamento Cristalino III	Localiza-se nas porções mais elevadas do escudo cristalino. Compõe-se principalmente de rochas graníticas maciças, gnaisses, riolitos e andesitos, pouco alterados. A ausência de fraturas interconectadas e a condição topográfica desfavorável inviabilizam a perfuração de poços tubulares, mesmo para baixas vazões.

(*) Potencialidade determinada pela produtividade (capacidade específica)

Interessa a este estudo aprofundar-se nas características aquíferas do que foi reconhecido como sendo o Sistema Aquífero Palermo-Rio Bonito.

Machado e Freitas (2005) definem o Sistema aquífero Rio Bonito-Palermo (doravante SARBP) que envolve, portanto, as unidades litoestratigráficas do Grupo Guatá como um todo. Já Gofferman *et al.* (2015) ressalta que as litologias da Formação Palermo, que ocorrem sobrepostas à

Formação Rio Bonito, atuam como aquitardos que confinam o que seria o aquífero Rio Bonito (aqui reconhecido como ARB).

Roseinberg, C. *et al.* (2008) caracterizou e analisou a evolução geoquímica das águas subterrâneas da mina de Candiota e considerou o ARB dominante na região de estudo, separando o arcabouço litológico em dois tipos principais: (i) aquífero freático e, (ii) aquíferos mais profundos, confinados a semi-confinados, respectivamente.

Os aquíferos da região estão fragmentados em blocos, com bordas orientadas principalmente nas direções NE e NW e os lineamentos foram considerados de pequeno a médio porte, com rejeitos que exercem forte controle sobre o fluxo das águas subterrâneas da região de acordo com Roseinberg *et al.* (2008).

Segundo este autor, o fluxo freático geral de acordo com as linhas equipotenciais do mapa piezométrico da área de Candiota, foi interpretado com sentido de norte para sudoeste (N-SW). Este sentido de fluxo evidencia a convergência das linhas de fluxo em direção aos mananciais superficiais indicando escoamento na direção dos principais cursos da água, os quais atuam como exutórios da descarga natural dos aquíferos. Para o autor, ao verificar que as drenagens estão encaixadas nos lineamentos, a topografia, e os respectivos lineamentos são os principais fatores controladores das áreas de recarga e descarga dos aquíferos.

O estudo de Roisenberg *et al.* (2008) apresentou valores de condutividade hidráulica para o aquífero livre variando entre $9,3 \times 10^{-5}$ cm/s e $5,16 \times 10^{-5}$ cm/s. Ditos resultados indicam terrenos com baixa permeabilidade, o que corresponde com as litologias da região das minas de carvão de Candiota. O cálculo do balanço hídrico estima que a recarga dos aquíferos ocorra somente nos meses de junho e julho, com um montante de 22,1 mm anuais.

Gofferman *et al.* (2014), constatou que as zonas de contribuição do SARBP estão diretamente relacionadas com os arenitos da Formação Rio Bonito e que as entradas de água nos poços ocorrem em profundidades superiores a 50m, sendo as entradas de água correlacionadas com as

camadas de quartzo arenitos finos a médios, de cor cinza claro a esbranquiçados. A espessura dessas camadas pode atingir até 20m. A unidade aquífera estaria intercalada por folhelhos carbonosos, siltitos e arenitos finos sobrepostos e por folhelhos subjacentes. O autor verificou ainda a existência de uma variação na disposição dos sedimentos sobre o embasamento, podendo haver o contato direto da formação Rio Bonito com as rochas do embasamento. Gofferman classificou o aquífero como poroso intergranular, confinado, onde os níveis de água são superiores à zona de contribuição, portanto com possibilidade de surgência. As vazões dos poços variaram entre 10 e 18 m³/h, com capacidades específicas de 0,7 a 1,5 m³/h/m.

Ainda segundo Gofferman *et al.* (2014), na região de São Gabriel, as águas do SAPRB, são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e sódicas. Nota-se um enriquecimento mineral progressivo proporcional ao tempo de circulação no meio. À medida que as águas circulam através de arenitos com matriz calcítica, ocorre o enriquecimento nos íons Ca⁺² e Na⁺². Os teores de STD ficaram entre 60 e 300 mg/L, com concentrações de Na entre 3,2 e 190 mg/L e altos teores de fluoreto (entre 0,05 e 1,30 mg/L). Quanto maior a profundidade de captação, tanto maior é a tendência de ocorrerem altos níveis de STD e salinidades que podem em casos extremos alcançar até 1.000mg/L. Esses valores demonstram que, na região de São Gabriel, o ARB é potável a pequenas profundidades.

Um grande salto no conhecimento do ARB deu-se com o envolvimento da CPRM com as questões hídricas da região, em apoio institucional ao INCRA. Através deste projeto, muitos poços tubulares foram revitalizados (ensaios de bombeamento, endoscopia, desinfecção bacteriológica e troca de peças no cavalete externo e quadro de comando, entre outras intervenções) e novos poços foram locados e, em parte completados. A experiência de perfuração permitiu aos pesquisadores da CPRM (Freitas et al, 2006) o reconhecimento de camadas aquíferas promissoras dentro da sequência estratigráfica da Formação Rio Bonito. Segundo estes autores o principal recurso de água subterrânea na região está presente nos arenitos intercalados por siltitos argilosos e carbonosos que ocorrem abaixo da camada de carvão denominada Candiota (considerada como guia prospectivo) na base da

Formação Rio Bonito. As camadas de carvão e alguns arenitos imprimem problemas na qualidade físico-química das águas. Os falhamentos segmentam os aquíferos em unidades hidrogeológicas independentes, nas quais o regime de fluxo e a composição química das águas mostram comportamentos individualizados (Gofferman, *et al*, 2014). A partir deste critério, todas as sondagens de carvão foram reinterpretadas discretizando a presença de tais unidades aquíferas. O resultado deste banco de dados, sistematizado em ambiente SIG, pode ser apreciado nos relatórios de Estudos Complementares da CPRM para o INCRA de 2012. Os seguintes mapas foram gerados: isopropriedade do embasamento cristalino, isopropriedade do topo da Formação Rio Bonito, isopropriedade de topo do estrato potencialmente aquífero do Rio Bonito, isópacas da Formação Rio Bonito e isópacas do estrato potencialmente aquífero da Fm. Rio Bonito. Os referidos mapas constam em Kirchheim *et al.*, 2012. As conclusões deste mesmo projeto são as seguintes: "o aquífero a ser captado é representado por arenitos médios a finos quartzosos esbranquiçados e friáveis localizados abaixo das camadas de carvão da Formação Rio Bonito. Poços tubulares que cumpram essas condições têm grande chance de serem produtivos e fornecer água potável." Ainda, segundo Kirchheim (2012) áreas em que o embasamento esteja superficial (a distâncias >40 m da superfície), devem ser descartadas, pois os estratos aquíferos não estarão presentes. Regiões com elevados valores de isópacas da Formação Rio Bonito tem melhores condições de armazenamento de água. Para definir de maneira mais objetiva a profundidade de perfuração para água, o mapa de isopropriedade do topo do estrato potencialmente aquífero e o mapa de isópacas da camada potencialmente aquífera são considerados os mais assertivos.

2.3.2. Aspecto Transfronteiriço do Aquífero Rio Bonito

O SAPRB se estende até o Uruguai e foi classificado como um sistema aquífero transfronteiriço de acordo com Kettelhut *et. al* (2007), denominando-o como Aquífero Transfronteiriço Permo-carbonífero. Estaria localizado na bacia hidrográfica do Rio Uruguai, ocupando uma área de 41.000 km², sendo 20.000km² no Uruguai e 21.000km² no Brasil. Em território brasileiro aflora na parte sul e em terras uruguaias na porção nordeste. Localiza-se no domínio

geomorfológico denominado depressão central, região sem variações abruptas da topografia, com altitudes máximas de 200m e formas de relevo conhecidas como coxilha, típicas do bioma Pampa, conforme anteriormente visto no item do arcabouço geológico dentro do estado da arte. A Figura 7 identifica a localização desta unidade aquífera.

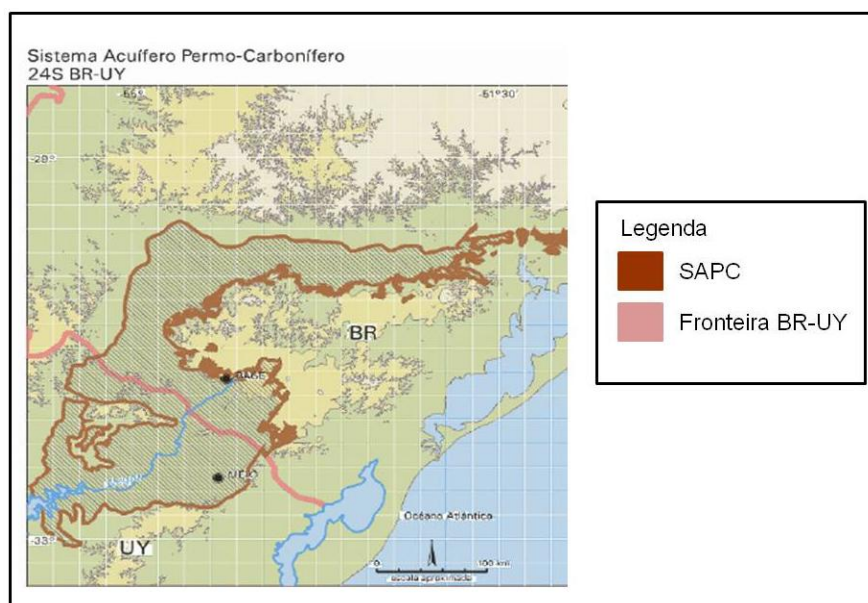


Figura 7. Mapa do Sistema Aquífero Permo-Carbonífero pela primeira identificado e publicado no ISARM (*Internationally Shared Aquifer Resources Management*). Fonte:modificado de Kettelhyt et al, 2007

Os técnicos que colaboraram com o trabalho coordenado por Kettelhut *et. al* (2007) definiram dito aquífero como poroso intergranular não consolidado e consolidado, com baixa produtividade no Uruguai. A unidade estratigráfica incluída no Uruguai é denominada de Tres Islas, enquanto que no Brasil estaria posicionado coincidindo com o Grupo Guatá: Formações Palermo e Rio Bonito, (Figura 8).

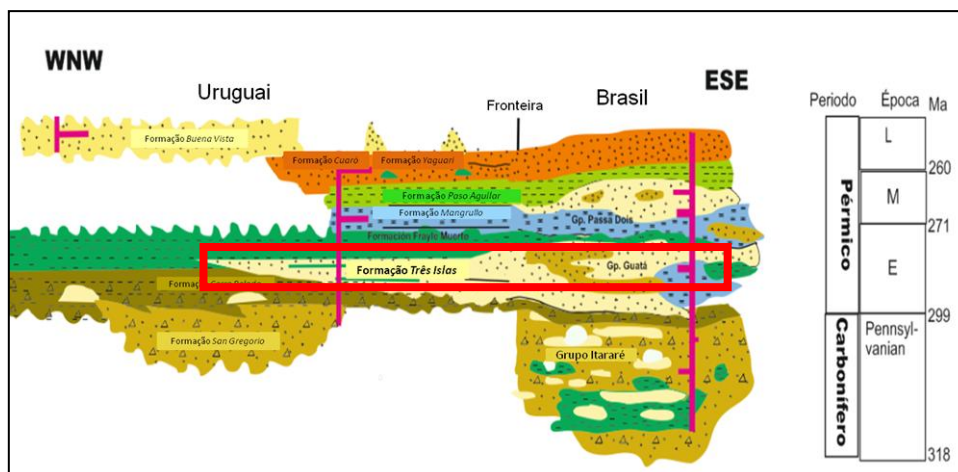


Figura 8. Correlação estratigráfica Uruguai -Brasil, na região de estudo. Com destaque para a Formação Tres-Islas - Grupo Guatá. Modificado de Capeci (2013).

Capeci (2013) correlaciona a formação Tres Islas com o Grupo Guatá (Formação Rio Bonito) e estabelece a correlação hidrogeológica concreta entre os aquíferos, Tres Islas e o ARB (conforme anteriormente descrito). A autora conclui que o ARB adquire suas condições de maior favorabilidade de vazões em direção ao centro da zona de estudo (Hulha Negra e Candiota no Brasil), diminuindo para oeste e leste onde está a fronteira do Uruguai. Observou que a transmissividade do aquífero Tres Islas varia entre 11 e 191 m²/dia, enquanto que o ARB apresenta uma variação de 25 a 439 m²/dia. Ressalta também que em localidades onde as espessuras e permeabilidades são similares, o valor das transmissividades se iguala. A vazão média desses aquíferos também é diferenciada. No setor uruguaio as vazões chegam a valores máximos de 13 m³/h e mínimos de 0,5 m³/h, com média de 3m³/h. Já no ARB a média é de 6m³/h e os valores máximos e mínimos são respectivamente de 30m³/h e 0,5 m³/h.

3. METODOLOGIA

3.1. ETAPAS DA METODOLOGIA

O fluxograma na Figura 9 tem por objetivo sistematizar as etapas de construção do projeto, uma vez que, como pode ser observado na figura mencionada, o projeto foi realizado em duas etapas, uma anterior e outra posterior a construção do banco de dados. Ou seja, a construção do banco de dados foi realizada a partir de uma etapa de coleta de dados, sejam dados já existentes, como bibliografias de estudos anteriores relacionadas com a área e a obtenção dos poços cadastrados no SIAGAS (Sistema de informação sobre Água Subterrânea), ou por dados que foram coletados *in situ* durante a saída de campo realizada em fevereiro de 2019.

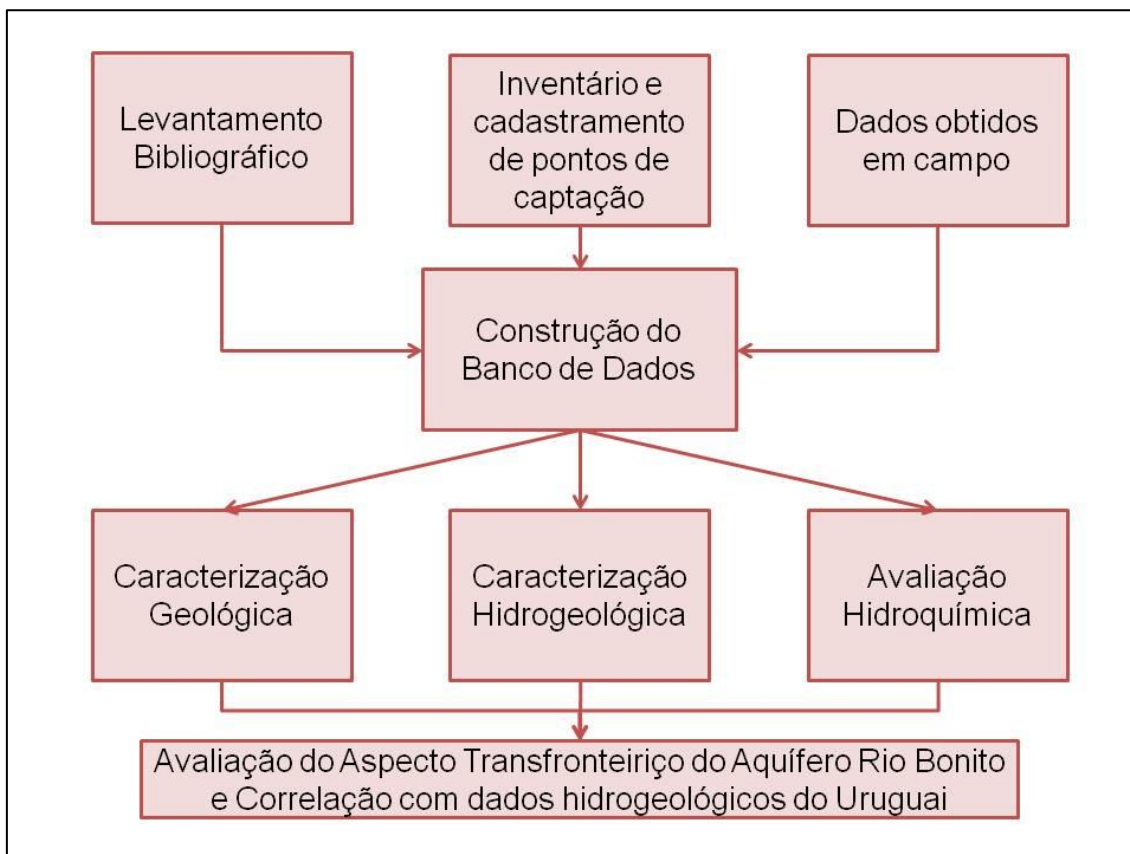


Figura 9. Fluxograma apresentando as etapas do projeto, notar que a construção do banco de dados foi essencial para o desenvolvimento do projeto.

Após a obtenção desses dados foi possível elaborar as caracterizações de interesse do projeto. A avaliação do aspecto transfronteiriço foi posterior às caracterizações geológica, hidrogeológica e hidroquímica.

Os passos que compõem as etapas do projeto serão explicados a seguir com maior detalhe.

3.1.1. Levantamento Bibliográfico

O levantamento da bibliografia foi feito com base em artigos científicos, teses, trabalhos de conclusão de curso e relatórios de estudo, afim de gerar conhecimento prévio sobre a geologia e hidrogeologia da região de estudo.

Para o desenvolvimento do projeto, foram excepcionalmente importantes as informações cedidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) do Projeto Grande Candiota, que disponibilizou dados dos furos de sondagem feitos na região de estudo.

3.1.2. Inventário e cadastramento de pontos de captação

A consulta sobre os pontos de captação de água subterrânea na área de estudo foi realizada através do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), operado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), bem como dos dados cedidos pela Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN) e pelos dados cedidos pela empresa HidroGeo Perfurações.

3.1.3. Obtenção de dados em Campo

O campo foi realizado dos dias 19 a 22 de Fevereiro de 2019, o objetivo era buscar os principais pontos de interesse definidos anteriormente pelo critério de localização, facilidade de acesso e relevância para o estudo (locais de surgência, por exemplo).

Em campo foram obtidos diversos dados geológicos através da descrição de afloramentos da região, dados hidrogeológicos, como a localização dos poços, a situação do poço, etc.; dados hidroquímicos, obtidos com a sonda multiparâmetro EUTECH, a coleta de cinco amostras para enviar ao laboratório (parâmetros medidos foram de alcalinidade total, cálcio, cloretos, ferro, fluoreto, magnésio, manganês, nitrato, potássio, sódio e sulfatos).

3.1.4. Banco de Dados

O banco de dados foi construído no *Microsoft Office Excel* através de planilhas que continham os dados dos poços dos três municípios contendo dados sobre localização (coordenadas UTM), tipos de captação, usos da água subterrânea, características construtivas, geologia (perfil geológico dos poços) e sobre a hidrogeologia (parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos) das águas subterrâneas na região. Esses dados são o resultado da compilação e organização do inventário e cadastramento de poços de captação e a obtenção de dados em campo (Figura 10).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	esta_terrno	utma	utme	situaao	uso_agua	perforador	diapetro_bota_tubo_milimetros	base	condicao	profundidade_final	tipo_formacao	urgencia	nivel_dinamico	nivel_estatico	vazao_estabilizada				
1	214291	479133	484294	NI	NI	CPRM	101,6	ND	ND	82	Formacao Rio Bonito								
2	202	440124	451409	NI	ND	CPRM	76,3	ND	ND	53	Formacao Rio Bonito								
3	80	218800	451650	Equipado	ND	SEC. DE OBRAS	101,6	44	ND	44	Formacao Rio Bonito	N	25	17	1				
4	180	218850	451600	Equipado	ND	SEC. DE OBRAS	101,6	31	ND	31	Formacao Rio Bonito	S	0	0,1	13				
5	180	219100	451710	Equipado	Abastecimento urbano	SEC. DE OBRAS	122,4	32	ND	32	Formacao Rio Bonito	S	0	0	8				
6	180	219200	452250	Equipado	Abastecimento urbano	DEPTO. DE COMANDOS MECANIZADOS	122,4	ND	ND	52	Formacao Rio Bonito	N	44	5	1,8				
7	200	219800	450200	Fechado	Abastecimento urbano	DEPTO. DE COMANDOS MECANIZADOS	122,4	ND	ND	148	Formacao Rio Bonito	N	54	2	2,5				
8	200	240100	450710	Equipado	Abastecimento urbano	DEPTO. DE COMANDOS MECANIZADOS	122,4	ND	ND	70	Formacao Rio Bonito	N	54	2	2,5				
9	210	246200	451100	Equipado	Pesquisa	HIROTECNICA	122,4	190	ND	190	Formacao Rio Bonito	N	6	7					
10	210	244700	450300	Equipado	Outros (fazer etc.)	HIROTECNICA	122,4	190	ND	190	Formacao Rio Bonito	N	3	18					
11	511	225	234851	6501386	Bombeando	Abastecimento multiplo	DCM-SAA	122,4	107	ND	107	Formacao Rio Bonito	N	93,04	51,82	1,8			
12	512	249	237399	6502107	Bombeando	Abastecimento domestico	DCM-SAA	122,4	76	Confinado	120	Formacao Rio Bonito	N	55	29	4,96			
13	513	164	234845	6492773	Bombeando	Abastecimento multiplo	DCM-SAA	122,4	69,3	Confinado	69,3	Formacao Rio Bonito	N	49,3	2,22	5,14			
14	514	178	232336	6492340	Parado	Abastecimento domestico	SAA - DCM	122,4	86,5	Confinado	86,5	Formacao Rio Bonito	N	44	1,68	2			
15	515	145	236452	6496927	Bombeando	Abastecimento domestico	DCM-SAA	122,4	59,1	Confinado	59,1	Formacao Rio Bonito	N	27,92	9,02	9,1			
16	516	242801	6519982	NI	ND	HIROTECNICA	122,4	110	Live	110	Formacao Rio Bonito	N	61,5	56,7	30				
17	sem coordenada UTM				Praticado	NI			ND	44	Rio Bonito		29,07		0,5				
18	80	227200	452100	Equipado	Abastecimento domestico	HIROTECNICA	122,4	46	ND	46	Formacao Rio Bonito	N	3	4					
19	519	180	227200	6521850	Equipado	Outros (fazer etc.)	TECNOPOÇOS LTDA	122,4	90	ND	90	Sub-grupo Itararé	N	49,71	2,1	6,6			
20	520	170	228100	6501750	Abandonado	Injeção	DEPTO. DE COMANDOS MECANIZADOS	122,4	30	ND	30	Formacao Rio Bonito	N	30	30	1			
21	521	183	227407	6520954	Bombeando	Abastecimento urbano	SA - DCM	122,4	75	Live	75	Formacao Rio Bonito	N	8	4,5				
22	522	153	227753	6518253	Bombeando	Abastecimento urbano	DCM-SAA	101,6	96	Live	96	Formacao Rio Bonito	N	55	38	3			
23	523	191	227178	6521067	Bombeando	Abastecimento multiplo	DCM-SAA	101,6	80	Live	80	Formacao Rio Bonito	N	14	7	3			
24	524	183	227652	6521606	Bombeando	Abastecimento urbano	SA - DCM	122,4	82	Live	82	Formacao Rio Bonito	N	7,15	4,2				
25	525	196	227439	6521949	Bombeando	Abastecimento urbano	DCM-SAA	101,6	60	Live	60	Formacao Rio Bonito	N	19	15	3			
26	526	196	227202	6522113	Bombeando	Abastecimento urbano	DCM-SAA	101,6	57	Live	57	Formacao Rio Bonito	N	12,4	3,8				
27	527	187	227027	6522128	Bombeando	Abastecimento urbano	SA - DCM	122,4	72	Live	72	Formacao Rio Bonito	N	13,8	1,6				
28	528	205	229347	6523130	Bombeando	Abastecimento urbano	DCM-SAA	101,6	60	Live	60	Formacao Rio Bonito	N	25	22	3			
29	529	215	226257	6518413	Bombeando	Abastecimento urbano	DCM-SAA	122,4	150	Live	150	Formacao Rio Bonito	N	26,5	1,1				
30	530	183	227896	6496760	Bombeando	Abastecimento multiplo	DCM-SAA	122,4	100	Confinado	100	Formacao Rio Bonito	N	17,7	1,9				
31	531	159	226307	6495909	Fechado	Abastecimento urbano	DCM-SAA	105,1	126	Live	126	Formacao Rio Bonito	N	38	7	6,5			
32	532	214	220100	6492005	Parado	Abastecimento urbano	DCM-SAA	101,6	60	Live	60	Formacao Rio Bonito	N	24	18	2,5			
33	533	183	224001	6493792	Fechado	Abastecimento urbano	SA - DCM	122,4	81	Live	81	Formacao Rio Bonito	N	7,5	1,8				

Figura 10. Janela do software *Excel* mostrando uma das folhas de excel que compõem o banco de dados.

3.1.5. Caracterização Geológica

A caracterização geológica foi construída a partir dos furos de sondagem cedidos pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil) do Projeto Grande Candiota. Foram selecionado 11 furos de sondagens do mencionado projeto, utilizando como critério as coordenadas do poço (Tabela 1), a fim de obter uma seção *Dip* e outra *Strike*.


 COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS Superintendência Regional de Porto Alegre PROJETO GRANDE CANDIOTA ÁREA BOLENA									
PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE Sonda									
FURO BL-01-RS				Escala vertical: 1: 500 de 0,00 m a 58,00 m		ANEXO			
Escala vertical: 1: 100 de 0,00 m a 58,00 m				Perfuração geofísica		Técnicos responsáveis: ANTONIO FEITOSA			
Camadas de carvão	Cota da base (m)	Camada Total (m)	Camada média (m)	Requisito %	Data: 05/11/81	SAMA	SP	RTG	RTV
"a"	321,30	0,90	0,90	100	Escala de sensibilidade	10 cps/div	20 mV/div	20 μ .V/div	
"b"	316,79	0,48	0,43	100	Constante de tempo	1s			
"c"	315,52	0,80	0,70	100	Velocidade de registro	400 m/min			
Prof. Inicial/Final						55,50 m / 1,00 m		56,00 m / 7,50 m	
Sonda						WIDCO 516			
Município: BAGÉ - RS Localidade: BOLENA Coordenadas UTM: [N: 6.528.034,64m E: 236.152,59m Cota da base: 358,07m				Chefe de Projeto: GUILARMIN J. P. GOMES Descrição litológica: Gd: WILSON WILSONER Gd: EDUARDO CAMOZZATO Desenho: Visto:				Profundidade final: 58,00m Diâmetro: N Sonda: BBS - 10 CC: 8193 / CPRM - PA Início: 27/10/81 Término: 05/11/81	

Figura 11. Exemplo de perfil descritivo do Projeto Grande Candiota. Fonte: CPRM

Após selecionar os furos de sondagem, os perfis escolhidos foram vetorizados, para tal utilizou-se o software *Adobe Illustrator*.

Tabela 1. Dados dos 10 furos de sondagem selecionados para a construção da caracterização geológica e hidrogeológica. Fonte: Perfis descritivos da CPRM do Projeto Grande Candiota.

Furo	UTM N	UTM E	CB	Interv. Total	Interv. Fm. Rio Bonito	Unidade sobreposta	Unidades Sotopostas
BL-01	6523834	236152	358	00-58	11,80-52,3	Fm Palermo	Embasamento
SC-103	6507995	228004	201,32	00-239	184,50-231,68	Fm Palermo	Embasamento
CD-5	233627	6495426	153,02	00-160,30	70-153,77	Fm Palermo	Subgr. Itararé
SC-128	6491074	225158	116,86	00-152	93,40-150	Fm Palermo	Embasamento
HV-59	6473999	229967	120,43	00-375	277-373,87	Fm Palermo	Embasamento
HN-034	6523402	223963	196,4	00-56	28,30-54,50	Fm Palermo	Embasamento
HN-054	6522999	231000	213	00-90	17,50-90	Fm Palermo	Embasamento
HN-148	6522997	235308	242	00-30	00-28,17	Nenhuma	Fm. Guaritas
HN-136	6519512	237997	236	00-110	55,10-110	Fm Palermo	Nenhuma
SV-21	6513006	241022	223	00-100	18,40-95,72	Fm Palermo	Subgr. Itararé

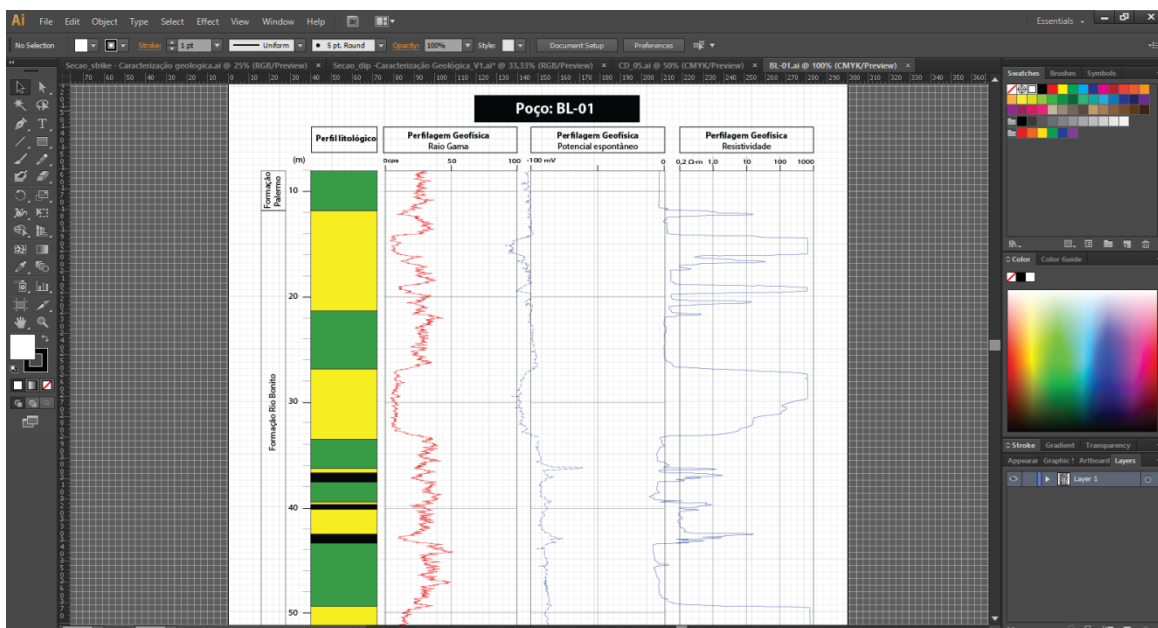


Figura 12. Janela de visualização do software Adobe Illustrator utilizado para vetorizar os perfis de sondagem selecionados.

A partir da elaboração das seções *dip* e *strike* foi feita a correlação estratigráfica dos perfis; para a porção mais basal da Formação Rio Bonito, as contínuas camadas de carvão foram utilizados como *datum* (e.g. Projeto Grande Candiota, Holz et al., 2010), sendo contínuas na seção *strike* e em *backsteaping* na seção *dip*. Para a porção de topo, foi utilizada como *datum* a superfície de inundação máxima de segunda ordem da Supersequência Gondwana I, identificada pelo maior valor do perfil de raios gama na Formação Palermo ou topo da Formação Rio Bonito (e.g. Milani, 2000 e Maahs et al., 2019).

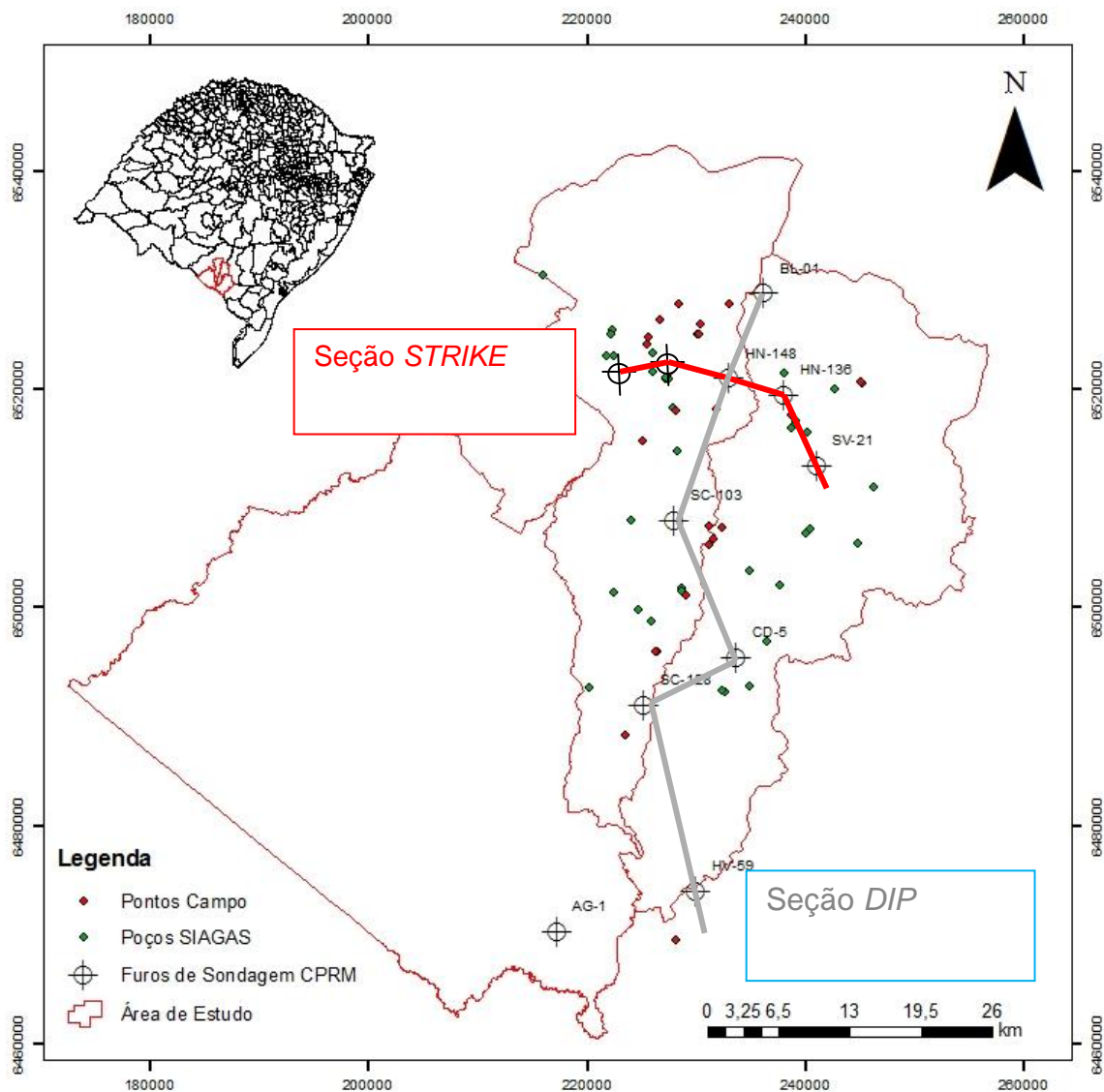


Figura 13. Mapa da região de estudo com a localização dos furos de sondagem, poços do SIAGAS, pontos de campo (afloramentos e poços). Fonte: Elaborado no software ArcMap.

Após realizar a correlação, os arenitos foram separados, baseado nos ambientes de sedimentação propostos por Lopes *et.al* (1986) e Lavina & Lopes (1987). Sem ter a intenção de aprofundar as discussões na estratigrafia de seqüências, mas procurar entender as possíveis características geológicas das unidades aquíferas presentes no Sistema Aquífero Rio Bonito.

3.1.6. Caracterização Hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica foi feita com base nos dados obtidos com o levantamento de dados existentes e inventário e cadastramento de pontos de captação. A partir desses dados foi possível obter a identificação de propriedades hidrogeológicas como nível estático, vazão, transmissividade, capacidade específica, entre outros parâmetros.

Além da compilação de dados estatísticos foi construído, com base na correlação estratigráfica da seção *strike*, anteriormente desenvolvida para a caracterização geológica, um modelo hidrogeológico conceitual para a área, considerando como camadas aquíferas os grupos de arenitos previamente definidos. Para alcançar uma realidade aproximada da topografia atual foi necessário ajustar as cotas dos furos de sondagem.

Posteriormente à definição das camadas aquíferas do modelo realizou-se uma comparação das cotas dos poços com as cotas dos furos de sondagem selecionados nas seções estratigráficas, buscando inferir, pela profundidade final dos poços as possíveis camadas aquíferas que os mesmos interceptavam, gerando uma planilha no *excel* com tais dados Figura 14.

Poço	Código	Cordenadas		Quadrante	Cota do Terreno (m)	Furo de Sondagem relacionado	Cota Furo de Sondagem (m)	Distância FS (km)	Prof. final (m)	Prof. do Filtro (m)		Litologia	Entrada de água	Unidade Aquífera
S_05		6517150	239100		180	HN-141	204	2,77	32	x	x	x	x	Unidade Aquífera 1, 2 e 3
S_06		6492250	232600		160	CD-05	160	3,3	52	x	x	Arenitos e Folh	x	Unidade 1
S_07		6506850	239950		204	SV-21	224	6,52	148	x	x	Siltitos e Folh	x	x
S_08		6507150	240350		207	SV-21	224	5,8	70	x	x	Siltitos e Folh	x	Unidade 4 e embasamento
S_09		6511100	246200		210	SV-21	224	5,39	100	x	x	x	x	Unidades 1, 2, 3 e 4
S_10		6505950	244700		221	SV-21	224	8,8	100	x	x	x	x	Unidades 1, 2, 3 e 4
S_11		6503386	234851		207	CD-05	160	7,8	107	x	x	Arenitos inter	x	Unidades 1, 2, 3 e 4
S_12		6502107	237599		180	CD-05	160	7,6	76	x	x	Arenitos	x	Unidades 1 e 2
S_13		6492773	234845		164	CD-05	160	3,3	69,3	x	x	Arenitos inter	x	Unidade 1
S_14		6492340	232336		168	CD-05	160	3,4	86,5	x	x	Arenitos e folh	x	Unidades 1 e 2
S_15		6496927	236452		145	CD-05	160	3,3	59,1	x	x	Arenitos e folh	x	Unidade 1
S_16		6519982	242691		270	HN-141	204	5,75	110					Unidades 1, 2, 3 e 4
S_17		x	x		x	x	x	x	84	x	x	x	x	x
S_18		6521000	227200		191	HN-54	210	4,3	36	x	x	x	x	Unidade 1

Figura 14. Parte da tabela usada para a classificação dos poços segundo as camadas que estes interceptam.

A partir da planilha foi possível analisar os parâmetros hidrogeológicos para uma ou mais camadas interceptadas pelos poços (Figura 15).

Unidade Aquífera	Poço	Vazão (m³/h)	Capacidade específica	Nível estático	Carga Hidráulica	N. Dinâmico	Transmissividade	Prof. final (m)
Unidade 1	S_06	1,8		5	155	44		52
x	S_07				204			148
Unidade 4 e embasamento	S_08	2,5		2	205	54		70
Unidades 1, 2, 3 e 4	S_09	7		6	204			100
Unidades 1, 2, 3 e 4	S_10	18		5	216			100
Unidades 1, 2, 3 e 4	S_11	1,8		51,82	155,18	93,04		107
Unidades 1 e 2	S_12	4,96	0,191*	29	151	55		76
Unidade 1	S_13	5,14		2,22	161,78	49,3		69,3
Unidades 1 e 2	S_14	2		1,68	166,32	44		86,5
Unidade 1	S_15	9,1	0,481*	9,02	135,98	27,92		59,1
Unidades 1, 2, 3 e 4	S_16	30	6,25*	56,7	213,3	61,5		110
x	S_17	5,5				39,07		84
Unidade 1	S_18	6		5	186			36

Figura 15. Continuação da tabela anterior, com os dados hidrogeológicos.

Por último foi avaliado o potencial hidrogeológico do aquífero com base na tabela de avaliação do potencial hidrogeológico proposto por Struckmeir & Margat, modificado por Diniz (2012).

3.1.7. Avaliação Hidroquímica

Nessa etapa foi feita a identificação dos principais tipos de água subterrânea que estão associadas ao ARB. Essa caracterização teve com base a análise e a interpretação de relatórios de análises físico-químicas que foram identificados nas etapas de levantamento de dados e inventário de poços.

Durante a saída de campo foram realizadas coletas de amostras de água, conforme Figura 16, para as quais posteriormente foram encaminhadas para análise de maiores no laboratório de águas do Centro de Ecologia da UFRGS. Os parâmetros que serão analisados são cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, alcalinidade, sulfatos, fluoretos, nitrato, ferro e manganês.



Figura 16. Coleta das amostras de água durante atividade de campo.

Além disso, durante a etapa de levantamento de novos pontos de captação obteve-se os valores dos parâmetros de condutividade, pH, Sólidos Totais Dissolvidos e Temperatura através da de uma sonda multiparâmetro.

A interpretação das características hidroquímicas foi realizada com base no uso de planilhas Excell, bem como do programa Qualigraf (Mobus, 2002). Com o programa Qualigraf foram elaborados os diagramas de Piper, Stiff e Scholler para avaliar e classificar os diferentes tipos de águas que circulam pelo ARB

3.1.8. Avaliação do Aspecto Transfronteiriço:

Essa avaliação foi feita com base na integração dos dados obtidos com o desenvolvimento desse projeto, com dados publicados sobre os aquíferos Permianos existentes no Uruguai. Com isso foi avaliada a extensão aproximada do aquífero, bem como será feita uma comparação dos dados obtidos com os dados disponíveis no Uruguai para avaliar o comportamento desse aquífero, considerando a unidade Tres islas como correlata a Formação Rio Bonito.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os dados resultantes do emprego da metodologia utilizada no decorrer do trabalho.

4.1. RECURSOS HÍDRICOS

4.1.1 Importância dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região

A região de estudo apresenta um histórico conhecido pela falta de água e campanhas de racionamento. Desde 2017 o município de Hulha Negra vem declarando situação de emergência por prejuízos causados pelas condições meteorológicas seja por estiagem prolongada, ou alto volume de chuvas.

Para melhor exemplificar a situação dos últimos anos, optou-se por buscar fontes jornalísticas de informação. As reportagens recentes, desde de 2017, demonstram que a situação de calamidade repete-se com frequência.

Abaixo, a Figura 17 traz o título da notícia do Jornal Tribuna do Pampa, do dia 19 de dezembro de 2017, que destaca a falta da água nos municípios da região estudada (exceto Aceguá). Conforme relatado na matéria o município de Hulha Negra estava sendo abastecido por poços que contabilizavam, aproximadamente, 22 mil litros de água/hora, na época da seca. A adoção de medidas de racionamento começaram depois que um dos poços na sede da cidade mostrou sinais de seca definitiva.

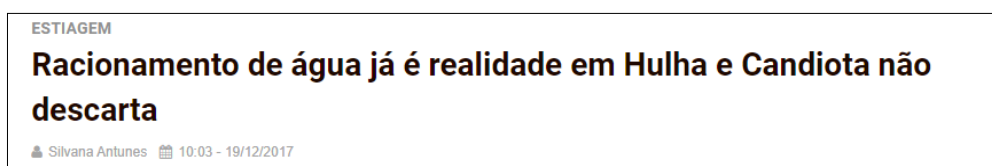


Figura 17. Matéria publicada no Jornal Minuano, no dia 19 de dezembro de 2017, que relata a situação frágil do abastecimento de água nos municípios de Hulha Negra e Candiota. Fonte: <http://tribuna.dominioserver.com.br/acionamento-de-agua-ja-e-realidade-em-hulha-e-candiota-nao-descarta/>

Em 2018, Candiota e Hulha Negra decretaram situação de emergência devido ao longo período sem chuvas e por consequência fez-se o uso racional da água, com a medida de fechamento de poços artesianos em horários pré-

determinados, segundo notícia do Jornal Minuano do dia 10 de fevereiro de 2018 (Figura 18).



Figura 18. Notícia publicada no dia 10 de fevereiro de 2018. Relato sobre as perdas que a falta de água, causada pela estiagem trouxe para o município.

Fonte: <http://www.jornalminuano.com.br/noticia/2018/02/10/candiota-decreta-situacao-de-emergencia-e-adota-acionamento>

Em 2019, publicada no dia 05 de Janeiro de 2019, no Jornal Tribuna do Pampa, uma notícia com título "Hulha Negra começa a racionar água"(Figura 19). Segundo a matéria, o município é abastecido exclusivamente por meio de poços artesianos, sendo necessária a utilização de caminhões pipas para fazer o abastecimento de água de inúmeras residências da cidade. Adotou-se, como medida de racionamento, o fechamento em horários pré-estabelecidos de três poços artesianos que abastecem a Sede de Hulha Negra.



Figura 19. "Hulha Negra começa a racionar água", matéria do Jornal Tribuna do Pampa, trazendo a notícia que mais uma vez, a cidade adotou medidas de racionamento. Fonte: <http://www.tribunadopampa.com.br/hulha-negra-comeca-a-racionar-agua/>

Os prejuízos ocasionados pela estiagem são inúmeros, principalmente na zona rural, em 2018, o município de Candiota teve perdas superiores à R\$20 milhões e as produções de soja e arroz são as mais prejudicadas.

Sendo a falta de água um assunto de temática recorrente na região e sendo os poços artesianos e tubulares as principais fontes de abastecimento, a água subterrânea adquire uma importância indiscutível.

4.1.2 Captação da Água Subterrânea

Com base nas informações de poços presentes no banco de dados desse estudo é possível verificar uma disparidade entre o número de poços entre os três municípios. Ao todo foram identificados 128 poços, sendo 67 em Hulha Negra, 50 em Candiota e 11 em Aceguá.

No município de Aceguá (Figura 20) os poços que extraem água do Complexo Granito-Gnáissico representam 46% do total, 9% são do Proterozóico superior, totalizando 55% de rochas do embasamento e apenas 9% de sedimentos inconsolidados dos chamados aluviões. Porém observa-se um grande número de poços não informando a formação (36% são "não determinados").

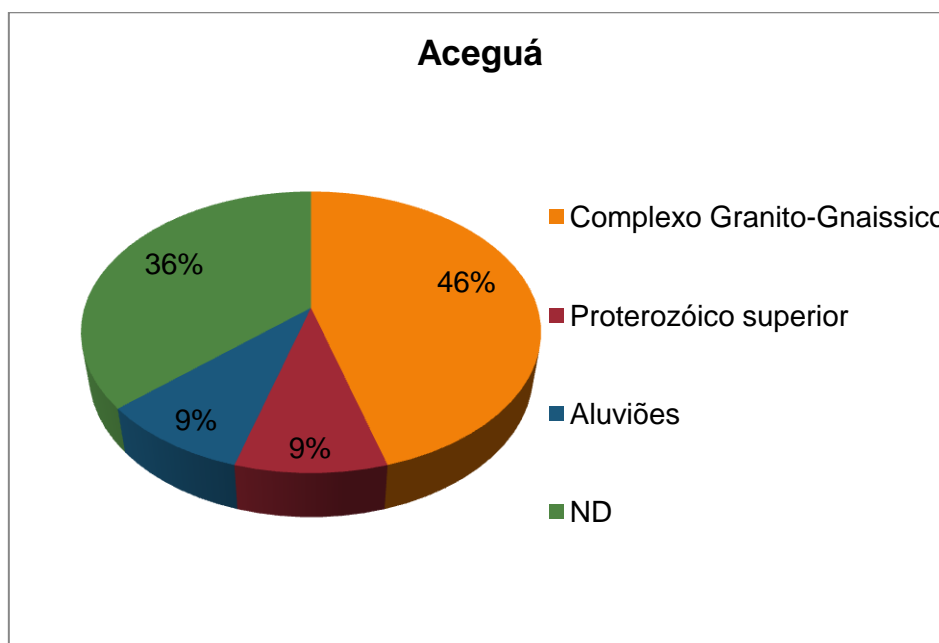


Figura 20. Gráfico mostra em porcentagem, as principais formações encontradas para a captação das águas no município.

Em Candiota o número de formações registradas é maior e compõem um arcabouço litológico mais diverso. A partir dos dados dos poços observa-se que 24% estão associados as rochas do embasamento (Complexo Granítico-Gnaissico e Grupo Porongos), enquanto que 36% as rochas sedimentares da Formação Rio Bonito e 10% a outras rochas que estão associadas ao Subgrupo Itararé, Grupo Bom Jardim e Formação Irati. Deve-se destacar a ocorrência de um número elevado de poços (28%) que não tem informações sobre as litologias e formações geológicas (Figura 21).

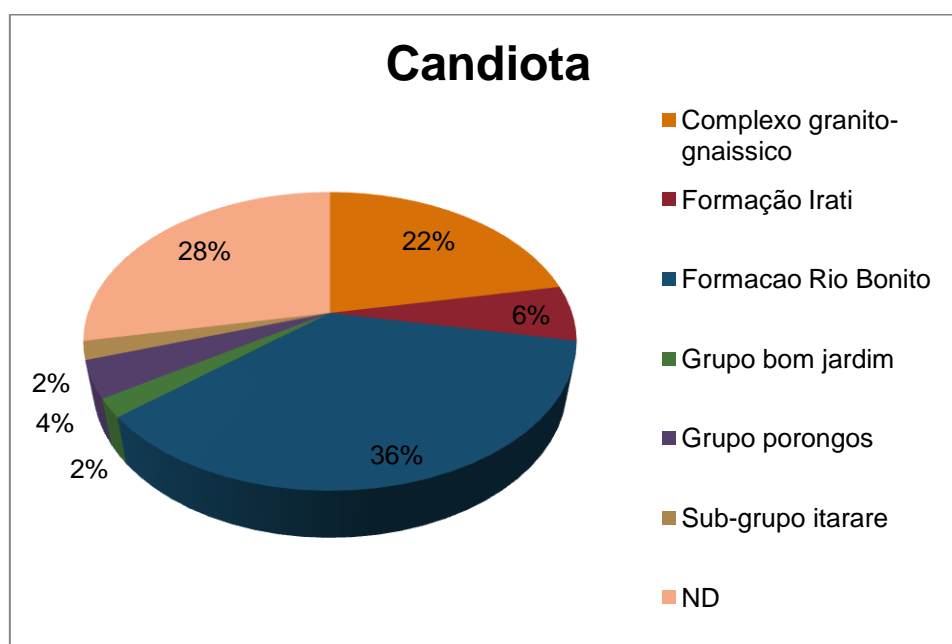


Figura 21. Gráfico que apresenta as porcentagens das principais formações cadastradas no SIAGAS no município de Candiota. Fonte: Banco de dados.

Em Hulha Negra, o número de poços que tem como a litologia cadastrada como Formação Rio Bonito aumenta para 41%, representando 18 do total de poços registrados, seguindo do Complexo Granito-Gnaíssico (14%), apenas 4% é considerado Grupo Porongos, a Formação Irati, Subgrupo Itararé e o Grupo Bom Jardim também contabilizam 10% do total. Entretanto, para todos a porcentagem de não determinado (ND) também é alta, representando 38% do todo.

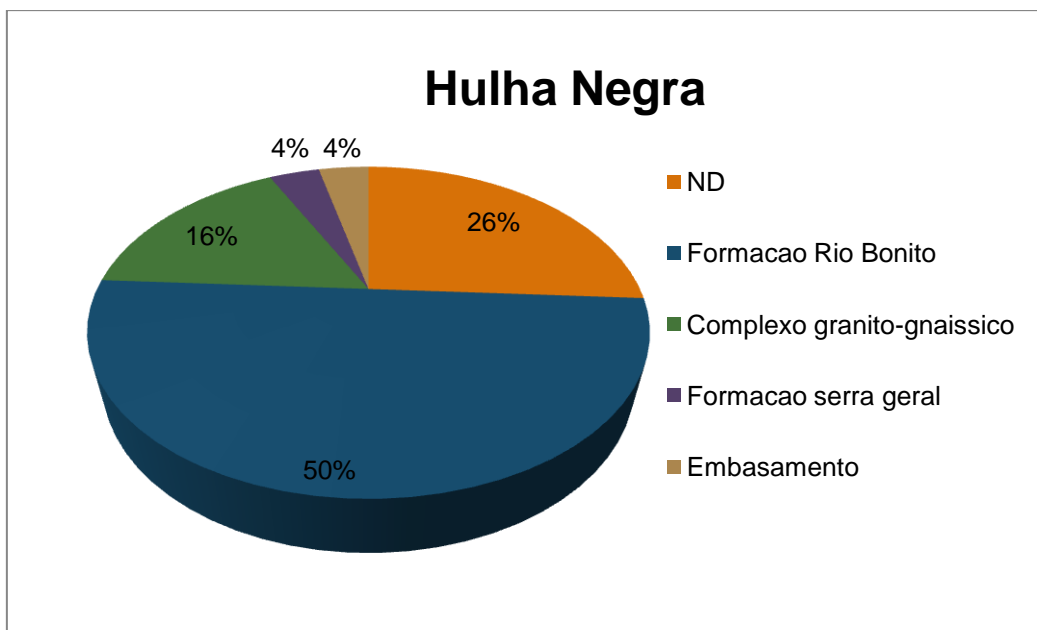


Figura 22. Gráfico que apresenta as porcentagens das principais formações cadastradas no SIAGAS no município de Hulha Negra. Fonte: Banco de dados.

A situação dos 128 poços dos três municípios foram descritas em 5 categorias.

A **categoria 1** abrange poços abandonados (5%), produtivo, porém abandonado (1%); fechados (4%); obstruído (1%), precários (2%), a **categoria 2** corresponde a poços bombeando (25%), equipados (sem informação sobre estarem ou não em funcionamento) (22%); produtivos (6%), a **categoria 3** nulos (11%) e poços secos (2%), a **categoria 4** poços parados (4%), e por fim, a **categoria 5** com poços não determinados (11%). A maior parte dos poços estão bombeando e tem os equipamentos instalados, porém se considerássemos poços abandonados, fechados, nulos, obstruídos parados, precários e secos apenas como uma categoria "poços parados", seriam quase 30% dos poços do município.

Portanto, existe uma boa quantidade de poços que abastecem o município, mas esse número poderia ser maior, se a manutenção dos poços com problemas fosse realizada, ou a locação dos poços fosse feita com maior precisão.

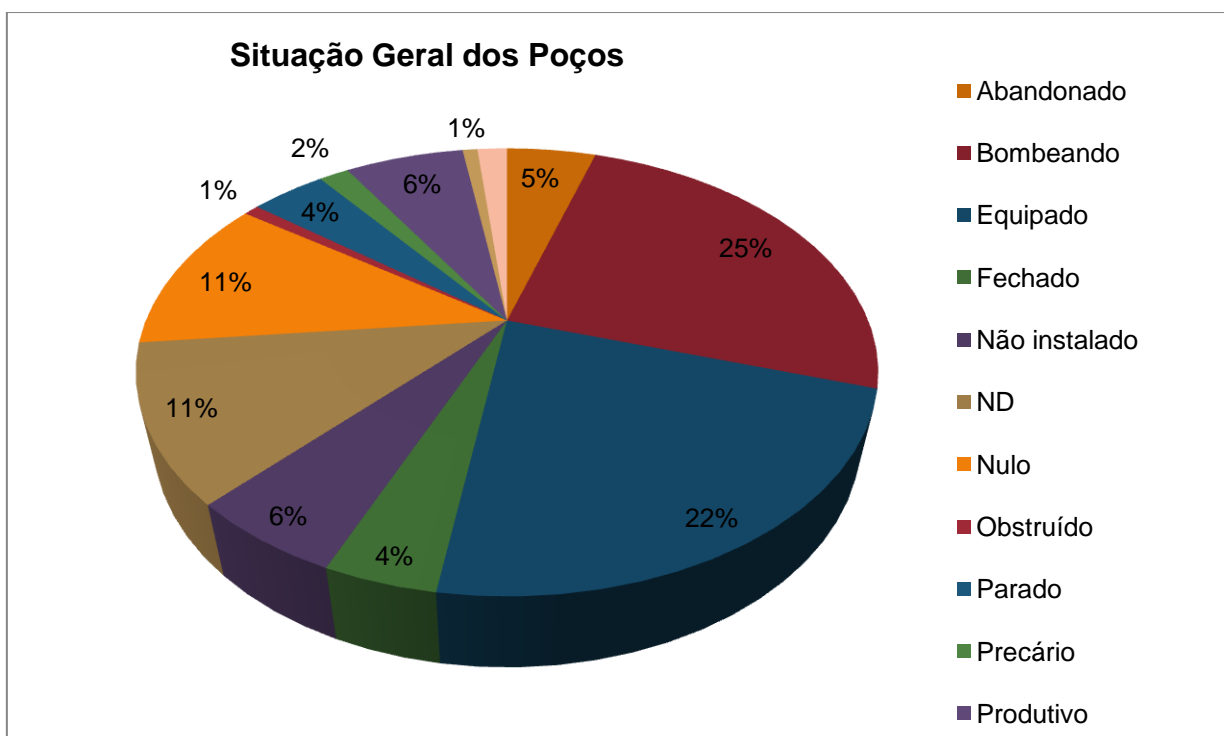


Figura 23. Gráfico que apresenta, em porcentagem, a situação dos poços da região dos três municípios. Fonte: Banco de dados.

4.1.3. Poços que captam água do Sistema Aquífero Rio Bonito

Nesse item serão apresentadas informações sobre os 50 poços que captam água de rochas da Formação Rio Bonito.

A partir da Figura 24 é possível verificar que o número de poços que captam água da Formação Rio Bonito compõem importante papel no cenário da captação de água subterrânea da região. Como mostra a Figura 24 representam 36% dos poços cadastrados, seguido de 34% “não determinados” e 23% do Complexo Granítico-Gnáissico. As outras formações têm porcentagens pouco expressivas. Portanto, são as duas unidades de maior porcentagem que representam as fontes mais importantes de água subterrânea da região, excluindo-se os poços que não possuem informação.

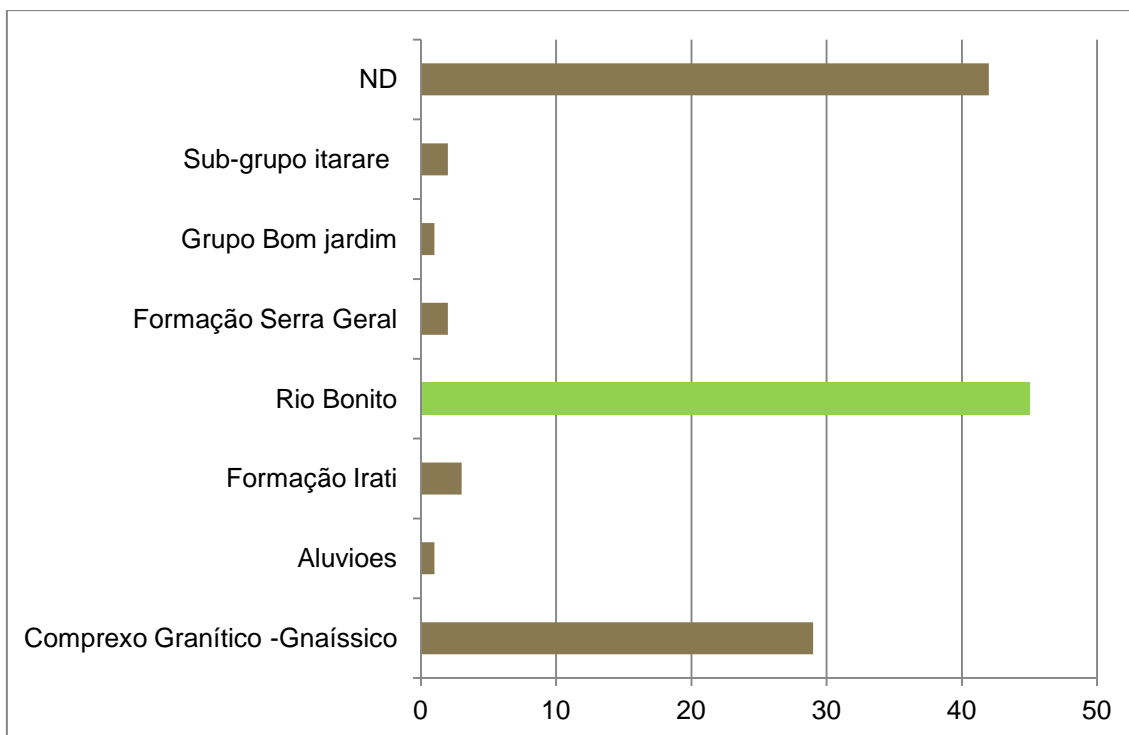


Figura 24. Gráfico com número de poços e as origens geológicas da água captada. Fonte: SIAGAS.

Os poços que são identificados como “Formação Rio Bonito” totalizam 50 poços. Sendo 17 localizados em Candiota e 33 em Hulha Negra.

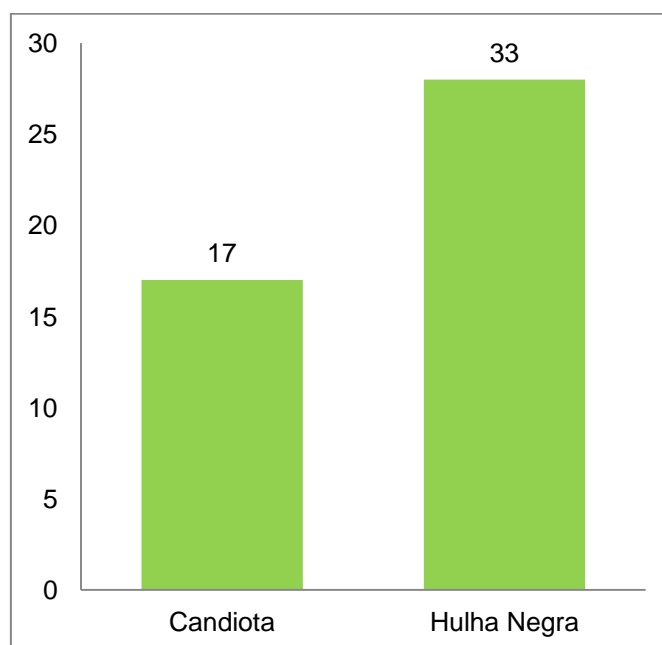


Figura 25. Número de poços em cada município da área de estudo, Candiota com 17 poços e Hulha Negra com 33 poços, totalizando 50 poços. Fonte: Gráfico baseado nas informações do SIAGAS .

O município de Aceguá não tem poços cadastrados que tenham a Formação Rio Bonito identificada, assim, por falta de informação não será possível aprofundar a discussão sobre os poços no município. Entretanto, ainda que de maneira superficial tratar-se-á do assunto nas discussões de caracterização geológica e hidrogeológica.

4.1.4 Tipos e Situação dos Poços

Os pontos de captação identificados e cadastrados no campo indicam a ocorrência de poços tubulares, escavados, bem como surgências.

Durante o levantamento de campo foram identificados 14 pontos de captação de água, sendo nove em Candiota, três em Hulha Negra e dois em Trigolândia, localidade próxima a Hulha Negra.

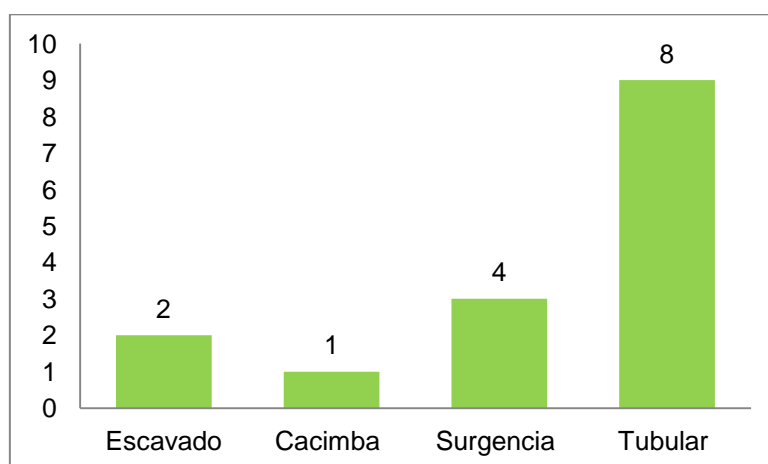


Figura 26. Gráfico que apresenta os tipos de poços e a respectiva quantidade de cada um, que foram encontrados em campo.

A situação dos poços cadastrados no SIAGAS é definida como ND (não determinada) (3); equipado (9); fechado (2); bombeando (20); parado e/ou abandonado (7); não instalado (3) e produtivo (1).

Dos 17 poços localizados em Candiota a situação é definida como equipados (7), em funcionamento, bombeando (4) e produtivos (1), parado (1), fechado (1) e não determinados (3). Em Hulha Negra os poços situam-se em bombeando (16), equipados (1), abandonados ou parados (6), não instalados (1) e fechado (1).

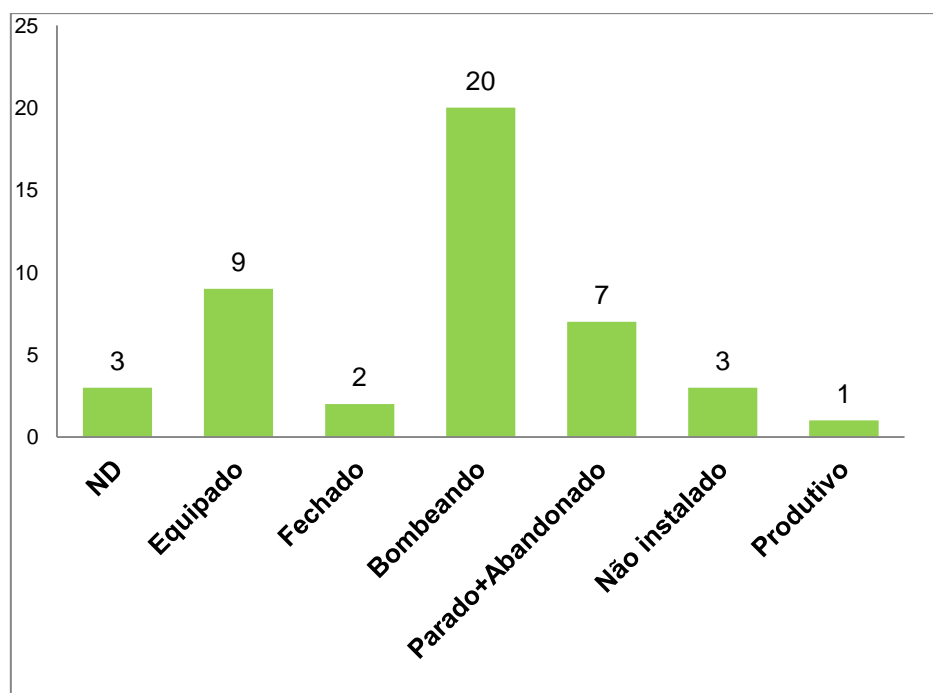


Figura 27. Gráfico gerado no Excel para mostrar a situação dos poços, classificados como ND (Não determinado); Equipado; fechado; bombeando; parado e abandonados; não instalado e produtivo.

4.1.5 Pontos de captação e surgência encontrados em campo

Abaixo, na Tabela 2 está a localização dos pontos de captação e surgências de água encontrados em campo.

Tabela 2. Localização, número de poços visitados em campo e o tipo de poço encontrado.

Código	Município	Coordenadas		Tipo de poço
		UTM E	UTM N	
P_01	Hulha Negra	227528	6521576	Tubular
P_02	Hulha Negra	228371	6527839	Tubular (1)/Escavado(1)
P_03	Hulha Negra	226683	6526358	Caixa de proteção da nascente
P_04	Candiota	231584	6506332	Surgência
P_05	Candiota	231178	6505767	Surgência
P_06	Candiota	231672	6505845	Surgência
P_07	Candiota	231143	6507486	Tubular
P_08	Candiota	228992	6501063	Tubular
P_09	Candiota	226275	6495913	Tubular
P_10	Candiota	223428	6488322	Tubular
P_11	Candiota	228139	6469516	Tubular
P_12	Trigolândia	231741	6518197	Surgência
P_13	Candiota	245059	6520755	Tubular
P_14	Trigolândia	228079	6518234	Escavado

4.1.5.1 Surgências

As surgências são antigos furos de sondagem, feitos na região para o estudo e prospecção do carvão, que interceptaram aquíferos confinados, dando origem aos processos de surgência do aquífero.

No campo esses pontos foram encontrados concentrados em uma região próximos a lineamentos em que o Rio Jaguarão encontra-se em curso.

As surgências da Figura 28 estão localizadas em uma propriedade próxima ao Rio, zona baixa, onde alaga nos períodos de chuva intensa.



Figura 28. Localização e fotos das surgências encontradas em campo.

Também foram encontrados alguns pontos surgentes como é o caso do P_05 e P_12 que apresentam uma surgência mínima e estavam situados em locais de difícil acesso, como em meio a lavoura de soja, ou em meio ao banhado, respectivamente.



Figura 29. Surgência próximo à fronteira dos municípios de Aceguá e Candiota.

4.1.5.2. Poços Escavados e Caixa Protetora de Nascente

A caixa de proteção da nascente (Figura 30.a) estava localizada em uma propriedade particular de uma moradora. Essa relatou que mesmo em períodos de seca não há diminuição significativa da vazão, sendo que a nascente nunca secou. A caixa de captação com tamanho de 1m largura x 1,5 m comprimento e 0,5 m de altura foi construída com cimento e revestida por azulejos

No poço escavado o nível estático era de 2 metros, apresentava profundidade de 6,2 m, altura da boca 0,65m e diâmetro de 1,75m (considerando os tijolos que pode-se ver na foto, Figura 30.b). O nível estático do outro poço escavado (Figura 30.c) era de 2 metros também e o diâmetro era de aproximadamente 1 metro.

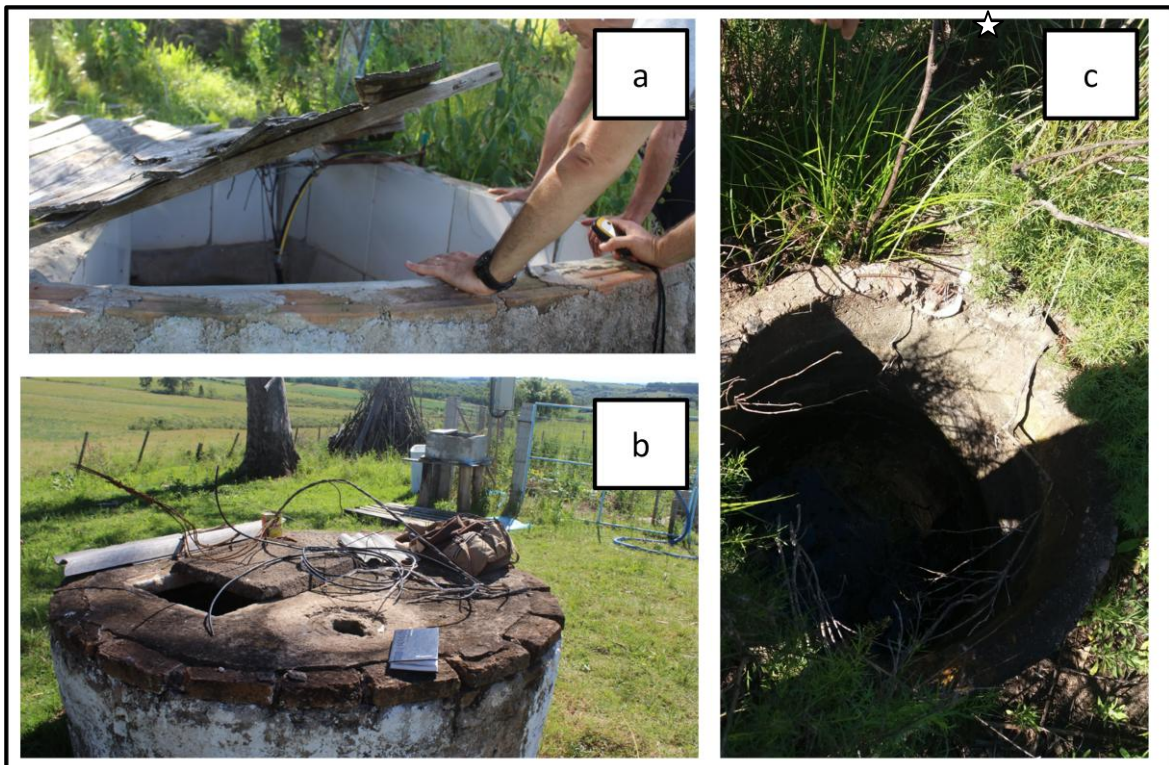


Figura 30. a) Caixa de proteção a nascente; b) poço escavado 1 e c) poço escavado 2.

4.1.5.3. Poços Tubulares

No campo foram encontrados poços tubulares com diversas características construtivas, a maioria deles estavam protegidos por uma cerca e os poços (Figura 31.a), dois estavam protegidos por estruturas de cimento abertas Figura 31b e c). Vários desses poços possuíam problemas de corrosão, incrustação, entre outros, devido a falta de manutenção dos mesmos.

Os poços na cidade de Hulha Negra estavam protegidos por estrutura de cimento fechada. A maioria dos poços tubulares visitados em campo estavam bombeando e serviam como abastecimento público dos municípios.



Figura 31. Poços em diversos estados de precariedade foram encontrados. a) Problemas como incrustação ferruginosa. b) Poços com estrutura de cimento que o mantinha submerso. c) Poço protegido por estrutura de cimento aberta que enchia de água, acelerando processos de desgaste dos materiais.

4.1.6 Usos da Água

As demandas de águas subterrâneas na região são predominantemente para uso consuntivo. Algumas vezes, usa-se também para uso não consuntivo, como lazer, mas não se encontra especificado para qual fim. Porém esses casos são restritos e de pouca relevância em relação aos volumes utilizados.

A partir dos dados cadastrados nos poços do SIAGAS o gráfico da Figura 32 foi elaborado, nele estão distribuídas as porcentagens dos usos principais da água, nos três municípios.

O abastecimento urbano representa 33% da demanda, porém o número de poços sem informação é bastante considerável, já que são 22% dos poços sem informação sobre o destino da água; seguido pelo abastecimento múltiplo com 20% e abastecimento doméstico 17%.

Irrigação e pecuária juntas representam 4% e outros fins, também são 4% da demanda. Observa-se que irrigação está contabilizada apenas em 2% e pecuária outros 2%, o que não condiz com a realidade da região, uma vez que é uma zona predominantemente rural, com tradição agropastoril. Essa baixa

porcentagem pode estar relacionada com a grande quantidade de poços que não possuem informação sobre o uso da água.

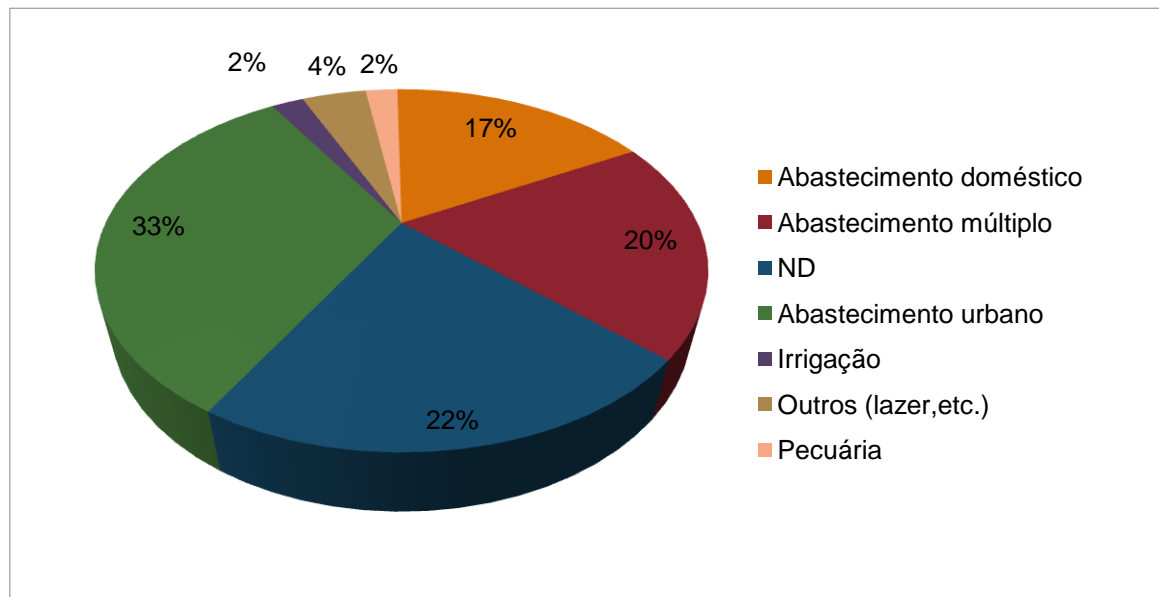


Figura 32. Gráfico gerado no *Excel* para mostrar em porcentagem, os principais destinos do uso da água subterrânea nos municípios de Candiota e Hulha Negra.

4.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Conforme o mapa geológico elaborado pela CPRM (2008) as formações Rio Bonito e Palermo afloram, principalmente, na região norte e nordeste da área de estudo, nas cidades de Hulha Negra e Candiota. Contudo, há algumas porções da Formação Rio Bonito que afloram também em Aceguá (conforme Figura 33). No mapa também estão representadas as lineamentos estruturais do mapa geológico da CPRM com escala de 1: 750.000 (2008), além dos pontos de afloramento visitados em campo e os furos de sondagem selecionados do Projeto Grande Candiota (CPRM).

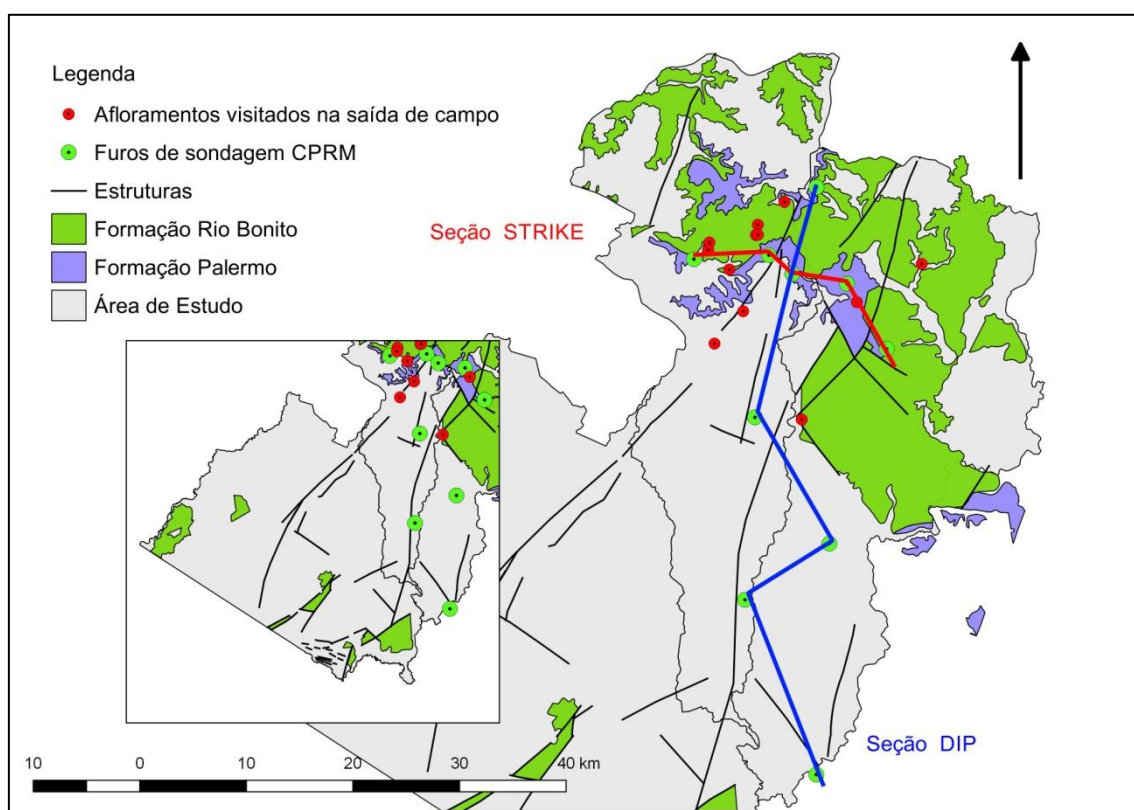


Figura 33. Figura da região de estudo ilustrando os locais onde afloram as Formações Rio Bonito e Palermo, os lineamentos estruturais (CPRM, 2008), com os furos de sondagem selecionados para a caracterização geológica e os afloramentos encontrados na saída de campo.

Ao todo, na saída de campo, foram visitados oito afloramentos correspondentes à Formação Rio Bonito, distribuídos a norte e a nordeste de Hulha Negra e Candiota. De maneira geral, esses afloramentos são caracterizados por arenitos finos a grossos, maciços a estratificados (plana paralela e cruzadas), e com cores entre bege e acinzentado.

Em uma propriedade na chamada Serra da Hulha, ao norte da cidade de Hulha Negra (UTM 230024/ 6524934), foram visitados três pontos de suma importância (Figura 34), caracterizados pelo afloramento de um corpo granítico-gnáissico com extensão quilométrica, onde foram encontradas cachoeiras, e que fazia contato direto com arenitos da Formação Rio Bonito (Figura 34.a). As cachoeiras estavam encaixadas nos vales das colinas da região, sendo possível observar, ao longe, os corpos graníticos aflorantes do embasamento (Figura 34.b). Nesta zona, por ser considerada como a borda da bacia, sendo que os arenitos da Formação Rio Bonito estão sobrepostos diretamente ao embasamento.

Em outro ponto (UTM 230289/ 6525952), onde há uma elevação de aproximadamente 211 m, em um antigo terreno onde era extraído carvão, foi possível identificar uma extensa camada de 30 m de conglomerados com lentes de arenito que estavam sotopostas à camada de carvão que foi minerada; acima desta, foi descrito um pacote de arenitos finos a médios de aproximadamente 5 m de altura.

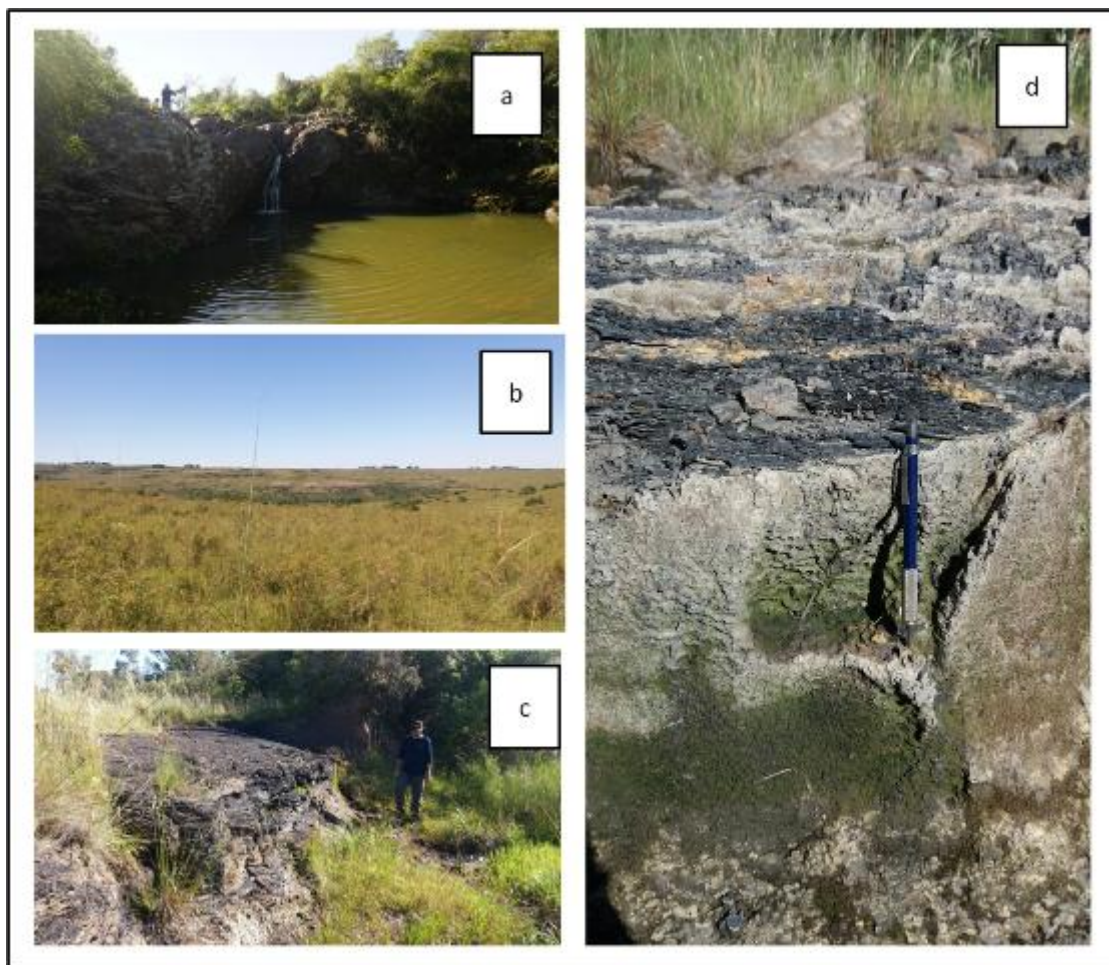


Figura 34.2.a) Uma das cachoeiras aflorantes das fraturas dos corpos graníticos encontrados na propriedade. **2.b)** Vista da geomorfologia local, colinas e vale. **2.c)** Aspecto geral do local onde se extraía carvão. **3.d)** Detalhe da camada de carvão sobreposta aos conglomerados matriz suportados com lentes de arenito.

Adicionalmente, foi encontrado outro importante afloramento da Formação Rio Bonito, próximo à barragem de um dos arroios que fluem para Rio Jaguarão, nas proximidades da localidade de Seival, em Candiota (UTM 238719/ 6517692). Neste ponto, a altitude variava entre 184m a 179m (Figura 35).

Em uma área onde, normalmente, corre um arroio, que no dia de campo estava com baixo fluxo de água, devido à época de seca, foi possível acessar os barrancos do leito que variavam de 30 cm a 1,5 m de altura (Figura35a). Nesta exposição, foram observadas camadas de até 10 cm de arenitos finos a médio, intercalados com camadas centimétricas de pelitos. Ao todo, este afloramento possui mais de 40 m de extensão, uma vez que seguia ao longo

do leito do arroio (Figura 35b). A base do leito foi caracterizada ora por arenitos maciços com marcas de ondas - nas altitudes mais altas (183m) - ora por conglomerados com clastos que variavam de 5 cm a mais de 30 cm (Figura 35c) - em altitudes menores (179 m). Além disso, foram encontradas camadas mais espessas de pelitos com lentes de arenito maciço que variam de 5 a 15 cm (Figura 35.d).

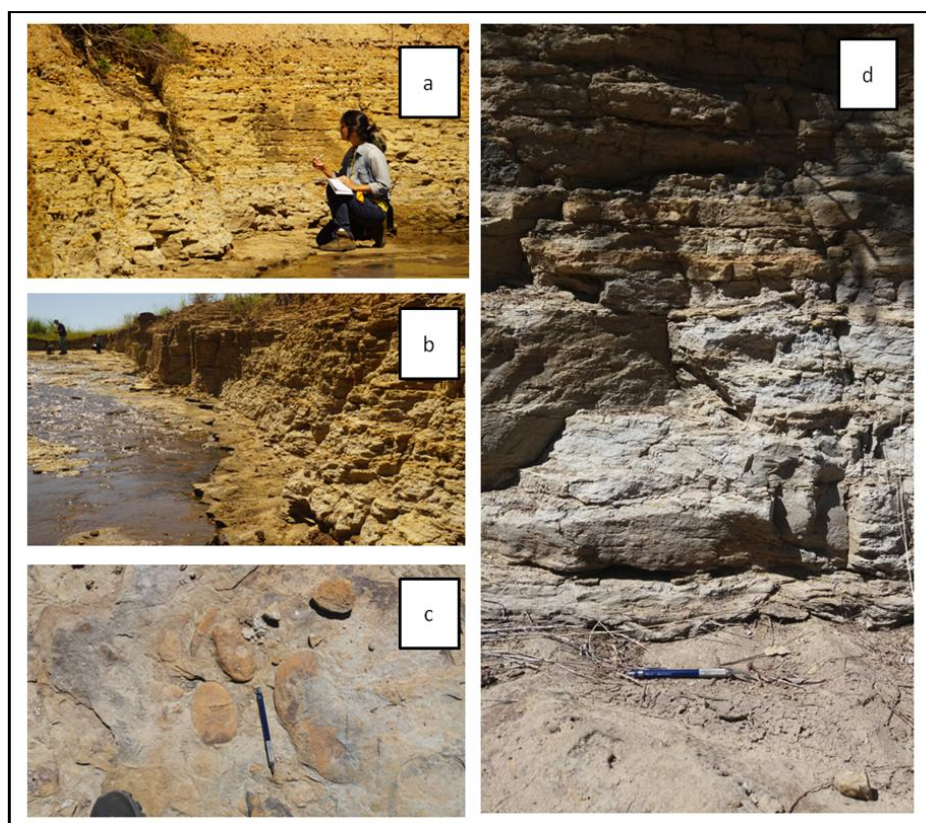


Figura 35. Afloramento localizado na barragem próximo à localidade de Seival. 2.a) Barrancos do leito do arroio com litologia variando em camadas centimétricas de arenitos fino a médio e pelitos; 2.b) Afloramento com mais de 40 m de extensão, onde é possível ver o fluxo do arroio. 3.c) Conglomerados na base em altitudes menores (179m). 4.d) Pelitos com lentes de arenito que variam de 5 a 15 cm.

A Figura 36 mostra o aspecto geral e em detalhe do afloramento encontrado a uma altitude de 245 m, localizado ao norte de Candiota, próximo à localidade de Seival. Neste afloramento caracterizado pela ocorrência de arenitos maciços da Formação Rio Bonito encontrados na beira de uma estrada (UTM 245186 / 6520584) (Figura 36.a). Ademais, no mesmo local, foi observada água vertendo por uma fratura que atravessava os arenitos (Figura 36.b).



Figura 36. a) Aspecto geral do afloramento de arenitos maciços a beira da estrada (barranco de aproximadamente 2 m de altura e extensão quilométrica). 29.b) Foto de detalhe de uma camada de arenito maciço com água vertendo de uma fratura.

4.1.2 Correlações Estratigráficas a partir dos Furos de Sondagem

Utilizando os dados litológicos e de perfilagem de raios-gama de furos de sondagem da CPRM, foram construídas duas seções de correlação (*strike* e *dip*) da sucessão sedimentar da Formação Rio Bonito na área de estudo (Figura 37 e Figura 38). A partir da correlação estratigráfica, foi possível definir um modelo geral de disposição das camadas que compõem a formação, bem como visualizar as principais litologias da região e as suas relações. Neste trabalho, considerando a importância para o estudo hidrogeológico, atentou-se, principalmente, à identificação detalhada das camadas de arenitos e as principais características dos mesmos. Diante da proposta do estudo e da limitação dos tipos de dados utilizados (por exemplo a não descrição detalhada dos testemunhos de sondagem), não foi possível detalhar as heterogeneidades

internas das camadas correlacionadas; entretanto, foi possível a identificação e correlação de quatro camadas de arenitos – interpretadas como potenciais aquíferos - que compõem a sucessão correspondente à Formação Rio Bonito da região de estudo.

A área correspondente ao município de Aceguá conta com importantes afloramentos da Formação Rio Bonito, localizados próximo à fronteira do Brasil com o Uruguai. Entretanto, há apenas um furo de sondagem (AG-1-RS) no catálogo disponibilizado pela CPRM, e este poço é de difícil correlação com àqueles de Hulha Negra e Candiota (selecionadas para este estudo), pois não há camadas de carvão para uso como *datum* na base da formação, bem como o poço possui poucas camadas de pelitos, que ajudariam no seccionamento da sucessão. Desta forma, optou-se por não utilizar esse poço nas seções construídas, devido a dificuldade de correlação deste com os demais.

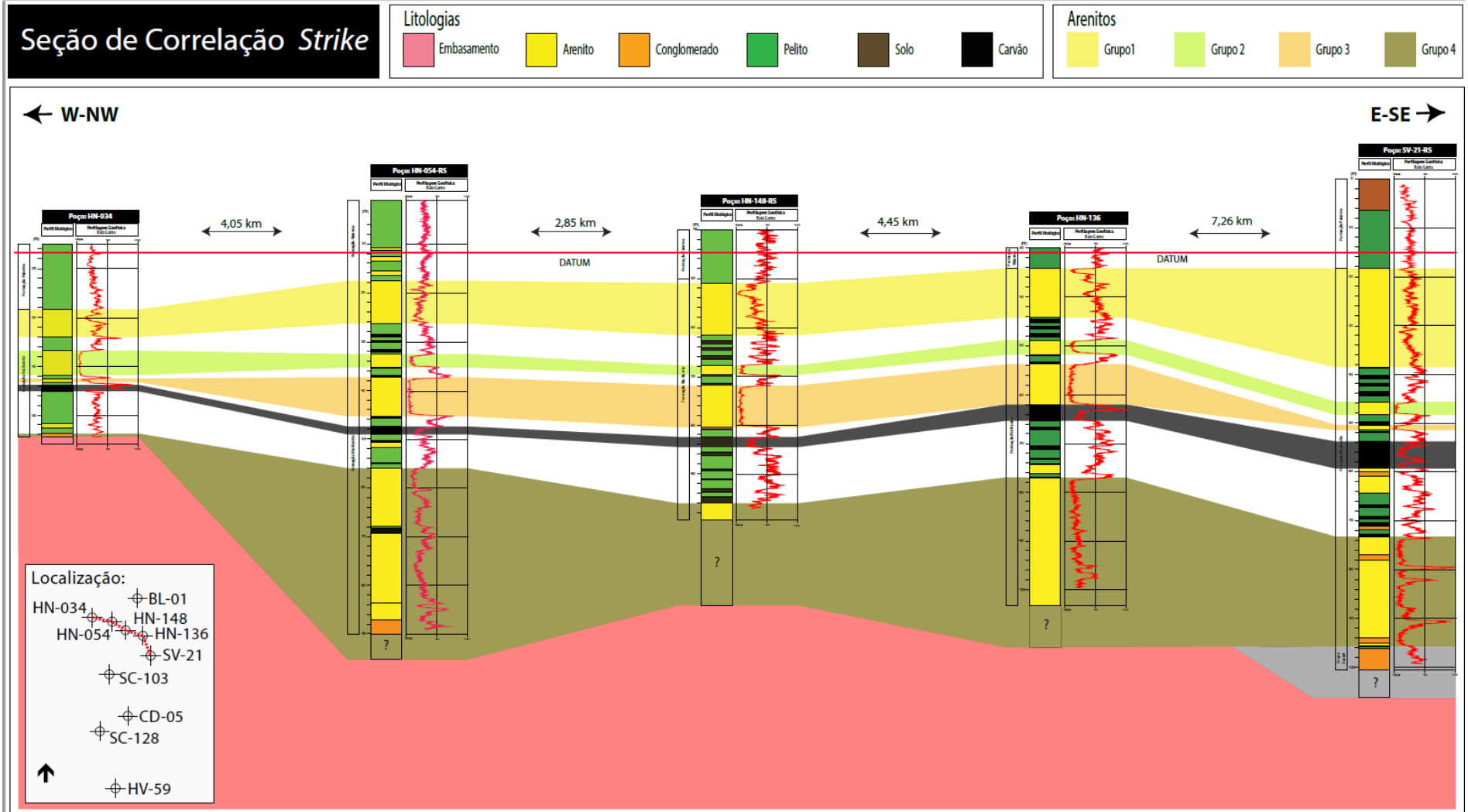


Figura 37. Correlação estratigráfica *STRIKE* (Anexo I).

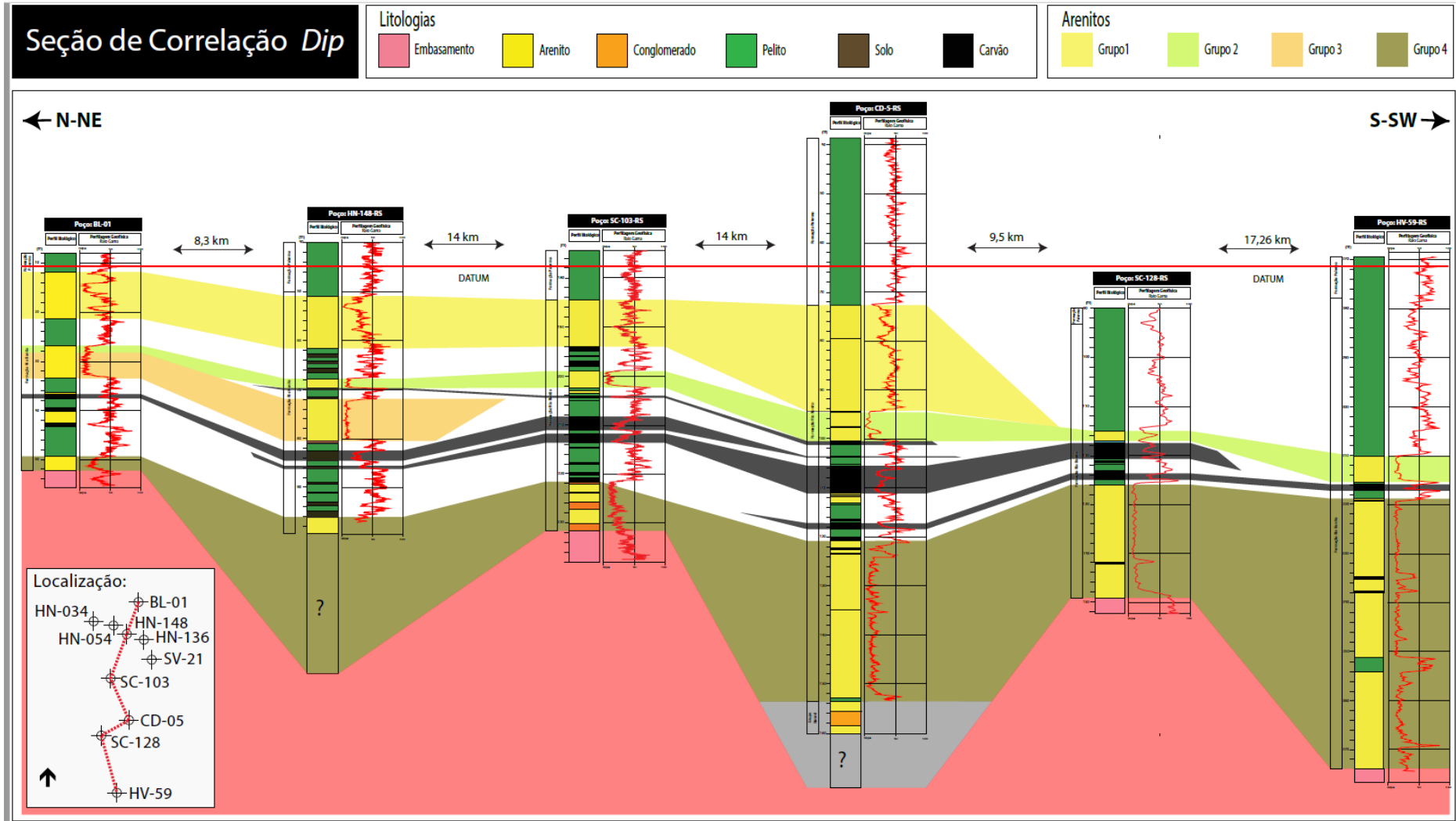


Figura 38. Correlação Estratigráfica *DIP* (Anexo II).

Quadro 3. Descrição simplificada dos grupos de arenitos identificados e indicação do ambiente deposicional associado a cada grupo (baseado em Holz, 2003; Hozl et al. (2006)).

Arenitos	Espessura	Litologia	Interpretação do valor do perfil dos Raios-Gama	Interpretação do sistema deposicional
Grupo 1	0,6 a 21 m	Arenitos esverdeados a cinza esbranquiçados, com laminação plana paralela, cimento carbonático, além de raros nódulos de pirita.	Os valores baixos a médios indicam a presença de folhelhos ao longo da camada.	Marinho raso
Grupo 2	1,5 a 5 m	Arenitos médios, maciços, cinza-esbranquiçado, quartzo feldspático com a presença de carbonatos.	Os valores baixos e contínuos indicam um arenito limpo (sem folhelho).	Barreira (sub-sistema)
Grupo 3	0,5 a 9 m	Arenitos finos a médios, maciços, cinza esbranquiçados, quartzo feldspático. Em alguns furos de sondagem, foram descritos presença de raros nódulos de pirita.	Os valores baixos e contínuos indicam um arenito limpo (sem folhelho).	Estuário lagunar
Grupo 4	De zero (poço HN-034) a mais de 30 m.	Arenitos médio a finos, maciços, com raras camadas finas de siltito e aspecto conglomerático próximo à base.	Os valores baixos não contínuos, indicam um arenito com camadas intercaladas de folhelho..	Fluvial-deltaico

Descrição dos Grupos

Grupo 1: Esse pacote de rochas tem espessura que varia de 0,6 a 21 m sotoposta à Formação Palermo e sobrepostas a uma camada mais espessa de pelitos intercalados com carvões. Pelas descrições dos furos de sondagem, os arenitos desta camada são esverdeados a cinza esbranquiçados, com laminação plana paralela, cimento carbonático, além de raros nódulos de pirita.

O perfil de raios-gama das rochas deste grupo indica valores baixos a médios, sendo então inferido que se tratem de arenitos impuros, com frequentes intercalação com pelitos.

Grupo 2: A espessura da camada dos arenitos do grupo 2 varia de 1,5 a 5 m, sendo sotoposta a intercalação de folhelhos e carvões e sobreposta a outra intercalação de espessura mais fina (0,5 a 4 m), porém de litologias semelhantes àquelas sotopostas. De acordo com os furos de sondagem, essa camada é composta de arenitos médio a grosso, maciço, cinza-esbranquiçado, de composição quartzo- feldspática, com a presença de carbonatos.

Os valores baixos e contínuos dados de perfilagem de raios-gama correspondentes às litologias deste grupo indicam que esses arenitos são, predominantemente, limpos, com ausência ou raras ocorrências de intercalações pelíticas.

Grupo 3: Esses arenitos estão dispostos em uma camada que varia entre 0,5 a 9 m de espessura. Essa camada está sotoposta a finas camadas de intercalação entre folhelhos, folhelhos carbonos e carvão, e sobrepostos a uma espessa camada de intercalações entre e folhelhos carvão que chega a mais de 15 metros de espessura em um dos furos de sondagem (HN-148). Esses arenitos são finos a médios, maciços, cinza esbranquiçados, de composição quartzo-feldspáticas, e com presença de raros nódulos de pirita em alguns furos de sondagem.

Assim como no Grupo 2, os arenitos do Grupo 3 tem baixos valores de perfil de raios-gama, indicando se tratar de um arenito limpo, com ausência ou raras intercalações pelíticas.

Grupo 4: Esse pacote de rochas pode variar de zero (poço HN-034) a mais de 30 m de espessura. Essa camada está sotoposta a uma espessa cobertura de siltitos e folhelhos intercalados, e sobreposta diretamente sobre o embasamento ou sobre depósito do Grupo Itararé. Neste grupo, os arenitos são caracterizados por granulometria média a fina, maciços, e com raras intercalações de finas camadas de pelito, que compartimentam o pacote na sucessão, bem como camadas conglomeráticas na porção mais basal.

O perfil de raios-gama das rochas do Grupo 4 indica o predomínio de valores baixos de radioatividade. Entretanto esses valores não são tão contínuos quanto àqueles dos grupos 2 e 3, indicando alguma intercalação pelítica, de carvão, ou mesmo composicional (por exemplo dos conglomerados de base). Os depósitos da Formação Rio Bonito na área de estudo foram interpretados, em estudos alto detalhe das características sedimentológicas e estratigráficas da unidade (Holz, 2003; Holz et al., 2006), como uma sucessão de depósitos costeiros em um contexto transgressivo. Nestes trabalhos, a base da sucessão é interpretada, predominantemente, como o registro de um sistema deposicional flúvio-deltáico e algum depósito relacionados à leques aluviais.

A porção central da sucessão foi interpretada como um conjunto de depósitos lagunares (estuário lagunar) onde se depositaram as camadas de carvão, seguida por pacotes areníticos de barreira costeira. Por fim, a parte de topo é interpretada como depósitos de um sistema marinho raso em uma sucessão retrogradacional. Utilizando essa interpretação, os arenitos do Grupo 1 estão relacionados a um ambiente marinho, possivelmente em porções rasas como um sub-ambientes de foreshore e shorefaces superior/médio. Esta interpretação corrobora com as descrições litológicas e interpretação do perfil de raios-gama, já que nestes ambientes é comum a intercalação de pelitos e arenitos (por exemplo, um arenito com estratificação cruzada *hummocky*).

Por outro lado, os arenitos do Grupo 2 estão relacionados com as barreiras costeiras, que são depósitos arenosos mais homogêneos, frequentemente maciços e limpos, o que coincide com os dados de raios-gama continuamente baixos. Seguindo o mesmo a interpretação do mesmo estudo, os arenitos do Grupo 3 estão relacionados com depósitos estuarinos lagunares,

possivelmente barras de maré estuarinas ou deltaicas, que são macroformas características do sistema deposicional estuarino lagunar.

Desta forma, esses arenitos são limpos (valores de raios-gama continuamente baixos) e espessos, comum para esse tipo de depósito. Por fim, os arenitos do Grupo 4 são interpretados como depósitos flúvio-deltáicos, como canais fluviais, canais interdistributários, e principalmente depósitos de frente deltaica. Como uma característica inerente ao sistema deposicional, em meio à esses depósitos arenosos, é comum a ocorrência de estratos lamosos de baía interdistributária ou pró-delta. Com isso, os dados de raios-gama correspondentes a esse grupo (dominantemente baixos porém com porções mais altas) corrobora com essa relação ambiental.

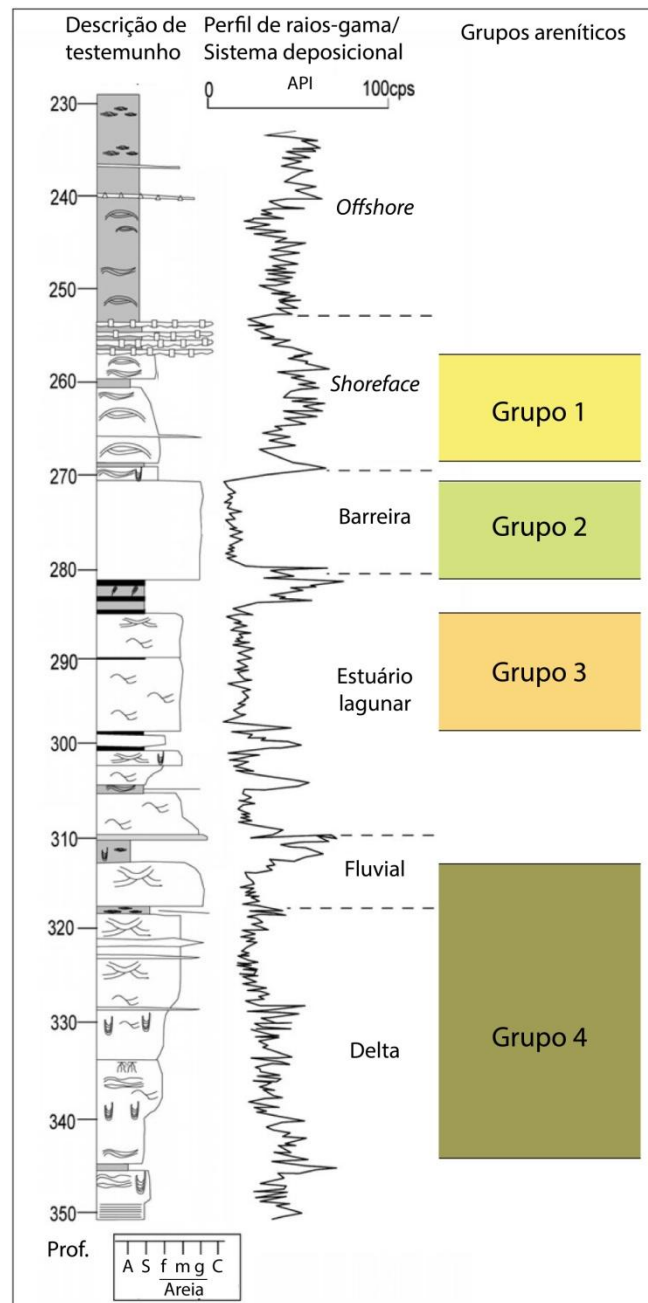


Figura 39. Sucessão sedimentar típica da área de estudo com interpretação dos sistemas deposicionais (modificado de Holz et al. 2006). Note a correlação do grupos areníticos identificados (Grupo 1 - sistema deposicional flúvio-deltáico; Grupo 2 – sistema deposicional estuarino lagunar; Grupo 3 – subsistema de barreira costeira; Grupo 4 – sistema deposicional marinho raso).

4.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Além da caracterização feita a partir dos furos de sondagem e da correlação estratigráfica, foi realizado, a partir do banco de dados, uma análise dos parâmetros hidrogeológicos e hidrodinâmicos que estavam disponíveis para os poços.

4.2.1 Análise dos Parâmetros Hidrogeológicos

Para a análise de parâmetros hidrodinâmicos, sem distinção entre as camadas aquíferas, o número total de poços selecionados foi 50. Conforme os dados apresentados na Tabela 3, todos possuíam profundidade final (m), 46 poços apresentavam valores de Nível Estático (m), 48 poços tinham dado de vazão (Q (m³/h)) e apenas 14 possuíam os valores referentes à capacidade específica (q (m³/h/m)). Na Tabela 3 também estão os valores mínimo, média, mediana máximo dos parâmetros analisados, além do desvio padrão e número de poços que tinham as informações disponíveis.

Tabela 3. Valores mínimos, médios e máximos das profundidades dos poços, nível estático, vazão e capacidade específica.

	Prof.dos Poços (m)	NE (m)	Q (m ³ /h)	q (m ³ /h/m)
Valor Mínimo	25	0	0,25	0,1205
Valor Média	80.35	13,9	7,15	1,8929
Valor Mediana	76	8,51	4,5	0,32
Valor Máximo	180	56,7	30	0,6365
Desvio Padrão	31.3	14	7	0,73
Nº de Dados	50	46	48	14

4.2.1.1 Profundidade dos Poços

O valor mínimo para a profundidade dos poços foi de 25 metros e máximo 180 metros, a média dos poços é de 80,35 metros, com um desvio padrão de 30 metros.

Abaixo na Figura 40 pode-se observar a distribuição dos poços em três intervalos de profundidade, sendo que a maior parte dos poços possui uma profundidade entre 50 e 100 metros, com pouca ocorrência (9 poços) para profundidades superiores a 100 metros.

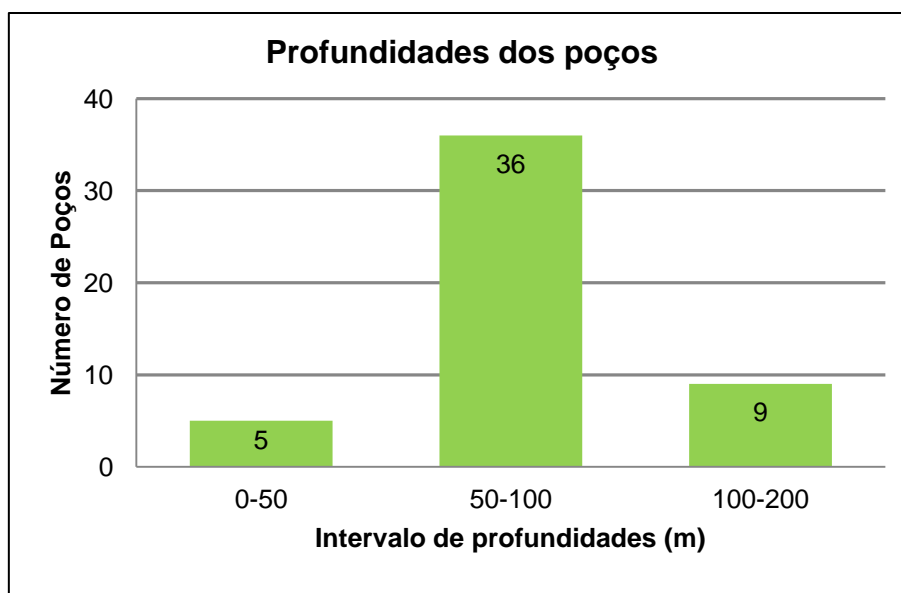


Figura 40. Gráfico com intervalo de profundidades dos poços.

Apenas seis poços possuíam a informação sobre a profundidade de entrada de água, alguns poços apresentavam mais de uma entrada de água, assim todas as entradas foram consideradas, mesmo que estivessem em um mesmo poço. Foram estabelecidos três intervalos de entrada de água, de 0 a 40 metros, 40 a 60 metros e maior que 60 metros.

O resultado foi que 21% das entradas de água dos poços ocorriam no intervalo de 0 a 40 metros, 36% entre 40 a 60 metros e a maioria das entradas de água ocorriam a profundidades maiores que 60 metros, entretanto a máxima profundidade de entrada de água disponível foi em 80 metros.

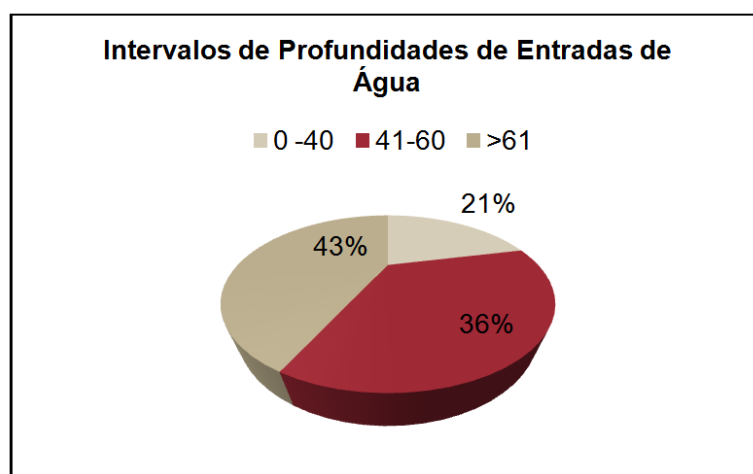


Figura 41. Gráfico com intervalos de profundidades de entrada de água de seis poços do banco de dado.

4.2.1.2 Nível Estático

O nível estático, que teve valor mínimo de 0,1 metros, máximo de 56,7 metros e médio de 13,8 metros e o desvio padrão de 13,8.

O nível estático está relacionado com diferentes profundidades, como demonstra a Figura 42, Nessa figura é possível observar que a maior parte dos poços apresenta nível estático localizado próximo a superfície (entre 0 e 10 metros), com poucos poços apresentando níveis em profundidades maiores que 20 metros.

A partir de tais dados pode-se afirmar que a maioria dos poços instalados está sob pressão, uma vez que os níveis de água estão a profundidades mais próximas da superfície que as entradas de águas. Entretanto, alguns poços com profundidade final maior e entradas de águas mais profundas, entre os 60 e 80 metros, apresentaram níveis estáticos profundos, um deles chegou a 56 metros.

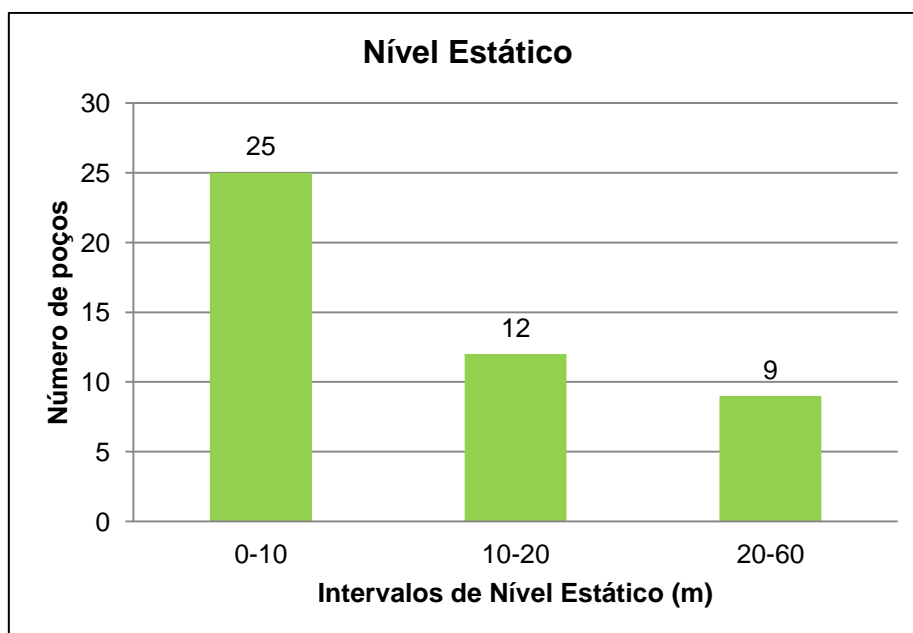


Figura 42. Nível estático do Sistema Aquífero Rio Bonito.

4.2.1.3 Capacidade Específica

A capacidade específica, importante parâmetro para estabelecer a produtividade dos poços, é a razão entre a vazão e o rebaixamento do nível

dinâmico, quando o poço está sendo bombeado, e demonstra a capacidade do poço de fornecer água frente ao rebaixamento do nível dinâmico.

Conforme mostrado na Tabela 3 Figura 43, a capacidade específica tem valor médio de $0,6365 \text{ (m}^3/\text{h) /m}$ e máximo de $6,25 \text{ (m}^3/\text{h) /m}$. Seu mínimo em $0,1205 \text{ m}^3/\text{h/m}$, o desvio padrão para os 14 poços que possuíam os valores de capacidade específica foi de 0,73.

A Figura 43 apresenta o número de poços que possuem a capacidade específica dentro de quatro intervalos associados à produtividade, modificado de Diniz (2021). Um grande número de poços apresentou valores relacionados a produtividades muito baixas, seguido dos poços de baixa produtividade, apenas dois deles apresentaram dados relacionados a produtividades moderadas e altas.

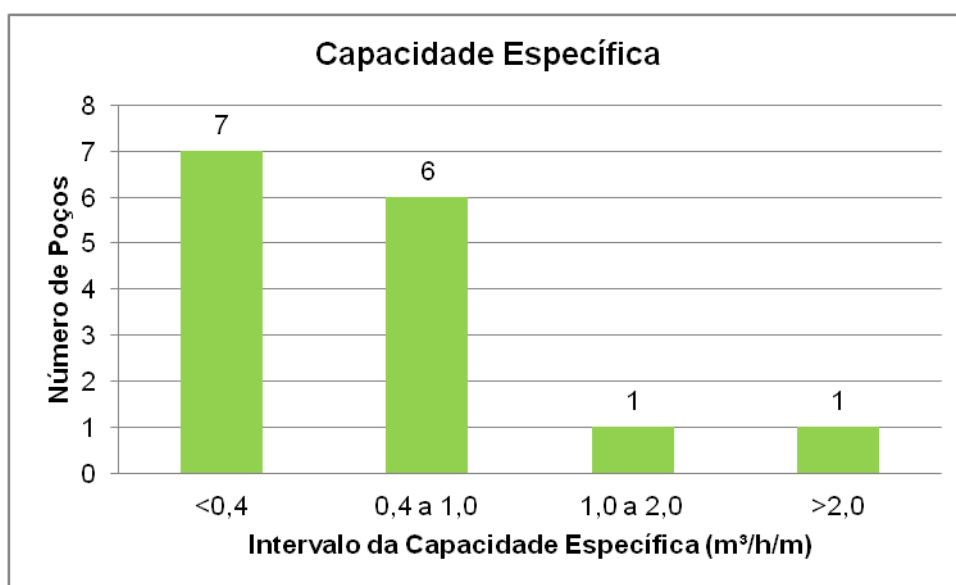


Figura 43. Capacidade específica dos poços do Sistema Aquífero Rio Bonito

4.2.1.4 Vazão

Os dados de vazão foram obtidos a partir de 48 poços da região, o valor mínimo foi $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$, com média de $7,15 \text{ m}^3/\text{h}$ e o valor máximo registrado de $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Na análise da Figura 44, observa-se que a maior parte dos poços apresenta valores inferiores a $5 \text{ m}^3/\text{h}$, mas há ocorrência de vários poços que apresentam vazões entre 5 e $10 \text{ m}^3/\text{h}$. A ocorrência de poços com vazões

superiores a 20m³/h é baixa. O que indica que em sua maioria, os poços que estão locados na região possuem uma baixa produtividade.

Os poços com as maiores vazões, com valores acima de 20m³/h estão relacionados com profundidade que ultrapassam 90 metros. Sendo este um indicativo de que as camadas aquíferas mais produtivas estão relacionadas à profundidades maiores em relação à superfície. Apenas um poço com vazão entre 10 e 20 m³/h, tinha uma profundidade final do poço de 72 metros e as entradas de água estavam entre 30 e 55 metros de profundidade.

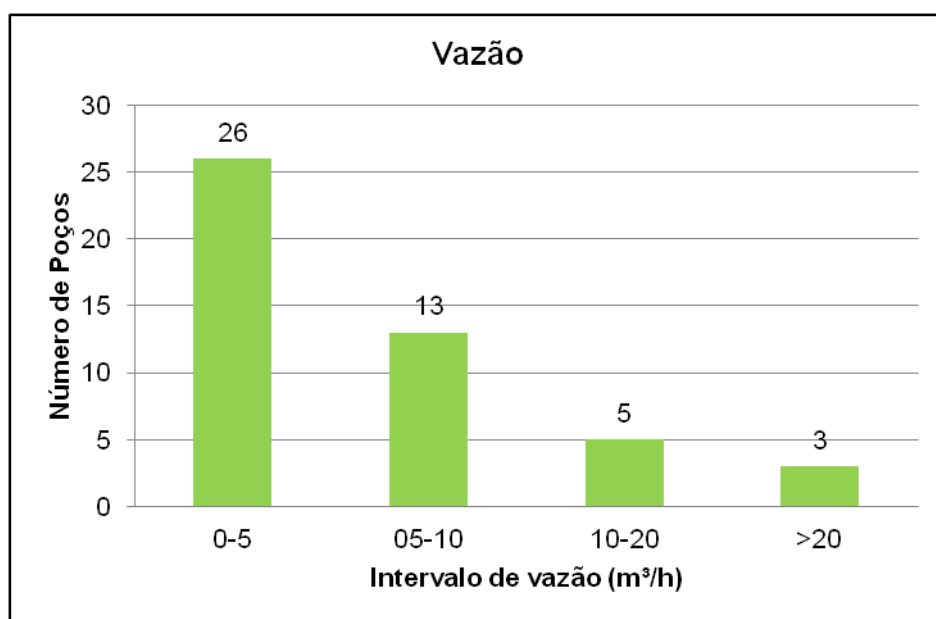


Figura 44. Vazão dos poços que captam água do Sistema Aquífero Rio Bonito.

4.2.2 Modelo Hidrogeológico Conceitual

A caracterização hidrogeológica foi feita a partir dos resultados obtidos pela correlação estratigráfica, que apontou a existência de quatro potenciais unidades aquíferas dentro da Formação Rio Bonito. Partindo da premissa que existem quatro dessas camadas aquíferas, também chamadas de unidades aquíferas, buscou-se detalhar as informações hidrogeológicas destas.

O modelo hidrogeológico (apresentado na Figura 45), foi elaborado a partir da seção de correlação *strike*, discutida no capítulo de caracterização geológica, entretanto, para a caracterização hidrogeológica os furos de sondagem foram ajustados segundo a cota do terreno, não mais pelo *datum*

da Formação Palermo, com o objetivo de aproximar o modelo da disposição topográfica atual.

Como as camadas aquíferas foram delimitadas a partir do modelo geológico anterior, significa que não houve mudanças significativas no desenho do modelo na Figura 45, nem na quantidade de camadas potencialmente aquíferas, pois todos os grupos de arenitos foram considerados como possíveis aquíferos, exceto pela mudança topográfica, que como mencionada anteriormente, foram consideradas as cotas do terreno das sondagens. Assim, foram definidas quatro camadas aquíferas para o Aquífero Rio Bonito.

A partir do modelo da Figura 45 é possível perceber que existe uma forte influência de falhas na região, sendo que algumas delas podem servir como barreiras hidráulicas, podendo influenciar no fluxo da água subterrânea, ou então segmentar as unidades aquíferas, como já foi identificado no trabalho Gofferman *et al* (2015). Entretanto, como não há estudos aprofundados que comprovem qual é o comportamento das falhas e suas consequências para o aquífero esse assunto não será detalhado no presente estudo.

As unidades aquíferas estão semiconfinadas por aquitardos compostos por pelitos intercalados com finas camadas de arenitos e de carvão que possuem diferentes espessuras que influenciam na circulação da água entre uma camada aquífera e outra. Todas as camadas de pelitos foram descritas como aquitardos, pois embora possuam espessuras de até 12 metros, como a camada de pelitos sobreposta a unidade aquífera 4, não há dados que comprovem o confinamento total desses aquíferos.

As camadas aquíferas 1 e 2 estão separadas por um aquitardo composto de pelitos com algumas finas camadas de carvão. Os valores de gama indicam a presença de finos, como argila. Possivelmente os poços que captam água dessas camadas poderão apresentar altos níveis de sólidos dissolvidos na água e as finas camadas de carvão podem influenciar na qualidade química.

Ao analisarmos a caracterização geológica da seção *DIP*, em direção ao sul da região de estudo, essas camadas de pelitos tendem a se tornar mais

raras, assim como as camadas de carvão, tornando essas duas camadas aquíferas uma única camada mais espessa, mas a presença de finos continua, uma vez que esses arenitos são relacionados a um ambiente de transgressão marinha.

A quarta camada aquífera está sotoposta por um aquífero de 6 m a 20 m de espessura, segundo o modelo, esse aquífero é composto por pelitos, pela camada de carvão guia, conhecida como camada candiota, além de finas camadas de arenitos que podem chegar a 2 m de espessura.

Os valores de raio gama indicam que o pacote de arenitos que está após esse aquífero mais espesso tem possivelmente finas camadas de argilominerais ao longo do pacote de até 32 metros na seção *strike*, mas como observado na seção *dip* da caracterização geológica, essa camada de arenitos pode chegar a ter mais de 50 metros de espessura. A camada aquífera 4 pode estar em contato direto com o embasamento, ou em contato com a Formação Itararé, que é composta, principalmente por conglomerados e arenitos grossos.

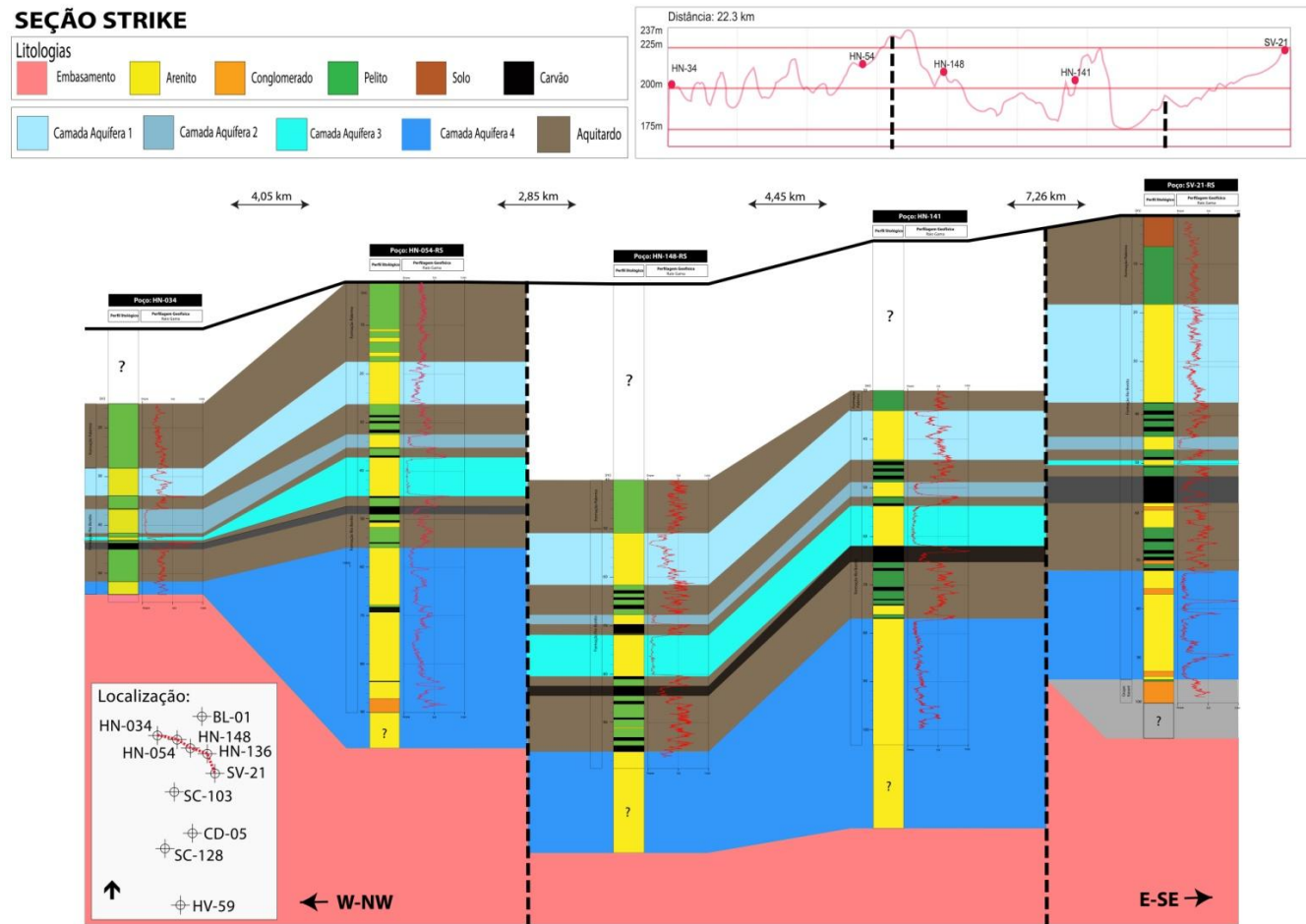


Figura 45. Modelo hidrogeológico do aquífero feito a partir dos furos de sondagem do Projeto Grande Candiota (CPRM). Os tons de azul indicam os aquíferos dentro do Aquífero Rio Bonito, a cor marrom representa os aquíferos presentes (Anexo III).

4.2.3 Análise dos Parâmetros para Poços que Interceptam uma ou mais Camadas

Uma primeira caracterização foi feita com o uso de todos os dados para avaliar as características gerais do Sistema Aquífero Rio Bonito. Após, com base na profundidade do poço e sua localização, também na ocorrência de entradas de água e posição das secções filtrantes, quando dados disponíveis, foi feita uma caracterização das diferentes unidades ou camadas aquíferos que esses poços interceptam buscando buscar um detalhamento hidrogeológico do modelo proposto.

A classificação foi feita, principalmente, com base na profundidade final dos poços segundo sua localização no terreno e relação com furos de sondagem, dado que a maioria deles não possuía os dados de entrada nem a posição do filtro. Assim, não foi possível determinar as características hidrogeológicas para cada camada, mas determinar as unidades aquíferas que o poço interceptava. Apenas os poços que interceptam a camada 1 possuem esse detalhamento, as séries seguintes interceptam duas ou mais camadas.

Assim, os dados refletem poços que interceptam a camada 1, as camadas 1 e 2, as camadas 1,2 e 3 e as camadas 1,2,3 e 4 definidas no modelo conceitual apresentado anteriormente.

A Tabela 4 apresenta dados de profundidade, nível estático, vazão e capacidade específica dos poços que captam água das camadas aquíferas do Aquífero Rio Bonito. Na tabela mencionada encontram-se os valores máximos, médios e mínimos para os parâmetros de profundidade (m), nível estático (m), vazão (m^3/h) e capacidade específica dos poços que captam água da camada 1, das camadas 1 e 2, das camadas 1,2 e 3 e das camadas 1,2,3 e 4.

Tabela 4. Dados de profundidade, nível estático, vazão e capacidade específica dos poços que captam água das camadas aquíferas do Aquífero Rio Bonito.

		Prof.dos Poços (m)	NE (m)	Q (m ³ /h)	q (m ³ /h/m)
Camada 1	Valor Mínimo	25	0,1	0,25	-
	Valor Médio	55,03	5,80	5,80	-
	Valor Máximo	80	12,8	15	0,481
	Desvio Padrão	17,09	3,88	4,21	-
	Nº de Dados	12	11	11	1
Camadas 1 e 2	Valor Mínimo	25	1,68	2	0,191
	Valor Médio	72,06	11,81	5,27	0,20
	Valor Máximo	126,00	29	6,60	0,21
	Desvio Padrão	27,6824306	13,45	1,78	0,01096966
	Nº de Dados	8	6	6	3
Camadas 1 2 e 3	Valor Mínimo	32	0	1,6	0,11
	Valor Médio	62,63	8,7	5,98	0,47
	Valor Máximo	90,00	19	24	0,75
	Desvio Padrão	17,03	6,68	7	0,24782157
	Nº de Dados	8	9	9	4
Camadas 1 2 3 e 4	Valor Mínimo	60,00	5	1,1	0,12
	Valor Médio	107,92	22,26	7,64	3,20
	Valor Máximo	180,00	56,7	30	6,25
	Desvio Padrão	27,7800339	4,33	8,3	3,52291987
	Nº de Dados	15	13	13	5

Os valores mínimos de profundidade que interceptam as camadas, apresentam a tendência esperada de aumentar conforme alcançam as camadas aquíferas mais profundas apresentadas no modelo. Entretanto, os dados máximos das profundidades que atingem essas camadas não apresentam uma tendência parecida. Sabe-se que em determinadas zonas da bacia a isoesspessura até o topo da Formação Rio Bonito pode chegar a mais de 370 m (Kirchheim *et al*, 2012), isso explica os valores altos para as profundidades em poços que captam água apenas da camada 1 e 2, por exemplo.

Observa-se também que o valor máximo de profundidade para os poços que interceptam a camada 4 é de apenas 180 m, portanto pode-se inferir que esses poços podem não alcançar as zonas mais produtivas dessa unidade.

Os valores para os níveis estáticos não apresentaram uma tendência clara de aumento ou diminuição. Porém alcança valores maiores em poços que interceptam as quatro camadas, chegando valor máximo de 56 m.

Os poços relacionados às três camadas demonstram que com o aumento da profundidade e o alcance dessa terceira camada aquífera os valores de vazão também aumentam, bem como para os poços que interceptam as quatro camadas: os valores de 30 m³/h e de 6,25 m³/h/m indicam. que provavelmente esta camada aquífera seja a mais produtiva das quatro que foram estabelecidas pelo modelo, recrudescendo os estudos de Gofferman (2015) que afirmou ser a camada de carvão Candiota um bom guia para encontrar a camada aquífera produtiva do Aquífero Rio Bonito.

A Figura 46 compara os dados de vazão para as quatro séries, a maioria dos valores de vazões registrados estão entre 0 e 5 m³/h, mesmo para os poços que interceptam as quatro camadas.

Apenas a camada 1 e os poços que interceptam as camadas 1, 2 3 e 4 possuem poços com vazões entre 10 e 20 m³/h. As vazões que ultrapassam 20m³/m estão relacionadas as camadas 3 e 4.

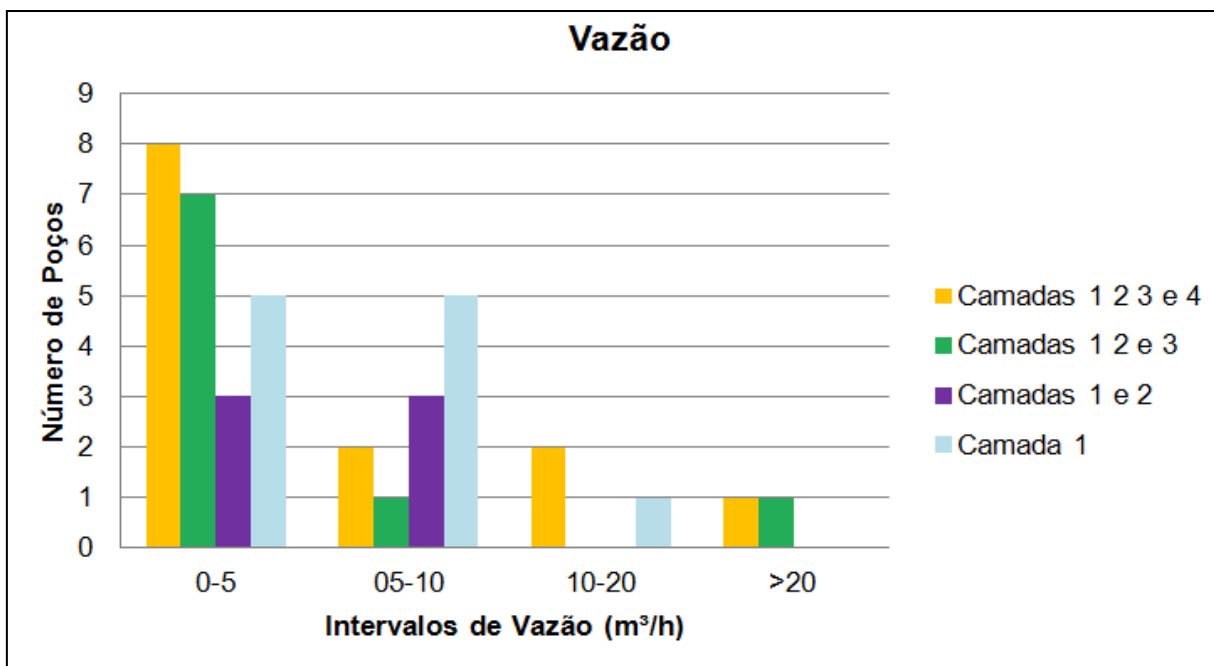


Figura 46. Intervalos de vazões e comparação entre a camada 1 e as camadas 1 e 2, camadas 1,2 e 3 e camadas 1,2,3, e 4.

4.2.4 Avaliação do Potencial Hidrogeológico

As produtividades do Aquífero Rio Bonito foram classificadas conforme os intervalos definidos por Struckmeier & Margat. O parâmetro de avaliação da produção dos poços foi os valores de vazão (Q), uma vez que existem poucos dados de capacidade específica.

Conforme a Figura 47, ao avaliarmos a produtividade segundo a vazão (Q), a maior parte dos poços se enquadra no intervalo em que a vazão é menor que 10 m³/h, a produtividade é considerada geralmente muito baixa, porém localmente baixa (classe 5).

Em proporções menores há ocorrência de poços que apresentam produtividades baixas, mas que podem ser localmente moderadas (classe 4) e poços com produtividade moderada (classe 3).

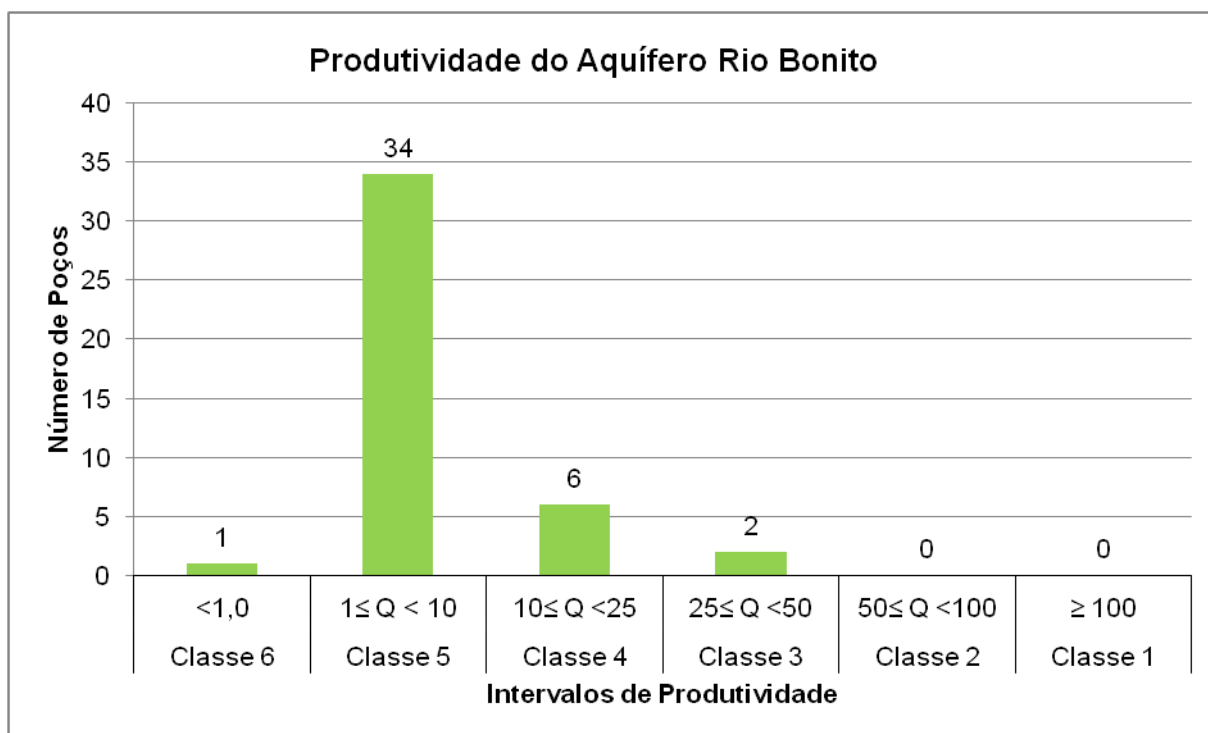


Figura 47. Avaliação da produtividade segundo a vazão (Q), intervalos definidos por Struckmeir & Margat, modificado por Diniz (2012).

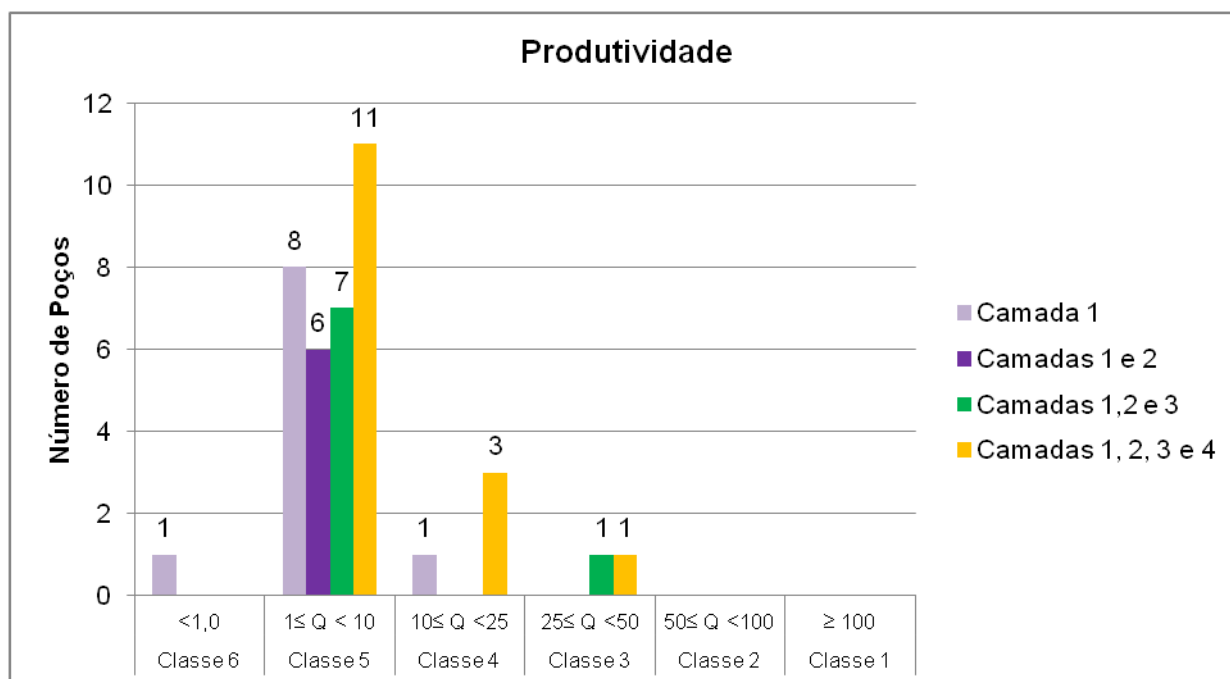


Figura 48. Intervalos de produtividade para cada um dos agrupamentos de camadas aquíferas.

A maioria dos poços tem produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa (classe 5), mesmo aqueles que alcançam a camada aquífera 4, entretanto como já foi discutido, as profundidades demonstram que os poços

penetram uma pequena espessura dessa camada, podendo ser essa uma explicação para tais dados. Dois poços que captam água das quatro camadas apresentam maiores produtividades baixas, porém localmente moderadas (classe 4), e apenas um tem a produtividade moderada (classe 3).

Os poços da Camada 1 tem a produtividade distribuída entre pouco produtivo a geralmente baixa, porém localmente moderado, mas a grande maioria das vazões enquadra-se no intervalo de valores que são maiores que $1\text{m}^3/\text{h}$ e menores que $10\text{m}^3/\text{h}$, assim como os poços que alcançam a camada 2 e a camada 3. Apenas um dos poços que atingem a camada aquífera 3 tem produtividade baixa, porém localmente moderada.

Portanto, o Aquífero Rio Bonito na região de Hulha Negra e Candiota tem suas produtividades geralmente muito baixas, ainda que em alguns pontos possa ser baixa e moderada. As produtividades moderadas estão relacionadas com as camadas aquíferas mais profundas, principalmente após a camada guia de carvão que está intercalada por pelitos e semiconfinada a camada aquífera 4. Apesar da camada aquífera 1 apresentar valores de baixa a localmente moderada produtividades, o raio gama indica a forte presença de argilominerais e finos, que podem diminuir a qualidade da água, tornando-a turva. Não foi possível identificar a produtividade deste aquífero no município de Aceguá pela falta de dados.

4.3 ANÁLISE HIDROQUÍMICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

4.3.1 Análise Hidroquímica Geral

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos parâmetros de pH, Temperatura condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das análises físico químicas dos poços que apresentavam tais dados.

Tabela 5. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando todos os valores disponíveis do banco de dados.

	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS/cm)	STD
Valor Mínimo	6,3	16	95,4	78
Valor Médio	7,74	20,9	671,9	426,9
Valor Mediana	7,75	20,9	538,5	396
Valor Máximo	9,2	26	2670	973
Desvio Padrão	0,68	1,66	523,8	265,91
Nº de dados	45	34	44	24

O valor do pH dos dados disponíveis variam entre 6,3 a 9,2, com média de 7,74, assim as águas variam de uma acidez fraca a uma alcalinidade elevada, mas a maioria mantém o pH neutro a fracamente alcalino.

A temperatura mínima encontrada foi 16°C e a máxima de 26°C, entretanto a média da temperatura dos poços foi 20,9°C.

Os valores de condutividade elétrica, parâmetro relacionado com a facilidade da água conduzir corrente elétrica, está relacionada diretamente ao teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. Os valores variam entre 95 µS/cm a 2670 µS/cm , com média 671,9 µS/cm, mediana de 538,5 µS/cm demonstrando que há uma concentração bastante alta em alguns poços, como mostra a Figura 49.

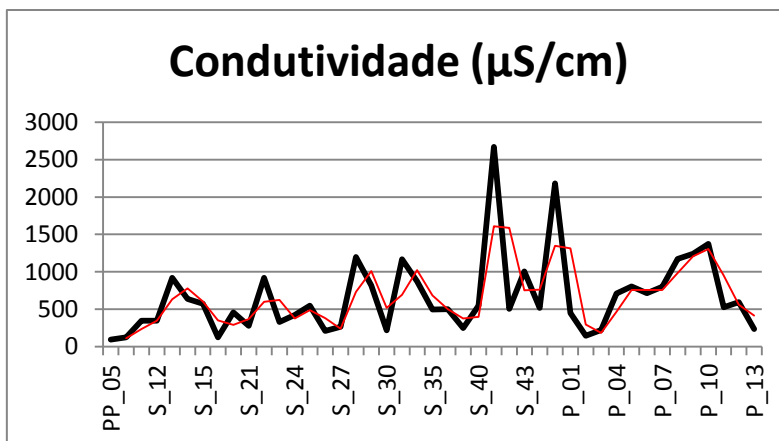


Figura 49. Variação da condutividade elétrica entre os poços.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) é a medida de peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo material dissolvido na água, seja ou não volátil. Os valores das amostras analisadas variaram de 78 a 973 mg/L, com média 426,9 mg/L e mediana de 396 mg/L. Os valores acima de 500 mg/L indicam a ocorrência de águas salobras, conforme a Resolução Conama 357/2005, existe uma variação considerável dos Sólidos Totais Dissolvidos, entretanto, vários deles possuem valores elevados, como pode ser observado na Figura 50.

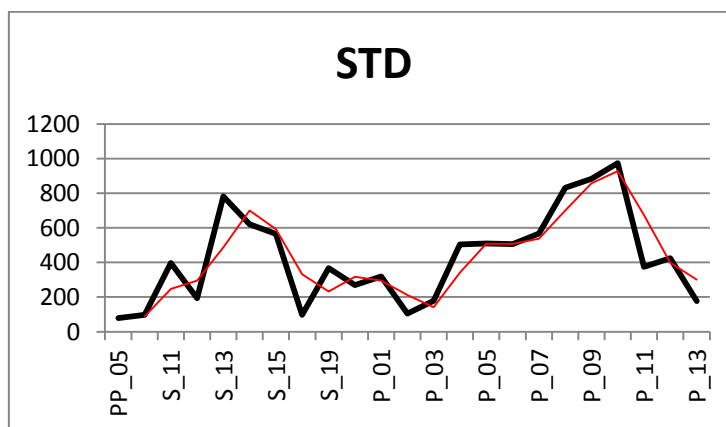


Figura 50. Variação dos valores de sólidos totais dissolvidos (STD) dos poços.

Os poços que possuíam a classificação sobre as camadas aquíferas e tinham valores de pH, temperatura, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e STD foram separados e analisados conforme a classificação das camadas, para observar se existe uma diferença desses parâmetros entre as séries estabelecidas.

4.3.2. Análise Hidroquímica para Poços que Interceptam uma ou mais Camadas

Os valores apresentados na Tabela 6 são referentes aos poços que teoricamente captam água da camada 1 que corresponde ao topo do ARB. Os resultados encontrados indicam águas com pH médio de 7,6, variando entre 6,3 a 8,46 e mediana de 7,8. Os valores de temperatura variam de 21°C a 26°C com média de 22,8°C e mediana de 21,5 °C

A condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) teve uma grande variação entre o valor mínimo e máximo, com 504 a 2180 $\mu\text{S/cm}$, a média foi alta com o valor de 1036,6 $\mu\text{S/cm}$, a mediana apresentou valor de 920 $\mu\text{S/cm}$ e os Sólidos Totais dissolvidos variaram de 566 a 781 mg/L, com média e mediana de 673,5 mg/L .

Tabela 6. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1"

Camada 1	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	STD
Valor Mínimo	6,3	21	504	566
Valor Médio	7,628	22,8	1036,6	673,5
Valor Mediana	7,8	21,5	920	673,5
Valor Máximo	8,46	26	2180	781
Desvio Padrão	0,80	2,75	674,46	152,0
Nº de dados	5	3	5	2

A Tabela 7 apresenta os valores dos poços que captam água das camadas 1 e 2 do ARB. O valor de pH mínimo foi de 7,1, máximo de 8,9 e médio de 7,8, a temperatura tinha apenas um dado, com 20°C, a condutividade elétrica teve média de 654 $\mu\text{S/cm}$, mediana de 549 $\mu\text{S/cm}$ e valor mínimo de 348 $\mu\text{S/cm}$ e máximo de 1170 $\mu\text{S/cm}$. Os dois valores disponíveis para os STD foi de 194 mg/L e 620 mg/L.

Tabela 7. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1 e 2"

Camadas 1 e 2	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS/cm)	STD
Valor Mínimo	7,1		348	194
Valor Médio	7,8		654	393,73
Valor Mediana	7,74		549	367,2
Valor Máximo	8,9	20	1170	620
Desvio Padrão	0,74		364,13	214,23
Nº de dados	6	1	6	2

Na Tabela 8, estão os valores estatísticos para os poços que interceptam as camadas 1,2 e 3. Os resultados indicam que o pH variou de 6,9 a 9,1 com uma média de 7,58. A temperatura apresentou mínima de 20°C e máxima de 22°C, a média foi de 21,3°C, a condutividade elétrica teve um mínimo de 212 µS/cm e um máximo de 874 µS/cm, a média para 8 medidas foi de 410 µS/cm e os STD apresentavam apenas um valor de 269 mg/L.

Tabela 8. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1, 2 e 3".

Camadas 1, 2 e 3	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µS/cm)	STD
Valor Mínimo	6,9	20	212	
Valor Médio	7,58	21,3	410	
Valor Mediana	7,15	22	304,5	
Valor Máximo	9,1	22	874	269
Desvio Padrão	0,83	0,94	225,31	
Nº de dados	8	7	8	1

Os valores apresentados na Tabela 9 condizem com os poços que interceptam as camadas 1,2,3 e 4, ou seja, alcançam profundidades em determinadas cotas passando pelas quatro camadas que formam o ARB. O pH varia de 6,4 a 9,2, com média de 7,94, seguindo o padrão das outras tabelas, mostrando que as águas do aquífero são neutras a alcalinidade elevadas, a temperatura mínima foi 16°C e a máxima de 22°C, a condutividade elétrica

também variou bastante entre 126,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1197 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 697 $\mu\text{S}/\text{cm}$, os sólidos totais dissolvidos variaram de 98 mg/L a 396 mg/L, com média de 247 mg/L.

Tabela 9. Valores estatísticos para os parâmetros de pH, temperatura, condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais dissolvidos (STD) considerando apenas os valores dos poços classificados como "Camada 1, 2, 3 e 4.

Camadas 1, 2, 3 e 4	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD
Valor Mínimo	6,4	16	126,8	98
Valor Médio	7,94	19,6	697,96	247
Valor Mediana	8	20	499	98
Valor Máximo	9,2	22	1197	396
Desvio Padrão	0,76	2,0	422,6	210,7
Nº de dados	10	8	10	3

Ao avaliar os valores mínimos e máximos dos parâmetros apresentados observa-se uma tendência de valores mínimos cada vez menores a medida que os poços alcançam a camada 4. Também para CE e STD, embora esses apresentem desvios padrões altos, ao analisar a mediana para os dois parâmetros a tendência se repete, mas com valores menores que a média, por não considerar os valores extremos.

Sabe-se que o aumento da CE e STD tem uma relação bem marcada com o confinamento das camadas aquíferas, fato não observado nos dados apresentados, visto que as maiores CE e STD estão na primeira camada, que é a mais superficial.

Embora exista maior quantidade de lama e argila na primeira camada, como discutido no capítulo de caracterização geológica, este não seria um fato determinante para explicar valores tão altos. Esses valores podem estar relacionados com o paleoambiente. No caso da camada 1 equivalente aos arenitos do Grupo1, que são relacionados com um ambiente marinho raso teríamos uma tendência de ter maiores concentrações de sais precipitados nos sedimentos que poderiam ter relação com o aumento de CE e STD.

Outro ponto importante a ser considerado é que a interceptação dos poços pelas camadas é subjetiva e foi feita com base no critério da profundidade final dos poços. Ou seja, alguns dos poços definidos que interceptam as camadas 1,2 podem ser que alguns só interceptam a 2 e outros só a 1, pois os filtros estariam colocados em posições diferentes, mas como não há o perfil não foi possível avaliar com exatidão.

O mesmo ocorre para o grupo de poços que interceptam as camadas 1, 2 e 3 sendo que alguns podem captar das três camadas, alguns de duas camadas (2 e 3) e outros só de uma camada(3), só que para ter certeza é necessária a posição dos filtros. O mesmo critério de incerteza deve ser levado em consideração com os poços que interceptam as camadas 1,2, 3 e 4.

4.3.3. Dureza Total

Os dados apresentados Tabela 10 são de dureza total, propriedade que usa o teor de cálcio e magnésio, expressos em teores de carbonato de cálcio para determinar a capacidade da água de neutralizar o sabão pelo efeito do cálcio e magnésio, entre outros elementos.

Tabela 10. Dados de dureza total.

Código do Poço	Camadas Aquíferas	Dureza Total
S_13	Camada 1	103,8
S_15	Camada 1	11,8
S_12	Camadas 1 e 2	146
S_14	Camadas 1 e 2	146,2
S_19	Camadas 1 e 2	128
PP_05	Camadas 1, 2, 3 e 4	30,3
PP_06	Camadas 1, 2, 3 e 4	44,4
S_11	Camadas 1, 2, 3 e 4	2,05

Abaixo na Figura 51, está apresentado os intervalos de dureza total propostos por Custódio & Llamas (1983). Oito poços possuíam o dado de dureza total, quatro das amostras foram classificadas como brandas e as outras quatro como duras.

Os valores dos poços que captam água da Camada1 foram bastante divergentes, entretanto os teores de dureza total para as Camadas 1 e 2

apresentaram valores semelhantes, com média de 140 mg/CaCO³, todas as águas foram consideradas duras.

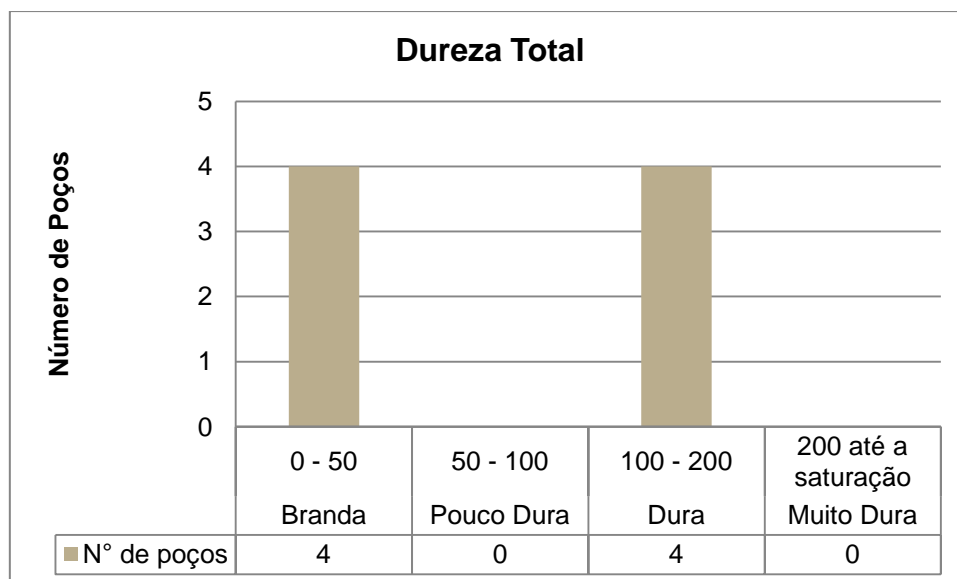


Figura 51. Classificação pela Dureza Total (mg/CaCO³) - (Custódio & Lamas, 1983)

Os poços que ultrapassam as quatro camadas tiveram os valores de dureza indicando que as águas são consideradas brandas.

As águas mais superficiais, como já observado, estão relacionadas com reservatórios caracterizados por arenitos de ambiente marinho transicional, podendo haver maior presença de carbonato que pode influenciar na qualidade da dureza total dessas águas.

4.3.4 Classificação das Águas no Diagrama de Piper

Para avaliação da água subterrânea do Aquífero Rio Bonito foram analisados os valores disponíveis de 11 poços tubulares da região. Foram classificadas, conforme diagrama de Piper, em bicarbonatadas cálcicas (31%), bicarbonatadas sódicas (23%), bicarbonatada magnesiana (8%) e duas mistas, ambas cloretadas sulfatadas sódicas (15%).

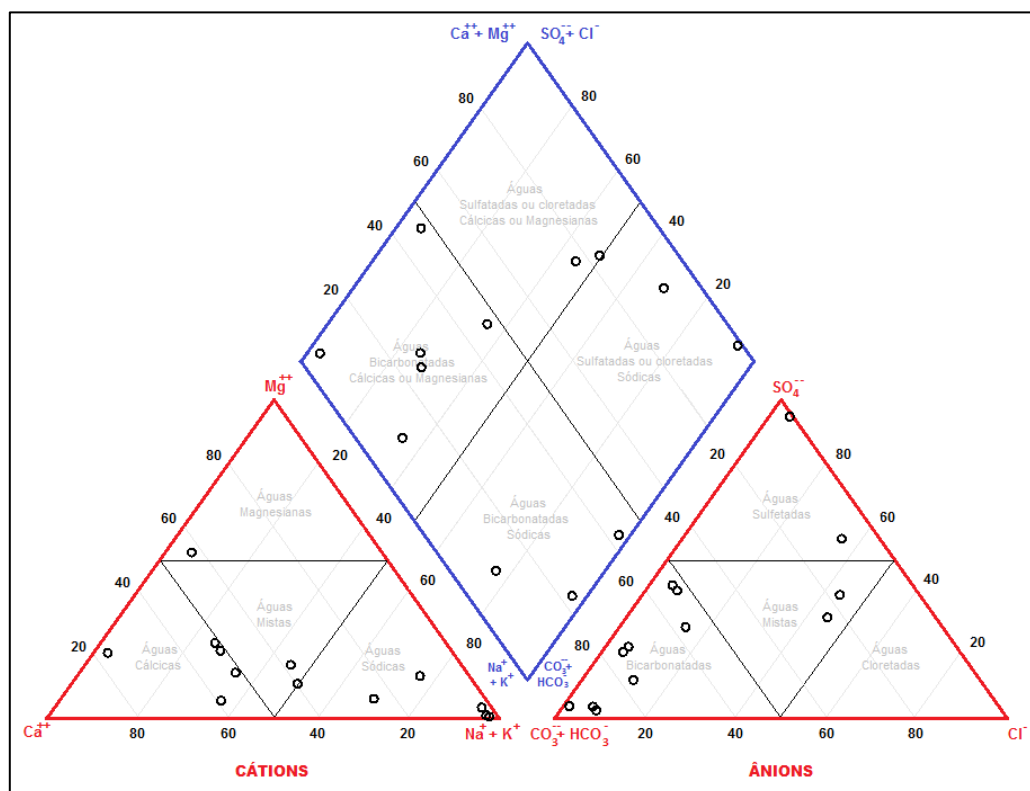


Figura 52. Diagrama de Piper com os valores dos 11 poços plotados.

No Quadro 4 mostra que alguns dos poços que continham os valores necessários para o diagrama de Piper possuíam a informação sobre as camadas interceptadas, outros por não apresentarem nenhuma informação sobre profundidade não foi feita tal inferência.

A relação entre a classificação das águas com as águas não apresentou resultados muito precisos, exceto pelos poços que captam água da camada 1, que ambos foram considerados como cloretadas sulfatadas sódicas. Corroborando para a hipótese sobre os altos valores de CE e STD estarem relacionados diretamente ao tipo de ambiente de sedimentação marinho raso.

Quadro 4. Poços com as respectivas classificações sobre as camadas aquíferas e a classificação das águas segundo Diagrama de Piper.

Código do Poço	Camadas Aquíferas	Classificação das Águas
S_13	Camada 1	Cloretada sulfatada sódica
S_15	Camada 1	Cloretada sulfatada sódica
S_12	Camadas 1 e 2	Bicarbonatada Cálcica
S_14	Camadas 1 e 2	Bicarbonatada Sódica
S_19	Camadas 1 e 2	Bicarbonatada Cálcica
PP_05	Camadas 1, 2, 3 e 4	Bicarbonatada Magnésiana
PP_06	Camadas 1, 2, 3 e 4	Bicarbonatada Cálcica
P_04	Não determinada	Bicarbonatada Cálcica
P_06	Não determinada	Bicarbonatada Cálcica
P_09	Não determinada	Bicarbonatada Sódica
P_11	Não determinada	Bicarbonatada Sódica

Na Figura 53 comparando a geometria das duas amostras pode-se perceber um aumento de (Na+K), Ca e Mg na primeira geometria.

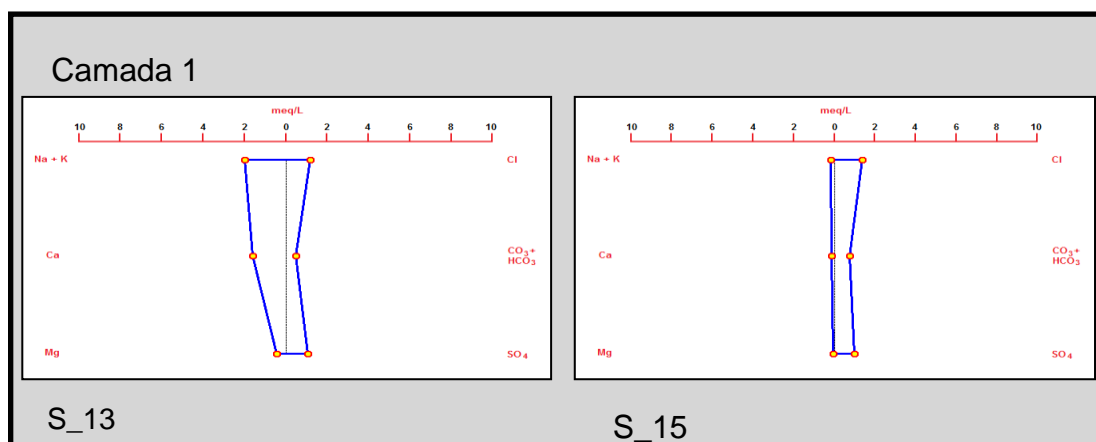


Figura 53. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços que captam água da camada 1.

Os poços que interceptam as camadas 1 e 2 tiveram águas classificadas como bicarbonatadas cálcicas e sódicas. A litologia relacionada com essa camada é constituída por arenitos limpos, de composição quartzo feldspática e presença de carbonatos, com ausências ou raras ocorrências de intercalações pelíticas.

As geometrias geradas pelo diagrama de Stiff que correspondem aos poços que interceptam as camadas 1 e 2 estão apresentadas na Figura 54,

sendo a camada 2 constituída por carbonatos e arenitos quartzo-felspáticos, pode-se supor uma dissolução dos componentes dessas rochas

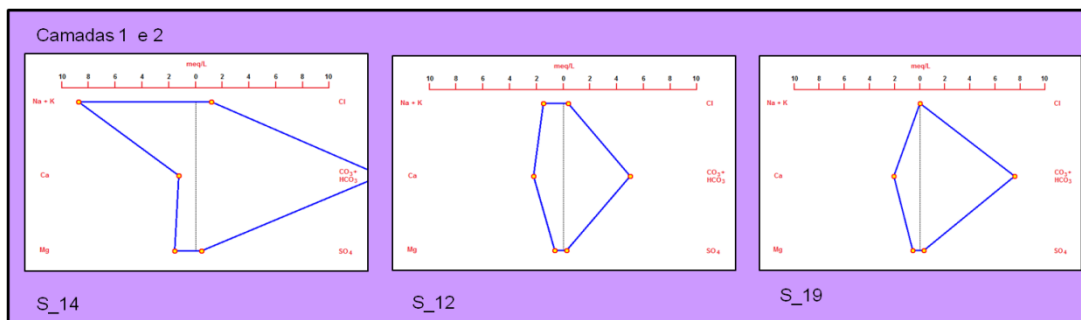


Figura 54. geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços que interceptam as camadas 1 e 2.

Nenhum poço que interceptava as camadas 1, 2 e 3 possuía dados para classificação das águas. Assim, a seguir, na Figura 55 são apresentadas as geometrias que foram geradas a partir dos valores disponíveis dos poços que interceptam as camadas 1,2,3 e 4.

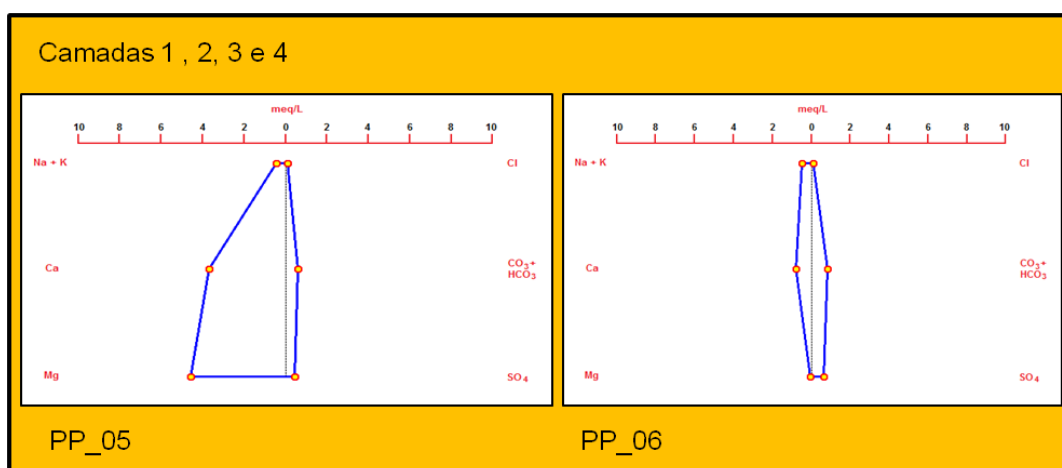


Figura 55. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços que interceptam as quatro camadas aquíferas.

As águas dos poços que interceptam as camadas 1,2,3 e 4 apresentam geometrias diferentes, a primeira geometria corresponde a uma água classificada como bicarbonatada magnesiana, pode ser resultado da dissolução de carbonatos que sejam ricos em Mg da unidade aquífera 2, por exemplo. A geometria da amostra PP_06 é relacionada a uma água bicarbonatada cálcica, a profundidade de localização do filtro sugere alcançar a camada 4, diminui a relação Na+K e aumenta em Ca.

Na Figura 56 estão dispostos quatro geometrias geradas pelo diagrama de Stiff que correspondem a poços que não possuíam informação sobre quais camadas captam água. Entretanto, todos as águas dessas amostras foram coletadas em atividade de campo e sabe-se que os poços P_04 e P_06 são surgências localizadas na mesma propriedade, classificadas então, como águas bicarbonatadas cálcicas.

As duas geometrias restantes são de poços localizados mais ao sul da região de estudo, demonstram um enriquecimento de Na e K, comparados aos elementos cálcico-alcalinos (Ca-Mg), foram classificadas como bicarbonatadas sódicas.

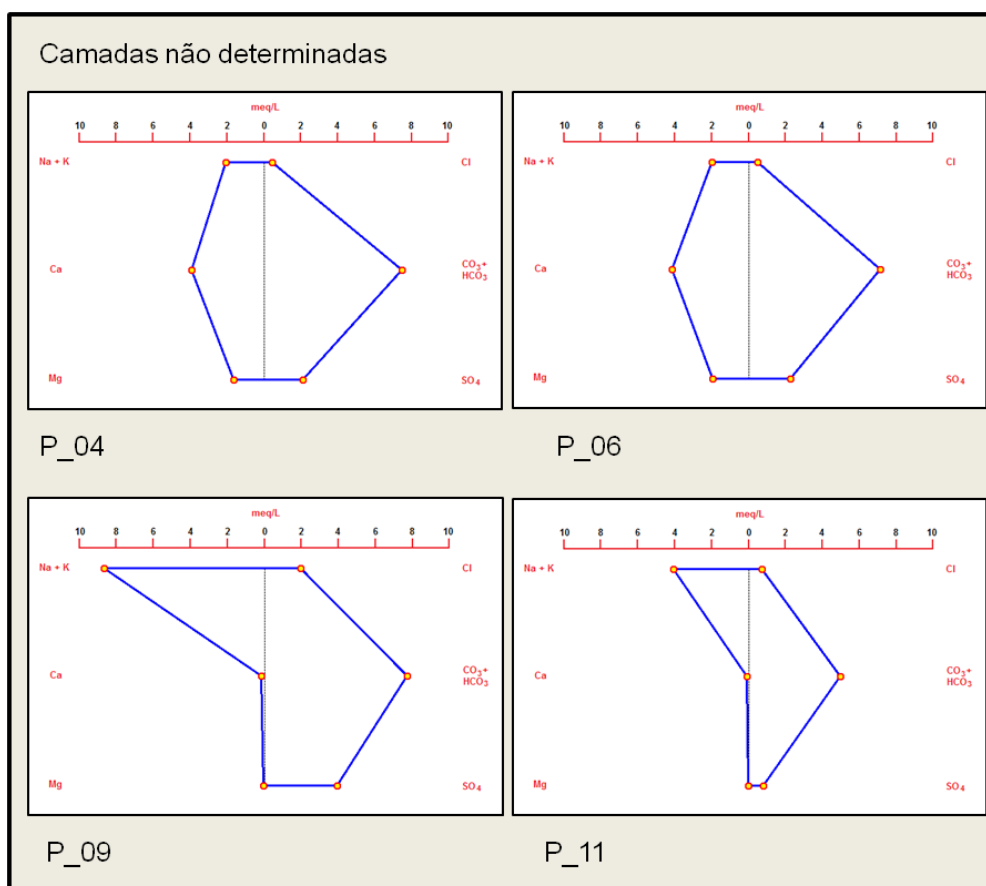


Figura 56. Geometrias geradas pelo Diagrama de Stiff para os poços sem classificação quanto as camadas.

4.3.5 Análise da Água Subterrânea para Irrigação

Na zona de estudo há pelo menos 50 assentamentos da reforma agrária que fazem uso da água subterrânea para irrigação, além dos assentados, a produção agrícola na região é bastante comum e por isso torna-se importante a análise das águas para esse uso específico.

O diagrama da US *Dept. of Agriculture*, na Figura 57, quantifica por classes e determina a qualidade das águas para irrigação, analisa o risco de salinização e o risco de sódio nas amostras disponíveis.

Ao todo foram plotadas nove amostras, apenas uma caiu na faixa para baixo nível de risco de salinização e risco de sódio; cinco amostras foram classificadas como médio risco de salinização, onde três são baixo risco de sódio e as outra duas são médio e forte risco para o sódio. Três amostras apresentam alto risco de salinidade, duas com baixo e outra com muito forte risco de sódio.

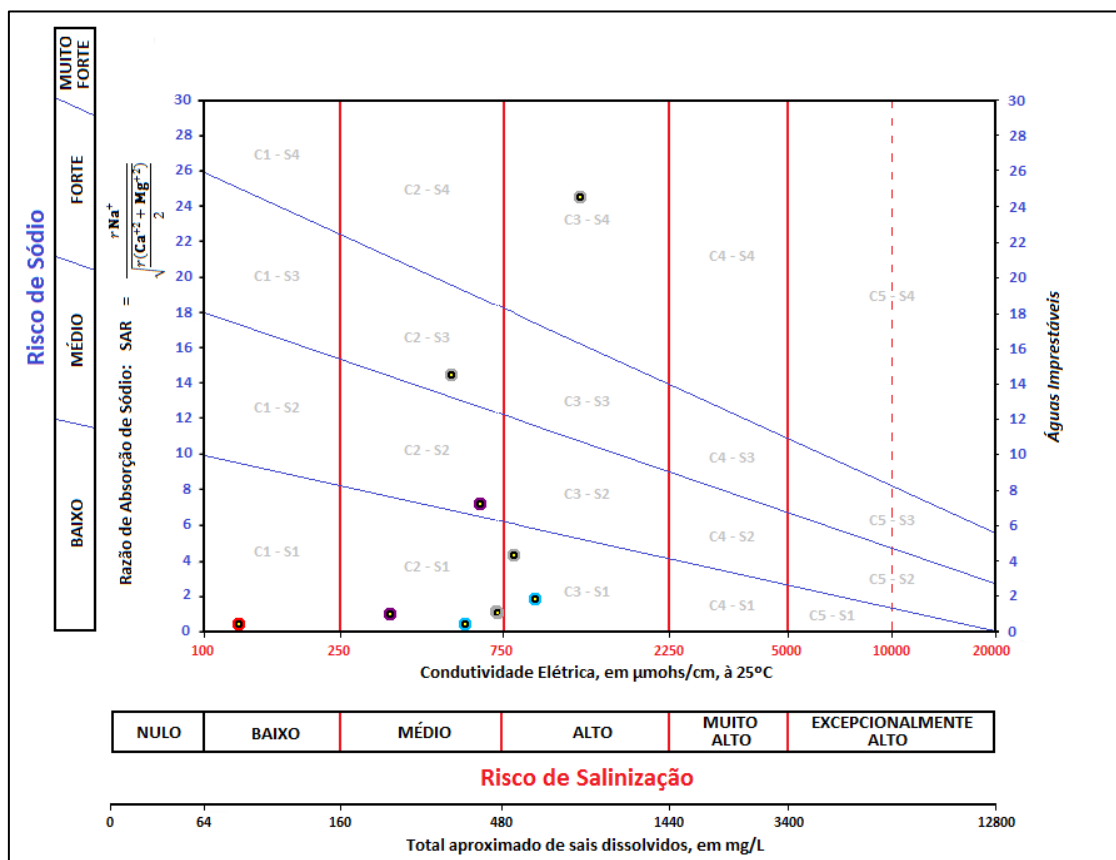


Figura 57. Diagrama da US *Dept. of Agriculture*

Em azul estão os pontos considerados como "Camada 1", as duas amostras apresentam baixo nível de sódio e médio a alto risco de salinidade. Os pontos roxos representam as "Camadas 1 e 2" e situam-se entre um baixo a médio risco de sódio e um médio risco de salinização. O ponto vermelho, classificado como "Camadas 1,2,3 e 4" apresenta baixos níveis para ambos. Já os pontos cinzas no diagrama correspondem aos poços que não foi possível determinar as camadas, esses variaram entre médio e alto risco de salinização e muito baixo a muito forte risco de sódio.

O uso de água subterrânea para irrigação na região deve ser bem avaliado, pois há risco de salinização do solo, bem como de sódio.

4.3.6. Potabilidade das Águas do Aquífero Rio Bonito

As informações sobre os valores máximos permitidos (VMP) dos componentes organolépticos e inorgânicos da água foram retirados da Portaria de Consolidação nº5 de 28 de setembro de 2017.

Abaixo, na Tabela 11 estão apresentados os valores estatísticos encontrados para os parâmetros considerados organolépticos, isto é, componentes da água que podem ser perceptíveis aos sentidos humanos.

Os cloretos estão presentes nas águas do aquífero com valores mínimos de 2,4 mg/L, máximo de 26,45 mg/L, consideravelmente abaixo do valor máximo permitido (250 mg/L), a média para os valores analisados foi de 26,45 mg/L.

O ferro apresentou valores mínimos de 0,001 mg/L, máximos de 1,3 mg/L e média de 0,23 mg/L, dos valores apenas uma amostra estava acima do VMP (0,3 mg/L). Esse poço está localizado no centro da cidade de Hulha Negra (UTM 227200/ 6521850), próximo a uma loja de materiais de construção, vidraçaria e ferragem.

Tabela 11. Valores estatísticos dos parâmetros organolépticos da água, com VPM, número de dados analisados e n° de dados acima do VPM.

	Cloretos (mg/L)	Ferro (mg/L)	Sódio (mg/L)	Sulfato (mg/L)
Valor Mínimo	2,4	0,001	3,8	10,59
Valor Médio	26,45	0,23	63,83	59,53
Valor Máximo	68	1,3	200	188
Desvio Padrão	21,11469473	0,34307082	67,34502437	50,26693126
VPM	250	0,3	200	250
N° de dados	13	13	13	14
N° de dados acima do VPM	0	1	2*	0

*não ficaram acima, mas valores muito próximos de 200 mg/L.

Nas amostras analisadas a quantia mínima de sódio foi de 3,8 mg/L e a máxima de 200 mg/L, nenhuma das amostras ultrapassou o VPM, entretanto, duas delas ficaram muito próximas de ultrapassar. Um deles localizado próximo à localidade de São Pedro (UTM 232336/6492340) e o outro em meio a uma plantação de soja (UTM 226275/6495913) com valor de 198 mg/L, a condutividade elétrica chegou a 1242 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e no diagrama da *US Dept. of Agriculture* apresentou forte risco de sódio.

A presença de sulfatos mínima é de 10,59 mg/L e a máxima é de 188 mg/L, todos os 14 valores analisados estão abaixo do VPM (250 mg/L), a média é de 59,53 mg/L.

Na Tabela 12 estão apresentados os valores estatísticos dos parâmetros inorgânicos medidos.

Tabela 12. Valores estatísticos dos parâmetros inorgânicos da água, com VPM, número de dados analisados e n° de dados acima do VPM.

	Fluoreto (mg/L)	Manganês (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Valor Mínimo	0,1	0,01	0,05
Valor Médio	0,71	0,046	2,5
Valor Máximo	2,96	0,065	17,7
Desvio Padrão	0,861761845	0,02596151	6,143184875
VPM	1,5	0,1	10
N° de dados	14	4	8
N° de dados acima do VPM	2	0	1

O fluoreto (F⁻) é considerado como um dos principais constituintes tóxicos e carcinogênicos. O valor mínimo encontrado foi de 0,1 mg/L e o máximo de 2,96 mg/L, ambos dados com altos teores de fluoretos são advindo dos poços visitados em campo, o primeiro já mencionado, com alto teor de sódio, localizado em meio à plantação de soja (UTM 226275/6495913) tem o valor de 2,96 mg/L e o segundo (UTM 228139/6469516), próximo ao Passo da Castelhana, onde há uma surgência em que as pessoas locais vão buscar água, com o valor um pouco mais baixo de 2,3 mg/L, porém ainda assim, com nível considerável de fluoretos, esse ponto também localiza-se próximo à plantações de soja. A média para as 14 amostras analisadas é 0,7 mg/L.

O manganês analisado nas amostras encontram-se todos abaixo do VMP (0,1 mg/L), com mínimo de 0,001mg/L e máximo de 0,065 mg/L. A média para as quatro amostras foi de 0,046 mg/L.

O valor mínimo de nitrato foi de 0,05 mg/L, máximo de 17,7 mg/L, a média para 8 amostras analisadas foi de 2,5 mg/L, quatro vezes menor que o máximo permitido (10 mg/L). O poço com valores de nitrato acima do permitido está localizado no centro de Hulha Negra (UTM 227200/ 6521850), na esquina da Rua Landeli da Costa com a Av. Álvaro Lopes Brasil, é o mesmo que apresentou alto nível de ferro (1,3 mg/L), indicando que há problemas de contaminação.

De maneira geral as amostras analisadas estão dentro dos padrões de potabilidade, com a exceção de quatro poços que apresentaram dados acima dos VMP.

4.5 AVALIAÇÃO DO ASPECTO TRANSFRONTEIRIÇO DO AQUÍFERO RIO BONITO E CORRELAÇÃO COM OS DADOS HIDROGEOLÓGICOS DO URUGUAI

Ao final dos primeiros cinco anos do programa UNESCO/OEA ISARM Américas (Sistemas aquíferos Transfronteiriços das Américas) foi elaborado um importante inventário dos aquíferos transfronteiriços identificados nas Américas, totalizando um significativo número de 68 aquíferos compartilhados em todo continente e 29 deles estão localizados na América do Sul (ISARM, 2007). Entre eles foi identificado o Sistema Aquífero Permo-Carbonífero, localizado na fronteira entre Brasil e Uruguai. Entretanto o inventário apenas o identifica, trazendo informações ainda pouco expressivas sobre geometria, fluxo, produtividade e qualidade das águas desse aquífero.

O capítulo em questão não tem por objetivo aprofundar essas questões, ou trazer respostas definitivas sobre o aquífero que hoje é chamado de maneira genérica de Sistema Aquífero Permo-Carbonífero, mas trazer à luz dados que possam servir de norte para os estudos posteriores que visem à gestão transfronteiriça do recurso e demonstrar que o aquífero em enfoque tem uma importância estratégica maior do que havia sido suposto, não apenas por ser uma zona onde existe um déficit de abastecimento de água, mas também pelos novos dados hidrodinâmicos que demonstraram grande potencial produtivo em alguns poços do lado uruguaio.

4.5.1 Levantamento do Marco Legal e Institucional na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneas para o Brasil e o Uruguai

A partir do levantamento do marco legal e institucional elaborado pelo ISARM (2007), foi possível elaborar o Quadro 5, onde ficam visíveis os pontos institucionais convergentes que podem auxiliar nos futuros projetos de cooperação bilaterais e os que podem oferecer desafios para esses projetos tenham efetividade prática no âmbito da gestão das águas subterrâneas transfronteiriças.

Em relação ao marco jurídico a nível transfronteiriço, alguns acordos bilaterais entre Uruguai e Brasil relacionados à gestão de Recursos Hídricos já foram

firmados, no Quadro 1 não foram considerados tratados e acordos firmados com outros países da América Latina, mesmo que incluam Brasil e Uruguai, com exceção ao Acordo do Aquífero Guarani por tratar do tema dos aquíferos transfronteiriços e ser um marco no tema.

O **Acordo do Aquífero Guarani**, foi primeiro acordo firmado na América do Sul que trate especificamente sobre o tema dos aquíferos transfronteiriços, porém ainda não entrou em vigor (uma vez que até o momento o Paraguai, embora tenha assinado o acordo, ainda não o entregou a chancelaria do Brasil, depositário oficial do acordo).

Entretanto percebe-se que existe um histórico de tratados e acordos bilaterais entre os dois países.

A nível nacional os dois países tem mecanismos similares, ambos consideram ser de bem público os recursos hídricos e apresentam dispositivos legais e constitucionais que oficializam tal afirmação. Entretanto, a nível legislativo as leis adotadas caminham para lados contrários. Uruguai apresenta um dispositivo principal que é o **Código de Águas**, decreto-lei N°14. 859 de 15/12/78 estabelecendo que o poder executivo seja responsável por administrar no tocante à qualidade e quantidade a disponibilidade de água, os órgãos relacionados a essas questões são diretamente vinculados ao Ministério da Moradia, Ordenamento Territorial e Meio Ambiente (MVOTMA), que são a Direção Nacional de Meio Ambiente (DINAMA), que tem responsabilidade sobre a **qualidade** das águas e a Direção Nacional de Águas (**DINAGUA**), responsável pela quantidade.

A Lei de Águas nº 9433/97 de 08/01/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, que estabelecem as principais diretrizes que coordenam a gestão da água no Brasil. A Agência Nacional de Águas (ANA) é uma instituição nacional de gestão dos recursos hídricos, recentemente passou a integrar a estrutura do Ministério do Desenvolvimento Regional, estabelecida por meio do Decreto 9.666/19, que também incorporou a competência sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Entretanto, no Brasil cada Estado da União é responsável pela gestão dos seus recursos hídricos e as instituições

de meio ambiente de cada estado se ocupam em determinar como se deve proceder aos trâmites relacionados às águas.

No presente trabalho o estado responsável pelos recursos hídricos do aquífero transfronteiriço Permo-Carbonífero é o Rio Grande do Sul, este possui seus próprios decretos que dispõem sobre a regulamentação, controle, monitoramento e fiscalização dos recursos hídricos, as principais estão mencionadas no quadro.

Quadro 5. Aspectos legais e institucionais relevantes sobre a gestão dos recursos hídricos do Uruguai e do Brasil. Fonte: Marco Legal e institucional na Gestão dos Sistemas Aquíferos Transfronteiriços das Américas, ISARM (2007).

Informações Legais e Institucionais relevantes sobre a Gestão dos Recursos Hídricos (Uruguai/Brasil)		
	URUGUAI	BRASIL
MARCO JURÍDICO		
Nível Transfronteiriço	<p>Alguns acordos Bilaterais entre Uruguai e Brasil relacionados à gestão de Recursos Hídricos (<i>não foram considerados outros tratados e acordos firmados com outros países da América Latina com exceção ao Acordo do Aquífero Guarani</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tratado de Cooperação para o Aproveitamento dos Recursos Naturais e Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim e o Protocolo para o Aproveitamento dos Recursos Hídricos da Zona Limítrofe do Rio Jaguarão, do dia 17/2/78, Anexo ao Decreto 81.351, entre Uruguai e Brasil; - Acordo de Cooperação Brasil-Uruguai para o Aproveitamento dos Recursos Naturais e Desenvolvimento da Bacia do Rio Quarai (11/3/1991); - Tratado do Chuí (11/3/2001). - Acordo do Aquífero Guarani, primeiro acordo firmado na América do Sul que trate especificamente sobre o tema dos aquíferos transfronteiriços, especificamente do Aquífero Guarani, porém ainda não entrou em vigor. 	
Nível Nacional		
Nível Constitucional	A política nacional de águas e saneamento no Uruguai é resultado do Art.47 da Constituição , que foi reformulada em 2004, adotando como princípio que as águas superficiais e subterrâneas constituem um recurso unitário. Ou seja, os recursos subterrâneos são de responsabilidade da União.	A Constituição Federal de 1988 determina que os recursos hídricos são um bem de domínio público e institui o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, mas a responsabilidade de gestão dos recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos é de responsabilidade estatal.
Nível Legislativo	Código de Águas , decreto-lei Nº14. 859 de 15/12/78 estabelece que o poder executivo seja responsável por administrar no tocante à qualidade e quantidade.	Lei 9.433 de 08/01/1997, ou Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. A Lei Nº 9.433/97, resolução CNRH nº16, de 08/5/2001 estabelece critérios gerais de outorga. - Lei Nº9. 984 (17/07/2000) cria a Agência Nacional de Águas. No Rio Grande do Sul , o decreto Nº 42.047, de 26/12/2002, que regulamenta a Lei 10.350, de 30/12/1994 (Lei que institui o Sistema Estadual de Gestão de Recursos Hídricos), traz alterações sobre a gestão dos aquíferos e das águas subterrâneas. Decreto Nº42. 047, de 26/12/2002, estabelecem regramentos sobre a gestão de águas subterrâneas, com medidas mais rigorosas para o planejamento de uso, outorga e fiscalização.

Informações Legais e Institucionais relevantes sobre a Gestão dos Recursos Hídricos (Uruguai/Brasil)		
	URUGUAI	BRASIL
Nível Regulatório	Em relação à regulação das águas subterrâneas transfronteiriças com o Brasil: Projeto Piloto Rivera-Santana , do Projeto Sistema Aquífero Guaraní, aprovou uma normativa exclusiva para a zona. Designou-se uma Comissão Binacional e declarou-se interesse municipal do Projeto por resoluções da Prefeitura de Rivera e da Prefeitura de Santana do Livramento.	
MARCO INSTITUCIONAL		
Organismos Binacionais	Comissão Mista Brasil-Uruguai: Estabelecida por meio do intercâmbio de correspondências, constituindo um acordo, firmado em 26/04/63 entre Brasil e Uruguai que estabeleceu a Comissão Mista Brasileira-Uruguiaia para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim cuja regulamentação no lado Brasileiro se dá pelo Decreto nº4. 258, de 04/06/2002. / Organismo Binacional de Gestão Local	
Organismos Nacionais	Poder Executivo, Ministério da Moradia, ordenação territorial e Meio Ambiente (MVOTMA), Direção Nacional de Meio Ambiente (DINAMA), que tem responsabilidade sobre a qualidade das águas e a Direção Nacional de Águas (DINAGUA).	Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA) , que fazia parte do Ministério do Meio Ambiente e passou a integrar o Ministério do Desenvolvimento Regional , estabelecido pelo Decreto 9.666/2019 que também passou incorporou a competência sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos .

Importante destacar que já existem comissões binacionais formadas entre os países, são essas: a Comissão Mista Brasileira-Uruguaia para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim e a Comissão Binacional do Projeto Piloto Rivera-Santana, do Projeto Aquífero Guarani, que tem normativas exclusivas entre as prefeituras.

Fica demonstrado, portanto que já existem projetos de cooperação entre os dois países e futuros acordos que visam à prevenção de conflitos e estabelecem uma cooperação técnica científica são possíveis de se estabelecer, mesmo com as diferenças no marco judicial de cada país.

4.5.2 Aspectos Geológicos

As Formações *Tres Islas* e *Fraila Muerto* são duas, das nove formações que integram a megassequência permocarbonífera denominada de Grupo *Cerro Largo* (Goso 1995, Goso *et al.* 1996), ambas tem idade eopermiana. São correlatas as formações brasileiras, entretanto há ressalvas sobre a correlação direta, uma vez que usam critérios litoestratigráficos diferentes nos dois países para delimitar os limites de cada formação, no Uruguai usam as propostas litoestratigráficas propostas por Bossi (1966), de Santa Ana (1989), de Santa Ana & Ucha (1994) e Andreis *et al.* (1996b).

No Quadro 6 está disposto as correlações entre as camadas permianas do Uruguai e do Brasil. Capeci (2013) adverte que embora as Formações mantenham uma reciprocidade e podem ser correlacionadas há maior quantidade de estudos disponível no lado brasileiro, tanto no âmbito estratigráfico, como no que tange à hidrogeologia.

Para o presente trabalho, entretanto, não será discutido os limites estratigráficos de cada formação uma vez que enfoque é a caracterização do aquífero que se dá pela continuidade física dessas formações, que na região ocorre onde não existe o soerguimento do embasamento na fronteira, como acontece na fronteira de Aceguá.

Quadro 6. Correlação entre as Formações permianas do Uruguai e do Brasil. Fonte: Modificado de Capecí (2013)

Uruguai	Brasil	Período
<i>F. Yaguari</i>	Gr. Passa Dois - F. Rio do Rastro	Permiano Médio
<i>F. Paso Aguiar</i>	Gr. Passa Dois - Subgrupo Estrada Nova - F. Serra Alta Teresina	Eo Permiano
<i>F. Mangrullo</i>	Gr. Passa Dois - F. Iratí	Eo Permiano
<i>F. Fraile Muerto</i>	Gr. Guatá- F. Palermo	Eo Permiano
<i>F. Tres Islas</i>	Gr. Guatá - F. Rio Bonito	Eo Permiano
<i>F. San Gregorio</i>	F. Itararé	Carbonífero Superior a Eo Permiano

Formação *Tres Islas*

Está constituída por uma sucessão de arenitos cinza a avermelhados, predomínio de finos e médios, com estratificação cruzada, estratificação plano paralela. Ocasionais níveis de carvão e pelitos com restos carbonosos, na parte superior das unidades (Veroslavsky *et.al* 2003).

A Formação *Tres Islas* é dividida em dois membros: inferior e superior.

O membro inferior que compõe a base da unidade está composto por arenitos médios a grossos, apresentam estratificação cruzada de médio a grande porte e pode-se encontrar arenitos conglomeráticos e conglomerados. Aflora na parte sudeste da Bacia do Norte, em alguns pontos é possível observar o contato abrupto e erosivo com a Formação *San Gregorio* (Figura 58).

O membro Superior que está no topo da Formação *Tres Islas* (*Cerro La Valeriana*) caracteriza-se pela presença de arenitos finos quartzosos a micáceos. Presença de marcas de onda e estruturas do tipo *Hummocky*, com

níveis de pelitos intercalados e presença de carvões. O pacote foi interpretado como sendo a transição de um de um pró-delta e a plataforma marinha.

As maiores espessuras, da Formação *Tres Islas* se encontram justamente no limite da fronteira com o Brasil (Santa Ana, 2004), com o município de Pedras Altas, Hulha Negra e Candiota, indicativo da continuidade física da Formação *Tres Islas* / Rio bonito.

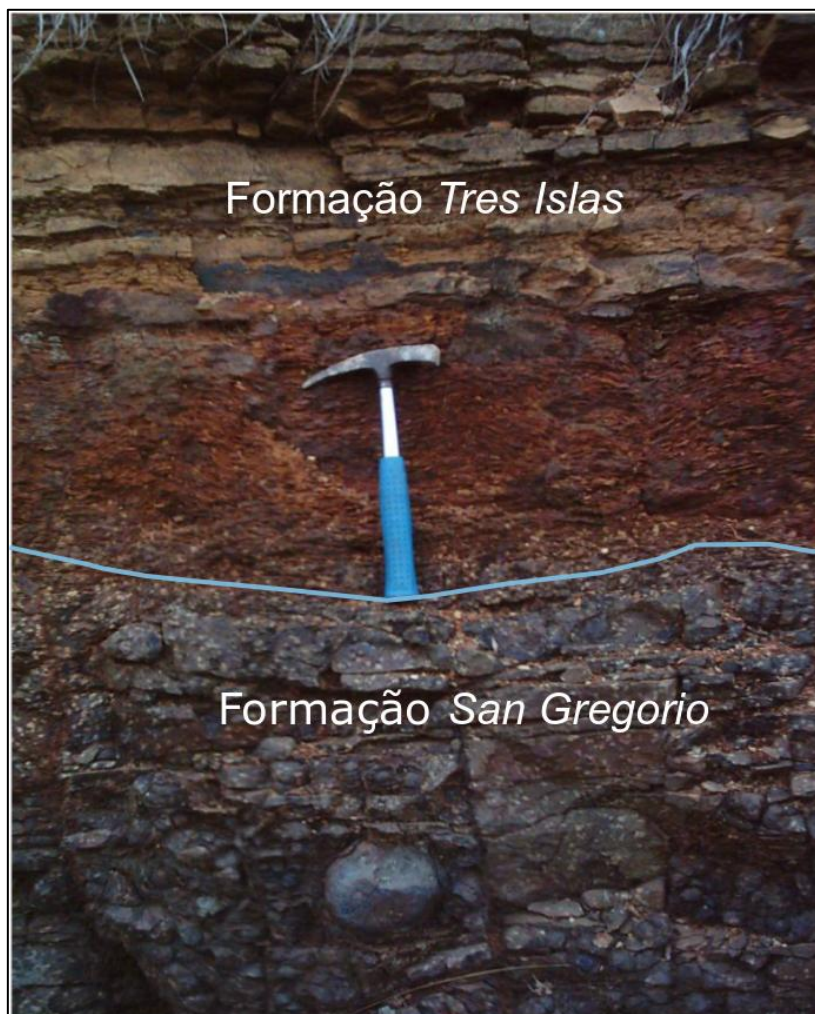


Figura 58. Contato abrupto entre Formação *San Gregorio* e Formação *Tres Islas* próximo a Melo, localidade próxima a fronteira do Brasil. Fonte: Modificado de Capeci (2013).

Formação *Fraile Muerto*

Os limites da formação *Fraile Muerto*, antigamente chamada de Palermo (Falconer, 1931), o termo *Fraile Muerto* foi calcado por Caorsi & Goño (1958) foram definidos por Santa Ana (2004), reuniu o conjunto de litologias de pelitos cinzas a negras, laminadas, fóssilíferas, localmente bioturbadas, com

intercalações de arenitos finos a muito finos de cor branca a cinza claro com estratificação plano paralelas, com marcas de ondas, com níveis calcários associados (Figura 59).

É importante observar parte do que é considerado no Brasil, como níveis superiores da Formação Rio Bonito, no Uruguai, assim que iniciam os níveis de pelitos e carvão a Formação passa a ser *Fraile Muerto*.

Portanto, sabe-se que a unidade aquífera compartilhada, para que possa se fazer a correlação é a Unidade Aquífera basal da Formação Rio Bonito e da Formação *Tres Islas*.

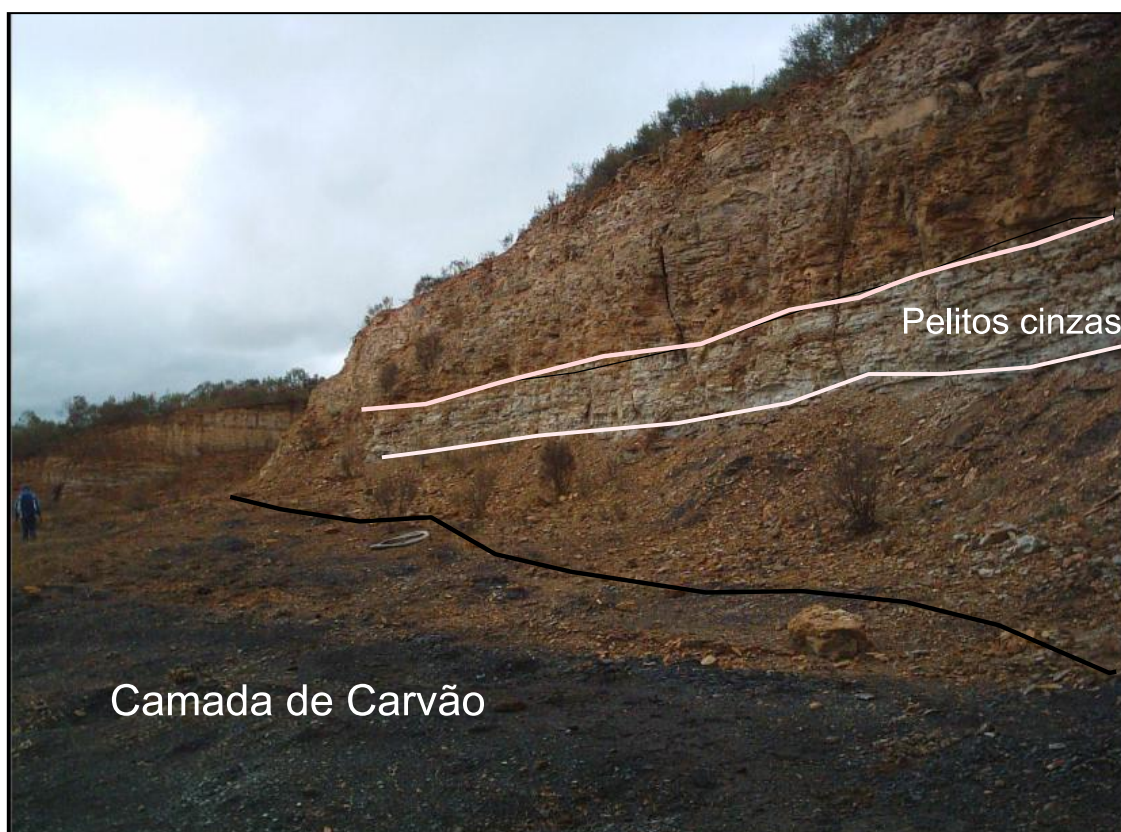


Figura 59. Afloramento do que é considerado Formação *Fraile Muerto* no Uruguai, próximo a cidade de Melo. Fonte: Modificado de Capeci (2013).

4.5.3 Aspectos Hidrodinâmicos

O Aquífero *Tres Islas* foi definido por Capeci (2013) como um aquífero de comportamento livre em alguns setores e confinado pelos sedimentos pelíticos cinzas das Formações *Frayle Muerto*, *Mangrullo* e *Paso Aguiar* em outro setor à sudoeste de Melo (UY), município próximo a fronteira.. Ambos, livre e confinado apresentando alto conteúdo de sais (resíduo seco de 1.300mg/L e 2.000mg/L, respectivamente) com muito baixa a baixa produtividade.

A espessura média das camadas da Formação *Tres Islas* foi considerada 60 m e média da profundidade dos poços de 65m, a essas profundidades as vazões associadas eram de no máximo 12m³/h, mas a grande maioria dos poços apresentavam vazões entre 1 a 6 m³/h.

Ao final do estudo Capeci (2013) concluiu que o Sistema Aquífero *Tres Islas/Rio Bonito* tem maior produtividade no lado brasileiro: diminuindo em direção à fronteira do Uruguai.

Entretanto, novos poços foram perfurados, alguns pela OSE (*Obras Sanitarias del Estado*) do Uruguai, na região de Isidoro Noblía, localidade uruguaia próxima à fronteira e as vazões dos poços, que captam água do Aquífero *Tres Islas* chegaram 50 m³/h. Entretanto como mostra a Tabela 13 com os dados desses poços, cedidos pelo Centro para Gestão das Águas Subterrâneas da América e do Caribe (CeReGAS), demonstram que a profundidade para alcançar as vazões mais consideradas mais produtivas há que ir mais fundo, alcançando até 200m da Formação *Tres Islas*.

Tabela 13. Informações sobre os poços que extraem água da Formação *Tres Islas* na localidade de Isidoro Noblía. Fonte: Dados cedidos pelo CeReGAS.

Poços Isidoro Noblía	UTM E	UTM N	Prof. (m)	Vazão (m ³ /h)	Nível Estático	Formação
IN_1	762723	6462048	200	>50	Surgente	Tres Islas (Setor Confinado)
IN_2	771998	6461087	168	>40	Surgente	
IN_3	768873	6451726	172	>40	ND	
IN_4	767143	6450683	120	20	ND	

Esses novos dados hidrogeológicos do aquífero da Formação *Tres islas* demonstra que o aquífero em questão, outrora considerado de muito baixa a baixa produção, possui grande potencial aquífero. As profundidades dos poços que alcançam as maiores vazões são todas maiores que 150 m, indicando que as camadas mais superficiais da Formação *Tres Islas* não alcançam essas vazões.

A conclusão de Capeci (2013) que havia uma diminuição da potencialidade do Aquífero Rio Bonito/*Tres Islas* em direção ao Uruguai pode ser descartada, com os dados acima apresentados.

Abrindo questões sobre a discussão de recarga e descarga desse aquífero, antes entendia-se que a recarga acontecia no lado brasileiro, porém com as novas informações existe grande possibilidade de haver uma zona de recarga também no lado uruguaio da fronteira.

4.5.4 Estudos futuros sobre Aquífero Rio Bonito/*Tres Islas*

O objetivo do capítulo sobre o aspecto transfronteiriço do Aquífero Rio Bonito era, justamente, apresentar dados que corroborem para a divulgação e o conhecimento dessa área de pesquisa que recentemente vem ganhando espaço na área da hidrogeologia: a gestão de aquíferos transfronteiriços.

Não se exaure aqui as discussões sobre o tema, , ao contrário, pretende-se com esse capítulo demonstrar que existe muito para ser estudado sobre o Sistema Aquífero Permo Carbonífero, descrito por Kettelhut *et. al* (2007) de maneira superficial. Os dados que foram apresentados no capítulo demonstram a necessidade de diferenciar o Sistema Aquífero Permo-Carbonífero e considerar como um aquífero individualizado o Aquífero Rio Bonito/*Tres Islas*.

Para tanto existe a necessidade aprofundar o conhecimento do aquífero sobre alguns aspectos apontados a seguir.

A continuidade física deve ser verificada: a partir dos dados apresentados é possível inferir que existe uma continuidade física entre as formações *Tres Islas/ Rio Bonito*, porém é necessário um estudo mais

detalhado sobre a estratigrafia das Formações dos dois lados da fronteira, a partir da análise de seções que permitam confirmar tal continuidade física.

Ao contrário do que era esperado pelos dados de Capeci (2013) o Aquífero *Tres Islas* não possui dados de vazão menores que em relação ao Aquífero Rio Bonito, ao contrário. Os dados das vazões demonstram que o Aquífero *Tres Islas* apresenta valores de vazão mais altos que os valores máximos no lado brasileiro.

Portanto, as futuras discussões sobre a recarga e a descarga do Aquífero Rio Bonito/*Tres Islas* deverá levar em consideração as potencialidades encontradas próximas à fronteira do Uruguai (próximo à localidade de São Diego, divisa com Pedras Altas, município brasileiro).

Deve-se considerar também que no município de Aceguá essa continuidade física não existe, pois ao sul existe o escudo uruguaio soerguido, que impede a passagem do aquífero. Deve ser investigado se essa continuidade existe à oeste, onde não há mais o alto do embasamento.

Com a aprovação da segunda etapa do projeto de cooperação do Aquífero Guarani (aquífero transfronteiriço entre quatro países da América Latina), concomitantemente com a aprovação, por parte da OEA (Organização dos Estados Americanos) para a atualização das publicações do Programa ISARM para os aquíferos Transfronteiriços das Américas, não restam dúvidas sobre a importância do tema.

Espera-se, que esse capítulo possa oferecer um norte para o estudo do Aquífero Rio Bonito/*Tres Islas*, ainda pouco conhecido e localizado em uma zona onde a demanda por água subterrânea é cada vez mais latente.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Aquífero Rio Bonito (ARB) é a principal fonte de água subterrânea nos municípios de Hulha Negra e Candiota, onde a maioria dos poços tubulares instalados nos municípios captam água da Formação Rio Bonito, realidade diferente para o município de Aceguá, onde os poços extraem a água do Sistema Aquífero Embasamento III.

A situação dos poços que captam água da Formação Rio Bonito é bastante diversa, mas em sua maioria estão bombeando e equipados, ainda que necessitem de manutenção e monitoramento mais adequado, uma vez que o abastecimento urbano e doméstico são os principais usos da água subterrânea. Além de poços tubulares, pode-se encontrar poços escavados e diversas surgências, essas estão concentradas na região central da área de estudo, entre Hulha Negra e Candiota, local com bastante influência de falhamentos e a julgar pela forte pressão com que água surge, possuem um indicio de forte confinamento.

A caracterização geológica foi efetuada a partir da construção seção de correlação estratigráfica *strike* e *dip* utilizando o *datum* de inundação máxima do Palermo, onde se definiu quatro grupos de arenitos, relacionando-os com os ambientes deposicionais e determinando pela interpretação do Raio Gama a presença ou não de argilominerais. Definiu-se, assim, que os arenitos do grupo 1 possuem folhelhos intecalados e estão relacionados ao sistema deposicional marinho raso; grupo 2 com baixo conteúdo de finos e ambiente de barreira (sub-sistema); grupo 3 com baixo conteúdo de finos, típicos de ambientes estuário-lagunar e grupo 4 com arenitos intercalados com folhelhos associado a um ambiente fluvio-deltaico.

Com as potenciais camadas aquíferas definidas pelos grupos de arenitos seccionados nas seções de correlação estratigráficas, foi utilizada a seção *strike* como base para o modelo hidrogeológico conceitual que definiu quatro camadas aquíferas para o ARB, os furos de sondagem foram ajustados segundo a cota do terreno, para aproximar o modelo da realidade topográfica.

A partir do modelo também pode-se confirmar que existe uma forte influência das falhas da região na dinâmica das águas subterrâneas.

Para uma tentativa de análise mais aprofundada dessas camadas, tanto para a caracterização hidrogeológica, como hidroquímica, as cotas do terreno dos poços foram relacionadas com as dos furos de sondagem das correlações *strike* e *dip* e a partir da profundidade final do poço se inferiu quais as camadas aquíferas o poço interceptava.

Os parâmetros hidrogeológicos e hidroquímicos foram analisados de maneira geral e também para os poços que interceptavam uma ou mais camadas do modelo.

Os valores mais altos de vazão e capacidade específica foram relacionados aos poços que interceptam as quatro camadas (30 m³/h e 6,25 m³/h/m) e as profundidades dos poços demonstraram que grande parte dos poços não chega a penetrar essa camada de maneira efetiva. Podendo ser esta uma das razões do aquífero apresentar as baixa a muito baixa produtividade na maioria dos poços.

A caracterização hidroquímica contou com análise de 14 poços, de maneira geral os poços apresentam pH fracamente alcalino, com a média de 20,9°C e valores altos de Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) em alguns poços, com valor máximo para 2670 µS/cm e 973 mg/L, respectivamente.

A análise dos parâmetros hidroquímicos em poços que interceptam uma ou mais camadas indicou uma concentração alta de CE e STD para as camadas 1 e 2 e a diminuição progressiva dos mesmos para as camadas profundas, tal fato foi relacionado com o paleoambiente marinho raso da camada aquífera superficial, por apresentar um maior teor de carbonatos na sua mineralogia.

As águas das amostras analisadas foram classificadas em sua maioria como bicarbonatadas sódicas e cálcicas, com baixo a alto risco de salinização e baixo a forte risco de sódio, apenas quatro poços apresentaram valores acima do permitido para os componentes organolépticos e inorgânicos, um

deles localizado no centro da cidade de Hulha Negra apresentou níveis de ferro e nitrato acima dos valores máximos permitidos indicando que há problemas de contaminação. Entretanto, pode-se considerar que as águas do ARB apresentam padrões aceitáveis de potabilidade.

A construção da tabela comparativa entre os marcos jurídicos e institucionais do Brasil e do Uruguai demonstrou que já existem acordos de cooperação entre os países citados, isto significa que institucionalmente já existem meios formais de cooperação, o que facilita as transições para um possível plano de gestão para o Aquífero Rio Bonito/Tres Islas que seja pensado de maneira intergovernamental. Vazões de até 50m³/h foram registradas no lado Uruguaio, mostrando que esse é um aquífero ainda pouco estudado e pode se tornar estratégico para região, mas é necessário aprofundar os estudos no Aquífero Rio Bonito/Tres Islas para saber onde de fato existe a continuidade, qual as zonas de recarga para ambas as fronteiras e não mais chama-lo genericamente de Sistema Aquífero Permo-Carbonífero.

Assim, considerando as informações hidrogeológicas e hidroquímicas apresentadas neste trabalho, recomenda-se que para definir a profundidade final de novos poços se leve em consideração as especificidades das camadas aquíferas aqui apresentadas. Sugere-se também que para definição da posição do filtro de novos poços na área seja feito uma perfilagem geofísica para determinar quais as profundidades de entrada de água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTOLUZZI, C. A.; AWDZIEJ, J.; ZARDO, S. M. **Geologia da Bacia do Paraná em Santa Catarina**. In: SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. (Ed.). Textos básicos de Geologia e recursos minerais de Santa Catarina: Mapa geológico do Estado de Santa Catarina. Texto explicativo e mapa -Escala 1:500.000. Florianópolis: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1987. n. 1, p. 135-167.

CANDIOTA decreta situação de emergência e adota racionamento. **Jornal Minuano**, Bagé, 10 de fev. de 2018. Disponível em: <http://www.jornalminuano.com.br/noticia/2018/02/10/candiota-decreta-situacao-de-emergencia-e-adota-acionamento>> Acesso: 18.set.2019

CAPECI, S. **Estudio Hidrogeológico del Sistema Acuífero Carbonífero Pérmico Uruguayo**. 2013. 180 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Facultad de Ciências, Universidad de la República, Montevideo, 2013.

FREITAS, M.A., LOPES, R. C. GOFFERMANN, M., TREIN, H.A. & GASPARANI, C. 2010. **Utilização da Camada Candiota como guia para prospecção de água subterrânea em Candiota e Hulha Negra-RS**. In: CONGRESSO BRA-SILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2010. São Luiz. *Anais...*, São Luiz, ABAS, 1 CD-ROM

FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J.; BARCELOS, J. H. 1991. **Formação Tietê: o pós-glacial no Estado de São Paulo**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 1991, São Paulo. Atas. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1991. p. 397-404.

GOFFERMAN, M., VIERO, A.P. & TREIN, H. 2012. **Caracterização Hidrogeológica do Sistema Aquífero Palermo- -Rio Bonito na Região Sul do Município de São Gabriel, RS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17, 2012. Bonito. *Anais...*, Bonito, ABAS, 1 CD-ROM

GOFFERMANN, M., VIERO, P. A, SILVA, E. B da, 2015. **Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da região de São Gabriel, RS**. Pesquisas em Geociências, 42 (3): 239-261, set./dez. 2015 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

HOLZ M. **Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system - an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil**. Sedimentary Geology, 162: 305-331. 2003.

HOLZ, M., KUCHLE, J.,PHILIPP, R.P., BISCHOFF, A.P., ARIMA, N. 2006. **Hierarchy of tectonic control on stratigraphy signatures: base-level changes during the Early Permian in the Paraná Basin, southernmost Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 22:185-204.

KIRCHHEIM, R.E., GOFFERMANN, M. & FREITAS, M.A. 2012. **Água Subterrânea na Formação Rio Bonito: Alternativa para atendimento das demandas em assentamentos rurais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17, 2012. Bonito. *Anais...*, Bonito, ABAS, 1 CD-ROM

LAVINA, E. L.; LOPES, R. C. A **transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul.** Paula-Coutiana, v. 1, p. 51-103, 1987.

MACHADO, José Luiz Flores; FREITAS, Marcos Alexandre de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul:** relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 CD-ROM Escala 1:750.000.

MILANI, E. J.; FACCINI, U. F.; SCHERER, C. M. S.; ARAÚJO, L. M.; CUPERTINO, J. A. **Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil.** Boletim IG-USP, São Paulo, p. 125-173. nov. 1998. (Série Científica, n. 29).

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. **Bacia do Paraná.** Boletim de Geociências da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, jan./mar. 1994.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental.** 1997. 225 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

NORTHFLEET, A. A.; MEDEIROS, R. A.; MÜHLMANN, H. **Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná.** Boletim Técnico da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v.12, n.3, p. 291-346, jul./set. 1969.

PROGRAMA ESTRATÉGICO DE AÇÃO AQUÍFERO GUARANI: **Programa de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Aquífero Guarani.** Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Janeiro, 2009. Disponível em: . Acesso em: 7 jan. 2013.

RACIONAMENTO de água já é realidade em Hulha Negra e Candiota não descarta. **Jornal da Tribuna**, Candiota, 19 de dez. de 2017 Disponível em: <<http://tribuna.dominioserver.com.br/racionamento-de-agua-ja-e-realidade-em-hulha-e-candiota-nao-descarta/>>. Acesso: 18.set.2019

ROISENBERG, C., FORMOSO, M.L.L., DANI, N., LOUBER, M. & POZOCO, E. 2008. **Caracterização e evolução geoquímica das águas subterrâneas da mina de Candiota (RS), Brasil.** *Revista Brasileira de Geociências*, 38 (4): 618-628

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais do...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. V.1, p. 41-65.

ANTUNES, SILVANA. HULHA NEGRA começa a racionar água. *In*: ANTUNES, SILVANA. **Hulha Negra começa a racionar água**. Candiota, 5 jan. 2019. Disponível em: <http://www.tribunadopampa.com.br/hulha-negra-comeca-a-racionar-agua>. Acesso em: 18 set. 2019.

SILVEIRA, M. C. de M. Aspectos **hidrogeológicos e hidrogeoquímicos do Aquífero Rio Bonito na Região de Candiota - RS.** / - Porto Alegre:IGEO/UFRGS, 2007. [100 f]. il. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia.

UNESCO/ISARM AMERICAS. **Acuíferos transfronterizos de las Américas. Aspectos socioeconómicos, ambientales y climáticos de los sistemas acuíferos transfronterizos de las Américas.** v. 3. Washington DC, 2010.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. D. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIERA, I. S.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. *In*: RAJA, GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Coord.). **Origem e Evolução das Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1990. p. 135-168.

7. ANEXOS

ANEXO I - Seção de correlação estratigráfica *STRIKE*

ANEXO II - Seção de correlação estratigráfica *DIP*

ANEXO III - Modelo Hidrogeológico para o Aquífero Rio Bonito.