



**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA UNIDADE AQUÍFERA
BARREIRA HOLOCÊNICA NA REGIÃO DE CASSINO, RIO GRANDE (RS)**

Porto Alegre, 2013

ELIEGE ALVES DO NASCIMENTO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA UNIDADE AQUÍFERA
BARREIRA HOLOCÊNICA NA REGIÃO DE CASSINO, RIO GRANDE (RS)**

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

Orientadores: Prof. MSc. Marcos Imério Leão
Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**Reitor:** Carlos Alexandre Netto**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS****Diretor:** André Sampaio Mexias**Vice-diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Nascimento, Eliege Alves do
Caracterização Hidrogeológica da Unidade Aquífera Barreira
Holocênica na região de Cassino, Rio Grande (RS) . / Eliege Alves do
Nascimento. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.
[67 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.Graduação em Geologia.Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR,2013.

Orientador:Pedro Antonio Roehe Reginato
Coorientador:Marcos Imério Leão

1.Barreira Holocênica .2.Caracterização hidrogeológica
.3.Hidroquímica .4.Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I .I. Título.
CDU 55

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Miriam Alves CRB 10/1947

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso "**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA UNIDADE AQUÍFERA BARREIRA HOLOCÊNICA NA REGIÃO DE CASSINO, RIO GRANDE (RS)**" elaborado por Eliege Alves do Nascimento, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ari Roisenberg

Prof. Dr. Rommulo Conceição

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Lauvir. És meu exemplo de força e luta. A tua ajuda e confiança foram fundamentais para a realização deste meu sonho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Aos meus pais, Lauvir e Sandra, por toda a confiança, apoio e amor incondicional ao longo de todos esses anos. Ao meu irmão pela paciência, amizade, respeito e amor.

Aos meus orientadores Pedro e Marcos. Não tenho palavras suficientes para expressar toda minha gratidão. Muito obrigada por toda a paciência, dedicação, ajuda, troca de experiências e conhecimento. Obrigada por ter acreditado e confiado em meu potencial.

Aos amigos que conquistei ao longo desses seis anos de graduação. Obrigada pela parceria e companheirismo. Pelas noites intermináveis de laboratório, pelos grupos de estudos, pelos conselhos, pelas festas, enfim por tudo de bom que vocês acrescentaram em minha vida. São pessoas que estarão para sempre em meu coração. Bina, Pi, Manu, Tami, Amandinha, Li, Duda, Gusta, Joãozinho, Iti e Dai.

Ao falar de amizade não posso esquecer-me de agradecer uma grande amiga (Lú), que mesmo há alguns km de distância sempre se mostrou presente em todos os momentos importantes da minha vida, fosse por telefone, por e-mail ou até mesmo através de um sms.

Ao meu supervisor de estágio Marcelo Goffermann. Obrigada pela oportunidade de estagiar sob tua supervisão. Pelas conversas, pela troca de conhecimento e experiência. É um grande profissional e o admiro muito.

A CPRM, por todas as experiências que adquiri ao longo desses dois anos de estágio.

A equipe do Projeto Barreira (Gustavo, Ricardo, Eduardo, Maria Luiza e Sérgio) pela oportunidade de fazer parte dessa equipe e ter um projeto na qual eu tivesse espaço para desenvolver meu trabalho de conclusão. Agradeço também por toda a ajuda recebida de vocês durante o desenvolvimento do mesmo.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e aos Professores do Curso de Geologia.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimentos, instala-se a dúvida.”

Johann Goethe

RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização hidrogeológica da unidade aquífera Barreira Holocênica na região do Balneário Cassino, Rio Grande do Sul. O Balneário Cassino está localizado na porção emersa da Bacia de Pelotas e pertence ao Município de Rio Grande. A unidade, em estudo, faz parte dos diferentes aquíferos que compõem o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I. A base de conhecimento hidrogeológico desse Sistema é escassa, logo, a falta de informações pode acarretar em uma série de riscos e danos ao sistema aquífero, bem como às pessoas que se beneficiam dele. A contaminação das águas subterrâneas e o rebaixamento do nível freático são apenas exemplos do que pode ocorrer devido à falta desse conhecimento. O estudo foi realizado através da revisão de dados existentes, interpretação preliminar da área através de mapas geológicos e hidrogeológicos, perfuração de 3 poços de monitoramento e 2 piezômetros, realização de 3 sondagens a percussão, inventário e cadastramento de 56 pontos de água, perfilagem geofísica, 3 ensaios de bombeamento e 3 coletas de amostras de águas subterrâneas. A partir da interpretação dos dados foi possível determinar as características da unidade aquífera Barreira Holocênica como: espessura da unidade em torno de 20 metros; porosidade efetiva média de 30% nos primeiros 10 metros de profundidade; coeficiente de armazenamento de $6,61 \cdot 10^{-4}$, transmissividade de 7,58 m²/h, permeabilidade de 9,40 m/d; sentido preliminar do fluxo das águas para sudeste e classificação química das águas em dois grupos: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas. Com esses resultados é possível contribuir para um melhor conhecimento técnico-científico, bem como fornecer subsídios para a exploração sustentável da unidade aquífera Barreira Holocênica.

Palavras-Chave: Barreira Holocênica, Caracterização hidrogeológica, Hidroquímica, Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I.

ABSTRACT

This paper presents the hydrogeological characterization of the Holocene Barrier aquifer unit in the region of Balneario Casino, Rio Grande do Sul. The Balneario Casino is located in the onshore portion of the Pelotas Basin and belongs to the Rio Grande county. The unit under consideration is part of the different aquifers that comprise the Quaternary Coastal Aquifer System I. The basis of hydrogeological knowledge of this system is scarce, hence the lack of information can lead to a number of risks and damage to the aquifer system and the people who benefit from it. Groundwater contamination and lowering of the water level are just a few examples that may occur because of the lack of this knowledge. The study was accomplished by data revision, preliminary interpretation of geological and hydrogeological maps, monitoring three drilling wells and two piezometers, conducting three surveys percussion, inventory and registration of fifty-six points of water, geophysical logging, three pumping tests and three groundwater samples. From the obtained data, it was possible to determine the characteristics of the Holocene Barrier aquifer unit as a thick unit of around 20 meters, average effective porosity of 30% in the first 10 meters depth of that unit; storage coefficient of $6,61 \cdot 10^{-4}$, transmissivity of 7.58 m²/h, permeability of 9,40 m/d; primary direction of flow of water to the southeast and chemical classification of groundwater into two major groups: calcium or magnesium bicarbonate and sodium bicarbonate. The results are important for the best technical and scientific knowledge, as well as provide support for the sustainable exploitation of the Holocene Barrier aquifer unit.

Keywords: Holocene Barrier, Hydrogeological characterization, Hydrochemical, Quaternary Coastal Aquifer System I.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Localização do Balneário Cassino no RS (b) Imagem orbital do Cassino (LANDSAT 7) com a área de estudo delimitada.	15
Figura 2 - Mapa Geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mostrando as principais unidades deposicionais (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000).....	17
Figura 3 - Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul mostrando a localização do Balneário Cassino dentro do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (modificado de Machado e Freitas 2005).	20
Figura 4 - Área de estudo delimitada dentro do contexto hidrogeológico do RS (modificado de Machado e Freitas 2005).....	21
Figura 5 - Reconhecimento, em campo, das características geomorfológicas da área.....	24
Figura 6 - Perfuração de poços de monitoramento através do método rotativo.	26
Figura 7 - Perfilagem geofísica realizada nos poços de monitoramento.....	27
Figura 8 - Sondagem executada através do método de percussão simples.	28
Figura 9 - Ilustração da etapa de cadastramento dos poços.	29
Figura 10 - (a) Coleta de sedimentos (b) Amostrador de coletas indeformadas.	30
Figura 11 - Observação do nível da água durante o ensaio de bombeamento.	31
Figura 12 - Coleta de água, durante o ensaio de bombeamento, para análise físico-química.....	32
Figura 13 - Perfil colunar dos poços de monitoramento mostrando as camadas e os ambientes que compõem a Barreira Holocênica.	35
Figura 14 – Amostra de sedimentos característicos de ambiente eólico.	36
Figura 15 – Amostra de sedimentos característicos de ambiente praias e marinho raso.....	37
Figura 16 – Amostra de sedimentos característicos de ambiente marinho profundo.....	37

Figura 17 - Imagem de satélite (LANDSAT 7) com a localização dos poços perfurados.....	39
Figura 18 - Curva de rebaixamento e recuperação do poço de monitoramento PPAB.	41
Figura 19 - Curva de rebaixamento e recuperação do poço de monitoramento PJM.	42
Figura 20 - Curva de rebaixamento e recuperação do poço de monitoramento PPQ.	42
Figura 21 - Curva de rebaixamento e recuperação do piezômetro PPAB....	43
Figura 22 - Sentido preliminar do fluxo das águas subterrâneas.....	44
Figura 23 - Gráfico com os resultados de pH mostrando a predominância de águas levemente alcalinas.....	46
Figura 24 - Gráfico com o resultado de condutividade elétrica dentro da normalidade para esse tipo de unidade aquífera.	47
Figura 25 - Gráfico mostrando os resultados do parâmetro turbidez.	48
Figura 26 - Gráfico mostrando a predominância das temperaturas das águas subterrâneas para aquela região.	49
Figura 27 - Diagrama de Piper com a classificação das águas coletadas dos poços de monitoramento.....	50
Figura 28 - Diagrama de Stiff com resultados das amostras coletadas dos poços de monitoramento.....	51
Figura 29 - Diagrama do <i>United States Salinity Laboratory</i> com a classificação para uso na agricultura.	52
Figura 30 - Classificação das amostras em águas doces e salobras.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos de água obtidos através do cadastramento realizado na região do Cassino.....	34
Tabela 2 - Dados resultantes do Ensaio de Bombeamento.....	40
Tabela 3 - Valores de transmissividade e coeficiente de armazenamento encontrado para cada poço.	40
Tabela 4 - Dados coletados com o uso do DGPS.....	43
Tabela 5 - Informações coletadas durante o cadastramento dos pontos de captação	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
1.3	CONTEXTO GEOLÓGICO	16
1.4	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	18
2	METODOLOGIA	23
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.2	TRABALHOS DE CAMPO	23
2.2.1	<i>1º Campanha de campo</i>	<i>24</i>
2.2.2	<i>2º Campanha de campo</i>	<i>24</i>
2.2.2.1	Locação e perfuração de poços de monitoramento e piezômetros.....	25
2.2.2.2	Perfilagem geofísica.....	26
2.2.2.3	Sondagem a percussão (SPT).....	28
2.2.2.4	Cadastramento de pontos de água	29
2.2.2.5	Amostragem de sedimentos	30
2.2.2.6	Nivelamento planialtimétrico	30
2.2.3	<i>3º Campanha de campo</i>	<i>30</i>
2.3	AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	32
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
3.1	AVALIAÇÃO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE ESTUDO	33
3.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA.....	34
3.3	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	38
3.4	CARGAS HIDRÁULICAS E SENTIDO PRELIMINAR DO FLUXO DAS ÁGUAS.....	43
3.5	CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA	44
4	CONCLUSÕES	53
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
6	ANEXOS	57

1 INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos subterrâneos é cada vez maior. Há regiões, principalmente aquelas com condições climáticas desfavoráveis, onde já não é mais possível abastecê-las apenas com uso de recursos hídricos superficiais. A disponibilidade chegou ao limite e em diversas situações as águas encontram-se contaminadas dificultando ainda mais seu uso.

Logo, a exploração de águas subterrâneas tende a crescer progressivamente e, portanto, um gerenciamento do sistema aquífero se faz necessário para que ao ser explorado e aproveitado para diversos fins, sua disponibilidade futura não esteja ameaçada também. O gerenciamento só é possível de ser realizado quando as características hidrogeológicas do sistema aquífero são conhecidas.

Na região do Balneário Cassino, conforme o mapa hidrogeológico do estado do RS (Machado & Freitas 2005) há ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQC I). Esse sistema é caracterizado por aquíferos que estão associados a camadas arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média. Essas unidades ocorrem intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas e as capacidades específicas geralmente são altas, ultrapassando 4 m³/h/m.

Os aquíferos que formam o SAQC I têm grande importância, pois são utilizados como fonte de água para abastecimento de áreas urbanas e rurais, assim como para o desenvolvimento de atividades industriais.

Nesse contexto a unidade aquífera Barreira Holocênica é bastante utilizada, principalmente na região do Cassino. A maior parte dos moradores do balneário, bem como a totalidade dos moradores da zona rural, captam água dessa unidade aquífera através de poços ponteira. Essa forma de captação traz sérias consequências para a qualidade da água, bem como para a saúde das pessoas

que a consomem, pois essas formas de captação são construídas fora das normas técnicas brasileiras.

As informações hidrogeológicas dessa unidade e desse sistema aquífero são poucas, restringindo-se a trabalhos regionais, como o de Hausman (1995) e o mais recente, realizado por Machado e Freitas (2005). Dessa forma, há a necessidade de se desenvolver estudos hidrogeológicos mais detalhados, localmente, que visam promover a caracterização dessas unidades.

Neste trabalho é apresentada a caracterização hidrogeológica da unidade aquífera Barreira Holocênica que faz parte do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I. Esse estudo permitiu identificar características e parâmetros hidrogeológicos como espessura das camadas geológicas e aquíferas, parâmetros hidrodinâmicos tais como, porosidade, armazenamento, transmissividade, permeabilidade e cargas hidráulicas. Além disso, também foi possível fazer uma avaliação preliminar sobre o sentido de fluxo da água subterrânea, bem como identificar e analisar os principais parâmetros hidroquímicos.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral a caracterização hidrogeológica da unidade aquífera Barreira Holocênica na região do Cassino (RS).

Os objetivos específicos relacionados a essa unidade aquífera são:

- Identificação das principais formas de captação e uso das águas subterrâneas;
- Caracterização geológica e hidrogeológica da unidade
- Determinação das propriedades e parâmetros hidrodinâmicos;
- Determinação das cargas hidráulicas e avaliação preliminar do sentido de fluxo das águas subterrâneas;
- Caracterização dos parâmetros físico-químicos;

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Fig. 1 a), mais precisamente nas regiões adjacentes ao Balneário

Cassino (Fig. 1 b), pertencente ao município de Rio Grande e faz parte da porção superior meridional emersa da Bacia de Pelotas (Villwock & Tomazelli 1995).

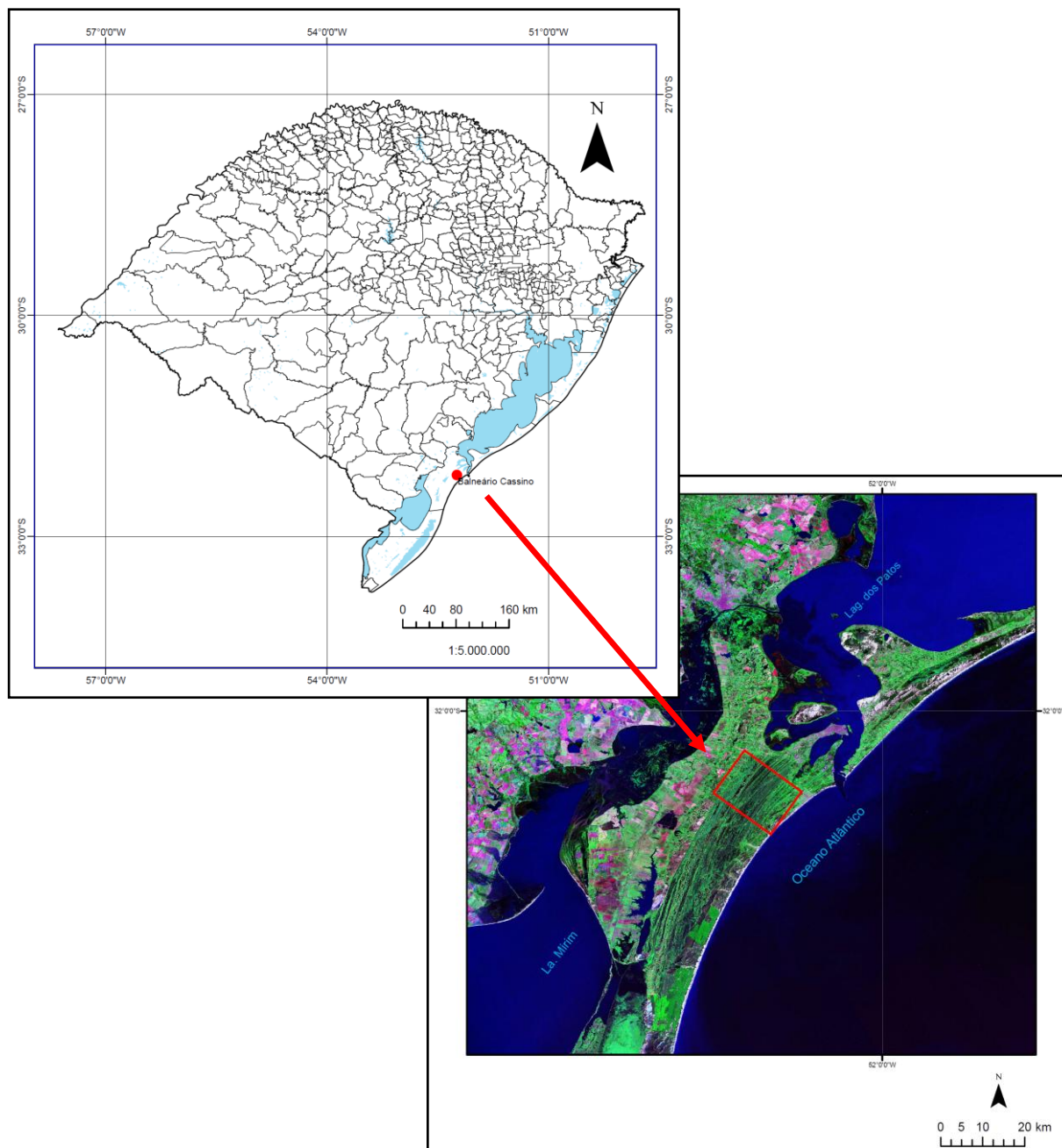


Figura 1 - (a) Localização do Balneário Cassino no RS (b) Imagem orbital do Cassino (LANDSAT 7) com a área de estudo delimitada.

1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A geologia e a evolução da planície costeira já foram estudadas e descritas por diversos autores. Dentre os quais podemos destacar os seguintes autores: Delaney (1965), Godolphim (1976), Ornellas (1981), Villwock (1984) e Villwock e Tomazelli (1995) e Tomazelli e Villwock (2000).

De acordo com Villwock e Tomazelli (1995) a Planície Costeira do Rio Grande do Sul compreende duas unidades geológicas: O Embasamento e a Bacia de Pelotas.

O Embasamento é caracterizado por rochas ígneas e metamórficas do Escudo Pré-Cambriano e por sequências sedimentares e vulcânicas de idade Paleozóica e Mesozóica da Bacia do Paraná. Já a Bacia de Pelotas é definida por sedimentos de natureza predominantemente clástica e terrígena acumulados durante diversos eventos geotectônicos que ocorreram desde a abertura do Atlântico Sul no Período Cretáceo até os dias atuais.

As unidades deposicionais que constituem a parte emersa da Bacia de Pelotas foram agrupadas e descritas por Villwock e Tomazelli (1995) utilizando o conceito de sistema deposicional definido por Fisher e McGowen (1967) como uma assembléia tridimensional de fácies correlacionadas geneticamente e formadas por processos de sedimentação e ambientes ativos ou inativos. Sendo assim, foram reconhecidos e definidos dois tipos de sistemas deposicionais na planície costeira do RS: Sistema de Leques Aluviais e Sistemas do tipo Laguna-Barreira, denominados de I, II, III e IV (Fig. 2).

Esses sistemas foram gerados através de sedimentos erodidos nas regiões próximas a Bacia (terras altas) e retrabalhados por processos internos de cada sistema juntamente com a dinâmica global e costeira, sendo que as variações climáticas e as flutuações do nível relativo do mar estão entre os principais processos responsáveis pela formação dos sistemas deposicionais (Villwock & Tomazelli, 1995).

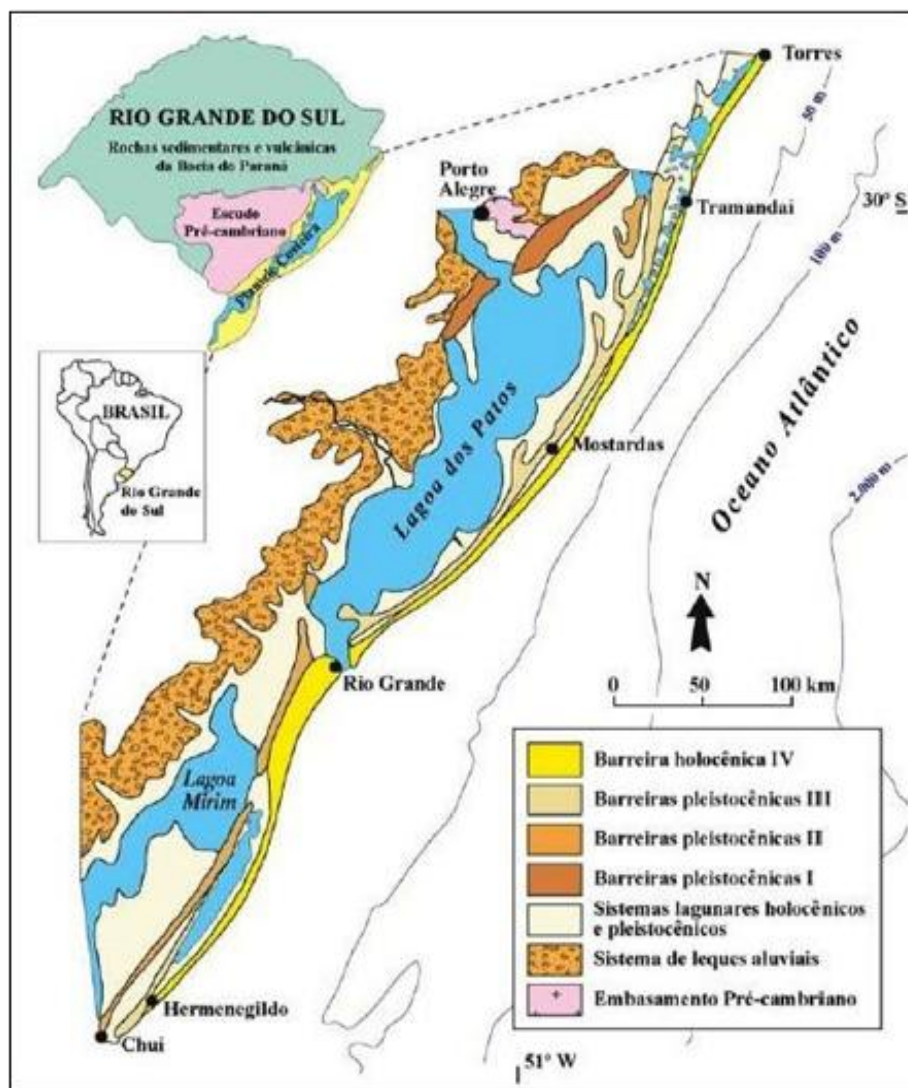


Figura 2 - Mapa Geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mostrando as principais unidades deposicionais (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000).

O sistema deposicional da Barreira IV é o mais complexo da Planície Costeira do RS e é o que compreende a maior área na região do Cassino. Esse sistema se desenvolveu durante o Holoceno, há cerca de 5 mil anos (5 ka) atrás, quando ocorreu o pico máximo da transgressão Holocênica. Como consequência o nível relativo do mar subiu aproximadamente 5 metros acima do atual e permitiu a formação de uma barreira progradante composta predominantemente por areias praias e eólicas. O desenvolvimento deste tipo de barreira só se deu devido à elevada taxa de aporte sedimentar arenoso existente, naquela época, na plataforma continental. A construção de cordões litorâneos regressivos são feições morfológicas características dessa progradação e podem ser observados a partir de imagens aéreas, assim como em campo. (Tomazelli & Villwock, 2000).

As areias praias são compostas por areias quartzosas de granulometria predominantemente fina (Martins, 1967) e cascalhos bioclásticos na faixa que ocorre entre Rio Grande e Chuí (Calliari & Klein, 1993). Já o campo de dunas, representando os depósitos de areias eólicas de granulometria fina a muito fina (Martins, 1967) são bem desenvolvidos, mostram largura variável e praticamente estendem-se ao longo de toda a linha de costa (Villwock & Tomazelli, 1995).

Entre a Barreira III e a Barreira IV, durante o pico transgressivo Holocênico, também se desenvolveram corpos lagunares que posteriormente evoluíram para um conjunto de lagoas, nas quais podemos destacar: a Lagoa Mangueira, ao sul, a Lagoa do Peixe, na área central, e mais ao norte um conjunto de lagoas que ocorrem interligadas (Willwock & Tomazelli, 1995).

1.4 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Hausman (1960) foi o primeiro autor a produzir regionalmente um esboço da possibilidade de águas subterrâneas no estado do Rio Grande do Sul. Em 1964, Hausman sistematizou a ocorrência dos aquíferos no estado e os classificou como Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. Essa classificação levou em consideração características geológicas, morfológicas e climáticas.

Samberg (1980) fez uma avaliação das formações aquíferas que ocorrem nas quatro províncias litológicas do estado através de uma análise estatística de multivariáveis que levou em conta fatores geológicos, hidrodinâmicos, climáticos e hidroquímicos.

Hausman, em 1995, publicou na *Acta Geológica Leopoldensia* uma revisão e ampliação de seus trabalhos anteriores baseado no avanço dos conhecimentos geológicos do Rio Grande do Sul. Esse trabalho originou o primeiro mapa hidrogeológico do estado denominado de Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000.

Lisboa *et. al.* (2004), ao analisar as características hidrogeológicas gerais dos materiais que compõem as camadas litológicas, forneceu subsídios para a primeira qualificação generalizada dos principais sistemas aquíferos. Os materiais analisados foram desde materiais inconsolidados como, por exemplo, areias e cascalhos, até materiais consolidados como rochas ígneas, sedimentares e metamórficas.

Se situarmos a área de estudo dentro desse contexto definido por Lisboa *et al.* (2004), as águas subterrâneas são captadas diretamente do Sistema Aquífero Cenozóico da Planície Costeira.

O Sistema Aquífero Cenozóico Planície Costeira, ainda segundo Lisboa *et al.* (2004), é o de maior potencial dentre os aquíferos que compõe os Sistemas Aquíferos Cenozóicos. Esse Sistema é composto por areias e arenitos fracamente cimentados dispostos em multicamadas de origens variadas que podem atingir satisfatórias extensões laterais e verticais e apresentam condições livres, semi confinadas a confinadas.

O Estado do RS, nas últimas duas décadas, enfrentou uma série de problemas com os seus recursos hídricos e a CPRM, em convênio com o Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA-DRH), iniciou em 2003 o Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (Machado & Freitas, 2005) que seria publicado no final de 2005, com o intuito de aumentar o conhecimento hidrogeológico do estado gerando subsídios para o gerenciamento sustentável de recursos hídricos do estado.

Baseado no Mapa Hidrogeológico do Estado do RS (Fig. 3), podemos observar que na região do Balneário Cassino há ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQC I). Esse sistema está associado aos sedimentos da planície costeira, desde o Chuí até Torres, enquanto que o Balneário Cassino está associado aos sedimentos do Sistema Laguna Barreira IV, depositados durante o Holoceno (Machado & Freitas, 2005).

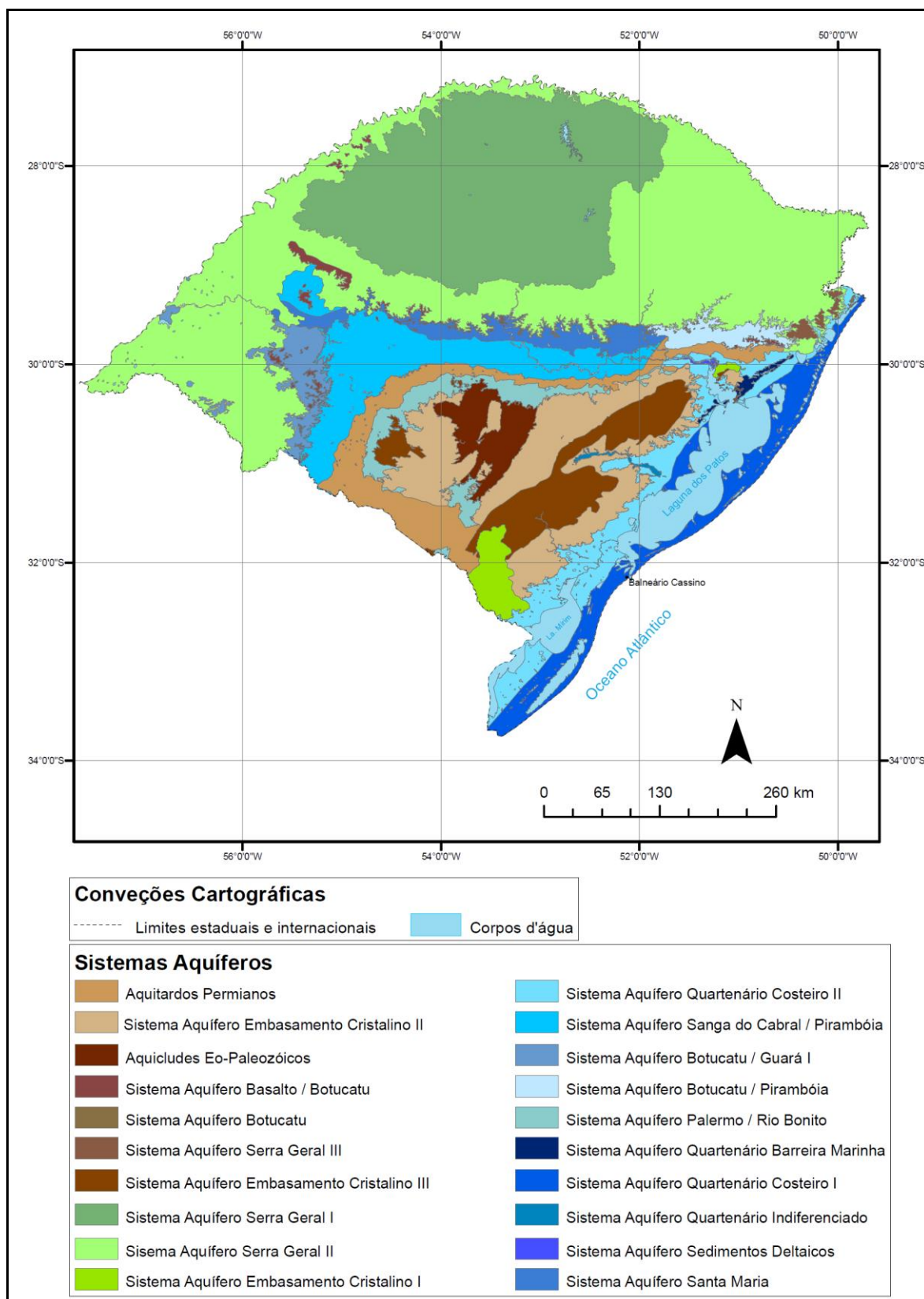


Figura 3 - Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul mostrando a localização do Balneário Cassino dentro do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (modificado de Machado e Freitas 2005).

A área de estudo, inserida no SAQC I, (Fig. 4) foi caracterizada por uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média e de cor esbranquiçada que ocorrem intercaladas com camadas síltico-arenosas e argilosas. As capacidades específicas geralmente são altas, ultrapassando 4 m³/h/m, pois esse sistema aquífero está associado a depósitos de sedimentos pouco consolidados (Machado & Freitas, 2005).

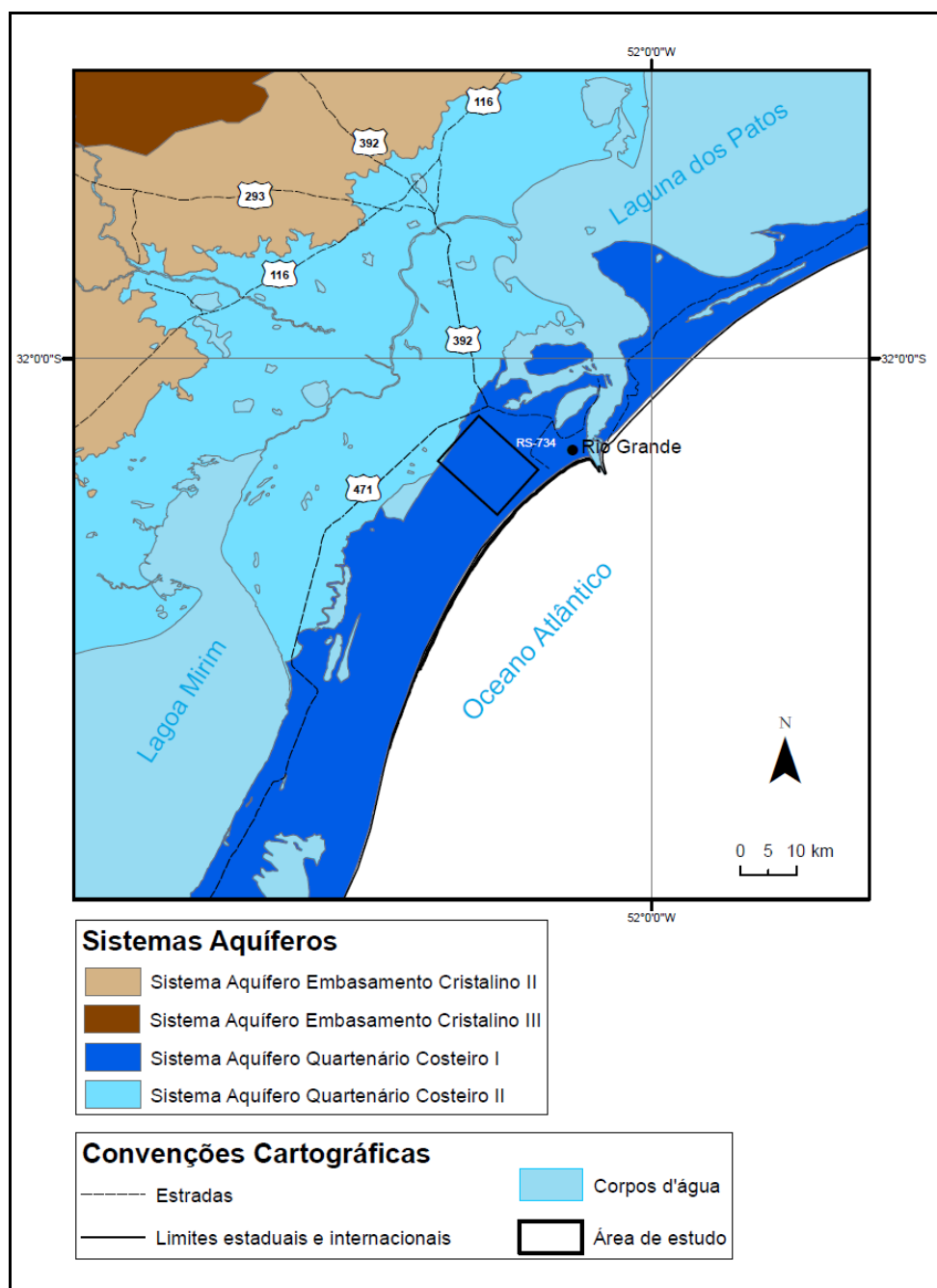


Figura 4 - Área de estudo delimitada dentro do contexto hidrogeológico do RS (modificado de Machado e Freitas 2005).

Segundo Manoel Filho (2008), depósitos de sedimentos inconsolidados são caracterizados por possuir alta capacidade de infiltração, porosidade efetiva elevada e maior permeabilidade. Esses parâmetros hidrodinâmicos são característicos de aquíferos com alta potencialidade para exploração. Embora suas características sejam positivas, o cuidado qualitativo deve ser redobrado, pois se trata de um sistema com alta vulnerabilidade natural a contaminação.

Em relação à potabilidade das águas, o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I apresentou as seguintes características hidrogeoquímicas: salinidade inferior a 400 mg/l e esporadicamente a ocorrência de águas cloretadas com maior teor salino presente. Essas águas cloretadas ocorrem associadas a áreas de recargas, pois a precipitação pluviométrica quando próxima ao mar dissolve grande quantidade de ânions (cloreto) e cátions (sódio). Além disso, esse tipo geoquímico está relacionado às águas subterrâneas que ocorrem em rochas e sedimentos de porosidade intergranular, como é o caso específico da área em estudo (Machado & Freitas, 2005).

2 METODOLOGIA

A metodologia empregada na elaboração do presente trabalho foi desenvolvida em três principais etapas e encontram-se descritas a seguir.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica consistiu no reconhecimento, na obtenção e na seleção de dados existentes sobre a geologia e hidrogeologia da área foco. Esse levantamento foi realizado com o apoio de livros, dissertações, artigos e relatórios técnicos.

A pesquisa de dados sobre pontos de captação existentes na área de estudo foi realizado através da consulta ao banco de dados SIAGAS/CPRM e junto das empresas de perfuração. No SIAGAS, foram levantadas informações da ocorrência de 21 poços localizados no município de Rio Grande. Além disso, foram obtidos dados de poços perfurados em outras regiões através da empresa de perfuração HIDROGEO. No entanto, para a área de estudo não foi identificada a ocorrência de nenhum poço.

Serviram de base inicial para o conhecimento e interpretação preliminar da área, o Mapa Geológico da Planície Costeira (Tomazelli & Villwock, 2000) e o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).

2.2 TRABALHOS DE CAMPO

A segunda etapa envolveu a realização de trabalhos de campo que tiveram como finalidade o reconhecimento da área, definição de locais para a construção dos poços tubulares previstos na pesquisa, autorização prévia dos proprietários da área em que os poços seriam construídos, perfilagem geofísica, inventário e

cadastramento dos pontos de captação da região, sondagem a percussão (SPT), coleta de amostras de sedimentos, nivelamento planialtimétrico dos poços, ensaios de bombeamento e por fim realização de coleta de água subterrânea.

As atividades da segunda etapa foram subdivididas e realizadas em três campanhas de campo que serão descritas a seguir.

2.2.1 1º Campanha de campo

A primeira campanha foi realizada entre os dias 15 e 19 de julho de 2012 e teve por finalidade o reconhecimento geomorfológico da região (Fig. 5), a identificação de áreas mais favoráveis para a perfuração dos poços, definições de logística e o primeiro contato com os proprietários das áreas pré-estabelecidas para a locação dos poços.

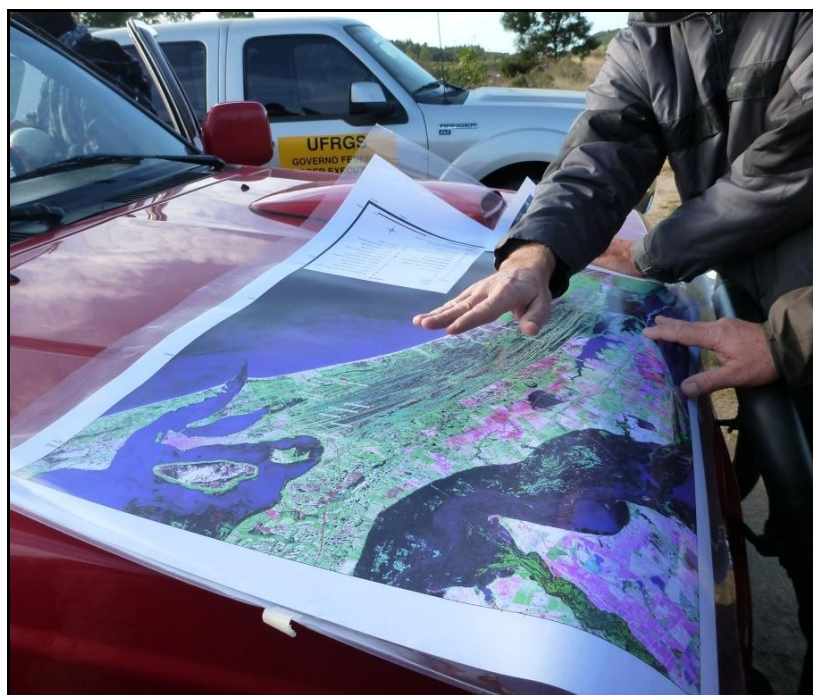


Figura 5 - Reconhecimento, em campo, das características geomorfológicas da área.

2.2.2 2º Campanha de campo

O segundo campo foi realizado entre os dias 15/02 e 02/03 de 2013, onde foram desenvolvidas as seguintes atividades:

1. Locação e perfuração de três poços de monitoramento e dois piezômetros;
2. Perfilagem geofísica;
3. Sondagem a percussão;
4. Cadastramento de pontos de água na região do Cassino;
5. Amostragem dos sedimentos;
6. Nivelamento planialtimétrico;

2.2.2.1 Locação e perfuração de poços de monitoramento e piezômetros.

As áreas de locação dos poços e piezômetros foram definidas com o objetivo de cobrir longitudinalmente a área de estudo a fim de proporcionar um melhor conhecimento da organização, estruturação e características hidrogeológicas das camadas que compõem o aquífero da Barreira Holocênica. Em função disso, foram estabelecidos três locais para a realização das perfurações. Em cada local foi efetuada a perfuração de um poço de monitoramento e de um piezômetro, sendo que os mesmos estavam distanciados entre 15 e 25 metros. Num desses locais só foi possível realizar a perfuração de um poço de monitoramento.

Para a perfuração dos poços de monitoramento foi solicitada junto ao DRH/SEMA a Autorização Prévia para perfuração. Essa autorização é necessária para a perfuração de poços no Estado do Rio Grande do Sul, conforme legislação estadual atual dos Recursos Hídricos (Decreto 42.047 de 26 de dezembro de 2002).

A construção dos poços ocorreu através do método rotativo (Fig. 6) e foi executada pela empresa HidroGeo Perfurações. Esse método tem como base uma perfuratriz rotativa, seguido de mecanismos de alimentação de fluidos e controle de peso sobre a broca que corta e tritura as rochas e/ou sedimentos. O fluido de perfuração (mistura de lama e água) é preparado em um tanque de decantação antes do início da perfuração e quando iniciada, esse fluido é injetado para dentro das hastes que estão encaixadas na broca. A função do fluido é resfriar a broca, carregar os fragmentos de rocha triturados para a superfície e dar sustentabilidade para as paredes do poço.



Figura 6 - Perfuração de poços de monitoramento através do método rotativo.

Os principais equipamentos utilizados na construção dos poços foram: uma máquina perfuratriz rotativa, um gerador, um sistema de transmissão de potências (mecânico, hidráulico e elétrico), torre, hastes, guincho, cabos e correntes.

Os furos ocorreram com diâmetro de 8" e foram revestidos com tubos e filtros de plástico geomecânico de 4". A localização das seções filtrantes foi definida com base na perfilagem geofísica, que será descrita posteriormente. Após a instalação da coluna de revestimento e filtros, foram realizados o desenvolvimento dos poços e a construção das lajes de proteção sanitária dando por encerrada a atividade de perfuração.

2.2.2.2 Perfilagem geofísica

Após o término da perfuração de cada furo foi aplicada a técnica de perfilagem geofísica (Fig. 7), realizada pela empresa AFC Geofísica, com o intuito de determinar camadas litológicas e suas variações texturais, reconhecer zonas permeáveis e sua porosidade, bem como a salinidade das águas que circulam por essas camadas.



Figura 7 - Perfilagem geofísica realizada nos poços de monitoramento.

Foram realizados os seguintes perfis geofísicos:

- ✓ Raio Gama
- ✓ Perfil Sônico
- ✓ Potencial Espontâneo

O Raio Gama permitiu distinguir os diferentes tipos litológicos das camadas que compõem o reservatório a partir de seu conteúdo de minerais radioativos, já com o perfil sônico foi possível obter a porosidade e permeabilidade dessas camadas com base no tempo de propagação de uma onda nos diferentes meios que compõem as camadas e por fim com o potencial espontâneo foi permitido observar pontos de maior concentração de sais dissolvidos na água (águas salinas) ao reconhecer e distinguir zonas com menor concentração de sais (mais resistivas) de zonas com maior concentração de sais (menos resistivas).

Além de a perfilagem permitir a identificação e determinação de alguns parâmetros hidráulicos do reservatório foi possível também selecionar os intervalos mais adequados para a colocação de filtros e assim gerar a completação do poço de forma mais segura e adequada.

2.2.2.3 Sondagem a percussão (SPT)

As três sondagens locadas na área de estudo foram executadas pela empresa ESTAQ sondagens e fundações, e tiveram como objetivo o reconhecimento e a descrição dos materiais que compõem as diferentes camadas litológicas em subsuperfície.

As perfurações foram feitas pelo método de percussão simples (Fig. 8) com a circulação de água e proteção de um revestimento de 2 ½". A coleta de cada amostra foi realizada por meio de um amostrador padrão de diâmetro interno de 1 3/8" e diâmetro externo de 2".



Figura 8 - Sondagem executada através do método de percussão simples.

Para medir a compacidade e a consistência dos diferentes materiais, foi anotado, durante o ensaio de penetração *Standard Penetration Test* (SPT), o

número de golpes necessários para cravação de 30 cm do amostrador, dados por um martelo de 65 kg e altura de 75 cm. Esse método segue as normas da NBR 6484 (ABNT, 2001).

2.2.2.4 Cadastramento de pontos de água

Essa atividade foi realizada com o objetivo de identificar as principais formas de captação (poços tubulares, ponteira, cacimbas) das águas subterrâneas na região, o uso da água, as características construtivas dos diferentes pontos de captação e dados hidrogeológicos. Para cada ponto foram coletados dados como: localização (obtenção das coordenadas UTM com uso de GPS de Navegação *GARMIN*), tipo de captação, profundidade, nível d'água com o emprego de uma sonda elétrica para medição de nível, parâmetros físico-químicos (pH, salinidade, turbidez, condutividade), através de um sonda multiparâmetros *Horiba* (Fig. 9). Todas as informações coletadas em campo foram organizadas e digitadas em planilha Excel e serviram como um banco de dados que foi utilizado na etapa de interpretação dos resultados.



Figura 9 - Ilustração da etapa de cadastramento dos poços.

2.2.2.5 Amostragem de sedimentos

A coleta de sedimento (Fig. 10 a) foi realizada com um amostrador que coleta amostras indeformadas do solo (Fig. 10 b). A coleta dessas amostras serviu para análise do grau de porosidade nos sedimentos. Esse procedimento foi realizado no laboratório de sedimentologia do IPH.



Figura 10 - (a) Coleta de sedimentos



(b) Amostrador de coletas indeformadas.

2.2.2.6 Nivelamento planialtimétrico

Esta atividade consistiu no reconhecimento das cotas topográficas e das coordenadas geográficas na boca dos poços perfurados. As coordenadas foram coletadas com um GPS de alta precisão da marca *Trimble*. Esses dados serviram na determinação da carga hidráulica que será utilizada para definir o sentido preliminar do fluxo das águas subterrâneas em cada poço de monitoramento.

2.2.3 3º Campanha de campo

A terceira e última campanha de campo, ocorreu na primeira semana de maio de 2013, onde foram realizadas as atividades de ensaio de bombeamento e coleta de água.

O ensaio de bombeamento consistiu no bombeamento de um poço, por um determinado tempo (até que sua vazão fosse estabilizada), acompanhado de

medições do rebaixamento do nível de água (Fig. 11) observados no poço em bombeamento e no piezômetro. Após o término do bombeamento foi feito o acompanhamento da recuperação do nível de água no poço. Os dados obtidos com esses ensaios (anexo 6.1) foram utilizados no programa GWW (GWW, 1995), para determinação de parâmetros hidrodinâmicos como transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica.



Figura 11 - Observação do nível da água durante o ensaio de bombeamento.

As ferramentas utilizadas nesse ensaio foram: uma bomba submersa de 5 HP, um medidor de nível elétrico, fichas específicas para o ensaio, cronômetro e um balde para medir a vazão.

A vazão foi medida a partir do Método Volumétrico. Esse procedimento consiste na medição do tempo necessário para encher um recipiente, neste caso, um balde de 20 litros (para vazões de até 3,6m³/h). Depois é só dividir o volume conhecido pelo tempo obtido e então se obtém a vazão. Apresenta como vantagem a facilidade em realizá-lo, mas pode ter como desvantagem o fato de não haver um controle contínuo nos valores de vazão.

A amostra de água para análise físico-química foi coletada em frascos de polietileno e vidro (Fig. 12) e conservada em gelo e isopor, segundo as orientações recebidas pelo laboratório responsável pelas análises. O Laboratório que realizou a análise dos 21 parâmetros físico-químicos das amostras foi o Laboratório do Centro de Ecologia/Instituto de Biociências/ UFRGS. Os resultados das análises (anexo

6.2) foram utilizados na caracterização hidroquímica da água subterrânea da unidade aquífera Holocênica.



Figura 12 - Coleta de água, durante o ensaio de bombeamento, para análise físico-química.

2.3 AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Nesta última etapa foram avaliados os dados obtidos nas etapas anteriores e realizada a interpretação dos mesmos. As interpretações realizadas foram:

- avaliação da geometria, espessura e características dos sedimentos que compõem a unidade aquífera holocênica realizadas através da interpretação dos perfis geológicos obtidos com a perfuração dos poços, perfilagem geofísica e sondagens a percussão;
- determinação do grau de porosidade, fração de argila e salinidade presente na rocha, através da interpretação da perfilagem geofísica;
- determinação dos parâmetros hidrodinâmicos a partir da análise dos dados de rebaixamento e recuperação do aquífero obtido nos ensaios de bombeamento e usados no programa GWW (GWW, 1995);
- avaliação e caracterização hidroquímica da unidade aquífera, através da interpretação dos resultados dos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade, turbidez, temperatura, nível d'água) e das análises físico-químicas com uso dos programas Excel e Qualigraf (Mobus, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 AVALIAÇÃO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE ESTUDO

O cadastramento dos pontos de água resultou na identificação e cadastramento de 56 pontos de água (tabela 1). Foram encontradas apenas duas formas de captação: poço ponteira e poço cacimba, sendo 32 ponteiras e 24 cacimbas. Esses poços apresentaram profundidades entre 1 e 13 metros. As maiores profundidades ficaram por conta dos poços ponteiras, pois os poços cacimbas não passaram dos 5 metros de profundidade.

Outro dado observado foi a baixa quantidade de poços que ainda se encontram ativos. Foi constatado que mais da metade dos poços (3/4) encontram-se abandonados devido à má qualidade das águas (concentração de ferro, manganês, materiais orgânicos, construção de poços fora das normas técnicas). Essas águas são utilizadas na maior parte das vezes para abastecimento doméstico e em segundo plano para irrigação e consumo animal.

Tabela 1 - Pontos de água obtidos através do cadastramento realizado na região do Cassino.

POÇOS	MUNICÍPIO	LOCAL	PROPRIETÁRIO	UTM-N	UTM-E	NATUREZA	PROFUNDIDADE (m)	SITUAÇÃO
1	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Paulo Abreu	6438092	385889	Ponteira	5,78	Abandonado
2	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Paulo Abreu	6438013	385962	Ponteira	6	Abandonado
3	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Paulo Abreu	6437959	385817	Ponteira	*	Ativo
4	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Márcio Campos Moraes	6437942	385807	Cacimba	2,6	Abandonado
5	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Márcio Campos Moraes	6437945	385806	Ponteira	6	Ativo
6	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Márcio Campos Moraes	6437945	385806	Ponteira	6	Ativo
7	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Márcio Campos Moraes	6437928	385790	Ponteira	4,38	Abandonado
8	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Paulo Abreu	6437942	385856	Ponteira	6,05	Abandonado
9	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Paulo Abreu	6438021	385980	Ponteira	*	Ativo
10	Rio Grande	Saida 20	Paulo Marchetotti	6442062	380359	Ponteira	*	Ativo
11	Rio Grande	Saida 20	Paulo Marchetotti	6442057	380343	Ponteira	*	Abandonado
12	Rio Grande	Prox. BR 471	Abdala Nader	6443861	376129	Ponteira	6	Ativo
13	Rio Grande	Prox. BR 471	Abdala Nader	6443861	376129	Ponteira	6,6	Abandonado
14	Rio Grande	Prox. BR 471	Paulo Quaresma	6445592	377567	Cacimba	2,59	Abandonado
15	Rio Grande	Prox. BR 471	Paulo Quaresma	6445681	377533	Ponteira	12	Abandonado
16	Rio Grande	Prox. BR 471	Adriano Noronha	6448519	378406	Ponteira	13	Ativo
17	Rio Grande	Prox. BR 471	Marcelo Hasmann	6449326	378365	Ponteira	12	*
18	Rio Grande	Prox. BR 471	Frederico Bergamach	6440053	379702	Cacimba	2,66	Abandonado
19	Rio Grande	Prox. BR 471	Frederico Bergamach	6440067	379625	Ponteira	6	Ativo
20	Rio Grande	Prox. BR 472	Frederico Bergamach	6450067	379625	Ponteira	6	Ativo
21	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Ivoni Marchetotti	6441050	378028	Cacimba	2,1	Abandonado
22	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Ivoni Marchetotti	6441062	378010	Cacimba	2,17	Abandonado
23	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Jardel Branco	6441388	378197	Ponteira	6,89	Abandonado
24	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Antônio Beltarco	6443187	378761	Ponteira	5	Ativo
25	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Antônio Beltarco	6443279	378744	Cacimba	2,54	Abandonado
26	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Severino Bettin	6446185	380735	Cacimba	2,94	Abandonado
27	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Severino Bettin	6447836	382059	Cacimba	2,98	Abandonado
28	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Serraria Bojuru	6448346	382032	Ponteira	5,74	Abandonado
29	Rio Grande	Corredor Pinheiros	Moises	6448953	382709	Ponteira	12	Ativo
30	Rio Grande	Vila Quinta	Dinora Castanheiro Brum	6448907	384235	Ponteira	6,33	Abandonado
31	Rio Grande	Saida 20	Renato Pires Pereira	6440578	379301	Cacimba	3	Abandonado
32	Rio Grande	Saida 20	Renato Pires Pereira	6440560	379292	Cacimba	2,6	Abandonado
33	Rio Grande	Saida 20	Renato Pires Pereira	6440556	379288	Ponteira	7,1	Abandonado
34	Rio Grande	Saida 20	Celma da Silva Carvalho	6446532	384464	Cacimba	2,46	Abandonado
35	Rio Grande	Saida 20	Henrique Joaquim Carvalho	6447940	386187	Ponteira	10,63	Ativo
36	Rio Grande	Saida 20	Celma da Silva Carvalho	6441753	379486	Cacimba	2,28	Abandonado
37	Rio Grande	Saida 20	Suevia Brum	6448344	386009	Cacimba	4,8	Abandonado
38	Rio Grande	Próximo Saida 20	Irci Lima Oliveira	6446784	385989	Ponteira	6,13	Abandonado
39	Rio Grande	Saida 20	Patrick Pereira	6444996	387586	Cacimba	2,86	Abandonado
40	Rio Grande	Saida 20	Cesar Wojciechowski	6435596	381216	Ponteira	6,06	Ativo
41	Rio Grande	Saida 20	Cesar Wojciechowski	6435563	381236	Cacimba	*	Abandonado
42	Rio Grande	Saida 20	Suédy Fonseca da Cruz	6437951	382845	Cacimba	*	Abandonado
43	Rio Grande	Corredor do mel	Ely Quaresma Fonseca	6439115	383558	Ponteira	4,23	Ativo
44	Rio Grande	Corredor do mel	Ely Quaresma Fonseca	6439154	383521	Ponteira	3,57	Ativo
45	Rio Grande	Corredor do mel	Ely da Costa Gonçalves	6435483	392085	Ponteira	2,92	Abandonado
46	Rio Grande	Corredor do mel	Paulo Oliveira	6439056	383950	Ponteira	5,59	Ativo
47	Rio Grande	Corredor do mel	Vanderléia Guimarães	6439664	383880	Cacimba	1,05	Abandonado
48	Rio Grande	Corredor do mel	Leda da Cruz	6440770	385155	Cacimba	2,27	Abandonado
49	Rio Grande	Corredor do mel	Hélio Tavares de Jesus	6441330	385563	Cacimba	2,02	Abandonado
50	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Márcio Pereira da Silva	6437229	385676	Cacimba	2,07	Abandonado
51	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Pedro Freitas	6437529	385438	Cacimba	1,76	Abandonado
52	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Everton Lobato	6438633	386792	Ponteira	4,74	Abandonado
53	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Everton Lobato	6438614	386801	Ponteira	4,49	Abandonado
54	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Roberto Valdez	6439015	386689	Cacimba	2,6	Abandonado
55	Rio Grande	Corredor Bolaxa	Paulo Roberto de Souza Lapa	6439644	387478	Cacimba	1,99	Abandonado
56	Rio Grande	Corredor Bolaxa	José Juliano	6439874	387995	Cacimba	3,46	Abandonado

* Não foi possível coletar o dado.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

O reconhecimento e descrição das principais camadas e ambientes que compõem a Barreira Holocênica (Fig. 13) foi feito com base nos resultados apresentados através de relatórios técnicos de perfuração e construção (HidroGeo, 2013), perfilagem geofísica (AFC, 2013) e sondagem a percussão (ESTAQ, 2013) disponibilizados pelas empresas. Nesses relatórios foram possíveis de se obter as

seguintes informações: dados construtivos do poço (perfil litológico e parâmetros hidráulicos), perfis geofísicos (teor de argila, porosidade e salinidade) e descrições dos materiais encontrados em subsuperfície (tipo de sedimento, tamanho de grão e grau de compactação).

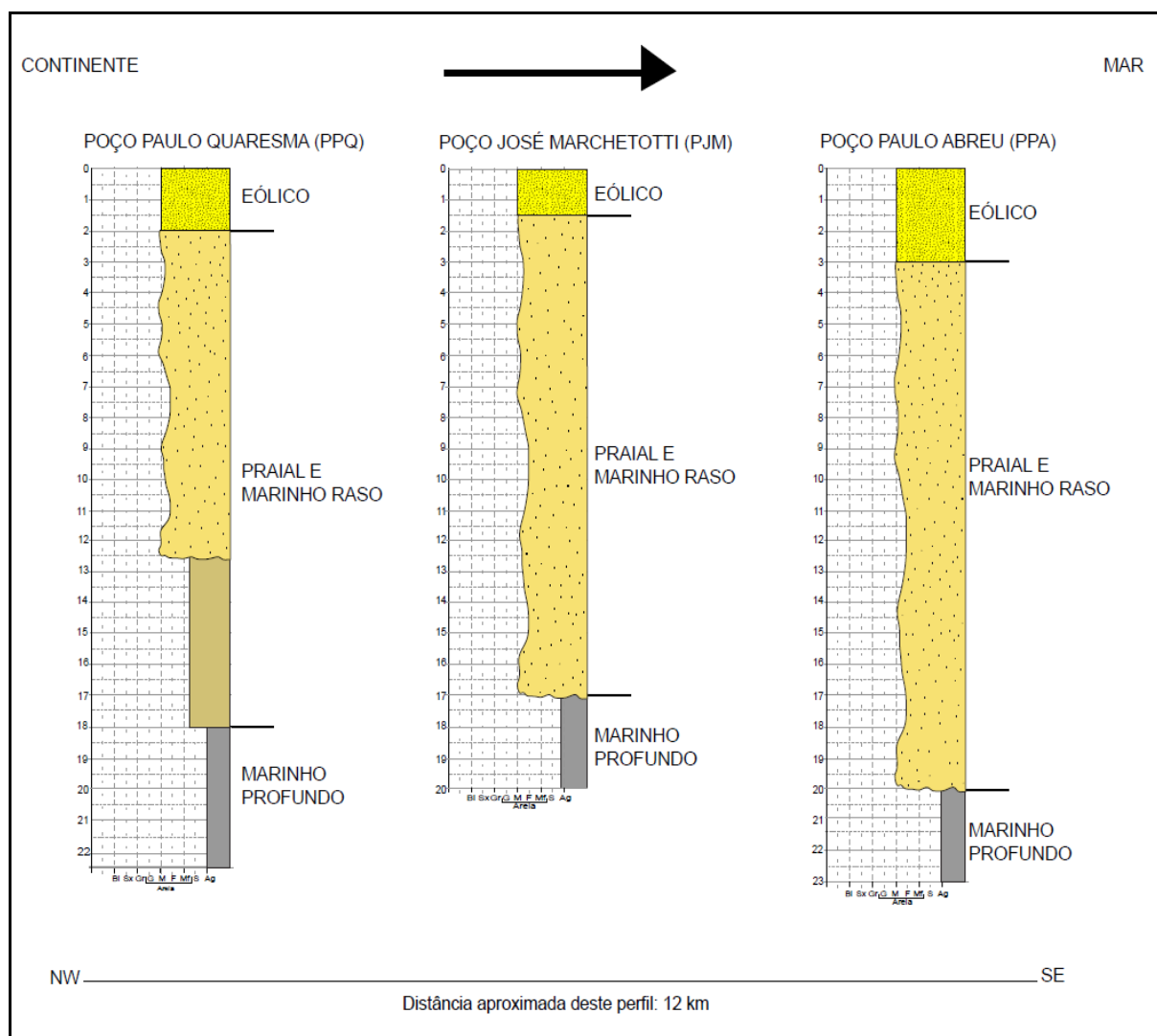


Figura 13 - Perfil colunar dos poços de monitoramento mostrando as camadas e os ambientes que compõem a Barreira Holocênica (Nascimento, 2013).

Os depósitos eólicos (Fig. 14) apresentam camadas que variam de 0 a 3 metros de espessura e estão localizados no topo da unidade aquífera. São compostos por areias de granulometria média a fina, grãos bem selecionados e de baixo grau de compactação. Essas características classificam esse tipo de depósito como excelentes reservatórios, pois apresentam altas porosidades e bons coeficientes de transmissibilidade. Os perfis geofísicos corroboram com essas

informações ao apresentar como resultados a pequena quantidade de argila, elevada porosidade (também presente na análise dos sedimentos realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas) e baixa salinidade presentes nesses pacotes (AFC, 2013).

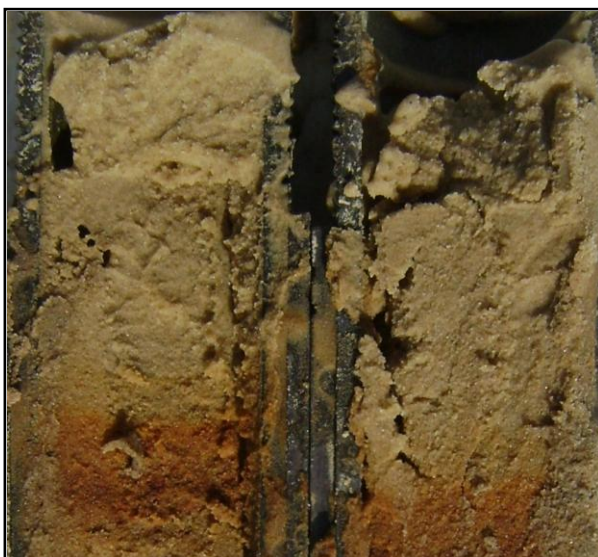


Figura 14 – Ilustração de sedimentos característicos de ambiente eólico.

Para os depósitos classificados como praias e marinho raso (Fig 15) as camadas estão situadas entre os 4 e 20 metros de profundidade com espessuras que variam de 15 a 17 metros. Também foi observado que as camadas de ambos os ambientes aumentam sua espessura no sentido NW-SE e são compostas por sedimentos arenosos com granulometria média a muito fina, má seleção e variado grau de compactação. Com o resultado das sondagens geofísicas foi observado que a fração de argila cresce com o aumento da profundidade, a porosidade conseqüentemente diminui e a salinidade apresenta teores mais elevados que as camadas do ambiente anterior (AFC, 2013). Essas características, para reservatórios, são ruins quando comparadas ao ambiente eólico, logo a eficiência desses depósitos como aquíferos é menor, assim como as águas podem ter seus parâmetros de qualidade afetados.



Figura 15 - Ilustração de sedimentos característicos de ambiente praiado e marinho raso.

As camadas que iniciam próximo aos 20 metros de profundidade (Fig 16), sem espessura definida pelo fato de se ter atingido o limite máximo estabelecido para as perfurações de cada poço de monitoramento, são camadas representativas de ambientes marinho profundo. Essas camadas foram definidas como base da unidade aquífera Barreira Holocênica e esse critério foi estabelecido ao se identificar que as camadas são compostas quase que predominantemente por argilas, com alto grau de compactidade e que, portanto servem como isolantes das camadas situadas tanto acima quanto abaixo dela. As sondagens geofísicas identificaram um aumento significativo nas frações de argila, decréscimo nos valores de porosidade e altíssimos teores salinos.



Figura 16 – Ilustração de sedimentos característicos de ambiente marinho profundo.

Portanto a unidade aquífera Barreira Holocênica é caracterizada por constituir-se de três principais camadas. As camadas descritas do topo para base são:

- Camadas contendo areias de granulometria média a fina, baixo grau de compactação, alta porosidade e baixa salinidade.
- Camadas com areias de granulometria que variam desde média a muito fina e por vezes com a ocorrência de sedimentos argilosos. Valores mais baixos de porosidade e teores menos elevados de salinidade que a camada anterior.
- Camadas com predomínio de argila, baixa porosidade e elevados teores salinos.

Essas camadas caracterizam a unidade de estudo como um aquífero do tipo livre. No entanto entre as camadas arenosas, em alguns pontos, há ocorrência de lentes de argila que podem fazer com que o aquífero tenha um comportamento do tipo semi-confinado.

Em função dessas características a unidade aquífera Holocênica consiste de um aquífero heterogêneo com comportamento livre a semi-confinado.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Os ensaios de bombeamento foram realizados nos três poços de monitoramento perfurados durante as atividades de campo e teve como intuito principal a obtenção de dados para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos. A localização de cada um dos poços se encontra na Figura 17. Para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade e coeficiente de armazenamento) bem como a geração dos gráficos de rebaixamento e recuperação foi necessária à utilização do *software* GWW (GWW, 1995). Nesse programa foram inseridos os resultados dos valores de níveis de água (rebaixamento) e vazão (monitorados em função do tempo), encontrados durante os ensaios de bombeamento (teste de aquífero). Os cálculos dos parâmetros transmissividade e coeficiente de armazenamento foram obtidos através dos métodos de Theis e Jacob disponíveis no programa GWW.

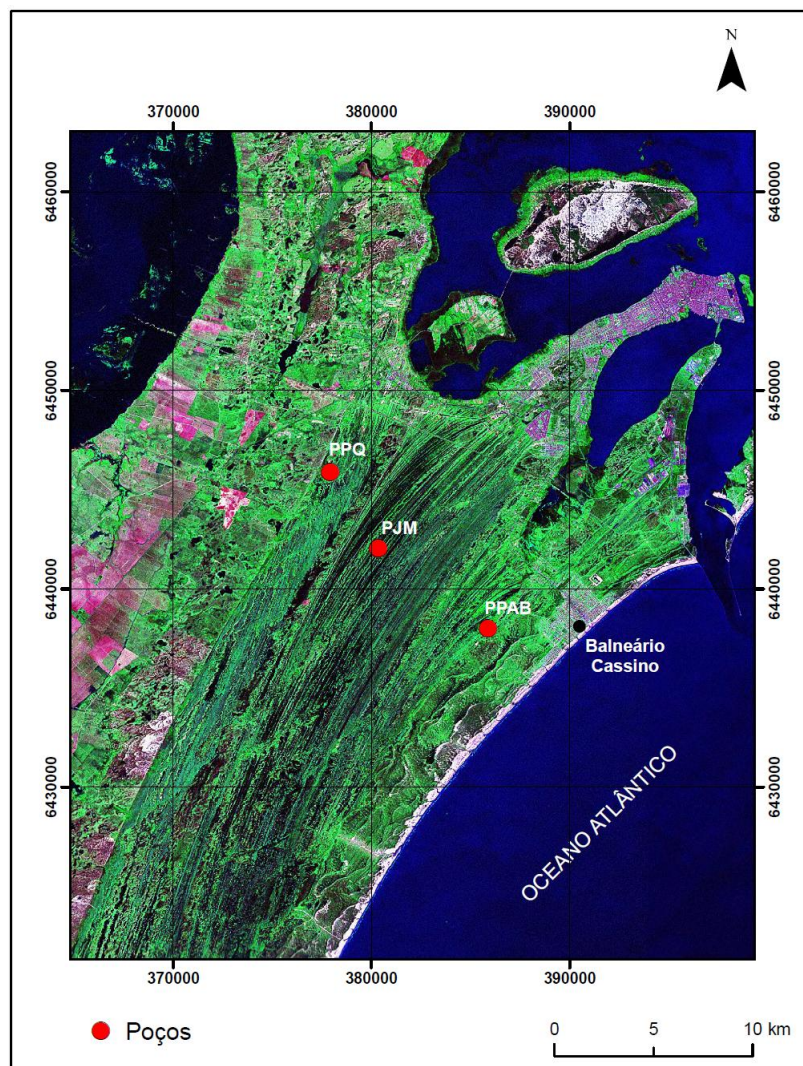


Figura 17 - Imagem de satélite (LANDSAT 7) com a localização dos poços perfurados.

Para os cálculos dos valores de transmissividade e coeficiente de armazenamento foram utilizados os dados observados nos poços de bombeamento e piezômetros, sendo que somente no piezômetro do Poço Paulo Abreu (PPAB) é que foram identificados variações do nível de água. Para o cálculo do coeficiente de armazenamento é necessário informar a distância entre o poço bombeado e o poço observado (piezômetro). Para os poços que não foram possíveis obter essa medida, foi adotada a distância de 0,1m, já para o caso do piezômetro do poço PPAB foi adotada a distância entre o poço de bombeamento e o piezômetro que foi de 22,42m. Na tabela 2 são apresentados os dados obtidos com o ensaio de bombeamento.

Tabela 2 - Dados resultantes do Ensaio de Bombeamento.

Poço	Tempo de Bombeamento (min)	NE* (m)	ND* (m)	S* (m)	Tempo de Recuperação (min)	NA* da Recuperação (m)
PPAB (bombeado)	250	0,96	5,12	4,16	60	1,14
PPAB (piezômetro)	250	1,01	1,12	0,11	60	1,11
PJM	45	1,10	4,76	3,66	25	1,13
PPQ	250	1,69	4,56	2,87	30	1,80

NE* - Nível estático; ND* - máximo observado após a estabilização; S* – rebaixamento máximo observado; NA* - Nível da água.

A tabela 3 apresenta os resultados de transmissividade e coeficiente de armazenamento. Ao se analisar os resultados observam-se que as transmissividades encontradas variam de 1,02 a 7,96 m²/h e os coeficientes de armazenamento de $5,49 \cdot 10^{-4}$ a $3,42 \cdot 10^{-15}$.

Tabela 3 - Valores de transmissividade e coeficiente de armazenamento encontrado para cada poço.

Poço	Transmissividade Theis (m ² /h)	Transmissividade Jacob (m ² /h)	Coefficiente de Armazenamento (Theis e Jacob)
PPAB (bombeado)	1,92	1,92	$9,71 \cdot 10^{-13}$ e $9,71 \cdot 10^{-13}$
PPAB (piezômetro)	7,58	7,96	$6,61 \cdot 10^{-4}$ e $5,49 \cdot 10^{-4}$
PJM	1,02	1,02	$7,20 \cdot 10^{-9}$ e $7,20 \cdot 10^{-9}$
PPQ	3,90	3,90	$3,42 \cdot 10^{-15}$ e $3,42 \cdot 10^{-15}$

Foi considerado que os dados obtidos com o piezômetro instalado próximo ao poço PPAB são os mais confiáveis, pelo fato de ter sido possível de observar, durante o bombeamento, a interferência entre o poço bombeando e o poço observado. Logo os valores mais representativos do aquífero são: 7,58 m²/h para transmissividade e $6,61 \cdot 10^{-4}$ para coeficiente de armazenamento.

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 são apresentadas as curvas de rebaixamento e recuperação, geradas através do *software* GWW (GWW, 1995), para os poços de bombeamento PPAB, PJM, PPQ e piezômetro PPAB.

Podemos observar que as curvas de rebaixamento nos mostram uma tendência de rebaixamento rápido no início do teste e uma estabilização com o passar do tempo de bombeamento. A estabilização foi observada, em média, a partir dos 12 minutos do início do bombeamento. Já nas curvas de recuperação dos poços visualizamos uma rápida recuperação dos níveis de água, tal característica é vista como positiva para o aquífero.

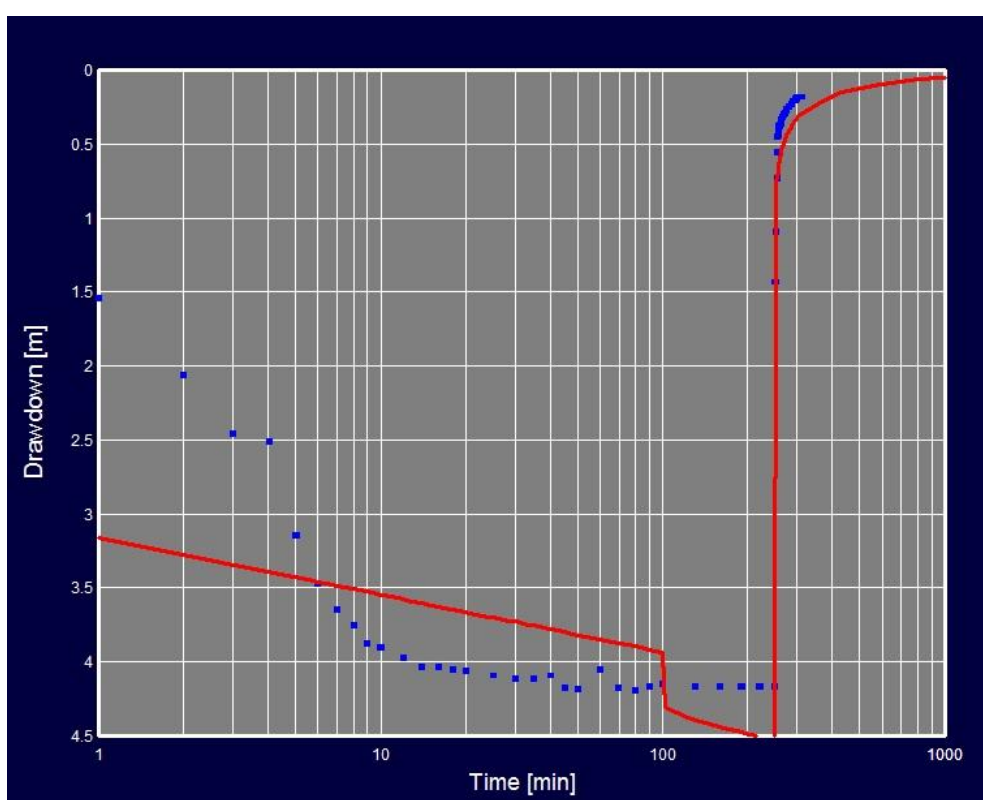


Figura 18 - Curva de rebaixamento e recuperação do poço de monitoramento PPAB.

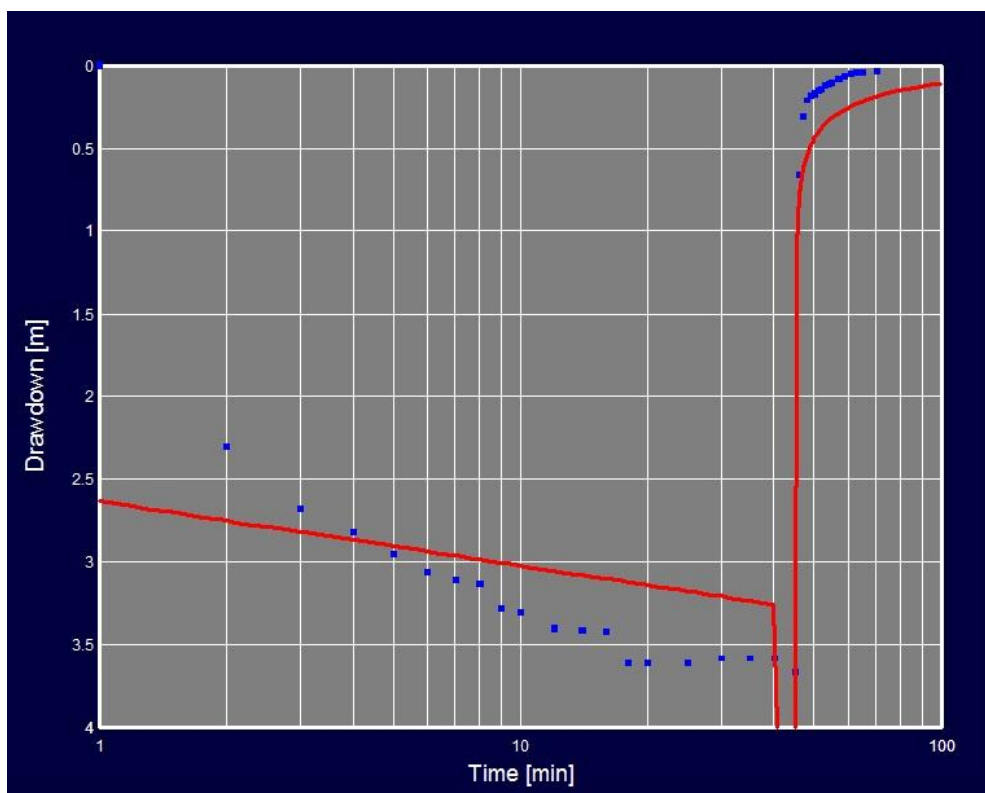


Figura 19 - Curva de rebaixamento e recuperação do poço de monitoramento PJM.

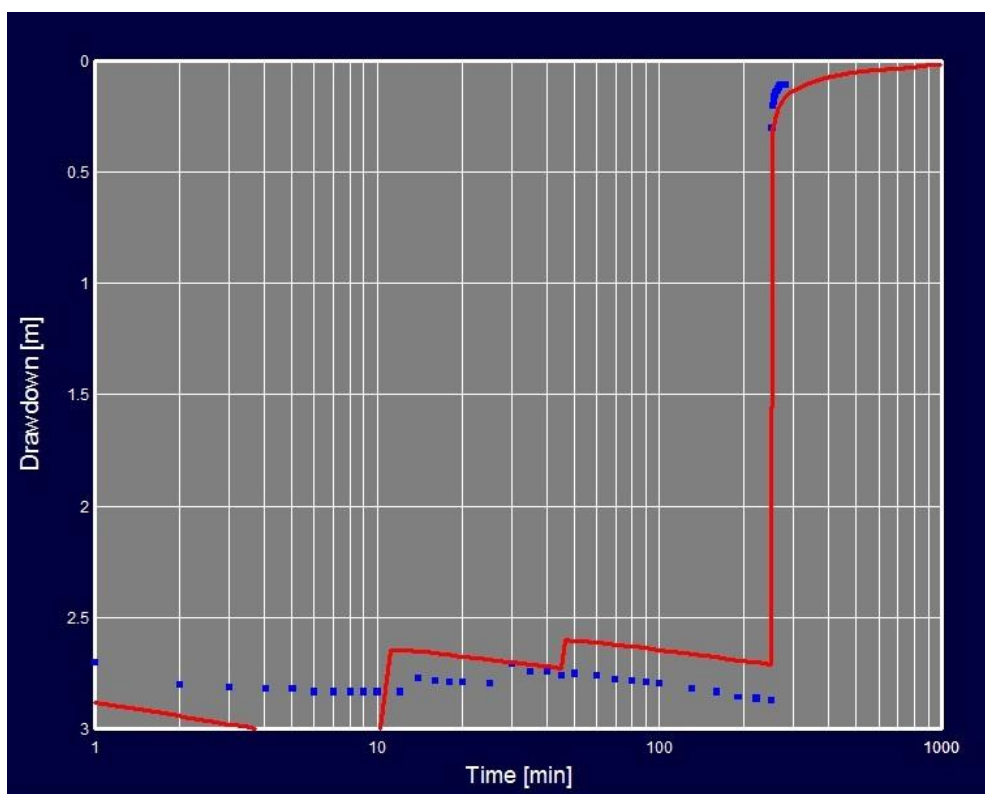


Figura 20 - Curva de rebaixamento e recuperação do poço de monitoramento PPQ.

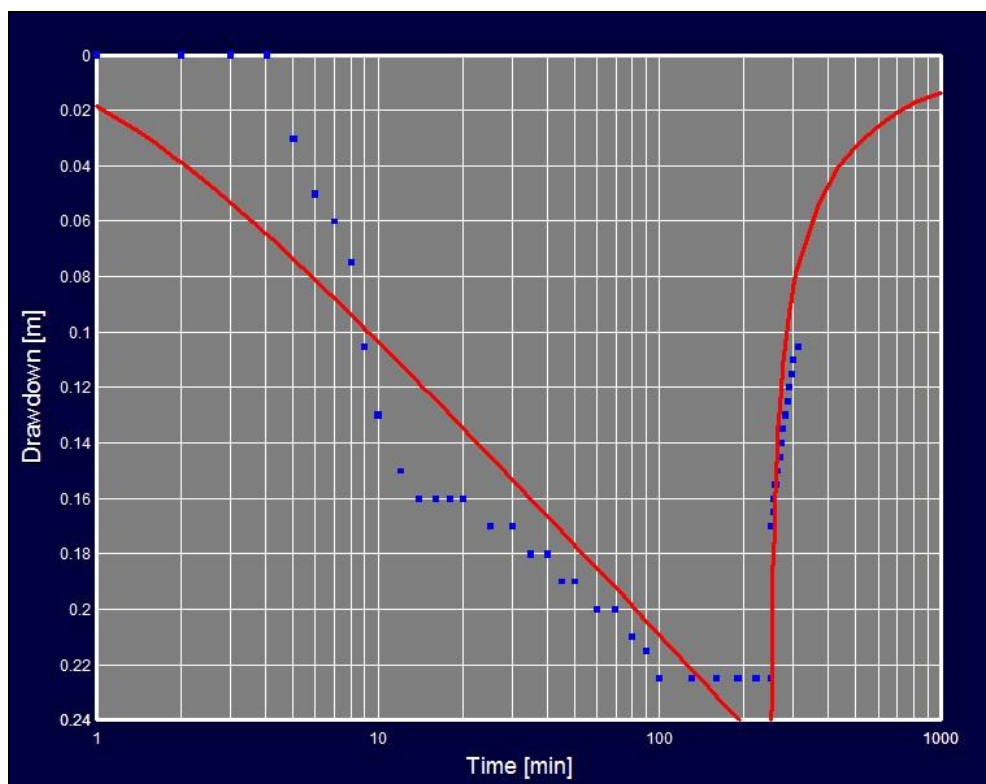


Figura 21 - Curva de rebaixamento e recuperação do piezômetro PPAB.

3.4 CARGAS HIDRÁULICAS E SENTIDO PRELIMINAR DO FLUXO DAS ÁGUAS

As cargas hidráulicas foram calculadas a partir dos resultados adquiridos por meio do nivelamento planialtimétrico realizado na segunda campanha de campo. O nivelamento consistiu no reconhecimento das cotas topográficas e das coordenadas geográficas na boca dos poços perfurados (tabela 4).

Tabela 4 - Dados coletados com o uso do DGPS.

Ponto	Correção DGPS	Norte	Leste	Altitude	Data
PPAB	Código em tempo real	6437987,806	385871,471	4,333	02/03/2013
PJM	Código em tempo real	6442027,470	380353,314	5,383	01/03/2013
PPQ	Código em tempo real	6445855,788	377890,667	7,397	28/02/2013
Coordenadas UTM - Datum WGS84 - Zona 22S					
Correção Diferencial em Tempo Real pelo Radiofarol de Rio Grande					

Esses dados serviram na determinação das cargas hidráulicas dos poços PPAB, PJM e PPQ que foram respectivamente: 3,373 m, 4,283 m e 5,707 m. Esses valores foram utilizados para definir o sentido preliminar de fluxo das águas

subterrâneas que teve como resultado o fluxo preferencial sentido continente - oceano (Fig. 22)

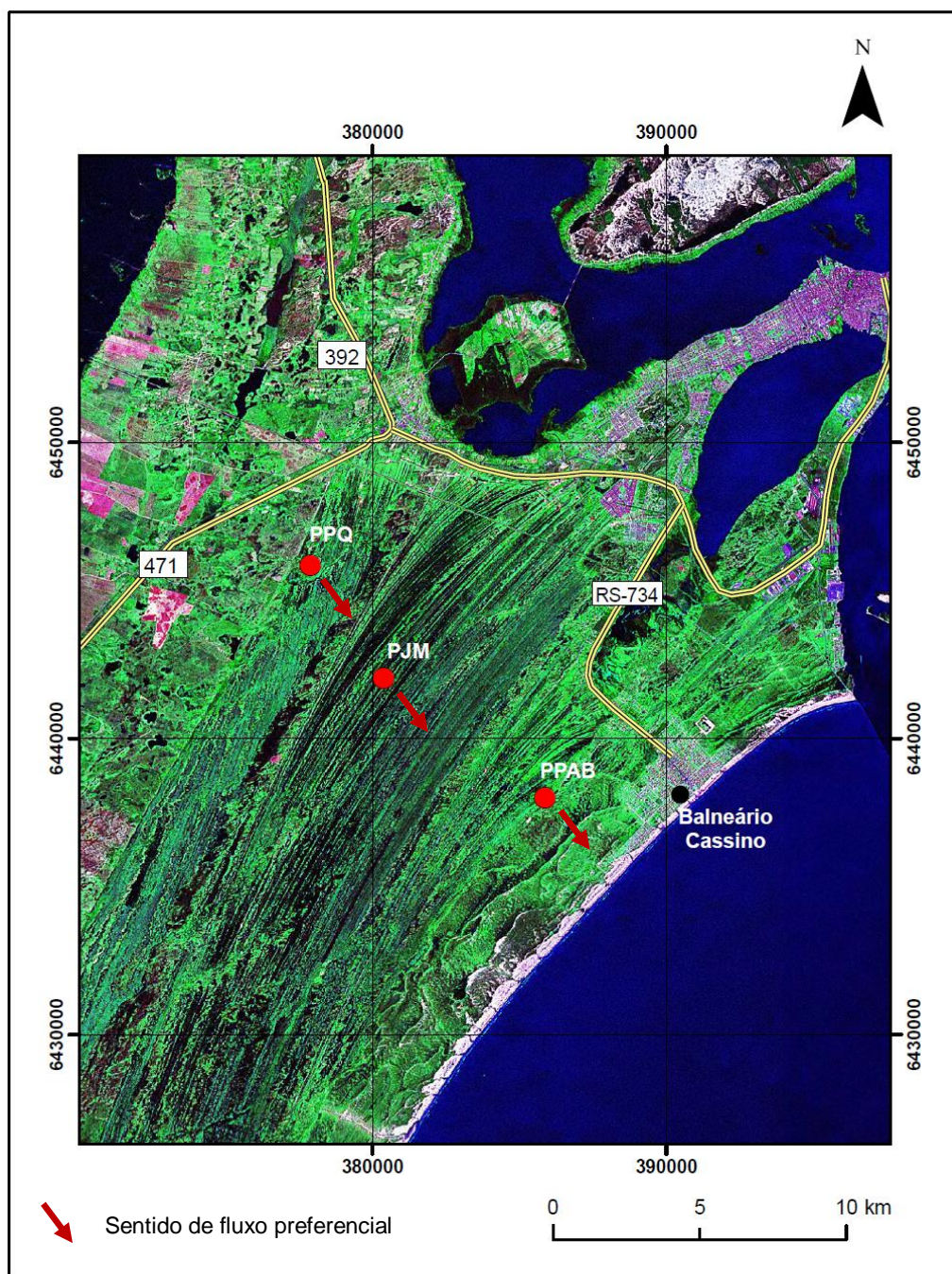


Figura 22 - Sentido preliminar do fluxo das águas subterrâneas.

3.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

A caracterização hidroquímica foi realizada a partir da interpretação dos parâmetros físico-químicos medidos durante o cadastramento de campo (pH, condutividade, turbidez e temperatura) (tabela 5) e dos resultados dos ensaios

laboratoriais realizados para as amostras coletadas dos poços de monitoramento perfurados pela empresa HidroGeo Perfurações.

Tabela 5 - Informações coletadas durante o cadastramento dos pontos de captação

POÇOS	PROFUNDIDADE (m)	NÍVEL DA ÁGUA	Ph	CONDUTIVIDADE	TURBIDEZ	TEMPERATURA	SALINIDADE (%)
1	5,78	1,48	8,09	0,111	138	23,2	0
2	6	1,39	7,56	1,49	186	21,5	0,06
3	*	*	8	0,3	22	22,8	0,01
4	2,6	1,61	8,25	0,184	2	22,9	0
5	6	1,5	7,23	0,276	1	22	0,01
6	6	1,5	7,23	0,277	1	22	0,01
7	4,38	1,92	7,18	0,189	44	23,2	0
8	6,05	*	8,63	23,5	167	23,2	1,43
9	*	*	*	*	*	*	*
10	*	*	8,42	0,312	3	23,7	0,01
11	*	*	*	*	*	*	*
12	6	*	*	*	*	*	*
13	6,6	1,39	7,19	0,229	3	23,3	0
14	2,59	1,36	7,26	0,191	4	22,7	0
15	12	*	*	*	*	*	*
16	13	*	*	*	*	*	*
17	12	*	*	*	*	*	*
18	2,66	1,6	7,59	0,19	17	23,6	0
19	6	*	*	*	*	*	*
20	6	*	*	*	*	*	*
21	2,1	1,37	7,78	0,526	3	23,6	0,02
22	2,17	1,6	7,64	0,576	35	21,5	0,02
23	6,89	2,16	7,64	0,293	245	22,3	0,01
24	5	*	*	*	*	*	*
25	2,54	1,35	7,01	0,214	305	22,6	0
26	2,94	2,27	7,3	0,197	3	22,2	0
27	2,98	2,18	7,34	0,501	51	21,5	0,02
28	5,74	2,1	6,19	0,106	53	22,2	0
29	12	*	*	*	*	*	*
30	6,33	2,6	8,34	0,261	65	22	0,01
31	3	1,78	7,48	0,275	4	23,4	0,01
32	2,6	1,94	8,85	2,06	50	21,6	0,09
33	7,1	1,26	7,15	0,451	70	22,4	0,01
34	2,46	2,15	8,36	0,259	46	22	0,01
35	10,63	1,84	7,88	0,322	52	20,5	0,01
36	2,28	1,5	8,03	0,35	4	20,7	0,01
37	4,8	3,35	7,13	0,171	1	22	0
38	6,13	1,64	7,4	0,313	229	22,3	0,01
39	2,86	1,89	8,14	0,286	8	23,7	0,01
40	6,06	*	*	*	*	*	*
41	*	0,59	*	*	*	*	*
42	*	0,73	*	*	*	*	*
43	4,23	1,27	7,87	0,335	65	24,2	0,01
44	3,57	1,22	7,62	0,285	156	23,1	0,01
45	2,92	1,09	7,44	0,462	165	22,7	0,01
46	5,59	1,85	7,55	0,325	155	23,1	0,01
47	1,05	0,7	7,46	0,16	61	19,2	0
48	2,27	2,15	8,53	0,256	73	23,2	0,01
49	2,02	1,87	8,63	1,82	11	22,1	0,08
50	2,07	2,07	8,6	1,18	41	21	0,05
51	1,76	1,12	8,46	0,505	12	20,4	0,02
52	4,74	1,31	7,58	0,18	2	23,1	0
53	4,49	1,61	7,57	0,187	40	22,3	0
54	2,6	1,62	6,87	0,158	14	21,8	0
55	1,99	1,34	7,47	0,174	2	22,2	0
56	3,46	2,48	8,08	0,204	2	22,6	0

*Não foi possível coletar esse dado.

A seguir será feita uma pequena apresentação e descrição dos resultados de cada parâmetro analisado.

O pH indica a concentração de íons de hidrogênio (H⁺) presentes na água ou na solução. Essa concentração é responsável por determinar sua acidez, neutralidade ou alcalinidade. A escala desse parâmetro varia de 1 a 14, sendo o valor 7 considerado como neutro, os valores inferiores a ele como ácidos e os valores superiores como alcalinos ou básicos (apenas a 25°C).

Ao analisar o gráfico em que constam as medidas de pH (Fig. 23) é possível individualizar as águas subterrâneas da região do Balneário Cassino como águas de predomínio levemente alcalino. Tal afirmação é justificada pelo fato da maioria dos poços cadastrados terem seus valores de pH definidos nos intervalos entre 7 – 8,5.

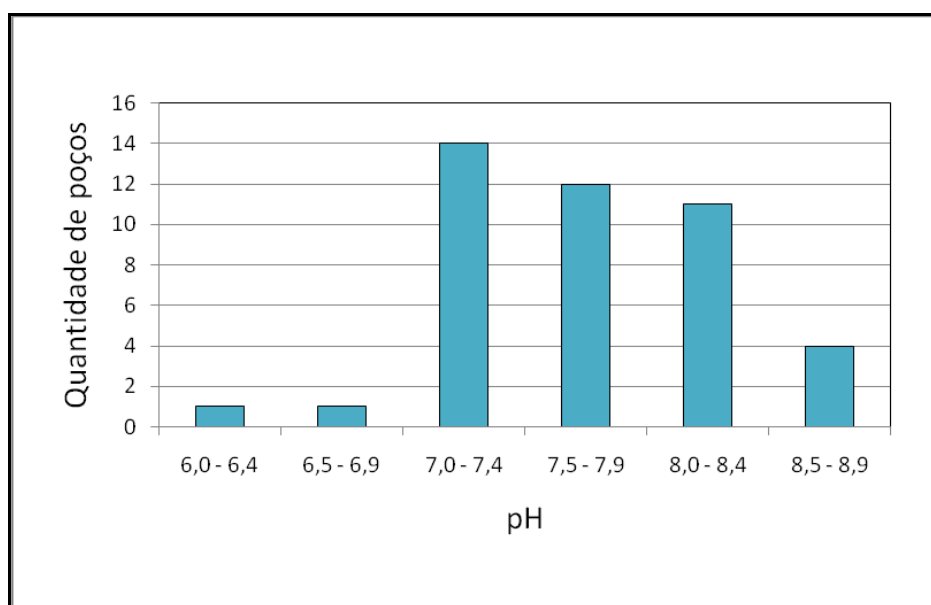


Figura 23 - Gráfico com os resultados de pH mostrando a predominância de águas levemente alcalinas.

Já a condutividade elétrica é a capacidade da água em conduzir corrente elétrica e através da sua determinação é possível também saber o teor de sólidos dissolvidos na água.

As medidas de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para esses poços estão situadas predominantemente entre os intervalos de 100 – 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 24), mas há poços onde foram identificados valores superiores entre 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

As variações encontradas nesse parâmetro são normais de serem encontradas em sistemas aquíferos costeiros, sendo que as maiores condutividades podem estar associadas ao grau de confinamento dos aquíferos, a problemas de intrusão salina ou a aquíferos localizados em camadas de sedimentos de origem marinha ou que representam outros ambientes. Já as variações de condutividade identificadas para o intervalo de 100 e 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, são normais de ocorrerem e estão associadas, provavelmente, a profundidade de ocorrência dos aquíferos e ao tempo de residência dessas águas.

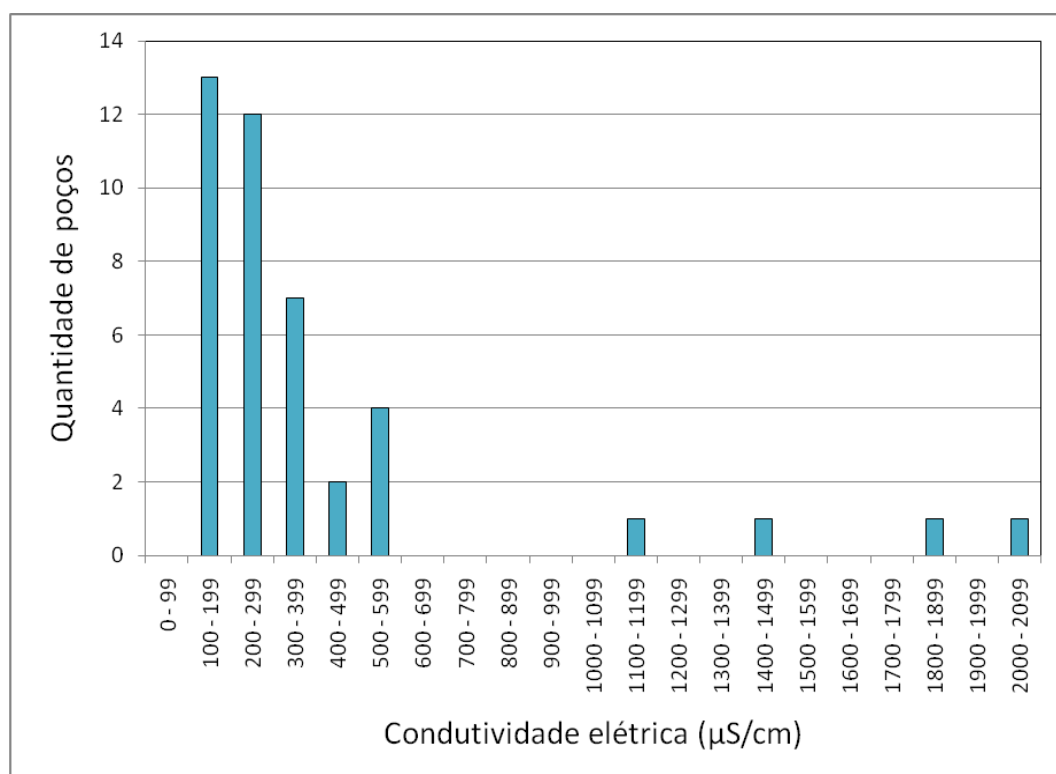


Figura 24 - Gráfico com o resultado de condutividade elétrica dentro da normalidade para esse tipo de unidade aquífera.

Na Figura 25 o parâmetro turbidez apresenta, para mais da metade dos poços, valores entre 0 - 49 NTU. Se fizermos uma comparação desses valores com os padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria MS n° 2914/2011, que determina valores ≤ 5 NTU (Brasil, 2011), podemos constatar que essas águas se encontram bem a cima do máximo permitido pela portaria.

Esse parâmetro indica a qualidade da água através da dificuldade de penetração de luz. Quanto maior a dificuldade, maior será a presença de partículas em suspensão (argilas, siltes e material orgânico e inorgânico) e conseqüentemente menor será sua qualidade.

Essa ocorrência de valores mais elevados de turbidez está associada ao tipo de aquífero, pois aquíferos mais rasos, localizados em camadas de solo ou sedimentos mais finos tendem a apresentar maior turbidez, bem como a problemas construtivos dos poços (filtros e pré-filtros) e ao tipo de captação. Por exemplo, os poços ponteira (a forma de captação predominante na região) são geralmente rasos e não possuem pré-filtro, sendo que o “filtro” consiste de um tubo de PVC com furos circulares que são revestidos por uma tela fina. Dessa forma, há maior chance de ocorrência de turbidez nesse tipo de poço.

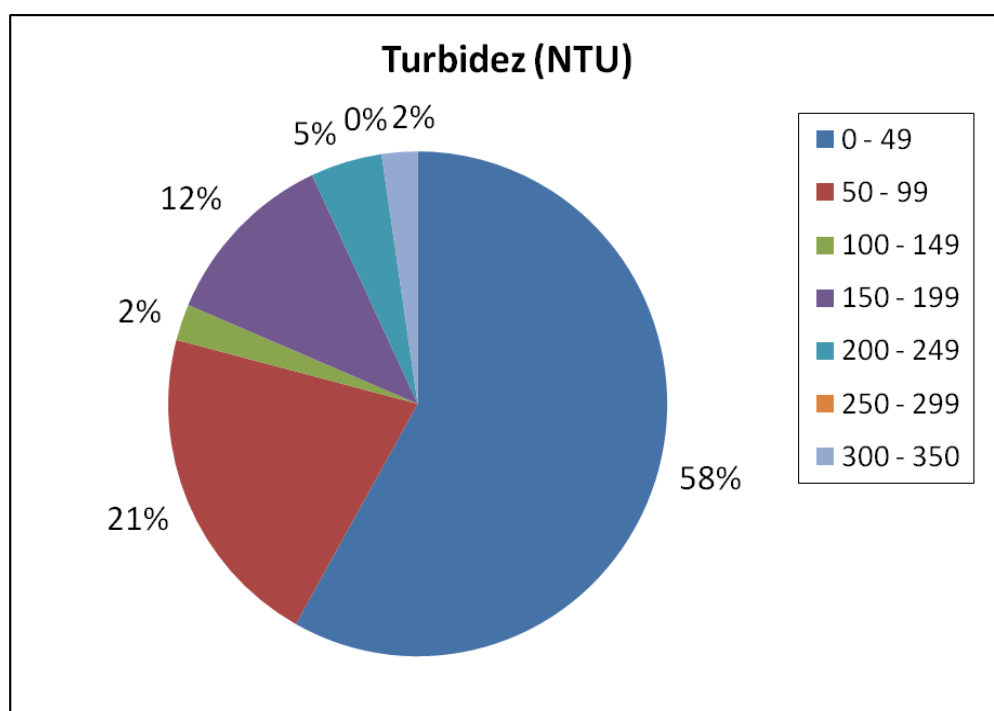


Figura 25 - Gráfico mostrando os resultados do parâmetro turbidez.

Em relação às medidas de temperaturas das águas, obtidos por meio dos poços cadastrados, a maioria das temperaturas variam entre 22 e 24 °C (Fig. 26). Essas temperaturas são normais para a região, pois os poços são pouco profundos e não tem influência significativa do gradiente geotérmico.

A temperatura tem importante papel nas reações bioquímicas e na solubilidade dos gases dissolvidos na água.

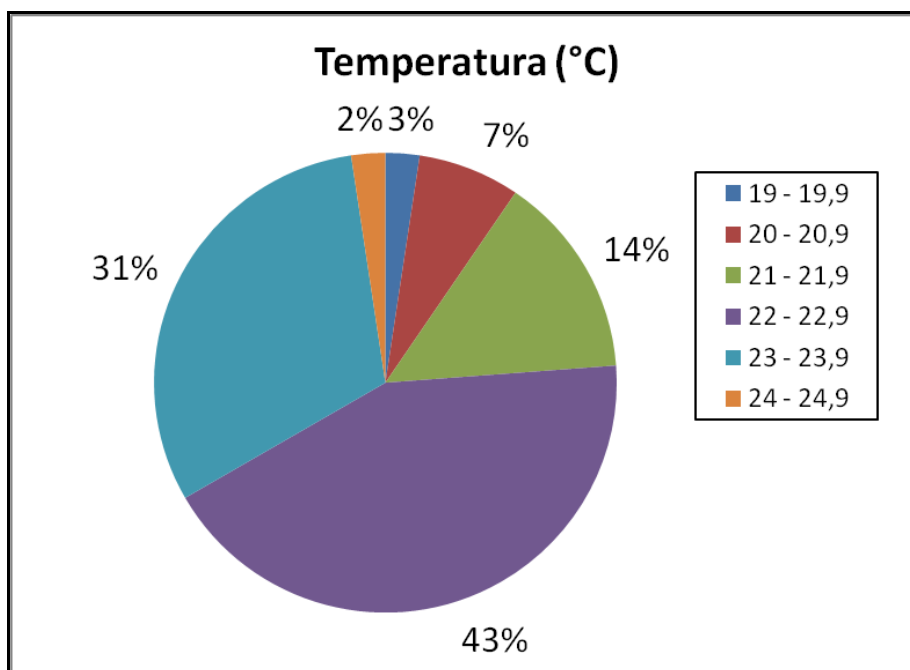


Figura 26 - Gráfico mostrando a predominância das temperaturas das águas subterrâneas para aquela região.

A interpretação e classificação dos resultados obtidos nas análises físico-químicas foram realizadas através de diagramas construídos por meio do *software* Qualigraf (Mobus, 2002). Com a utilização desse software foram obtidos os diagramas de Piper, USLL e Stiff. O mesmo também possibilitou classificar as águas em doces, salobras ou salgadas.

O diagrama triangular de Piper (Fig. 27) foi gerado com base nos dados de abundância dos elementos maiores (cátions e ânions), porém, em função do pequeno número de amostras (3), a classificação desse diagrama deve ser analisada como preliminar.

Com a análise do diagrama é possível concluir que as águas são classificadas em dois grandes grupos: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas. No primeiro grupo, ao analisar a abundância dos cátions, uma amostra apresenta característica cálcica e a outra mista, enquanto que para o segundo grupo, o cátion predominante é o sódio.

Segundo o mapa hidrogeológico do RS, o ânion predominante para esse tipo de aquífero costeiro é o bicarbonato e em relação ao cátion é o sódio (Machado & Freitas, 2005). Essa afirmação confere o ânion e um dos cátions resultantes na avaliação preliminar das análises físico-químicas. Esse resultado também está de acordo com o trabalho realizado por Reginato *et al*, 2009. Reginato (2009)

descreveu que a maior parte das amostras coletadas em seu trabalho tem na classificação de Piper o predomínio do grupo das bicarbonatadas sódicas e em seguida o grupo das bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, com características cálcicas na maior parte das águas coletadas.

Os resultados apresentados por esses autores indicam que as águas subterrâneas são do tipo bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, predominando as cálcicas.

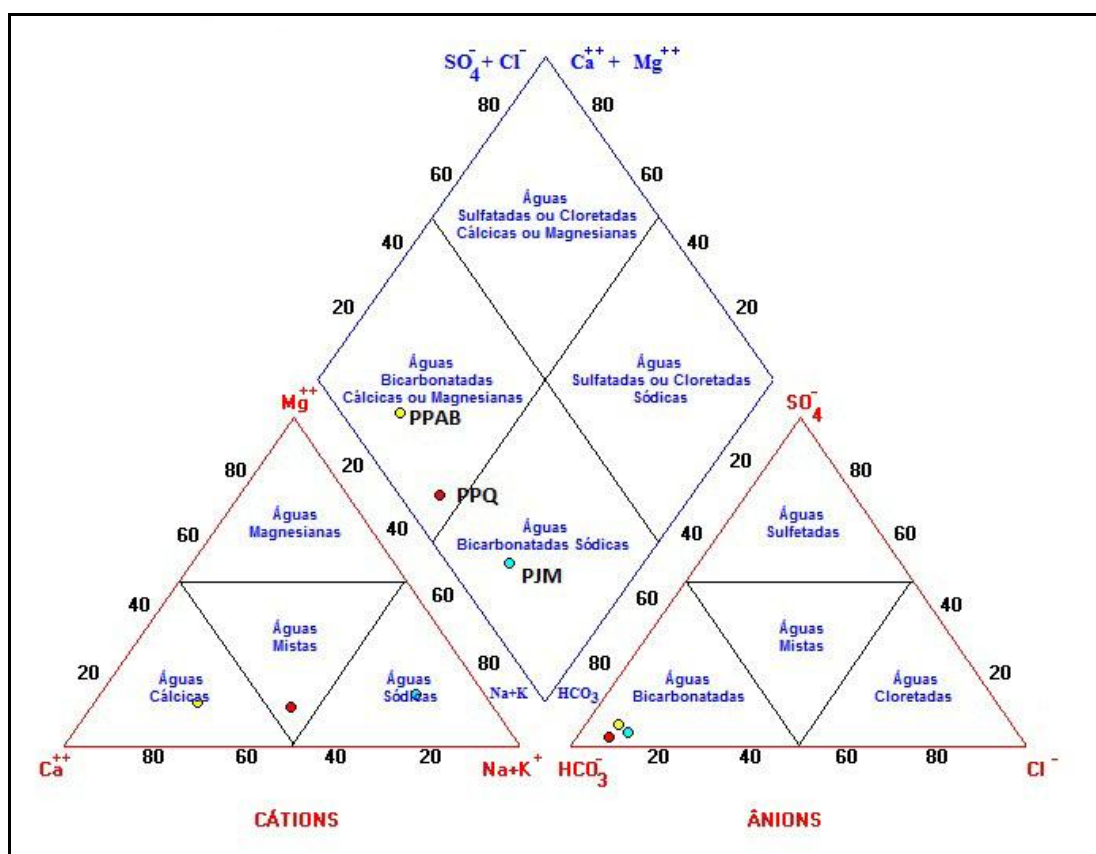


Figura 27 - Diagrama de Piper com a classificação das águas coletadas dos poços de monitoramento.

Ainda com a utilização do mesmo programa foi construído o diagrama de Stiff. Com ele é possível observar geometricamente as diferenças químicas entre as águas a partir das concentrações em meq/L de cátions e ânions principais da amostra.

Na Figura 28, podemos concluir que a amostra PPAB apresenta concentrações um pouco maiores de cálcio e bicarbonato do que em relação à amostra PPQ. Deste modo, a classificação realizada anteriormente pelo diagrama de Piper é confirmada por esse diagrama de Stiff reafirmando que ambas as

amostras são pertencentes ao grupo das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, porém uma com característica mais cálcica e a outra mista. Já a amostra PJM tem sua geometria um pouco mais diferenciada das outras por apresentar um alto enriquecimento em sódio. Ainda pertencente ao grande grupo das bicarbonatadas, porém com características sódicas.

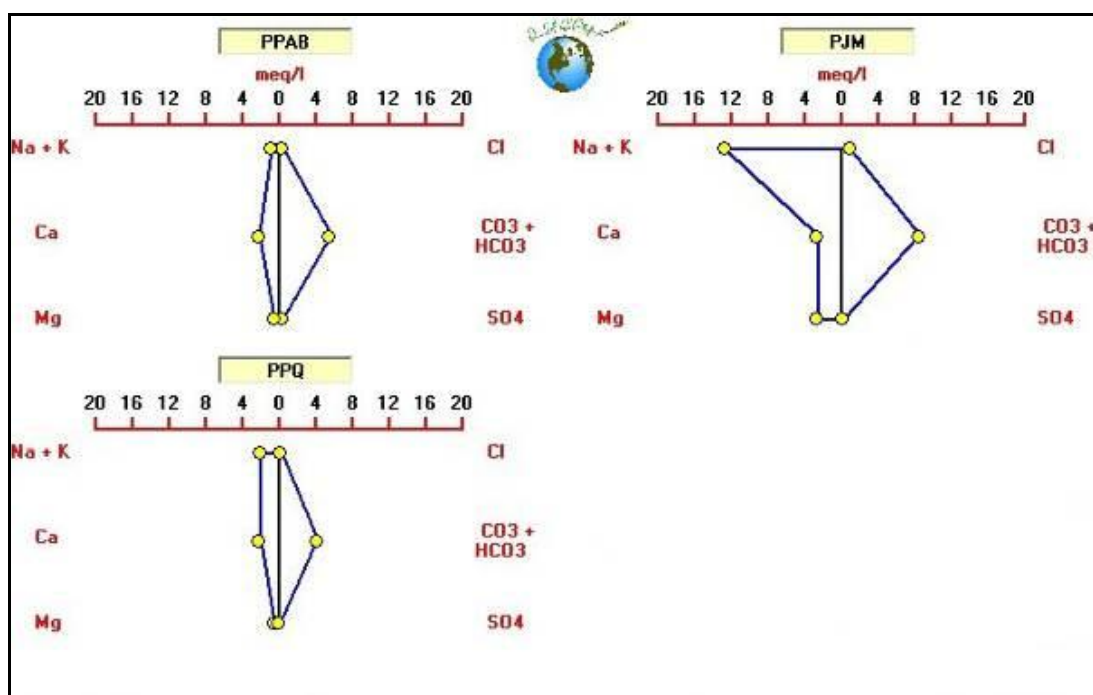


Figura 28 - Diagrama de Stiff com resultados das amostras coletadas dos poços de monitoramento.

Ao utilizar os critérios definidos pela *United States Salinity Laboratory* (Qualigraf, 2002) foi gerado o diagrama e a classificação das águas para o uso na agricultura. O resultado obtido indicou que as águas subterrâneas existentes na região do Cassino apresentaram duas amostras com risco de salinidade média e uma com risco alto. Já para os valores que representam risco de sódio, 2/3 das amostras apresentam baixo risco e 1/3 médio risco (Fig. 29). Esses resultados indicam que deve haver um controle no uso de águas subterrâneas para irrigação, pois dependendo do teor de sódio e da condutividade, haverá um risco maior para salinização dos solos.

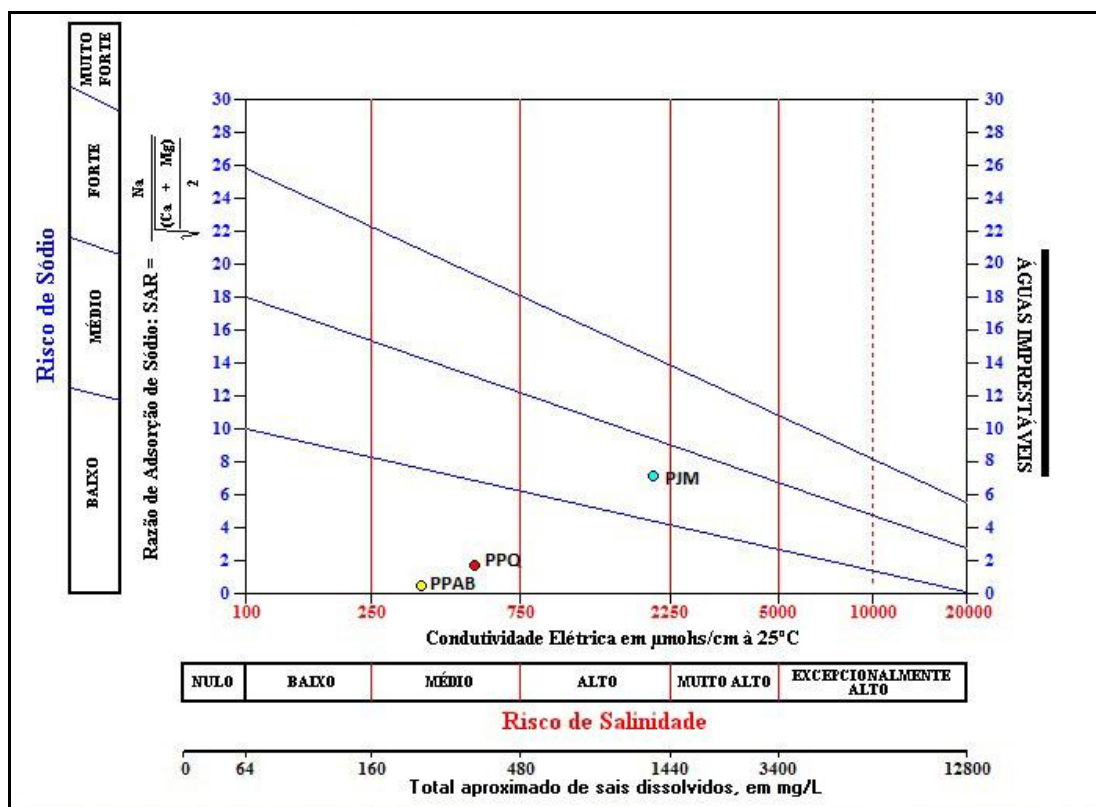


Figura 29 - Diagrama do *United States Salinity Laboratory* com a classificação para uso na agricultura.

Outra classificação estabelecida a partir dos resultados de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foi a classificação das águas em doces, salobras ou salinas. A maior parte das águas foi classificada como doce (66,7%) e o restante (33,3) como águas salobras (Fig. 23). Essa ocorrência também é normal se encontrar em regiões da planície costeira, assim como foi observado também para as medidas de condutividade realizadas *in situ* durante o cadastramento de poços.

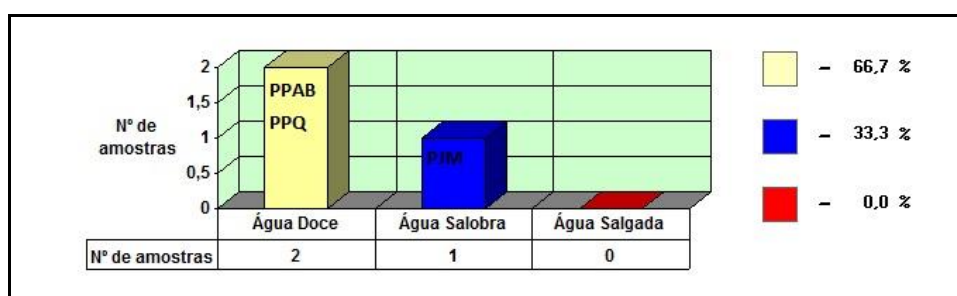


Figura 30 - Classificação das amostras em águas doces e salobras.

4 CONCLUSÕES

Esse trabalho caracterização da unidade aquífera Barreira Holocênica na região do Balneário Cassino, Rio Grande (RS) e permitiu chegar às seguintes conclusões:

- As principais formas de captação das águas subterrâneas na região do Balneário Cassino são feitas por meio de poços ponteiras e poços cacimbas, principalmente nas áreas rurais do Balneário. A maior parte desses poços encontram-se abandonados devido à má qualidade da água proveniente de altas concentrações de ferro, manganês, matéria orgânica ou até mesmo da construção de poços fora das normas técnicas brasileiras.
- A unidade aquífera Barreira Holocênica é constituída por três principais camadas que definem tipos de ambientes de sedimentação diferentes. A espessura de toda a unidade aquífera encontra-se em torno dos 20 metros. A camada que constitui o ambiente eólico é formada por areias de média a fina granulometria, boa seleção, baixa compactidade, alta porosidade e baixa salinidade. Características que a definem como ótimos reservatórios. Já o segundo ambiente não é considerado tão eficaz quanto o primeiro, porém pode-se tratar de um bom aquífero. É constituído por areias de granulometria que variam de média a muito fina, má seleção e variado grau de compactação. Há ocorrências de argila em algumas porções da camada. Sua porosidade aparece de forma reduzida e o teor salino começa a aparecer de forma acentuada. São caracterizados como ambientes praias e marinho raso. Por fim o ambiente marinho profundo é constituído de sedimentos argilosos de alto grau de compactação, baixa porosidade e elevado teor salino. Sendo um péssimo reservatório, mas uma ótima

camada selante que confina as camadas que se encontram abaixo dela e torna-se a base da unidade aquífera acima dela. O aquífero é definido como livre, porém algumas vezes apresenta um comportamento de semi-confinado devido ao aparecimento de lentes de argila. Logo devemos tratá-lo como um aquífero heterogêneo.

- Os parâmetros hidrodinâmicos selecionados foram: 7,58 m²/h para transmissividade, $6,61 \cdot 10^{-4}$ para coeficiente de armazenamento e 9,2 m/d para o coeficiente de permeabilidade
- As curvas de rebaixamento apresentaram nos primeiros minutos uma queda rápida do nível estático, seguido por uma estabilização, após os 12 minutos, em média. As curvas de recuperação mostraram a tendência de rápida recuperação do aquífero, sendo uma característica positiva para o mesmo.
- O fluxo preliminar das águas subterrâneas para a região do Cassino é no sentido continente - oceano.
- Com os dados coletados em campo, durante o cadastramento dos poços, foi observado um pH levemente alcalino, altos valores de turbidez, temperaturas entre 22 e 24°C e a condutividade elétrica dentro da normalidade para aquíferos costeiros.
- Os resultados das análises físico-químicas mostraram a classificação das águas em dois grupos: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas. Em relação à classificação das águas no quesito doces, salobras ou salinas, duas amostras deram como resultados águas doces e uma salobra.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2001). *NBR 6484: Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento de Solos*. Rio de Janeiro: ABNT.

AFC Geofísica. (2013). *Geofísica. Relatório Técnico da Perfilagem Geofísica de Poços Tubulares na Região de Cassino (RS)*. Porto Alegre, p.12.

Calliari, L.J. & Klein, A.H.F. (1993). Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas Entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*. 20 (1): 48-56.

ESTAQ Sondagens e Fundações. (2013). *Relatório Técnico de Sondagem na Região de Cassino (RS)*. Porto Alegre, p.8.

Fisher, W.L. & Mc Gowen, J.H. (1967). Depositional Systems in the Wilcox Group of Texas and Their Relationship to Occurrence of Oil and Gas. *Gulf Coast Ass. Geol. Socs. Trans* 17: 105-125.

GROUND Water Software for Windows. (1995). New York, United Nations Publication, New York.

Hausman, A. (1960). Estudos das possibilidades de água subterrânea no Rio Grande do Sul. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. 9(1): 29-42.

Hausman A. (1995). Províncias hidrogeológicas do estado do Rio Grande do Sul - RS. *In: Acta Geologica Leopoldensia. Série Mapas*, (2): 1-27.

HIDROGEO Perfurações. (2013). *Relatório Técnico de Perfuração e Construção de Poços Tubulares na Região de Cassino (RS)*. Canoas, HidroGeo, p.15.

Lisboa, N.A *et al.* (2004). Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 13. Anais...Cuiabá, 2004*.

Machado, J. L. F. & Freitas, M. A. de. (2005). *Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Relatório Final*. Porto Alegre: CPRM, 2005. Escala 1:750. 000.

Manoel Filho, J. (2008). Água Subterrânea em Meios Porosos Homogêneos: Ocorrência das águas subterrâneas. In: *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: CPRM.

Martins, L. R. (1967). Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação especial da escola de geologia, UFRGS, Porto Alegre*. (13) 1-100.

MOBUS, G. (2002). QUALIGRAF. *Programa para análise da qualidade da água*. Fortaleza, FUNCENE. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 1 CD-ROM

Pessôa M. S. (1982). *Banco de dados hidrogeológicos e análise estatística da vazão dos poços do estado do Rio Grande*, Porto Alegre. 193f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2011). *Portaria MS nº 2.914/2011*. Brasília. p.34. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_2914_12_12_2011.pdf> Acesso em 13 nov. 2013.

Reginato, P. A. R., Brancher, Luciana, Schafer, A. E., & Lanzer, M. Rosane (2009). Água subterrânea utilizada para irrigação na planície costeira do rio grande do sul e seu risco a salinização. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2009, São Paulo. *Anais*. São Paulo: ABAS, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Ministério Público. (2002). Decreto Estadual Nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002. Disponível em :< <http://www.mprs.mp.br/ambiente/legislacao/id4807.htm>> Acesso em:12 nov. 2013

Sanberg J. R. D. (1980). *Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do estado do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre. 99f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. (2000). O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (Ed). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p. 375–406.

Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J. (1995). Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas. CECO/IG/UFRGS*. Porto Alegre, RS. (8): 1-45.

6 ANEXOS

6.1 Anexo com as planilhas dos ensaios de bombeamento.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH DEPARTAMENTO DE HIDROMECÂNICA E HIDROLOGIA ENSAIO DE BOMBEAMENTO – PLANILHA PARA COLETA DE DADOS									
Poço: PPAB			Tipo (x)Bombeado ()Observado				Distância Poço-Poço: 22,72 m		
Q(m³/h): 4,5			NE: 0,96 m		ND: 5,12 m		Data: 04/05/2013		
Local: Balneário Cassino - RS									
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
Tempo (min)	N.A. (m)	s (m)	Q (m³/h)	q (Q/s)	Tempo – t' (min)	t/t'	N.A. (m)	s (m)	
1	2,50	1,54			1		2,39	1,43	
2	3,02	2,06			2		2,01	1,09	
3	3,42	2,46			3		1,69	0,73	
4	3,47	2,51			4		1,52	0,56	
5	4,10	3,14			5		1,41	0,45	
6	4,43	3,47			6		1,40	0,44	
7	4,60	3,64			7		1,38	0,42	
8	4,71	3,75			8		1,35	0,39	
9	4,83	3,87			9		1,34	0,38	
10	4,86	3,90			10		1,33	0,37	
12	4,93	3,97			12		1,32	0,36	
14	4,99	4,03			14		1,30	0,34	
16	4,99	4,03			16		1,28	0,32	
18	5,01	4,05	4,05		18		1,26	0,30	
20	5,02	4,06			20		1,25	0,29	
25	5,05	4,09			25		1,23	0,27	
30	5,07	4,11			30		1,21	0,25	
35	5,07	4,11			35		1,19	0,23	
40	5,05	4,09			40		1,17	0,21	
45	5,13	4,17			45		1,16	0,20	
50	5,14	4,18			50		1,15	0,19	
60	5,01	4,05			60		1,14	0,18	
70	5,13	4,17			70				
80	5,15	4,19			80				
90	5,12	4,16			90				

100	5,11	4,15	4,5		100			
130	5,12	4,16			130			
160	5,12	4,16			160			
190	5,12	4,16			190			
220	5,12	4,16			220			
250	5,12	4,16			250			
280					280			
310					310			
340					340			
370					370			
400					400			
430					430			
460					460			
500					500			
560					560			
620					620			
680					680			
740					740			
800					800			
860					860			
920					920			
980					980			
1040					1040			
1140					1140			
1240					1240			
1340					1340			
1440					1440			

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
 INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
 DEPARTAMENTO DE HIDROMECAÂNICA E HIDROLOGIA
 ENSAIO DE BOMBEAMENTO – PLANILHA PARA COLETA DE DADOS

Poço: PPAB PZO			Tipo () Bombeado (x) Observado		Data: 03/05/2013			
NE: 1,01 m ND: 1,235 m			Local: Balneário Cassino - RS					
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
Tempo (min)	N.A. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	q (Q/s)	Tempo - t' (min)	t/t'	N.A. (m)	s (m)
1	1,01	0			1		1,18	0,17
2	1,01	0			2		1,18	0,17
3	1,01	0			3		1,175	0,165
4	1,01	0			4		1,17	0,16
5	1,04	0,03			5		1,17	0,16
6	1,06	0,05			6		1,165	0,15
7	1,07	0,06			7		1,165	0,155
8	1,085	0,075			8		1,165	0,155
9	1,115	0,105			9		1,165	0,155
10	1,14	0,13			10		1,165	0,155
12	1,16	0,15			12		1,16	0,15
14	1,17	0,16			14		1,16	0,15
16	1,17	0,16			16		1,155	0,145
18	1,17	0,16			18		1,155	0,145
20	1,17	0,16			20		1,15	0,14
25	1,18	0,17			25		1,145	0,135
30	1,18	0,17			30		1,14	0,13
35	1,19	0,18			35		1,135	0,125
40	1,19	0,18			40		1,13	0,12
45	1,20	0,19			45		1,125	0,115
50	1,20	0,19			50		1,12	0,11
60	1,21	0,20			60		1,115	0,105
70	1,21	0,20			70			
80	1,22	0,21			80			
90	1,225	0,215			90			
100	1,235	0,225			100			
130	1,235	0,225			130			

160	1,235	0,225			160			
190	1,235	0,225			190			
220	1,235	0,225			220			
250	1,235	0,225			250			
280					280			
310					310			
340					340			
370					370			
400					400			
430					430			
460					460			
500					500			
560					560			
620					620			
680					680			
740					740			
800					800			
860					860			
920					920			
980					980			
1040					1040			
1140					1140			
1240					1240			
1340					1340			
1440					1440			

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
 INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
 DEPARTAMENTO DE HIDROMECÂNICA E HIDROLOGIA
 ENSAIO DE BOMBEAMENTO – PLANILHA PARA COLETA DE DADOS



Poço: PJM		Tipo (x)Bombeado ()Observado			Data: 03/05/2013			
Q(m³/h): 3,0		NE: 1,10 m		ND: 3,66 m		Local: Balneário Cassino - RS		
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
Tempo (min)	N.A. (m)	s (m)	Q (m³/h)	q (Q/s)	Tempo – t' (min)	t/t'	N.A. (m)	s (m)
1					1		1,76	0,66
2	3,40	2,30			2		1,41	0,31
3	3,78	2,68			3		1,31	0,21
4	3,92	2,82			4		1,28	0,18
5	4,05	2,95			5		1,27	0,17
6	4,16	3,06			6		1,25	0,15
7	4,21	3,11			7		1,24	0,14
8	4,23	3,13			8		1,22	0,12
9	4,38	3,28			9		1,21	0,11
10	4,40	3,30	2,18		10		1,20	0,10
12	4,50	3,40			12		1,18	0,08
14	4,51	3,41			14		1,16	0,06
16	4,52	3,42			16		1,15	0,05
18	4,71	3,61			18		1,14	0,04
20	4,71	3,61			20		1,14	0,04
25	4,71	3,61			25		1,13	0,03
30	4,68	3,58			30			
35	4,68	3,58			35			
40	4,68	3,58	3,10		40			
45	4,76	3,66			45			
50					50			
60					60			
70					70			
80					80			
90					90			
100					100			
130					130			

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
 INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
 DEPARTAMENTO DE HIDROMECÂNICA E HIDROLOGIA
 ENSAIO DE BOMBEAMENTO – PLANILHA PARA COLETA DE DADOS

Poço: PPQ		Tipo (x)Bombeado ()Observado			Distância Poço-Poço: Sem piezômetro			
Q(m³/h): 3,6		NE: 1,69 m		ND: 4,56 m		Data: 02/05/2013		
Local: Balneário Cassino - RS								
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO			
Tempo (min)	N.A. (m)	s (m)	Q (m³/h)	q (Q/s)	Tempo – t' (min)	t/t'	N.A. (m)	s (m)
1	4,39	2,70	4,5		1		1,99	0,30
2	4,49	2,80			2		1,89	0,20
3	4,50	2,81			3		1,87	0,18
4	4,51	2,82			4		1,86	0,17
5	4,51	2,82			5		1,85	0,16
6	4,52	2,83			6		1,845	0,155
7	4,52	2,83			7		1,835	0,145
8	4,52	2,83			8		1,83	0,14
9	4,52	2,83			9		1,83	0,14
10	4,52	2,83	3,8		10		1,825	0,135
12	4,52	2,83			12		1,82	0,130
14	4,47	2,77			14		1,81	0,12
16	4,47	2,78			16		1,805	0,115
18	4,475	2,785			18		1,80	0,110
20	4,48	2,79			20		1,80	0,110
25	4,485	2,795			25		1,80	0,110
30	4,40	2,71			30		1,80	0,110
35	4,43	2,74			35			
40	4,43	2,74			40			
45	4,45	2,76	3,6		45			
50	4,44	2,75			50			
60	4,45	2,76			60			
70	4,465	2,775			70			
80	4,47	2,78			80			
90	4,48	2,79			90			


100	4,485	2,795			100			
130	4,510	2,820			130			
160	4,520	2,830			160			
190	4,545	2,855			190			
220	4,55	2,860			220			
250	4,56	2,870			250			
280					280			
310					310			
340					340			
370					370			
400					400			
430					430			
460					460			
500					500			
560					560			
620					620			
680					680			
740					740			
800					800			
860					860			
920					920			
980					980			
1040					1040			
1140					1140			
1240					1240			
1340					1340			
1440					1440			

6.2 Anexo com os resultados das análises físico-químicas.

 UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS CENTRO DE ECOLOGIA	 ecologia UFRGS			
Porto Alegre, 22 de maio de 2013.					
RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 130/2013-ÁG.					
CLIENTE: Pedro Antônio Roehe Reginato					
ENDEREÇO: Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 – CEP 91501-970 – Porto Alegre – RS.					
REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS N°: 024/2013.					
AMOSTRA					
Tipo: Água subterrânea.					
Identificação da amostra: PPAB – Poço Tubular Paulo Abreu.					
Data de Recebimento: 06/05/2013.					
COLETA					
Responsável pela coleta: Pedro Antônio Roehe Reginato.					
Procedimento de amostragem: Coleta direta do poço na saída da tubulação.					
Conservação e Transporte: Em caixa de isopor no gelo.					
Data da coleta: 05/05/2013. Hora da coleta: 11h00min.					
RESULTADO DO ENSAIO					
Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	Referência	LD
		PPAB			
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	3,43	Volumetria de neutralização	NBR 13736/1996	1,00
Cloretos	mgCl/L	15,5	Volumetria de precipitação	NBR 13797/1997	1,00
Condutividade	µS/cm	363	Conductometria	NBR 14340/1999	0,10
Cor	mgPt/L	250	Espectrofotometria de comprimento de onda simples	Standard Methods 21 ST	zero
Dureza	mgCaCO ₃ /L	167	Complexometria com EDTA	NBR 12621/1992	5,00
Fluoreto	mgF ⁻ /L	0,12	Eletrodo de Íon Seletivo	Standard Methods 21 ST	0,10
Nitrato	mgNO ₃ ⁻ -N/L	8,04	Espectrofotometria UV	Standard Methods 21 ST	0,200
pH	-----	6,8	Método Potenciométrico	Standard Methods 21 ST	0,01
Sólidos Dissolvidos	mg/L	2.400	Gravimetria- secagem à 180°C	Standard Methods 21 ST	10
Sulfato	mgSO ₄ ²⁻ /L	15,3	Iodometria	Standard Methods 21 ST	1,00
Turbidez	NTU	63,8	Nefelometria	NBR 11265/1990	1,00

LEGENDA: LD = Limite de detecção.

NOTA: Os resultados contidos neste relatório têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. O Relatório de Ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização do Centro de Ecologia da UFRGS.


Vera Lucia Atz
Química Industrial – CRQ-V: 05201177

Cadastro FEPAM N°: 00033/2011-DL Versão:09

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 – CEP: 91.501-970 - Porto Alegre – RS
Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 – e-mail: ceneco.ufrgs.br Home Page: www.ecologia.ufrgs.br
Relatório de Ensaio n° 130-13 - Pedro Antônio Roehe Reginato(1/1)

Porto Alegre, 22 de maio de 2013.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 128/2013-ÁG.

CLIENTE: Pedro Antônio Roehe Reginato

ENDEREÇO: Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 – CEP 91501-970 – Porto Alegre – RS.

REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS Nº: 024/2013.

AMOSTRA

Tipo: Água subterrânea.

Identificação da amostra: PJM – Poço Tubular Jorge Marchetoti.

Data de Recebimento: 06/05/2013.

COLETA

Responsável pela coleta: Pedro Antônio Roehe Reginato.

Procedimento de amostragem: Coleta direta do poço na saída da tubulação.

Conservação e Transporte: Em caixa de isopor no gelo.

Data da coleta: 05/05/2013.

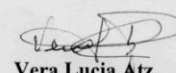
Hora da coleta: 08h00min.

RESULTADO DO ENSAIO

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	Referência	LD
		PJM			
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	9,72	Volumetria de neutralização	NBR 13736/1996	1,00
Cloretos	mgCl/L	35,5	Volumetria de precipitação	NBR 13797/1997	1,00
Condutividade	µS/cm	1983	Condutometria	NBR 14340/1999	0,10
Cor	mgPt/L	200	Espectrofotometria de comprimento de onda simples	Standard Methods 21 ST	zero
Dureza	mgCaCO ₃ /L	252	Complexometria com EDTA	NBR 12621/1992	5,00
Fluoreto	mgF/L	0,35	Eletrodo de Íon Seletivo	Standard Methods 21 ST	0,10
Nitrato	mgNO ₃ ⁻ -N/L	7,49	Espectrofotometria UV	Standard Methods 21 ST	0,200
pH	-----	7,2	Método Potenciométrico	Standard Methods 21 ST	0,01
Sólidos Dissolvidos	mg/L	10.840	Gravimetria- secagem à 180°C	Standard Methods 21 ST	10
Sulfato	mgSO ₄ ²⁻ /L	11,3	Iodometria	Standard Methods 21 ST	1,00
Turbidez	NTU	146	Nefelometria	NBR 11265/1990	1,00

LEGENDA: LD = Limite de detecção.

NOTA: Os resultados contidos neste relatório têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. O Relatório de Ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização do Centro de Ecologia da UFRGS.



Vera Lucia Atz

Química Industrial – CRQ-V: 05201177



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 31 de maio de 2013.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 129/2013-ÁG.

CLIENTE: Pedro Antônio Roehe Reginato
ENDEREÇO: Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 – CEP 91501-970 – Porto Alegre – RS.
REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS Nº: 024/2013.

AMOSTRA

Tipo: Água subterrânea.
Identificação da amostra: PPQ – Poço Tubular Paulo Quaresma.
Data de Recebimento: 06/05/2013.

COLETA

Responsável pela coleta: Pedro Antônio Roehe Reginato.
Procedimento de amostragem: Coleta direta do poço na saída da tubulação.
Conservação e Transporte: Em caixa de isopor no gelo.
Data da coleta: 05/05/2013. **Hora da coleta:** 10h00min.

RESULTADO DO ENSAIO

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	Referência	LD
		PPQ			
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	4,34	Volumetria de neutralização	NBR 13736/1996	1,00
Cloretos	mgCl/L	10,5	Volumetria de precipitação	NBR 13797/1997	1,00
Condutividade	µS/cm	535	Condutometria	NBR 14340/1999	0,10
Cor	mgPt/L	80	Espectrofotometria de comprimento de onda simples	Standard Methods 21 ST	zero
Dureza	mgCaCO ₃ /L	123	Complexometria com EDTA	NBR 12621/1992	5,00
Fluoreto	mgF/L	0,11	Eletrodo de Íon Seletivo	Standard Methods 21 ST	0,10
Nitrato	mgNO ₃ ⁻ -N/L	0,969	Espectrofotometria UV	Standard Methods 21 ST	0,200
pH	-----	6,8	Método Potenciométrico	Standard Methods 21 ST	0,01
Sólidos Dissolvidos	mg/L	2.830	Gravimetria- secagem à 180°C	Standard Methods 21 ST	10
Sulfato	mgSO ₄ ²⁻ /L	2,71	Iodometria	Standard Methods 21 ST	1,00
Turbidez	NTU	18,6	Nefelometria	NBR 11265/1990	1,00

LEGENDA: LD = Limite de detecção.

NOTA: Os resultados contidos neste relatório têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. O Relatório de Ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização do Centro de Ecologia da UFRGS.

Vera Lucia Ata
Química Industrial – CRQ-V: 05201177

Cadastro FEPAM Nº: 00033/2011-DL

Versão:09

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS
Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: ceneco@ufrgs.br Home Page: www.ecologia.ufrgs.br

Relatório de Ensaio nº 129-13 - Pedro Antônio Roehe Reginato(1/1)

Porto Alegre, 28 de maio de 2013.

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 132/2013-AA.

CLIENTE: Pedro Antônio Roehe Reginato

ENDEREÇO: Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 – CEP 91501-970 – Porto Alegre – RS.

REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS N°: 024/2013.

AMOSTRA

Tipo: Água subterrânea.

Identificação da amostra: PJM – Poço Tubular Jorge Marchetoti

PPQ – Poço Tubular Paulo Quaresma.

PPAB – Poço Tubular Paulo Abreu.

Data de Recebimento: 06/05/2013.

COLETA

Responsável pela coleta: Pedro Antônio Roehe Reginato.

Procedimento de amostragem: Coleta direta do poço na saída da tubulação.

Conservação e Transporte: Em caixa de isopor no gelo.

Data da coleta: 05/05/2013.

Hora da coleta: 08h00min às 12h00min.

RESULTADO DO ENSAIO

Parâmetro	Unidade	Resultado			Metodologia	LD
		PJM	PPQ	PPAB		
Alumínio	mg/L	0,582	0,145	0,776	EAA/Chama Óxido Nitroso Ar-Acetileno	0,077
Cálcio	mg/L	53,5	40,8	42,1	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,009
Chumbo	mg/L	ND	ND	ND	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,054
Cobre	mg/L	0,005	ND	ND	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,005
Ferro	mg/L	12,0	4,65	9,16	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,014
Magnésio	mg/L	31,1	5,83	4,74	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,003
Manganês	mg/L	5,09	1,58	1,89	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,009
Potássio	mg/L	45,2	4,03	9,37	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,013
Sódio	mg/L	264	44,0	11,2	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,002
Zinco	mg/L	0,115	0,011	0,046	EAA/Chama Ar-Acetileno	0,006

LEGENDA: ND = Não detectado = ND < LD.

LD = Limite de detecção.

EAA = Espectrometria de Absorção Atômica. EEA = Espectrometria de Emissão Atômica

REFERÊNCIA: Standard Methods 21ST.

MÉTODO DE DIGESTÃO: Digestão com ácido nítrico em sistema aberto.

NOTA: Os resultados contidos neste relatório têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. O Relatório de Ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização do Centro de Ecologia da UFRGS.



Vera Lucia Atz

Química Industrial – CRQ-V: 05201177

Versão:02

Cadastro FEPAM N°: 00033/2011-DL

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - Caixa Postal 15007 - CEP: 91.501-970 - Porto Alegre - RS

Fone: (51) 3308-6762 - Fax: (51) 3308-7307 - e-mail: ceneco@ufrgs.br Home Page: www.ecologia.ufrgs.br

Relatório de Ensaio n° 132-13 - Pedro Antônio Roehe Reginato(1/1)