



Renée Rocha

**Contaminação da Água Subterrânea por Cemitérios:
Estudo de caso no cemitério municipal de Osório**

Porto Alegre

2017

Renée Rocha

Contaminação da Água Subterrânea por Cemitérios: Estudo de caso no cemitério municipal de Osório

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 para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Antônio Pedro Viero

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

Porto Alegre

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Rocha, Renée

Contaminação da água subterrânea por cemitérios: estudo de caso no Cemitério Municipal de Osório. / Renée Rocha. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.

[60 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientadores: Prof. Dr. Antônio Pedro Viero

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

1. Contaminação da água subterrânea. 2. Quaternário Costeiro.

I. Título.

CDU 556.388

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil. CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **CONTAMINAÇÃO DA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR CEMITÉRIOS: ESTUDO DE CASO NO CEMITÉRIO MUNICIPAL DE OSÓRIO**, elaborado por Renée Rocha, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Ari Roisenberg

Dr. Gustavo Athayde Barbosa

Ms. Marcos Imério Leão

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus orientadores, que me auxiliaram passo a passo para o desenvolvimento deste trabalho, professores Antônio Pedro Viero e Pedro Reginato, obrigada por toda dedicação e paciência que tiveram comigo ao longo desses três semestres, vocês foram ótimos orientadores.

Agradeço também a todos os amigos que torceram por mim e acreditaram que eu conseguiria, com certeza isso me ajudou a seguir em frente. Em especial à amiga e colega Catherine, que acompanhou toda minha jornada de perto, passando pelas mesmas dificuldades e sempre se dispondo a ajudar com o que pudesse, e ao meu irmão Thomas e amigos Juliano, Fabiano e Cláudio, a ajuda de vocês foi fundamental para a construção de meu trabalho, se não fosse por vocês tudo teria sido mais difícil, mais lento e provavelmente meu trabalho não estaria como está.

Obrigada a toda minha família pelo carinho e pelo convívio todos esses anos, ter vocês ao meu lado significa muito para mim. Sou grata principalmente à minha mãe, Renata, e aos meus irmãos, Nancy, Thomas, Lilly e Diana, por terem me ensinado tudo de mais importante que eu sei e por me apoiarem desde sempre, tenho muita sorte por ter vocês como exemplo em minha vida. Muito obrigada, graças a vocês que cheguei onde estou hoje.

Agradeço a todos de coração!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de ocorrência de contaminação por necrochorume causada pela existência de um cemitério localizado no município de Osório. A área de estudo está localizada na Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul, sendo caracterizada pela ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro. Essa avaliação foi realizada com base no desenvolvimento de levantamentos geológicos, através de coleta de amostras de solo por meio de sondagens a trado e análises granulométricas feitas por peneiramento, bem como levantamentos hidrogeológicos, através de confecção de um inventário de pontos de captação, medições de níveis de água, avaliação do fluxo da água subterrânea, coleta de amostras de água e análises físico-químicas das mesmas. O solo da região possui uma predominância em grãos de tamanho areia fina. A água em geral se apresentou levemente ácida e com uma condutividade variando entre 35 e 140 μS . As análises hidroquímicas mostraram que o poço localizado dentro das dependências do cemitério possui níveis mais elevados de alcalinidade, nitrato, cálcio, fósforo total e ortofosfato em comparação com os demais poços da área. Esses resultados foram avaliados e comparados com valores de referência da Resolução Conama 396/08 e 420/09 visando avaliar a existência de contaminação e da Portaria 2914/11 para avaliação da potabilidade da água. Segundo a Resolução Conama os parâmetros avaliados estão dentro dos valores permitidos para consumo. Quanto a potabilidade, os valores obtidos também estão de acordo com os valores de referência da Portaria 2914. Sendo assim, as anomalias encontradas, embora dentro dos limites das resoluções e portarias, indicam uma possível influência do cemitério na alteração da composição da água subterrânea.

Palavras-Chave: Necrochorume. Contaminação de água subterrânea. Quaternário Costeiro.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the possibility of occurrence of necrochorume contamination caused by the existence of a cemetery located in the city of Osório. The study area is located in the coastal plain of the State of Rio Grande do Sul, being characterized by the occurrence of the Quaternary Coastal Aquifer System. This evaluation was carried out based on the development of geological surveys, through the collection of soil samples by drilling and sieve analysis, as well as hydrogeological surveys, through the preparation of an inventory of capture points, measurements of water levels, groundwater flow assessment, water sample collection, and physico-chemical analyzes. The soil of the region has a predominance in grains of size fine sand. The water was generally slightly acidic and had a conductivity ranging from 35 to 140 μS . Hydro chemical analyzes showed that the well located within the cemetery dependencies has relatively high levels of alkalinity, nitrate, calcium, total phosphorus and orthophosphate compared to other wells in the area. These results were evaluated and compared with reference values of the Conama Resolutions 396/08 e 420/09, aiming to evaluate the existence of contamination and of Ordinance 2914/11 to evaluate the drinking water. According to the Conama Resolution, the parameters evaluated are within the allowed values for consumption. In terms of drinking water, the values obtained are also in accordance with the reference values of Ordinance 2914. Thus, the anomalies found, although within the limits of the resolutions and ordinances, indicate a possible influence of the cemetery in the alteration of the composition of groundwater.

Key words: Necrochorume. Contamination of groundwater. Quaternary Coastal.

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localização de Osório em um contexto nacional, estadual e regional (a, b, c) e imagem mostrando a localização exata da área de estudo (d). ..	13
Figura 2: Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ilustrando os principais sistemas deposicionais.	22
Figura 3: Perfil esquemático (W-E) transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul com suas fácies sedimentares associadas.	23
Figura 4: Mapa hidrogeológico da região apontando a localização da área de estudo.	26
Figura 5: Fotos da identificação e descrição dos pontos de captação. Medição de profundidade e NE (a, b, c); medição de coordenadas UTM (d); medição de pH e CE (e).....	28
Figura 6: Imagem do Google Earth mostrando a área do cemitério e os pontos onde foram feitos furos de sondagem	31
Figura 7: Imagem do Google Earth mostrando a área do cemitério e os pontos de captação escolhidos para amostragem de água.	32
Figura 8: Fotos de sepulturas mostrando como são construídas atualmente.	35
Figura 9: Mapa da região mostrando o contexto geológico e onde o cemitério está inserido.....	36
Figura 10: Foto mostrando as camadas de sedimentos expostas em uma cava de mina em Osório.	37
Figura 11: Localização (a) e perfis (b, c) dos poços descritos pela empresa Poços Artesianos e Águas Subterrâneas.....	38
Figura 12: Mapa potenciométrico da área de estudo, mostrando os pontos de coleta de água subterrânea	45

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resultados de análises de porosidade total das amostras.....	39
Tabela 2: Dados de tamanho de grão das amostras segundo a classificação de Shepard.....	41
Tabela 3: Dados das quantidades de material de cada tamanho presentes nas amostras e suas frequências simples.....	42
Tabela 4: Descrições das características dos poços identificados na área de estudo e arredores.....	44
Tabela 5: Dados de pH e CE medidos em campo.....	46
Tabela 6: Valores obtidos nas análises de água subterrânea.....	47

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Comparação dos valores de alcalinidade nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.....	48
Gráfico 2: Comparação dos valores de cloretos nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.	49
Gráfico 3: Comparação dos valores de fósforo total nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.....	49
Gráfico 4: Comparação dos valores de ortofosfato nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.....	50
Gráfico 5: Comparação dos valores de nitrato nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.	50
Gráfico 6: Comparação dos valores de cálcio nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.	51

SUMÁRIO

1. Introdução	12
1.1 Localização da área de estudo	13
1.2 Caracterização do Problema / Hipóteses	14
1.3. Justificativa.....	14
1.4 Objetivos Principal e Específicos	15
2. Estado da Arte.....	15
2.1. Contaminação da água subterrânea	15
2.1.1 Fontes de contaminação da água subterrânea.....	16
2.1.2 Investigação e Remediação de águas subterrâneas	18
2.1.3. Contaminação da água subterrânea por cemitério	19
2.2 Contexto Geológico.....	21
2.3. Contexto Hidrogeológico	25
3. Materiais e Métodos	27
3.1. Levantamento de Dados em campo	27
3.2. Caracterização Geológica e Hidrogeológica da Área.....	29
3.3 Investigação da Contaminação	29
3.3.1 Inventário de poços.....	29
3.3.2 Coleta de amostras de solo	30
3.3.3 Medição de Condutividade Elétrica e pH	31
3.3.4 Coleta de amostras de água subterrânea	31
3.3.5 Análises de porosidade total	32
3.3.5 Análises granulométricas	32
3.3.6 Análises hidroquímicas	33
3.3.7 Integração dos dados	34
3.4. Avaliação da Contaminação	34
4. Resultados	35

4.1 Caracterização do Cemitério Municipal de Osório	35
4.2 Caracterização Geológica e Hidrogeológica	36
4.2.1 Geologia Local.....	36
4.2.2 Hidrogeologia e Hidroquímica.....	43
4.3 Avaliação hidroquímica e de contaminação	47
5. Conclusões.....	52
Referências	53
ANEXOS	56

1. Introdução

A Água subterrânea é a que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo e saturando os poros e vazios intergranulares de rochas sedimentares, ou as fraturas, as falhas e as fissuras de rochas ígneas e metamórficas, desempenhando um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios e dos lagos. Estas águas fazem parte do ciclo hidrológico, pois constituem uma parcela da água precipitada.

Segundo Wrege (1997), as águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios, pois elas são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios.

O uso de águas subterrâneas já vem de tempos antigos e tem evoluído juntamente com a própria humanidade, sendo que devido ao aperfeiçoamento das técnicas de construção de poços e dos métodos de bombeamento elas vêm sendo cada vez mais utilizadas, sendo extraídas em volumes e profundidades cada vez maiores e podendo suprir cidades, indústrias, projetos de irrigação etc.

No litoral do Rio Grande do Sul há ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro. Esse sistema é caracterizado por aquíferos confinados, que são constituídos por uma formação geológica permeável confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis, e aquíferos livres, que são constituídos por uma formação geológica permeável e superficial totalmente aflorante e limitado na base por uma camada impermeável. Em aquíferos livres, o nível da água pode variar devido a quantidade de chuvas que ocorrerem em um certo período. Estes aquíferos são mais comuns e mais explorados pela população, porém, também acabam sendo os que apresentam maiores problemas de contaminação.

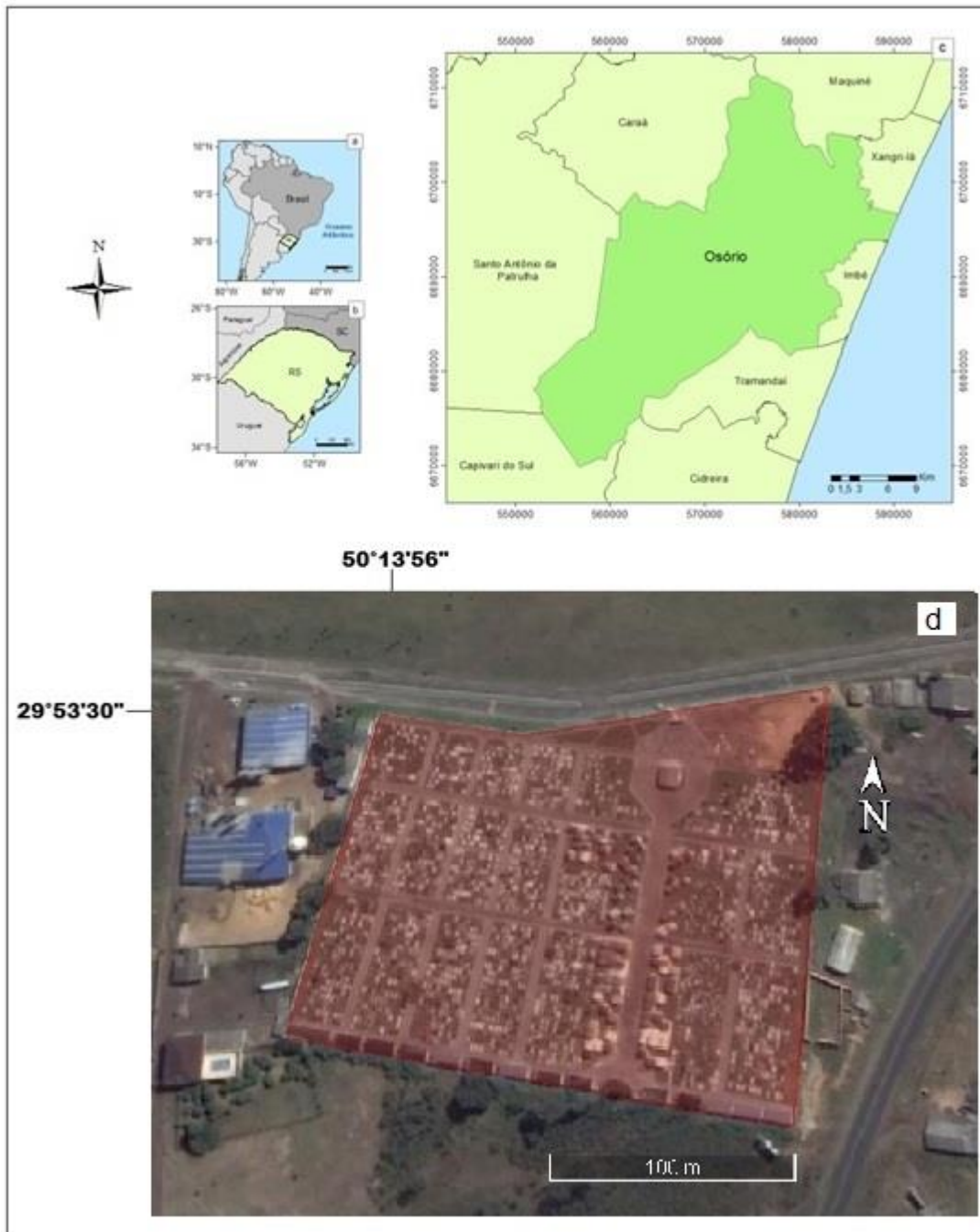
A contaminação pode dar-se por diversas fontes, como fossas sépticas, esgotos, aterros sanitários, postos de gasolina, indústrias, e também por cemitérios, o que pode causar grandes prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente.

Em função do exposto, é de grande importância o desenvolvimento de estudos voltados para avaliação hidrogeológica e contaminação da água subterrânea. Por este motivo, foi desenvolvido o presente projeto que visou estudar a hidrogeologia local e avaliar a possibilidade de contaminação de um aquífero granular livre, situado na área onde está instalado o cemitério municipal de Osório.

1.1 Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Osório, é um dos três cemitérios existente. O mesmo fica situado entre a Av. Marcílio Dias e a Rodovia Estrada do Mar, sendo que seu acesso pode ser feito pela Av. Sinval Antônio Ribeiro (figura 1)

Figura 1: Mapa de localização de Osório em um contexto nacional, estadual e regional (a, b, c) e imagem mostrando a localização exata da área de estudo (d).



Fonte: (a, b, c) Adaptado de Soares (2016); (d) elaborado pelo autor

1.2 Caracterização do Problema / Hipóteses

No município de Osório, localizado na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), foi construído um cemitério, sendo que nessa região há ocorrência de aquíferos livres localizados em camadas de sedimentos a poucos metros de profundidade.

O cemitério consiste em uma potencial fonte de contaminação, sendo que dependendo da situação construtiva do mesmo e das formas de sepultamento poderá ocorrer contaminação da água subterrânea.

Estes aquíferos possuem alta vulnerabilidade e são utilizados pela população para captação de água para consumo, através de poços ponteira com apenas poucos metros de profundidade. Sendo assim, se houver a contaminação da água subterrânea nestes aquíferos, poderão ocorrer problemas de saúde na população que utiliza esse recurso para abastecimento.

A principal contaminação causada por cemitérios é a liberação de um líquido chamado necrochorume. Este líquido quando liberado pode se infiltrar no solo, causando a contaminação do mesmo, e se tratando de uma área vulnerável como a região de Osório, pode chegar a atingir os aquíferos ali existentes causando sua contaminação.

Uma vez que estes aquíferos se encontram contaminados, em função do fluxo da água subterrânea, a contaminação irá se espalhar, podendo atingir áreas localizadas fora dos limites do cemitério. Nesse caso as águas contaminadas poderiam ser captadas por poços localizados nos arredores, ocasionando sérios problemas a saúde das pessoas, caso essa água fosse consumida.

Se houverem problemas de infraestrutura no cemitério, ou mesmo algum descuido no momento da construção dos túmulos, podendo ocasionar vazamentos, esse problema será ainda mais agravado, pois haverá uma liberação e infiltração de necrochorume muito mais intensa.

1.3. Justificativa

Os cemitérios são uma fonte de contaminação preocupante nas cidades, pois o corpo humano quando em estado de putrefação libera gases, líquidos e sais que vão provocar alterações na qualidade da água subterrânea.

A contaminação por necrochorume pode ser perigosa tanto pelo aumento da carga orgânica no meio ambiente, que desencadeia uma série de alterações

prejudiciais à harmonia do ecossistema, como pode ser ainda pela disseminação de microrganismos patogênicos como vírus e bactérias, as quais podem ser responsáveis pela transmissão de doenças infecto-contagiosas como a hepatite e a febre tifóide. A propagação dessas substâncias depende da geologia da região, alguns trabalhos constataram um raio de propagação de até 400 metros (LOPES, 2005).

Os solos arenosos, como os que encontramos associados aos aquíferos granulares da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, são mais suscetíveis a contaminação, pois estes solos possuem baixa capacidade de atenuação e retenção, disseminando mais efetivamente os contaminantes em seus interstícios.

Em função disso o desenvolvimento desse estudo é justificado pois com o mesmo será possível avaliar se o cemitério municipal de Osório, que é uma fonte potencial de contaminação, está contaminando ou não a água subterrânea existente nessa área.

1.4 Objetivos Principal e Específicos

O objetivo geral deste estudo é avaliar a ocorrência de uma possível contaminação do aquífero granular livre que faz parte do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro, por necrochorume na região de Osório.

Para que o objetivo principal seja alcançado, será necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- 1- Caracterizar a geologia e hidrogeologia do aquífero livre existente na região onde está instalado o cemitério municipal de Osório;
- 2- Avaliar o fluxo da água subterrânea do aquífero livre;
- 3- Identificar a ocorrência de contaminação da água subterrânea provocada pelo necrochorume.

2. Estado da Arte

2.1. Contaminação da água subterrânea

Durante muitos anos, a população teve costume de dispor diretamente no solo produtos com potencial poluidor devido à falta de informação, sendo que estas práticas que hoje são consideradas erradas antigamente eram comuns, o que

causava inúmeras contaminações de solo e água subterrânea (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS, 2017).

Os contaminantes ao atingirem o solo, se infiltram lentamente pelo meio, podendo então atingir as águas do lençol freático, que é o mais raso e mais vulnerável do aquífero. Uma vez que o solo seja atingido pelos contaminantes ele pode armazenar fase residual de produto em seus poros, se tornando assim uma fonte de contaminação e permitindo uma lenta lixiviação de contaminantes para as águas subterrâneas. A água subterrânea contaminada, que migra pelo aquífero, forma a pluma de fase dissolvida. Se o contaminante for imiscível com água, se desenvolverá uma fase separada, chamada fase livre, e a mesma poderá se manter flutuando sobre o nível d'água ou infiltrar-se para maiores profundidades dependendo de sua densidade em relação à água. Caso o contaminante seja volátil, poderá também se desenvolver uma fonte de vapores presentes na zona não-saturada (ABAS, 2017).

O manancial subterrâneo encontra-se um pouco mais protegido de agentes de contaminação do que as águas superficiais, na medida em que podem ser aquíferos livres, encontrados sob em uma zona não saturada, ou aquíferos confinados, estando protegidos por uma camada pouco permeável (REBOUÇAS, 1996). Independente disso, as águas subterrâneas também correm risco de contaminação. A vulnerabilidade de um aquífero depende do seu grau de proteção natural aos possíveis agentes contaminadores, o que inclui características litológicas e hidrogeológicas encontradas no local onde ocorre a contaminação bem como gradientes hidráulicos que determinam o fluxo e o transporte dos contaminantes dentro do aquífero (CALCAGNO, 2001). A contaminação ocorre quando uma área é utilizada inadequadamente, sem seguir as leis e normas ambientais e sem levar em consideração sua vulnerabilidade, facilitando assim a introdução de substâncias tóxicas no ambiente e impossibilitando o uso das águas subterrâneas em grandes áreas (MUSEU DO UNA, 2003¹, *apud* ABAS 2017).

2.1.1 Fontes de contaminação da água subterrânea

Existem várias fontes com potencial poluidor que podem afetar as águas subterrâneas, a seguir, estão descritas as principais fontes de contaminação de águas subterrâneas no Brasil.

¹ Museu do UNA, 2003.

Construção inadequada de poços: Para que seja possível a exploração e utilização da água subterrânea é necessário construir poços, entretanto, a forma que estas construções são feitas é fundamental para garantir a qualidade da água captada e a eficiência da operação do poço. No momento da construção de um poço, deve-se seguir as normas regulamentadas pela ABNT, entretanto, alguns poços são construídos em desacordo com os critérios técnicos adequados, podendo causar a contaminação do mesmo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2005).

Esgotos: A falta de saneamento no país traz um imenso risco às águas subterrâneas devido à infiltração por fossas negras e vazamentos de redes de esgoto. Em cidades com alto índice populacional este quadro é ainda mais agravante. A contaminação por esgotos nas águas subterrâneas pode ser detectada através de altas concentrações de nitrato e pela existência de bactérias patogênicas e vírus na água (ANA, 2005)

Resíduos sólidos: A decomposição da matéria orgânica existente nos resíduos sólidos produz gases e chorume. Os gases possuem cheiro extremamente desagradável, além disso um dos gases produzidos é o metano que é um gás inflamável, podendo haver risco de explosões. O chorume é um líquido que uma vez infiltrado no solo pode chegar a atingir a água subterrânea. A contaminação por chorume pode ser detectada por altas concentrações de cloreto, nitrogênio, enxofre, fosfato, DBO, DQO, entre outros (ANA, 2005).

Agricultura: A agricultura no país está associada ao uso de fertilizantes e agrotóxicos, como herbicidas, inseticidas, fungicidas. Três principais nutrientes exigidos pelas culturas são o nitrogênio (N), potássio (K₂O) e fósforo (P₂O₅), que podem vir a contaminar o solo e águas subterrâneas (ANA, 2005).

Indústria: As atividades petroquímicas, de extração mineral, siderúrgicas, fábricas e indústrias de agrotóxicos e de outros produtos químicos são as principais fontes de contaminação. O manuseio, transporte e armazenamento de produtos tóxicos, matéria prima e produtos das indústrias, quando feito sem os devidos cuidados e sem adotar os procedimentos corretos, pode representar sério risco ao meio ambiente e à saúde humana uma vez que os contaminantes atingem os solos e rios podendo chegar aos aquíferos dependendo das condições de vulnerabilidade dos mesmos. Os principais contaminantes encontrados provenientes de indústrias são: combustíveis líquidos, solventes aromáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), metais e solventes halogenados (CETESB, 2004).

Postos de combustíveis: O principal meio de contaminação do solo por derivados do petróleo é através do vazamento de tanques de armazenamento de combustíveis, uma vez que seu manuseio ou instalação não esteja de acordo com as normas. É muito comum a ocorrência de contaminação do solo por este tipo de atividade, sendo que, se houver a ocorrência de aquíferos, dependendo da vulnerabilidade da área, os mesmos poderão ser contaminados (ANA, 2005).

Mineração: Os impactos da mineração no meio ambiente, incluem principalmente contaminação de solo, ar, desmatamento e poluição sonora, porém também é possível que haja a infiltração da água de chuva sobre os rejeitos gerados nas atividades de lavra alcançando os corpos hídricos superficiais e podendo chegar até às águas subterrâneas. Os principais fatores observados nas águas contaminadas por esse tipo de atividade são os baixos valores de pH, altos valores de ferro total, sulfato total e outros elementos tóxicos (ALEXANDRE & KREBS, 1995).

Cemitérios: A contaminação de solos e águas subterrâneas por cemitérios ocorre principalmente devido à infiltração de necrochorume, um líquido formado pela decomposição dos corpos existentes no local.

2.1.2 Investigação e Remediação de águas subterrâneas

Segundo a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (páginas 2 e 3), a investigação e identificação de uma área contaminada consiste em:

“**Avaliação preliminar:** avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área;

Investigação confirmatória: etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação;

Investigação detalhada: etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo,

dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso;

Avaliação de risco: processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido. ”

No caso de confirmação de contaminação, deverão ser tomadas providências para remediação da área, até as concentrações das substâncias detectadas atingirem níveis aceitáveis para reutilização do espaço. As tecnologias de remediação, o tempo e o uso futuro da área dependerão de suas características e do tipo de contaminação que estiver ocorrendo.

Áreas contaminadas urbanas, tais como lixões e aterros sanitários desativados trazem riscos ao meio ambiente e à saúde humana. Exemplos de usos para essas áreas são parques, campos de futebol, campos de golfe, praças, áreas verdes ou áreas recreacionais diversas. Para que o espaço se torne seguro para uso, podem ser feitas impermeabilizações da área, instalação de barreiras hidráulicas, instalação de drenos para gases e líquidos, sistema de bombeamento e tratamento da água e chorume, e também avisar a população que utilizará a área sobre o cenário existente. Dentre as técnicas de remediação existentes, para garantir que futuramente será possível a utilização da área com a contaminação, destacam-se o tratamento térmico, solidificação, estabilização, biorremediação, fitorremediação, e atenuação natural (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

2.1.3. Contaminação da água subterrânea por cemitério

Desde o princípio das civilizações já se mostrava presente a preocupação com o local onde haveria o sepultamento dos mortos. Entretanto essa preocupação girava em torno de crenças religiosas, as quais diziam que o que aconteceria com a pessoa após sua morte dependeria do local onde seu corpo estivesse enterrado, por isso os sepultamentos ocorriam dentro, ou nos arredores das igrejas locais, ou seja, dentro das cidades.

Segundo Macêdo (2004) foi somente a partir do século XVIII que, por razões sanitárias e de saúde pública, os sepultamentos passaram a ser feitos ao ar livre, em cemitérios campais, afastados das cidades.

Ainda assim, estes cemitérios possuem potencial poluidor, pois nem sempre estão com as condições necessárias, e com a decomposição do corpo humano os gases e líquidos liberados podem contaminar o local.

O líquido que é liberado nesse processo se chama necrochorume. O necrochorume é constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas (SILVA, 1998). Segundo Matos (2001) a presença de necrochorume provoca um acréscimo na quantidade de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica da água. Segundo Smith *et al.* (1983)² *apud* Migliorini (1994) a decomposição das substâncias orgânicas do corpo pode produzir diaminas como a cadaverina (C₅H₁₄N₂) e a putrescina (C₄H₁₂N₂), que ao serem degradadas geram amônia (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), substâncias que apresentam toxicidade em altas concentrações.

Além do necrochorume, existem outras substâncias químicas provenientes de cemitérios que podem vir a causar contaminação do solo e da água subterrânea. Substâncias estas que são utilizadas nos processos de preparação dos cadáveres para sepultamento e na construção de caixões funerários, apresentando ferro, zinco e produtos como tinturas e colas que podem conter metais pesados.

Segundo Silva (1998), o formol utilizado na embalsamação, normalmente é superdosado, sendo que não existem normas para a utilização e cada funerária tem seu próprio procedimento. Nestas soluções encontram-se formaldeído, metanol, arsênico, solventes, e metais pesados.

A atenuação da contaminação é mais eficiente em argilas, pois o solo argiloso possui grãos muito pequenos e sua área superficial maior, onde os contaminantes conseguem ficar sorvidos. Para retirar água ou contaminante de solos argilosos é necessária uma pressão maior do que em solos arenosos. Isto é explicado pela capilaridade existente no solo argiloso – interstício mais fino gera maior pressão de retenção (OLIVEIRA, 2008).

Solos arenosos possuem grãos maiores e conseqüentemente áreas superficiais menores. Isto implica que não sua capacidade de reter contaminante em seus interstícios é menor (OLIVEIRA, 2008).

Reconhecendo os cemitérios como fonte potencial de contaminação, em 3 de abril de 2003, o CONAMA publicou a Resolução nº 335 (páginas 2,3 e 4), que após

² Smith E. L et al. Bioquímica: Aspectos Gerais 7ª ed. Guanabara-Koogan S.A, Rio de Janeiro. 1983.

foi alterada pelas resoluções nº368 de 2006 e nº402 de 2008, e que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios, exigindo certos critérios conforme consta no anexo 1.

Um estudo feito por Neira *et al.* (2008) no lençol freático no entorno do Cemitério de Santa Inês, Vila Velha, ES, constatou um alto nível de coliformes na água, bem como elevados níveis de amônia, nitrato e nitrito.

No cemitério de Vila Nova Cachoeirinha - SP, Matos e Pacheco (2001) constataram um aumento na concentração dos íons: bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, e dos metais: ferro, alumínio, chumbo e zinco nas águas próximas de sepulturas.

Já um estudo da Fundação Nacional da Saúde - FUNASA (2007) feito nas águas próximas a dois cemitérios na região de Cuiabá e Várzea Grande - MT constatou aumento da condutividade elétrica e da concentração de sólidos totais dissolvidos. Também foi detectada a presença de salmonela nas águas subterrâneas.

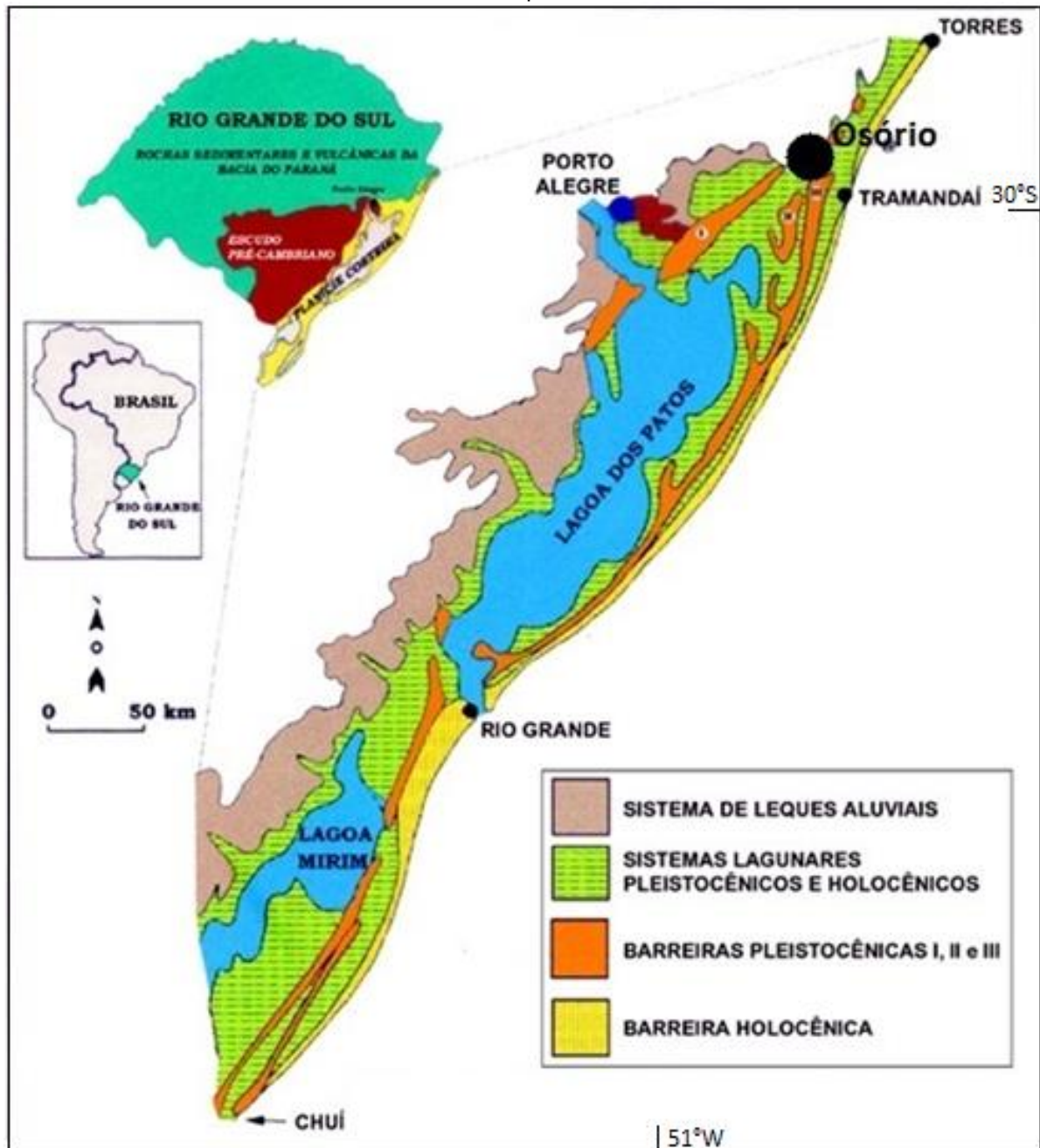
2.2 Contexto Geológico

O município de Osório está localizado na PCRS, que corresponde a uma região onde estão expostos os depósitos mais superficiais e proximais do pacote sedimentar acumulado em uma bacia marginal aberta, a Bacia de Pelotas. Durante o Cretáceo, e principalmente, durante o Cenozóico, os sedimentos erodidos das terras altas adjacentes acumularam-se nesta bacia marginal, em sistemas deposicionais continentais, transicionais e marinhos (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2000). (figura 2)

Enquanto na área de estudo ocorrem os depósitos da porção emersa da Bacia de Pelotas, nas regiões adjacentes estão presentes arenitos da Formação Botucatu representando uma das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que fazem parte do Grupo São Bento (WHITE, 1908³, *apud* SOARES, 2016).

³ White I. C. Relatório Final Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro. 1908

Figura 2: Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ilustrando os principais sistemas deposicionais.



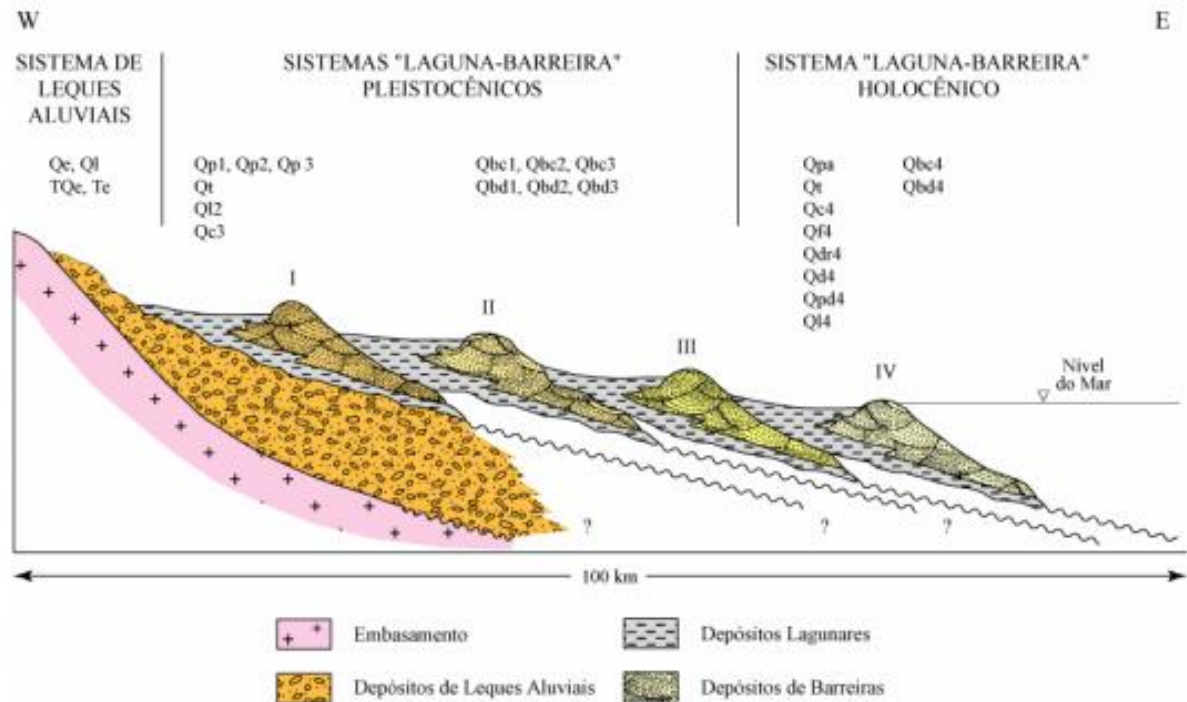
Fonte: Adaptado de Tomazelli e Villwock, 2002.

De acordo com Asmus & Porto (1972), a Bacia de Pelotas é definida como uma bacia marginal subsidente preenchida por sequências clásticas continentais e transicionais e a sua origem está relacionada ao rifteamento que marcou a abertura do Atlântico Sul.

A porção emersa da Bacia de Pelotas possui fácies sedimentares que foram desenvolvidas, principalmente, através de dois sistemas deposicionais siliciclásticos:

Sistema de Leques Aluviais e Sistema do tipo Laguna-Barreira (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995) (figura 3).

Figura 3: Perfil esquemático (W-E) transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul com suas fácies sedimentares associadas



Fonte: Tomazelli & Villwock, 2005.

O Sistema de Leques Aluviais possui fácies associadas aos ambientes de encosta das terras altas adjacentes à planície costeira, incluindo depósitos resultantes de processos gravitacionais na porção mais proximal e depósitos transportados e depositados em meio aquoso na porção mais distal. Esse sistema provavelmente teve início no final do período Terciário e seus processos continuam até hoje (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).

Os Sistemas Laguna-Barreira são divididos em I, II, III e IV, sendo que o I foi o primeiro deles a se desenvolver e foi resultado de um evento transgressivo-regressivo pleistocênico. Ele se localiza na porção noroeste com orientação NE-NW, com aproximadamente 150 km de extensão e de 5 a 10 km de largura. Seu desenvolvimento aconteceu devido à acumulação de sedimentos eólicos que se depositaram sobre o embasamento. (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).

As fácies sedimentares da Barreira I foram descritas por Tomazelli & Villwock (2005) como areias quartzo-feldspáticas avermelhadas, de granulação fina a média,

muito bem arredondadas, semi-consolidadas com elevado conteúdo em matriz síltico-argilosa de origem diagenética. Crostas e nódulos ferruginosos se encontram disseminados nos sedimentos. Ocorreram também processos deposicionais intensos afetando a unidade e causando a destruição de quase todas as estruturas sedimentares primárias.

O Sistema Depositional Laguna-Barreira II foi resultado de um segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico. Se estende de norte à sul da PCRS, sendo que à norte possui fácies praias e eólicas da Barreira II preservadas formando um pontal arenoso à leste da Lagoa dos Barros e ao sul possui um antigo sistema de ilhas-barreira, formando o primeiro isolamento da Lagoa Mirim. (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).

Sua litologia foi descrita por Tomazelli & Villwock (2005) como areias quartzofeldspáticas, castanho-amareladas, bem arredondadas, envoltas em uma matriz síltico-argilosa de natureza diagenética. Ocorreram processos pedogenéticos que afetaram os sedimentos, causando a destruição da maioria das estruturas sedimentares primárias.

O Sistema deposicional Laguna-Barreira III, foi formado a partir de um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, seu desenvolvimento causou a implantação da Lagoa dos Patos e ela se encontra preservada até hoje. Seus depósitos se encontram ao longo de toda a PCRS (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).

Tomazelli & Villwock (2005) descreveram a Barreira III como sendo constituída por fácies arenosas de ambiente praias e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, se dispondo em uma sucessão vertical indicando progradação.

O ambiente praias possui areias quartzosas claras, finas, bem selecionadas, com laminação plano-paralela com truncamento de baixo ângulo e cruzada planar, acanalada e *hummocky*. Notando-se também a presença de icnofósseis como tubos ophiomorpha e moldes de conchas e moluscos. As areias eólicas são avermelhadas e maciças, se apresentando bioturbadas por raízes e intercalando com paleossolos (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).

As fácies existentes no Sistema Lagunar III são descritas por Tomazelli & Villwock (2005), como areias finas, síltico-argilosas, pouco selecionadas, de cor creme, com laminação plano-paralela e com concreções carbonáticas e ferruginosas.

O Sistema Depositional Laguna-Barreira IV é o mais recente, do período Holoceno, desenvolvendo-se por consequência do último grande evento transgressivo pós-glacial (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).

A Barreira IV é composta por areias praias quartzosas de granulação fina a muito fina. (MARTINS, 1967).

O Sistema Lagunar IV foi descrito por Tomazelli & Villwock (1991), como um grupo complexo de fácies desenvolvidas em uma retrobarreira. Espaço este que foi ocupado por grandes corpos lagunares durante a transgressão holocênica. Posteriormente durante a progradação estes corpos evoluíram para ambientes deposicionais desenvolvendo-se corpos aquosos costeiros, sistemas aluviais, sistemas deltaicos e sistemas paludiais.

2.3. Contexto Hidrogeológico

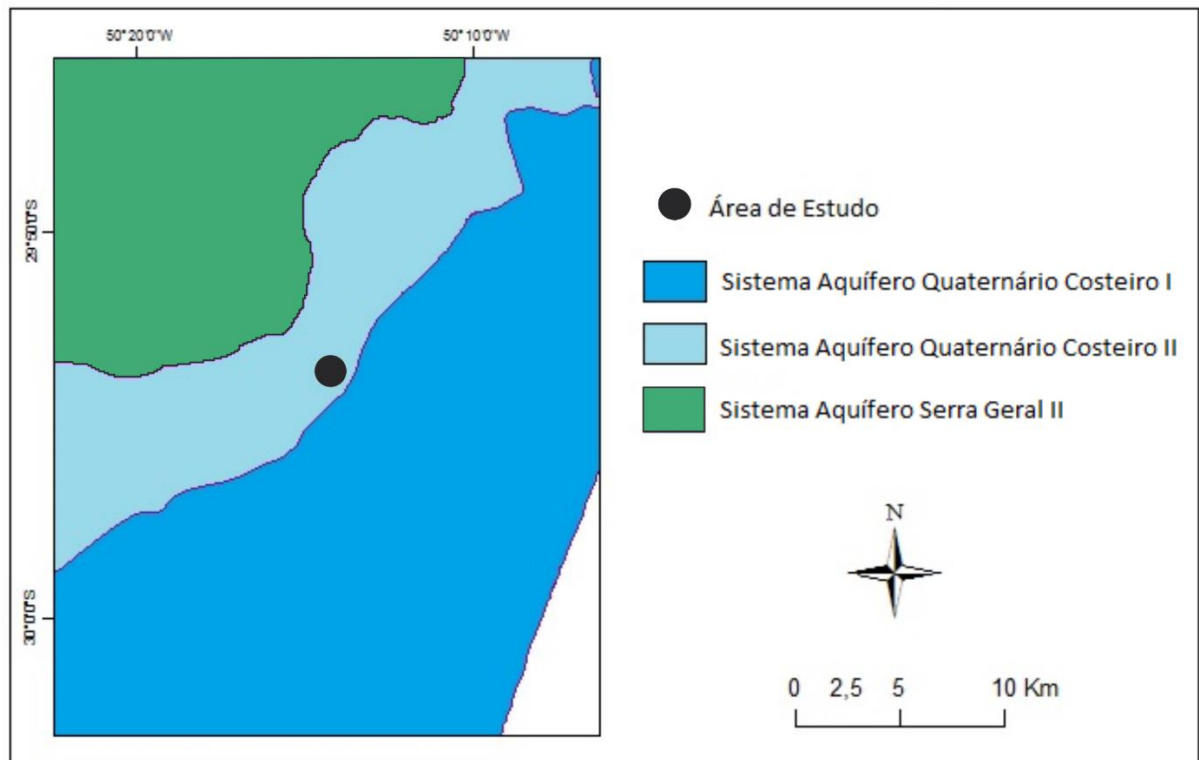
Na região da PCRS, há aquíferos localizados em camadas de areias ou arenitos fracamente cimentados ou em multicamadas de várias origens que podem atingir grandes extensões laterais e verticais e apresentar condições livres, semi-confinadas e confinadas. (NASCIMENTO, 2013)

No município de Osório são encontrados o Sistema Aquífero Guarani (SAG), o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro.

A área de estudo está localizada especificamente no SAQC (figura 4), o qual representa uma importante reserva de água subterrânea no litoral do Rio Grande do Sul.

Segundo Lisboa *et al.* (2004), o Sistema Aquífero Cenozóico da Planície Costeira é, entre os Sistemas de Aquíferos Cenozóicos do RS, o que possui maior potencial para abastecimento.

Figura 4: Mapa hidrogeológico da região apontando a localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM

Os aquíferos porosos existentes na planície costeira foram descritos por MACHADO e FREITAS (2005), que os classificaram em Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQC I) e II (SAQC II).

O SAQC I estende-se desde Torres até o Chuí, foi caracterizado por Machado e Freitas (2005) como sendo uma sucessão de fácies arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas síltico-arenosas e argilosas. Esse sistema possui capacidades específicas altas, ultrapassando $4 \text{ (m}^3 \text{ h}^{-1}\text{)}\text{m}^{-1}$ devido aos sedimentos pouco consolidados associados ao aquífero.

Em relação à salinidade, as concentrações são inferiores a 400 mg/L de água, porém são encontradas águas cloretadas com maior teor salino associadas a áreas de recarga. (MACHADO e FREITAS, 2005)

O SAQC II estende-se de Torres até Santa Vitória do Palmar, sendo caracterizado por uma sucessão de areias finas pouco consolidadas, esbranquiçadas e argila cinza, predominando camadas pelíticas bastante cimentadas no topo. Esse sistema apresenta capacidades específicas entre $0,5$ e $1,5 \text{ (m}^3 \text{ h}^{-1}\text{)}\text{m}^{-1}$. Os sólidos

totais dissolvidos variam entre 600 e 2.000 mg/L, classificando as águas desse aquífero como bicarbonatadas a cloretadas sódicas (MACHADO e FREITAS, 2005).

Bobsin (2013) caracterizou os aquíferos associados ao Sistema laguna-Barreira III, constatando comportamentos hidrodinâmicos e físico-químicos distintos e uma vazão de até 2,8 m³/h, mas baixa qualidade da água, incluindo altos teores de ferro.

Segundo Soares (2016) o SAQC se caracteriza por aquíferos porosos localizados em camadas arenosas e intercalados por sedimentos finos. Existem aquíferos livres e semi-confinados a profundidades próximas dos 30 metros, e aquíferos confinados a profundidades superiores. Embora a maioria dos poços alcancem até 30 metros de profundidade, também há poços tubulares de até 180 metros na região. O NE em geral encontra-se em profundidades de até 5 metros, facilitando a captação da água, mas podendo apresentar contaminação devido à alta vulnerabilidade dos aquíferos. Há uma predominância de vazões de até 5 m³/h, devido aos poços ponteira existentes, e em poços tubulares os valores são de até 230 m³/h.

As ocorrências de capacidades específicas inferiores a 2,5 (m³ h⁻¹)m⁻¹ foram de 35%, mais raramente podendo chegar à 12,39 m³/h/m. O SAQC se destaca como uma importante reserva de águas subterrâneas para a região, porém é necessário construir poços de forma criteriosa. As águas do sistema são bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas. Existe uma variação das concentrações iônicas dependendo do tipo de aquífero e litologia por onde as águas circulam. (SOARES, 2016)

3. Materiais e Métodos

3.1. Levantamento de Dados em campo

Esta etapa se caracterizou pela realização de levantamentos de dados existentes sobre a área onde foi realizado o estudo.

Os dados geológicos e hidrogeológicos foram obtidos através de consultas a mapas geológicos e hidrogeológicos, publicações, relatórios de pesquisas, entre outros.

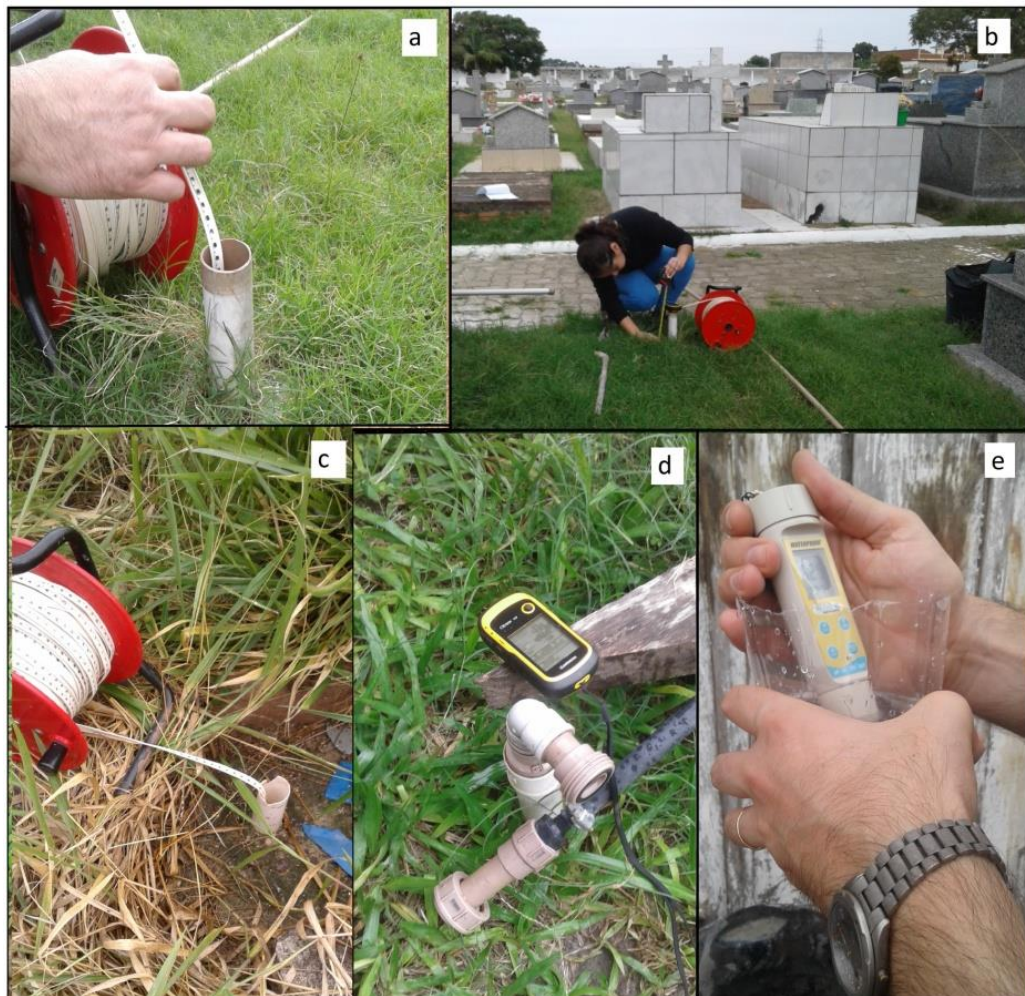
As informações sobre o cemitério, como ano de implantação, número de jazidos, forma como ocorrem os sepultamentos e a situação ambiental do

empreendimento foram obtidas junto a Prefeitura Municipal de Osório, visto que o cemitério é de sua propriedade.

Foram buscadas informações sobre poços existentes na região de Osório em trabalhos realizados na área anteriormente e que foram publicados na forma de dissertações, teses ou artigos científicos sendo feito um inventário e cadastramento desses poços.

Além disso, foi realizado um levantamento de campo para identificação de pontos de captação de água subterrânea existentes nos arredores do Cemitério (figura 5 a, b, c,d e e). Os pontos identificados foram cadastrados e descritos, visando com isso identificar o tipo de captação, características construtivas do poço, dados sobre a forma de captação e uso da água, bem como dados hidrogeológicos (profundidade do nível de água, vazão, entre outros).

Figura 5: Fotos da identificação e descrição dos pontos de captação. Medição de profundidade e NE (a, b, c); medição de coordenadas UTM (d); medição de pH e CE (e).



Os dados obtidos foram analisados e organizados em um banco de dados do projeto elaborado com uso do Excel.

3.2. Caracterização Geológica e Hidrogeológica da Área

A caracterização geológica teve como base o mapa geológico da planície costeira elaborado por Villwock & Tomazzeli (1995). Com base no mapa foram realizados levantamentos no campo visando a identificação das principais características dos depósitos de sedimentos que ocorrem na região. A descrição dessas características foi feita com base na realização de sondagens a trado e avaliação de afloramentos e áreas de exposição (cavas de mineração de areia).

Utilizando o programa CorelDRAW X8, foram feitas secções geológicas com base em dados obtidos durante as perfurações de poços no município de Osório, realizadas pela empresa Poços Artesianos Água Subterrânea – PAAS, feitos nos anos de 2015 e 2016.

A caracterização hidrogeológica foi feita com base nos dados de estudos feitos anteriormente por outros autores no município de Osório permitindo identificar as principais unidades aquíferas existentes na região. Além disso, esses dados permitiram identificar as principais características dessas camadas. Os dados dos poços, como nível estático, vazão e profundidade, também foram utilizados para auxiliar na caracterização hidrogeológica.

3.3 Investigação da Contaminação

Essa etapa teve por objetivo avaliar a existência ou não de contaminação provocada pelo cemitério. Para isso foram realizadas as seguintes atividades:

3.3.1 Inventário de poços

Foi realizado um levantamento de campo para identificação de pontos de captação de água subterrânea existentes nos arredores do Cemitério. Os pontos identificados foram cadastrados e descritos. As descrições contemplaram o tipo de captação, características construtivas do poço, dados sobre a forma de captação e uso da água, que foram identificados visualmente. Profundidade dos poços que foi obtida através de informações passadas pelos moradores do local ou medidos onde foi possível. Dados hidrogeológicos como nível estático que foi medido utilizando um

medidor de nível. A coleta das coordenadas UTM para localização dos poços foi feita no datum WGS84, utilizando GPS de navegação modelo Garmin eTrex10.

Posteriormente, foi feita uma nova campanha para levantamento de dados de localização e altitude em alguns dos poços, os quais seriam coletadas amostras de água subterrânea, e desta vez foram utilizados dois receptores GPS geodésicos L1 Pro Mark 3 da marca Ashtech. Um deles foi utilizado como base no modo estático e taxa de gravação de 1 segundo, gerando um arquivo com 2 horas e 39 minutos de duração, enquanto isso o outro receptor foi utilizado no modo estático e taxa de gravação de 1 segundo, ficando 15 minutos em cada ponto para georreferenciar os poços. O equipamento possui uma precisão horizontal de 5mm + 1 ppm e vertical de 10mm + 2 ppm. Após a ida ao campo o processamento dos dados foi feito utilizando o programa Ashtech Solution 2.60, tendo a estação de Porto Alegre da RBMC do IBGE como referência e obtendo a precisão média de 8 mm nas coordenadas planas e 9 cm nas de altitude.

3.3.2 Coleta de amostras de solo

Foram coletadas 10 amostras de 5 pontos diferentes dentro do cemitério (figura 6), sendo estes pontos dispersos para obter uma boa representatividade da área e em cada ponto foram retiradas amostras de duas profundidades diferentes, em torno de 70cm e 1,6m, sendo que a de 1,6m foi escolhida devido ao alcance do equipamento utilizado e a de 70cm para ter informações de dois níveis diferentes, sendo que durante a perfuração todo o solo foi descrito à medida que era retirado.

A coleta foi feita através de perfuração com trado manual, e as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos para posterior análises granulométricas.

Durante a sondagem com trado também foram coletadas quatro amostras para serem feitas análises de porosidade do solo. As amostras foram coletadas a 70 centímetros de profundidade nos pontos 4 e 5.

Figura 6: Imagem do Google Earth mostrando a área do cemitério e os pontos onde foram feitos furos de sondagem.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.3 Medição de Condutividade Elétrica e pH

As medições de CE e pH foram feitas em campo em duas campanhas diferentes, uma em abril e outra em setembro e para essa medição foi utilizada uma sonda multiparâmetros EUTECH. Esta sonda funciona pela imersão na amostra de água contida em um recipiente que deve ser lavado anteriormente com a própria água que será amostrada. Com essa sonda podemos obter os resultados de pH e CE no momento da medição. Além de CE e pH que foram os principais parâmetros para este estudo, a sonda também foi utilizada para obter resultados de sólidos totais dissolvidos e de temperatura, dados estes que foram todos anotados e organizados em banco de dados do excel para posterior interpretação.

A importância destas medições é devido a sua forte relação com a contaminação causada por necrochorume, uma vez que este tipo de contaminação causa grande aumento de CE e acidifica o solo e a água.

3.3.4 Coleta de amostras de água subterrânea

As amostras de água foram coletadas na saída da boca dos poços seguindo um procedimento inicial de bombeamento do poço por alguns minutos para retirada da água da tubulação. Posteriormente a coleta foi realizada na saída da tubulação, após a bomba, antes de chegar na caixa de água quando era o caso, para que fosse

retirada uma amostra representativa do aquífero. Para cada poço, as amostras coletadas foram acondicionadas em quatro frascos distintos que foram colocados em caixas térmicas com gelo para refrigeração e posterior encaminhamento para o Laboratório de Análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS.

Foram coletadas amostras de cinco poços, sendo que na área do cemitério e entorno foram identificados 11 poços. O critério de seleção de poços foi embasado na localização (dentro e nos arredores do cemitério), bem como nas condições de acesso e autorização do proprietário do poço para coleta (figura 7).

Figura 7: Imagem do Google Earth mostrando a área do cemitério e os pontos de captação escolhidos para amostragem de água.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.5 Análises de porosidade total

Dos 5 pontos de tradagem, foram retiradas amostras de dois para análises de porosidade. Em cada ponto foram retiradas duas amostras em uma profundidade de 70 cm. Essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Sedimentos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da UFRGS, onde foram obtidos resultados de densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total do solo.

3.3.5 Análises granulométricas

Das 10 amostras de solo retiradas foram selecionadas 6 mais representativas da área para análises granulométricas. Estas análises foram feitas em uma amostra

do pontos T02 e uma T03, equivalente a profundidade de 1,6m, duas do ponto T04 e duas do ponto T05 equivalentes as profundidades de 70cm e 1,6m.

As 6 amostras escolhidas foram encaminhadas aos laboratórios do CECO, onde primeiramente passaram por secagem, em uma estufa aquecida a 65°C por três dias e posterior a secagem passaram por destorroamento, que foi feito à mão em um recipiente de alumínio com o uso de um pilão de porcelana envolto em borracha.

Após isso foi feito o quarteamento e a separação de uma fração inferior a 100g de cada amostra para que fossem submetidas aos demais procedimentos. Essas frações das amostras foram pesadas e colocadas em água destilada adicionando defloculante e deixando em repouso por um dia para que houvesse desagregação dos grãos. No dia seguinte foi feito peneiramento a úmido nessas amostras com uma malha de 0,062mm para que todos os grãos finos passassem para as provetas onde foram submetidos a decantação em 1L de água destilada. Enquanto isso os grãos de tamanho areia voltaram para os frascos onde foram secos novamente a 65°C por um dia. No penúltimo dia então foi feito peneiramento dos grãos tamanho areia em peneiras de 1cm, 0,5cm, 0,250cm, 0,125cm e 0,062cm, onde cada fração foi pesada separadamente. Após isso os finos foram misturados e ficaram decantando por 2h e 03min, que é o tempo de assentamento do silte, e então foi feita pipetagem para retirada da fração em 20ml que foi passada para um frasco anteriormente pesado vazio. A fração argila foi levada então para secagem por 17h a 50°C. No último dia, foi feita a pesagem das argilas e todos os dados foram passados para o computador e processados no programa PANICOM, onde foi obtida a frequência simples para cada tamanho de grão e também a classificação por frequência simples e a classificação textural de Shepard.

3.3.6 Análises hidroquímicas

As 5 amostras de água coletadas foram encaminhadas para os laboratórios de análises hidroquímicas do Centro de Ecologia da UFRGS, onde foram realizadas análises dos seguintes parâmetros: Alcalinidade, Cloretos, Fósforo total, Fosfatos, Nitrato e Cálcio.

As análises de Alcalinidade foram feitas por Volumetria de Neutralização seguindo a NBR 13736/1996.

Cloretos foram analisados por Volumetria de Precipitação seguindo a NBR 13796/1997.

As análises de Fósforo total e Ortofosfato foram feitas por Absorciometria com redução do ácido ascórbico, enquanto o Nitrato foi por Espectrofotometria UV e o Cálcio por Espectrometria de Absorção Atômica/ Chama Ar – Acetileno com método de digestão com ácido nítrico em sistema aberto, todos estes utilizando o Standard Methods 21st como referência.

Essas análises foram feitas para identificar a existência de alterações químicas que possam estar afetando a qualidade da água subterrânea e verificar se estes parâmetros estão acima dos valores permitidos segundo a Conama 420 e Portaria 2914, através da confecção de tabelas e gráficos comparativos.

Os parâmetros escolhidos são devido a sua quantidade significativa no corpo humano e também devido a sua capacidade de permanecer no ambiente, caso haja contaminação.

3.3.7 Integração dos dados

Essa etapa envolveu a análise dos dados obtidos visando avaliar se há ou não a ocorrência de contaminação da água subterrânea provocada pelo cemitério. Para isso, os dados obtidos foram organizados em um banco de dados do projeto elaborado com uso do Excel.

Os dados de altura da boca do poço e de NE foram utilizados para calcular a carga hidráulica dos pontos, que foram inseridos em uma tabela juntamente com os dados de localização. Estes dados foram plotados no programa Surfer v.10, onde foi utilizada a ferramenta *Contour Map* para geração de mapas de fluxo da água subterrânea.

3.4. Avaliação da Contaminação

Essa etapa envolveu a análise dos dados obtidos na investigação confirmatória, visando avaliar se há ou não a ocorrência de contaminação da água subterrânea provocada pelo cemitério. Para isso foram analisados e interpretados os dados provenientes do diagnóstico hidroquímico, sendo que os mesmos foram comparados com valores orientadores estabelecidos pela Resolução Conama 396/08 e 420/09 e Portaria 2914/11 para potabilidade.

4. Resultados

4.1 Caracterização do Cemitério Municipal de Osório

O cemitério Municipal de Osório foi construído em 1978, até o início deste ano, quando os dados foram coletados, o cemitério possuía em torno de 2700 jazigos, sendo que ainda não estava sendo utilizada toda sua área.

Hoje em dia as sepulturas do cemitério são construídas com 60cm e acima do solo que recebe uma camada de cimento antes de receber o caixão. As sepulturas mais antigas, porém, não possuem a mesma estrutura, segundo o coordenador responsável pelo cemitério, antigamente eram feitas sepulturas abaixo do solo, cavando buracos de 1 metro e 60 centímetros, os quais normalmente eram recobertos por cimento, entretanto alguns poucos sepultamentos, logo que o cemitério foi fundado, foram feitos colocando o caixão diretamente nas covas fiando em contato com o solo.

Durante a campanha de campo observamos algumas sepulturas novas ainda em aberto, as mesmas estavam cimentadas e acima do solo como nos foi informado que eram feitas atualmente. (figura 8)

Figura 8: Fotos de sepulturas mostrando como são construídas atualmente.

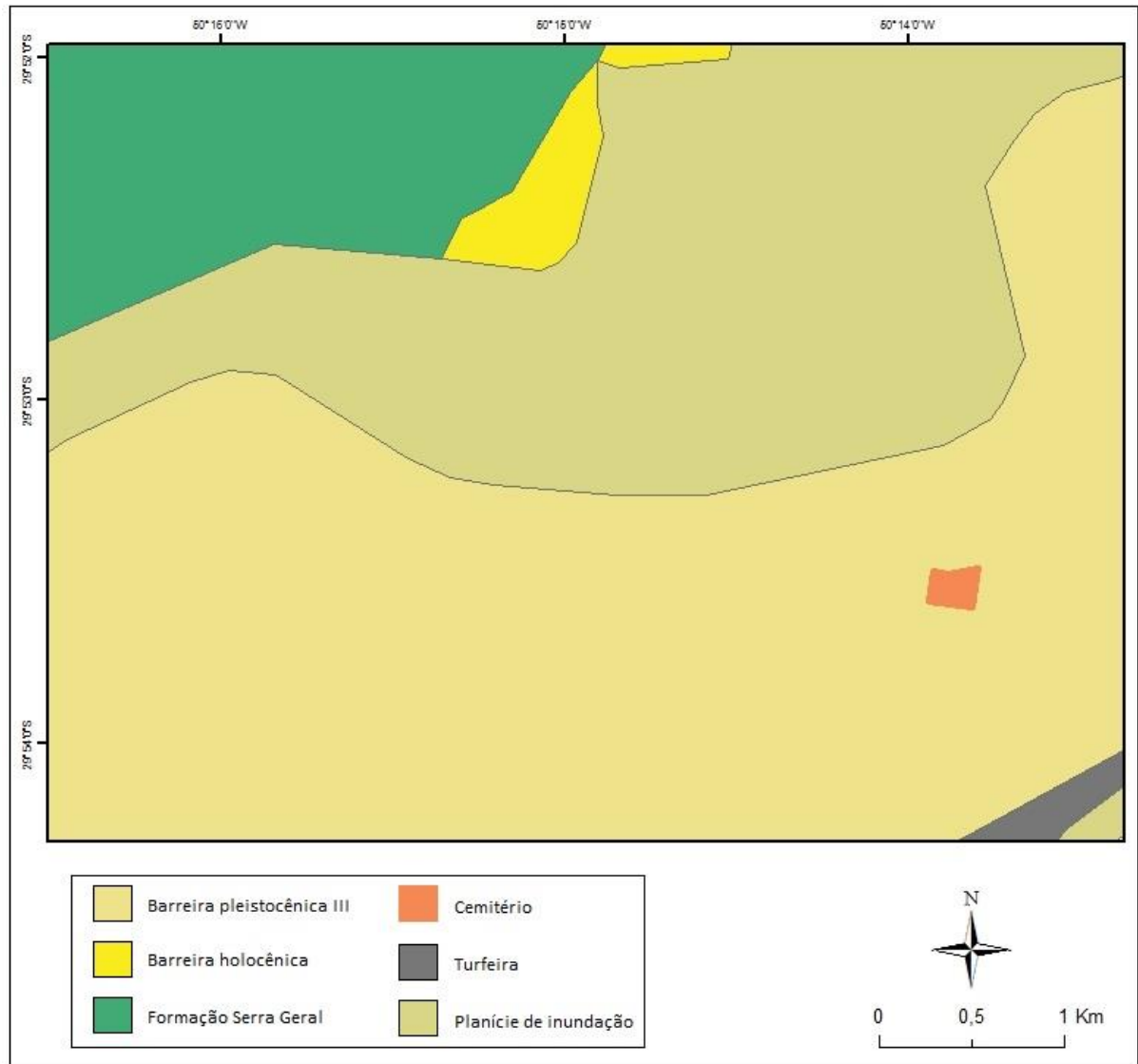


4.2 Caracterização Geológica e Hidrogeológica

4.2.1 Geologia Local

A região de estudo está localizada especificamente acima da barreira pleistocênica III (figura 9).

Figura 9: Mapa da região mostrando o contexto geológico e onde o cemitério está inserido.



Fonte: Adaptado de CPRM

As camadas de sedimentos na área do cemitério foram definidas em campo como sendo areia fina à média. Durante as perfurações com trado foi identificada uma camada de aproximadamente 30cm de aterro, representada por uma areia média de coloração branca, seguida por uma areia mais escura e fina de coloração marrom até 1,6m de profundidade. Esse perfil foi visto nos cinco pontos de amostragem sendo que no ponto T01 foi observada a presença de matéria orgânica entre 50 e 80 cm de profundidade e os pontos T03 e T04 apresentaram indícios de oxidação após a primeira amostragem, em torno de 1m de profundidade.

Além das descrições feitas durante as sondagens à trado, podemos observar a geologia em uma cava de mina existente próxima ao local de estudo, nela podemos identificar uma maior variação na coloração das camadas de sedimento. (figura 10).

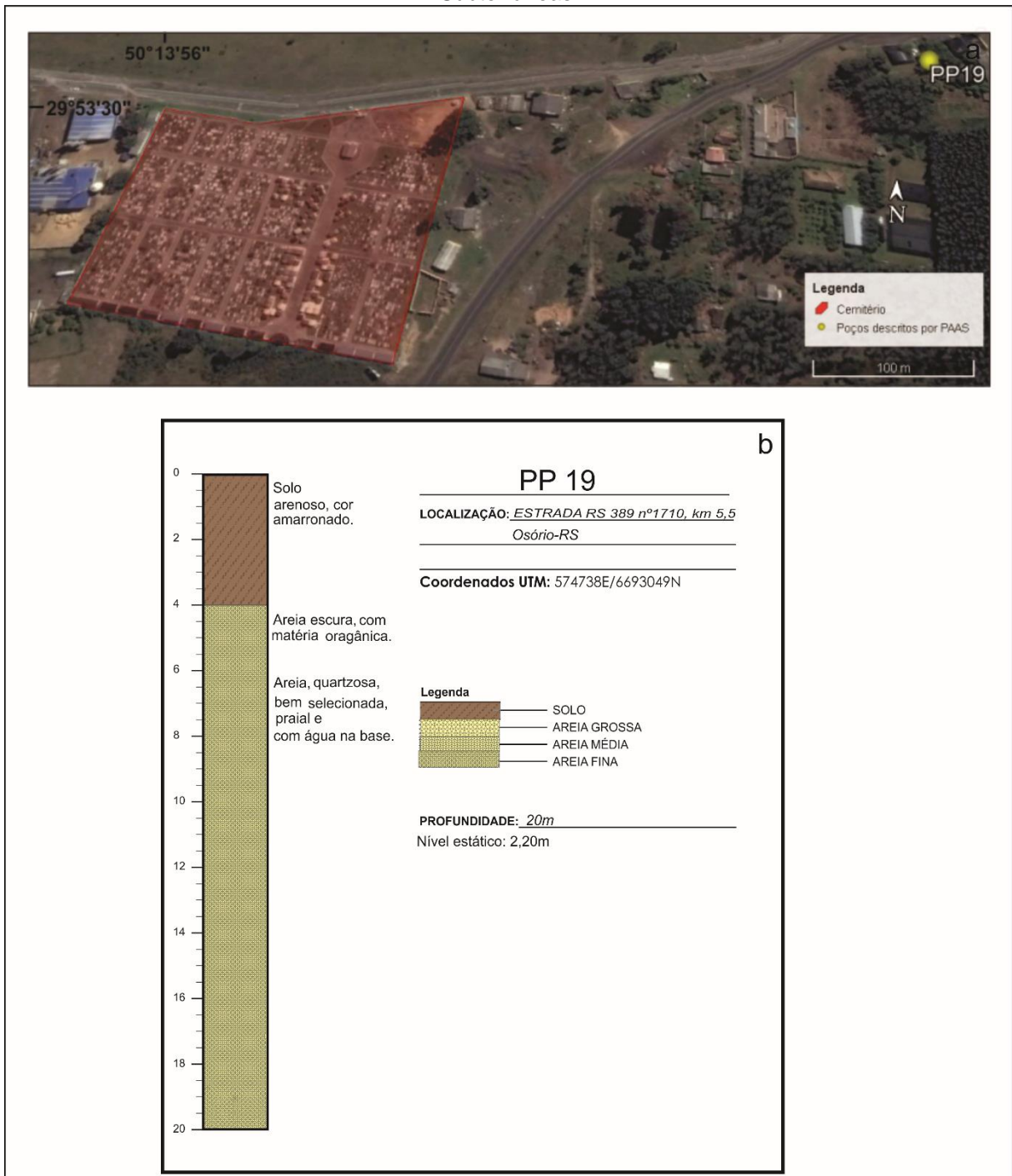
Figura 10: Foto mostrando as camadas de sedimentos expostas em uma cava de mina em Osório.



Fonte: tirada pelo autor

Também foram construídos perfis utilizando descrições de perfurações de poços feitos por terceiros, já existentes próximos ao local de estudo, neles podemos observar melhor as características que podem ser encontradas nas camadas de sedimentos (figura 11 – a e b).

Figura11: Localização (a) e perfil (b) dos poços descritos pela empresa Poços Artesianos e Águas Subterrâneas.



Fonte: modificado de PAAS (2015/16)

O ponto PP19, que é um dos mais próximos a área de estudo, é composto basicamente por solo, nos primeiros 4 m e por areia fina até os 20 m de profundidade, com algumas variações na cor e componentes presentes nas camadas.

Em alguns poços foi observado presença de solo argiloso ou siltoso, variando em tons de marrom, cinza e amarelados, encontrados sempre no topo do perfil, entretanto o que predomina em todos os poços é a presença de areia fina, com colorações variando entre cinza, esbranquiçada e amarelada, apresentando-se sempre bem selecionada e quartzosa, podendo ter matéria orgânica mais para o topo. Encontra-se sempre a poucos metros da superfície, entre 3 e 6 m, e se estende por cerca de 10 a 15 metros, sendo que os poços tem em torno de 15 a 20 metros de profundidade apenas.

Todos os poços identificaram a presença de água, tendo uma variação, dos 13 aos 19 m de profundidade, indicando um nível estático mais profundo que os poços ponteira identificados em torno do cemitério.

Com esses dados e mais as análises granulométricas feitas em laboratório podemos classificar os sedimentos da área de estudo como sendo areia fina, bem selecionada, esbranquiçada a amarelada, típica de um ambiente praial.

4.2.1.1 Análises de Porosidade Total

Os resultados das análises de porosidade apresentaram uma de média 1,75 para a densidade do solo, enquanto a densidade das partículas apresentou uma média de 2,56. A média da porosidade total calculada foi de 31,45 (tabela 1).

Apresentando uma porosidade total média de 31,45 os sedimentos da área de estudo possuem uma alta permeabilidade.

Tabela 1: Resultados de análises de porosidade total das amostras.

Amostras	Densidade do solo (g/cm³)	Densidade da partícula (g/cm³)	Porosidade %
CO-041	1,7	2,44	29,68
CO-042	1,77	2,63	32,7
CO-051	1,76	2,63	30,33
CO-052	1,8	2,56	33,08

4.2.1.2 Análises Granulométricas

Foram feitas análises granulométricas de seis amostras de solo, as amostras escolhidas foram as de maior profundidade dos pontos 2 a 5, devido a sua distribuição espacial dentro do cemitério e representação dos sedimentos após a camada de solo, e duas amostras de menor profundidade dos pontos 4 e 5, pois nestes pontos foi feita também análise de porosidade do solo.

As seis amostras foram classificadas texturalmente segundo Shepard como sendo areia, e quando analisamos os resultados mais detalhadamente, podemos observar em todas as 6 amostras uma quantidade muito mais elevada de grãos de areia fina em relação aos outros tamanhos de grão de areia.

Cascalho por exemplo só foi identificado em uma das amostras, em uma quantidade muito pequena, menos de 1%. Silte foi o segundo tamanho de grão em maior quantidade, mesmo assim seus valores não chegaram a 3%, variando de 0,5 a 2,3, enquanto a argila, mesmo presente em todas as amostras, apresentou valores entre 0,28 e 1,66 (tabela 2).

Quando analisados em mais detalhe os resultados das análises texturais podemos observar que além de classificado como tamanho areia, os sedimentos do local são considerados com tamanho de grão de areia fina (tabela 3)

Tabela 2: Dados de tamanho de grão das amostras segundo a classificação de Shepard.

Amostra	Ponto	Profundidade (m)	Peso inicial amostra (g)	Peso inicial grosseiros (g)	Peso final grosseiros (g)	Peso final amostra (g)	Cascalho %	Areia %	Silte %	Argila %	Classificação Textural (Shepard)
CO-02B	T2	1,6	62,3935	61,0481	60,9935	62,3389	0,0000	97,8418	0,4979	1,6603	AREIA
CO-03B	T3	1,6	74,2814	72,3366	72,3018	74,2466	0,0000	97,3806	1,7977	0,8216	AREIA
CO-04A	T4	0,7	69,5738	68,0127	67,4385	68,9996	0,0000	97,7375	1,9799	0,2826	AREIA
CO-04B	T4	1,6	73,1191	70,2084	70,5869	73,4976	0,0000	96,0397	2,3207	1,6396	AREIA
CO-05A	T5	0,7	71,2944	70,4109	70,4180	71,3015	0,2101	98,5508	1,0427	0,1964	AREIA
CO-05B	T5	1,6	71,7226	70,5797	70,2757	71,4186	0,0000	98,3997	1,0472	0,5531	AREIA

Tabela 3: Dados das quantidades de material de cada tamanho presentes nas amostras e suas frequências simples.

Amostra	CO-02B		CO-03B		CO-04A		CO-04B		CO-05A		CO-05B		
	Escala (PHI)	Material (g)	Frequência Simples (%)	Material (g)	Frequência Simples (%)	Material (g)	Frequência Simples (%)	Material (g)	Frequência Simples (%)	Material (g)	Frequência Simples (%)	Material (g)	Frequência Simples (%)
16,0000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000
8,0000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000
4,0000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000
2,0000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,1498	0,210	0,0000	0,000	0,000
1,0000	0,0000	0,000	0,0078	0,011	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,0600	0,084	0,0000	0,000	0,000
0,5000	0,0345	0,055	0,0056	0,008	0,0012	0,002	0,0000	0,000	0,0684	0,096	0,0017	0,002	0,002
0,2500	4,0832	6,550	2,9974	4,037	2,3026	3,337	2,3485	3,195	4,4656	6,263	3,9198	5,488	5,488
0,1250	51,3683	82,402	61,3173	82,586	57,0699	82,710	60,4384	82,232	59,6834	83,706	60,3611	84,517	84,517
0,0620	5,5075	8,835	7,9737	10,739	8,0648	11,688	7,8000	10,613	5,9908	8,402	5,9931	8,392	8,392
0,0039	0,3104	0,498	1,3348	1,798	1,3661	1,980	1,7057	2,321	0,7434	1,043	0,7479	1,047	1,047
0,0002	1,0350	1,660	0,6100	0,822	0,1950	0,283	1,2050	1,640	0,1401	0,196	0,3950	0,553	0,553

4.2.2 Hidrogeologia e Hidroquímica

A área de estudo está inserida no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I que é caracterizado por uma sucessão de fácies arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas (SOARES, 2016)

A maioria dos estabelecimentos localizados nos arredores da área de estudo utilizam a água deste aquífero para consumo fazendo sua captação através de poços ponteira.

Foram identificados e descritos 11 poços ponteira próximos ao cemitério, sendo que um deles não conseguimos ter nenhum tipo de acesso. Dos outros 10 poços identificados dois estavam abandonados e o restante ainda estava em uso, sendo que 5 deles eram para uso doméstico (tabela 4)

Todos os poços possuem revestimento em PVC. A profundidade dos mesmos é em média de 15,5m variando entre 9,45 e 22 metros, enquanto o nível estático varia de 2,99m a 4,96m e possui uma média calculada de 4 m de profundidade.

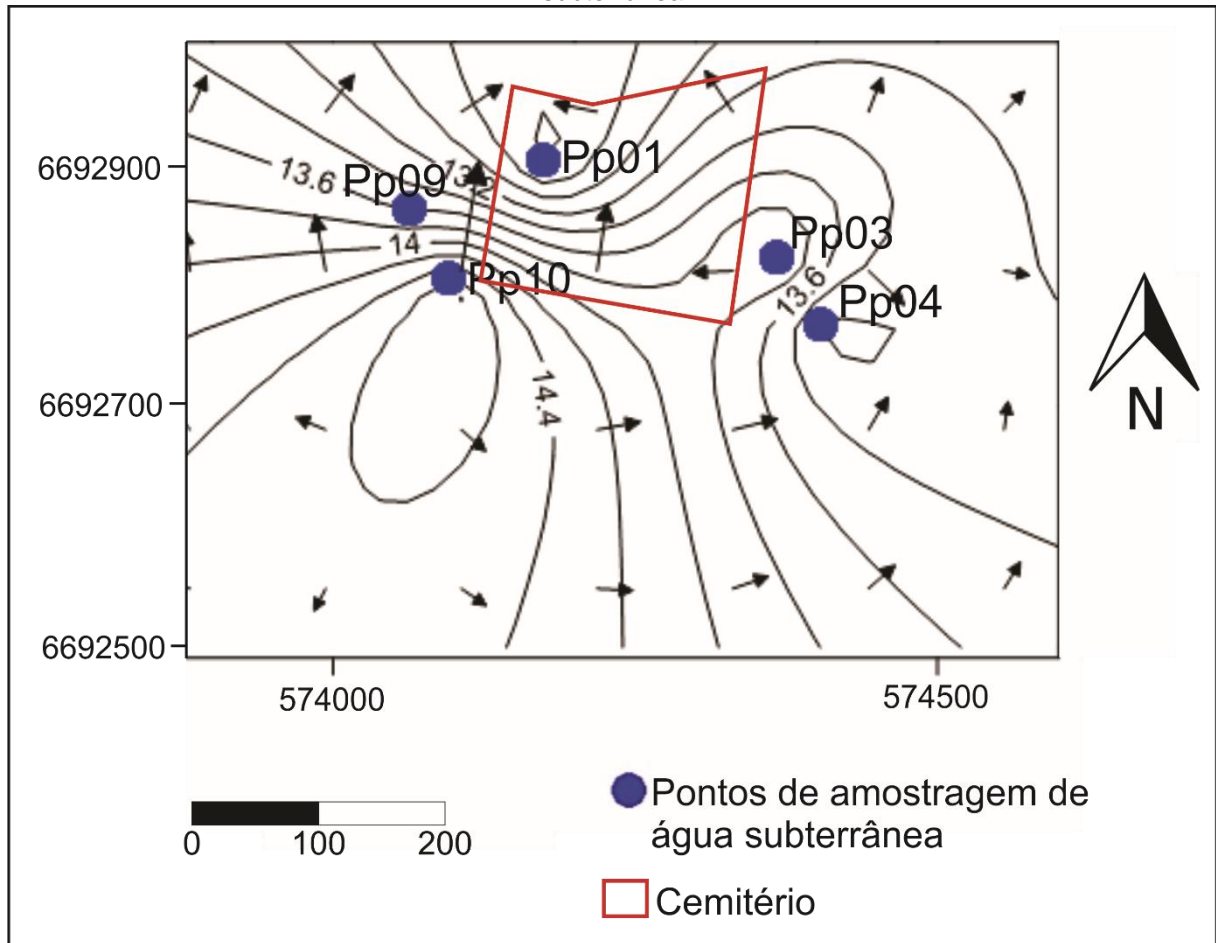
Segundo Soares (2016), o SAQC possui uma vazão média de 17,0 m³/h e capacidade específica média de 5,481 m³/h/m.

De acordo os dados coletados em campo o fluxo da água subterrânea em geral está migrando para norte, podemos ver pelo ponto PP01 que se localiza dentro no cemitério que essa área se encontra em uma baixada em relação aos terrenos ao redor (figura 12).

Tabela 4: Descrições das características dos poços identificados na área de estudo e arredores.

Nome do poço	Tipo de captação	Localização	UTM	Elevação (m)	Situação	Uso da água	Revestimento	Profundidade (m)	NE (m)	Diâmetro (m)	Altura do solo (m)
PP 01	Poço ponteira	Cemitério	6692903 N 0574175 E	19	Abandonado	Obras	PVC	9,45	4	0,04	0,18
PP 02	Poço ponteira	Otacílio móveis	6692996 N 0574507 E	18	Em uso	Doméstico	PVC	18	-	-	-
PP 03	Poço ponteira	Estrada do mar	6692824 N 0574367 E	14	Abandonado	Obras	PVC	17,5	4,96	0,1	0,24
PP 04	Poço ponteira	Móveis Roseno	6692767 N 0574404 E	17	Em uso	Doméstico	PVC	12	-	-	-
PP 05	Poço ponteira	Estrada do mar	6692851 N 0574381 E	16	Em uso	Obras	PVC	19,25	4,26	0,04	0,08
PP 06	Poço ponteira	João Batista	6692869 N 0574369 E	16	Em uso	Doméstico	PVC	22	-	-	-
PP 07	Poço ponteira	Gustavo Ramos	6692990 N 0573861 E	16	Em uso	Obras	PVC	15,73	2,99	0,04	0,14
PP 08	Poço ponteira	Fábrica de barcos	6693001 N 0574433 E	19	Em uso	Doméstico	PVC	10	-	-	-
PP 09	Poço ponteira	Argamassa	6692863 N 0574063 E	23	Em uso	Obras	PVC	-	-	-	-
PP 10	Poço ponteira	Adolir	6692805 N 0574096 E	14	Em uso	Doméstico	PVC	-	-	-	-

Figura 12: Mapa potenciométrico da área de estudo, mostrando os pontos de coleta de água subterrânea



4.2.2.1 pH e Condutividade elétrica

Os dados de pH e CE apresentaram pequenas variações nas diferentes campanhas, em geral, na campanha de setembro os valores foram menores, isso pode ter sido devido ao fato do mês ser mais chuvoso. (tabela 5).

O pH da água dos poços apresentou-se levemente ácido, com variações entre 4,5 e 6,49, com uma média de 5,9, valor este que está um pouco abaixo da média de pH de 6,43 do SAQC definido por Soares (2016).

A CE nos poços varia de 35,3 a 141,6, sendo que o ponto que apresentou maior CE é o localizado no dentro do cemitério. A média calculada da CE foi de 79,46, que é um valor baixo comparado com o valor de 289,25 apresentado por Soares (2016).

Tabela 5: Dados de pH e CE medidos em campo.

Nome do poço	Primeira Campanha		Segunda Campanha	
	pH	CE (μS)	pH	CE (μS)
PP01	6,41	141,6	5,1	118
PP02	-	-	-	-
PP03	6,45	39,7	5,23	28
PP04	6,16	45,7	4,5	59,5
PP05	6,49	36,8	-	-
PP06	6,26	55,7	-	-
PP07	6,65	35,3	-	-
PP08	6,48	61,4	-	-
PP09	6,6	100,1	5,07	112
PP10	6,44	81	4,6	77

4.2.2.2 Análises hidroquímicas

As análises hidroquímicas apresentaram valores médios de alcalinidade de 5,2, variando de 3,0 até 8,0, a alcalinidade possui um limite de detecção (LD) de 1,00. O cloreto com LD de 1,00 apresentou valores de 2,5 a 10 com média de 6,4, os valores do fósforo total variaram de 0,010, que é o LD para este parâmetro, a 0,204 com uma média de 0,054, sendo que no ponto PP10 este parâmetro não foi detectado. O ortofosfato com um LD de 0,010 não foi detectado nos PPs 04, 09 e 10, sendo que nos outros dois os valores foram de 0,127 e 0,031. O nitrato apresentou uma variação de 1,57 até 7,64 com uma média de 4,10, e possui um LD de 0,200 e o cálcio variou entre 1,67 e 5,10 com uma média de 1,75 e não foi detectado nos pontos PP03 e 04, sendo que seu limite de detecção é de 0,003 mg/L (tabela 6).

Tabela 6: Valores obtidos nas análises de água subterrânea.

Amostra	Alcalinidade CaCO ₃ (mg/L)	Cloretos Cl ⁻ (mg/L)	Fósforo Total P (mg/L)	Ortofosfato PO ⁴⁻ - P (mg/L)	Nitrato NO ³⁻ - N (mg/L)	Cálcio (mg/L)
PP01	8,0	6,5	0,204	0,127	7,64	5,10
PP03	5,0	2,5	0,042	0,031	1,73	ND
PP04	4,0	5,5	0,014	ND	1,57	ND
PP09	6,0	10,0	0,010	ND	5,24	1,98
PP10	3,0	7,5	ND	ND	4,34	1,67
ND = não detectado						

4.3 Avaliação hidroquímica e de contaminação

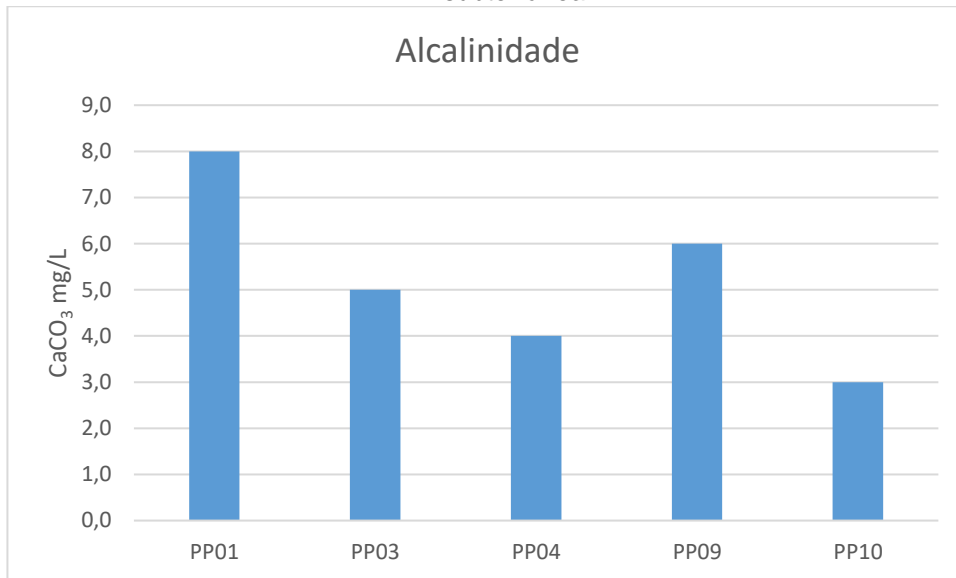
Pode-se observar que no ponto PP01 todos os parâmetros, exceto cloretos, encontram-se em uma quantidade maior que nos demais pontos, principalmente em comparação com os pontos PP03 e PP04 que estão localizados próximos à área, porém sua carga hidráulica é um pouco mais elevada. Também nota-se altos níveis de Cloretos nos pontos PP09 e PP10.

Soares (2016) classificou as águas em 4 grupos principais: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, sulfatadas ou cloretadas sódicas, sulfetadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas, e bicarbonatada sódicas.

Sendo que também foi identificado por Soares (2016) que o SAQC apresenta 63% de águas ácidas e levemente ácidas e 37% de águas alcalinas.

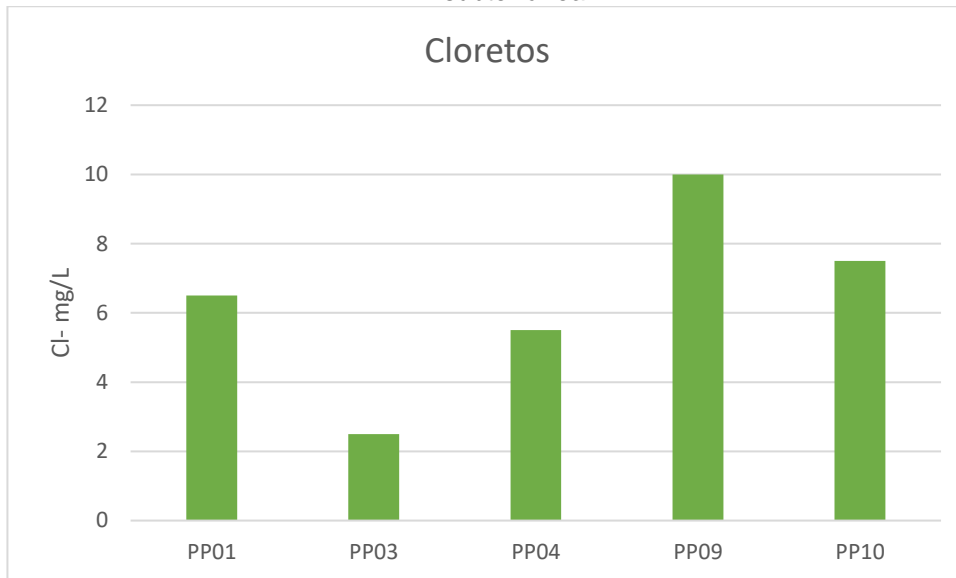
Entretanto, os valores obtidos pelas análises mostram que as águas na região de estudo não possuem alta alcalinidade o que evidencia uma anomalia existente no ponto PP01 uma vez que seus valores foram os únicos elevados (Gráfico 1)

Gráfico 1: Comparação dos valores de alcalinidade nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.



Segundo Soares (2016), no grupo de águas sulfatadas ou cloretadas sódicas há um predomínio de águas cloretadas. Entretanto os valores obtidos pelas análises hidroquímicas para este parâmetro foram baixos, uma vez que o valor máximo permitido pela Resolução Conama 396/08 é de de 250 mg/L deCl⁻. O que podemos observar, é que mesmo os valores sendo baixos, há uma discrepância no ponto PP09 em comparação com os demais, possivelmente pode estar havendo neste ponto uma leve alteração pela presença de alguma fossa séptica.

Gráfico 2: Comparação dos valores de cloretos nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.



Apesar do PP01 estar com os valores de fósforo total e ortofosfato mais elevados que os demais pontos, sua concentração destes parâmetros é baixa e os valores se encontram todos dentro do permitido (gráfico 3 e 4)

Gráfico 3: Comparação dos valores de fósforo total nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.

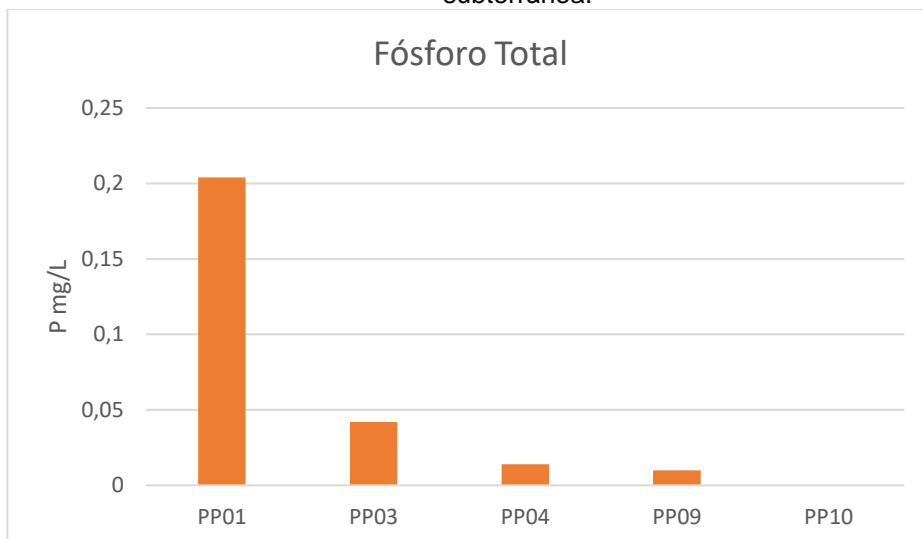
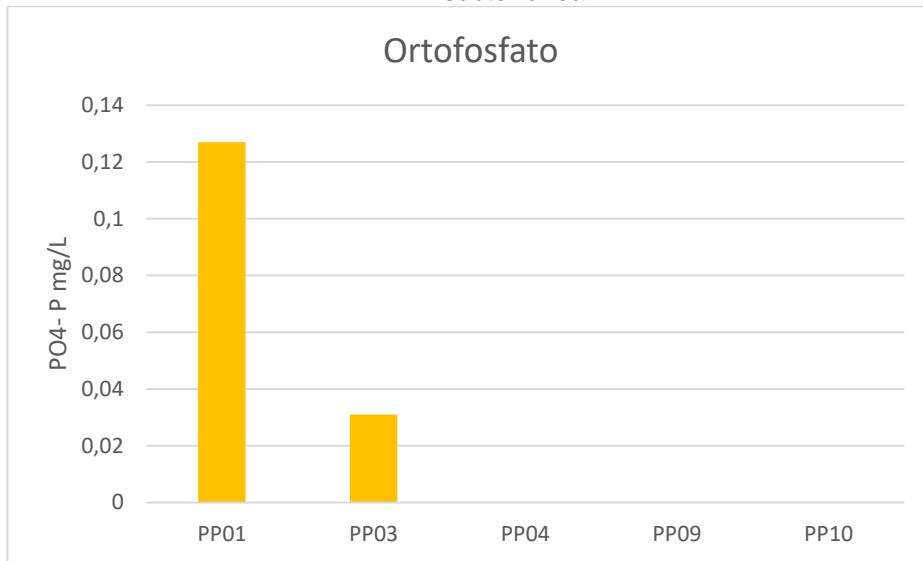


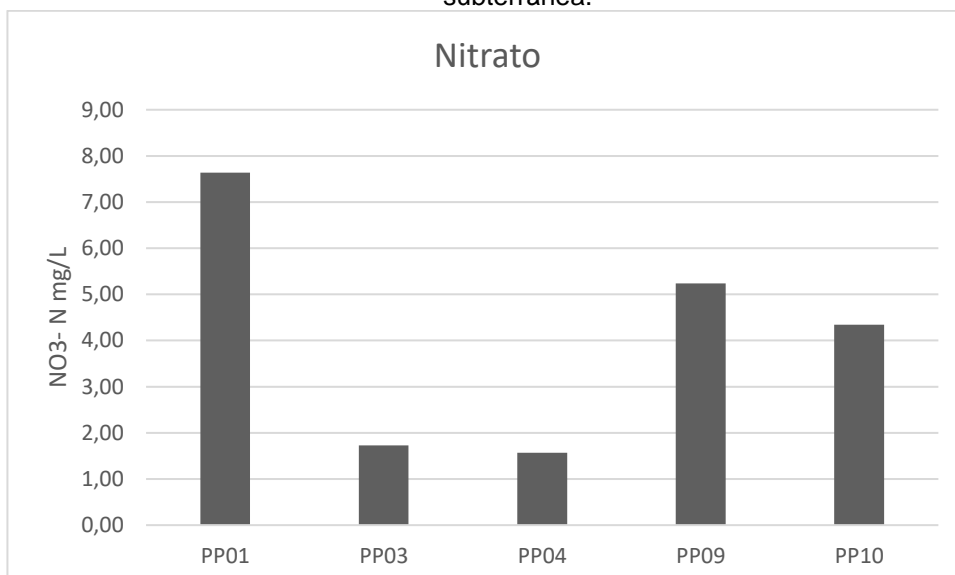
Gráfico 4: Comparação dos valores de ortofosfato nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.



Soares (2016) identificou alguns poços com presença de nitrato no SAQC, este parâmetro pode ser indicativo de contaminação.

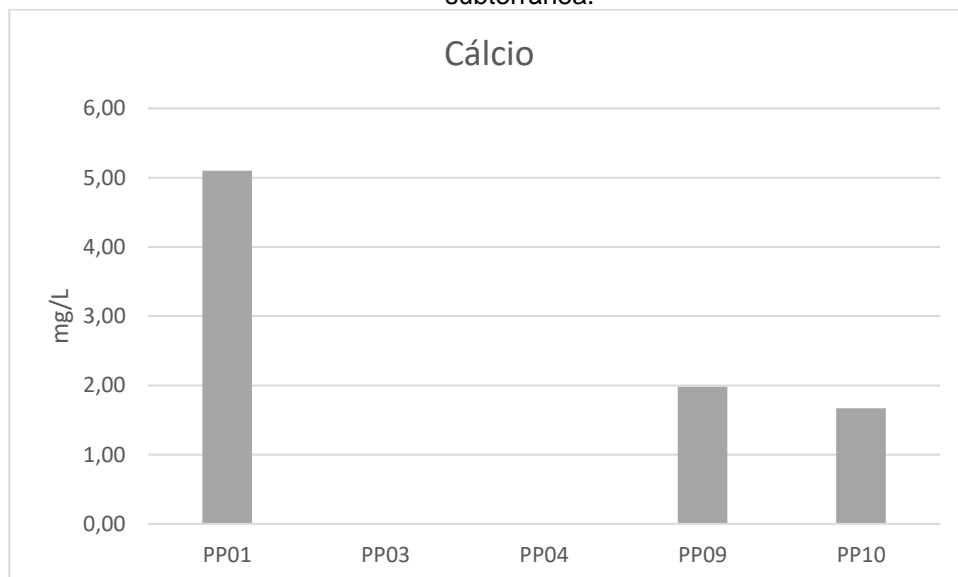
Nos resultados obtidos pelas análises de água no cemitério e arredores, podemos observar que os valores de NO_3 no ponto PP01 encontram-se elevados em relação aos demais pontos, alcançando um valor de quase 8 (gráfico 5). Uma vez que o valor máximo permitido pela Resolução Conama 420/09 é de 10 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$, os valores, apesar de um pouco elevados, encontram-se dentro do permitido.

Gráfico 5: Comparação dos valores de nitrato nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.



As análises para o cálcio também não foram elevadas, principalmente levando em conta que o SAQC é caracterizado pela presença de águas cálcicas, segundo Soares (2016), o que neste caso é em pouca quantidade uma vez que em um dos pontos nem sequer foi detectado. Entretanto, não podemos deixar de ressaltar que assim como outros parâmetros, o cálcio no ponto PP01 apresenta um valor elevado em relação aos demais demonstrando que há uma anomalia nas águas deste poço que está em contato mais direto com as possíveis contaminações que podem ser geradas pelo cemitério.

Gráfico 6: Comparação dos valores de cálcio nos 5 pontos de coleta de amostras de água subterrânea.



5. Conclusões

O estudo realizado no Cemitério Municipal de Osório não comprovou que exista contaminação das águas subterrâneas por necrochorume, uma vez que os parâmetros analisados se encontraram em baixa concentração na maioria dos poços. No poço localizado dentro das dependências do cemitério foram detectados níveis elevados de alcalinidade, nitrato, fósforo total, ortofosfato e cálcio, quando comparados com os poços nas regiões adjacentes, entretanto, levando em consideração as características do SAQC, não se apresentaram em excesso. Exceto pelo nitrato que não ocorre naturalmente nas águas deste sistema e apresentou neste ponto, um valor de 7,6 mg/L de $\text{NO}_3^- \text{N}$, muito próximo do valor máximo permitido de 10 mg/L de $\text{NO}_3^- \text{N}$ segundo Conama 420.

O solo na área de estudo foi classificado como areia fina e possui uma porosidade total em torno de 30%, o que indica uma alta permeabilidade.

A água subterrânea apresentou um pH levemente ácido e altos níveis de CE nos poços mais próximos ao cemitério, isso pode indicar que haja uma influência do necrochorume na composição destas águas, porém não são valores considerados fora do comum para o normalmente encontrado no aquífero.

O fluxo da água está migrando para norte portanto não foi possível identificar se os valores que se apresentam um pouco elevados no ponto do cemitério são encontrados em algum outro ponto de captação, uma vez que não foram feitas análises de poços nesta direção devido a impossibilidade de se fazer amostragens nos mesmos.

As anomalias detectadas na área de estudo, apesar de não estarem acima dos valores permitidos indicam que, mesmo com pouca intensidade, a qualidade da água subterrânea está sendo quimicamente alterada pelo cemitério existente no local, portanto provavelmente seria necessário fazer um monitoramento das águas para que se possa identificar se há realmente uma contaminação proveniente do cemitério e tomar as medidas necessárias para remediar a área e evitar que se espalhe causando danos ao meio ambiente e à população que reside próxima ao local e que utilizam destas águas para consumo.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponibilizado em <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acessado em 17 de setembro de 2017.

ASMUS H. E. & PORTO, R. 1972. **Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas**. In: Congresso Brasileiro de Geologia (vol. 26, p. 67-90)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. Disponibilizado em <http://www.abas.org/educacao_contaminacao.php>. Acessado em 13 de janeiro de 2017.

BOBSIN C. 2013. **Caracterização hidrogeológica do município de Osório, RS**. Artigo para trabalho de conclusão de curso, Unisinos: São Leopoldo (RS).

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas>>. Acessado em 17 de setembro de 2017

BRASIL, 2003. **Resolução CONAMA nº 335**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. – Data da legislação: 03/04/2003 – Publicação DOU nº 101, de 28/05/2003. (p. 98–99)

BRASIL, 2007. FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Cemitérios como fonte de contaminação das águas subterrâneas da região de Cuiabá e Várzea Grande – MT**. Relatório final, Brasília: Funasa.

BRASIL, 2009. **Resolução CONAMA nº 420** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. – Data da legislação: 28/12/2009 - Publicação DOU nº 249, de 30/12/2009. (p. 81-84)

CALCAGNO A. 2001. **Identificação de área para a execução de programas e ações piloto e definição de termos de referência**. Atividade 09 do Projeto Aquífero Guarani, Brasil: ANA

CETESB, 2004. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de SP.** São Paulo: Relatório anual, 2vol. - (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103).

CPRM. **Shapes de mapas geológicos e hidrogeológicos do RS.** Disponibilizado em <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acessado em 12 de agosto de 2017.

LISBOA et al. 2004. **Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul.** In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

LOPES J. L. 2005. **Cemitério e seus impactos ambientais. Estudo de caso: cemitério municipal do Distrito de Catuçaba/SP.** Centro Universitário Senac. São Paulo.

MACEDO J. A. B. 2004. **Águas e Águas.** 2ª ed. Belo Horizonte: CRQ – MG.

MACHADO J. L. F. e FREITAS M. A. 2005 **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Relatório Final.** Porto Alegre: CPRM, 1.

MARTINS L. R. **Aspectos deposicionais e texturais dos elementos praias e eólicos da Planície Costeira do RS.** 1967

MATOS, B. A. 2001. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismo no aquífero freático do Cemitério Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo.** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP).

MATOS B. A. & PACHECO A. 2000. **Ocorrência de microrganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo.** In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. 1., 2000, Anais... Fortaleza, 2000. p.11.

MIGLIORINI R. B. 1994. **Cemitérios como fonte de poluição de aquíferos: Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo.** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP).

NASCIMENTO E. A. 2013. **Caracterização hidrogeológica da unidade aquífera Barreira Holocênica na região de Cassino, Rio Grande do Sul (RS).** Projeto Temático para trabalho de conclusão de curso: Instituto de Geociências – UFRGS, Porto Alegre (RS).

NEIRA D. F. et al. 2008. **Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil.** *Natureza on line*, v. 6, p. 36-41, disponível em <<http://www.naturezaonline.com.br>>

OLIVEIRA, I. B. 2008. **Qualidade do Solo.** Material de Consulta da disciplina ENG 022 - Qualidade do Solo Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Bahia. Tópico I. Salvador.

REBOUÇAS A. C. 1996. **Diagnóstico do setor de hidrogeologia.** Caderno técnico da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS. São Paulo-SP. (46 p.)

SILVA L. M. 1998. **Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres.** In: IV Congresso Latino-americano de Hidrologia Subterrânea, Montevideu, 2: 667-681.

SOARES. A. D. 2016. **Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas do município de Osório, RS.** Projeto Temático para trabalho de conclusão de curso: Instituto de Geociências – UFRGS, Porto Alegre (RS).

TOMAZELLI & VILLWOCK. 2000. **O Cenozóico no Rio Grande do Sul: A Geologia da Planície Costeira.** In: Holz, M. & De Ros, L. F. eds. Geologia do Rio Grande do Sul. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 375-406.

VILLWOCK & TOMAZELLI. 1995. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul.** Notas Técnicas, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Porto Alegre, nº8, p. 1- 45.

WREGGE M. 1997 **Termos Hidrogeológicos Básicos.** Caderno Técnico da associação Brasileira Águas Subterrâneas, nº 4.

ANEXOS

Anexo 1: Resolução CONAMA nº 335 de 2003, alterada pelas resoluções nº368 de 2006 e nº402 de 2008.

“Art. 3º Na fase de Licença Prévia do licenciamento ambiental, deverão ser apresentados, dentre outros, os seguintes documentos:

I - Caracterização da área na qual será implantado o empreendimento, compreendendo:

a) localização tecnicamente identificada no município, com indicação de acessos, sistema viário, ocupação e benfeitorias no seu entorno;

b) levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral, compreendendo o mapeamento de restrições contidas na legislação ambiental, incluindo o mapeamento e a caracterização da cobertura vegetal;

c) estudo demonstrando o nível máximo do aquífero freático (lençol freático), ao final da estação de maior precipitação pluviométrica; e

d) sondagem mecânica para caracterização do subsolo em número adequado à área e características do terreno considerado.

II - Plano de implantação e operação do empreendimento.

§ 1º É proibida a instalação de cemitérios em Áreas de Preservação Permanente ou em outras que exijam desmatamento de Mata Atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração, em terrenos predominantemente cársticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos, bem como naquelas que tenham seu uso restrito pela legislação vigente, ressalvadas as exceções legais previstas. (nova redação dada pela Resolução nº 368/06)

§ 2º A critério do órgão ambiental competente, as fases de licença Prévia e de Instalação poderão ser conjuntas. § 3º Excetuam-se do previsto no parágrafo anterior deste artigo, cemitérios horizontais que:

I - Ocupem área maior que cinquenta hectares;

II - Localizem-se em Áreas de Proteção Ambiental-APA's, na faixa de proteção de Unidades de Conservação de Uso Integral, Reservas Particulares de Patrimônio Natural e Monumento Natural;

IV - Localizem-se em áreas de manancial para abastecimento humano.

Art. 4º Na fase de Licença de Instalação do licenciamento ambiental, deverão ser apresentados, entre outros, os seguintes documentos:

I - Projeto do empreendimento que deverá conter plantas, memoriais e documentos assinados por profissional habilitado; e

II - Projeto executivo contemplando as medidas de mitigação e de controle ambiental.

Art. 5º Deverão ser atendidas, entre outras, as seguintes exigências para os cemitérios horizontais:

I - O nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. (nova redação dada pela Resolução nº368/06)

II - Nos terrenos onde a condição prevista no inciso anterior não puder ser atendida, os sepultamentos devem ser feitos acima do nível natural do terreno;

III - Adotar-se-ão técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, proporcionando, assim, as condições adequadas à decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação;

IV - A área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área;

V - Documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei; e

VI - Estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de 100 (cem) hectares.

§ 1º Para os cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas, além das exigências dos incisos de I a VI, as seguintes: (parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)

I - A área prevista para a implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e

subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador; (inciso acrescentado pela Resolução nº 368/06)

II - O perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra; (inciso acrescentado pela Resolução nº 368/06)

III - O subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10⁻⁵ e 10⁻⁷ cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático. (inciso acrescentado pela Resolução nº 368/06)

§ 2º A critério do órgão ambiental competente, poderão ser solicitadas informações e documentos complementares em consonância com exigências legais específicas de caráter local. (parágrafo acrescentado pela Resolução nº 368/06)

Art. 6º Deverão ser atendidas as seguintes exigências para os cemitérios verticais:

I - Os lóculos devem ser constituídos de:

a) materiais que impeçam a passagem de gases para os locais de circulação dos visitantes e trabalhadores;

b) acessórios ou características construtivas que impeçam o vazamento dos líquidos oriundos da coligação; LICENCIAMENTO AMBIENTAL – Por atividade RESOLUÇÃO CONAMA nº 335 de 2003 842 RESOLUÇÕES DO CONAMA RESOLUÇÕES DO CONAMA

c) dispositivo que permita a troca gasosa, em todos os lóculos, proporcionando as condições adequadas para a decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação; e

d) tratamento ambientalmente adequado para os eventuais efluentes gasosos.

Art. 7º Os columbários destinados ao sepultamento de corpos deverão atender ao disposto nos arts. 4º e 5º, no que couber.

Art. 8º Os corpos sepultados poderão estar envoltos por mantas ou urnas constituídas de materiais biodegradáveis, não sendo

recomendado o emprego de plásticos, tintas, vernizes, metais pesados ou qualquer material nocivo ao meio ambiente.

Parágrafo único. Fica vedado o emprego de material impermeável que impeça a troca gasosa do corpo sepultado com o meio que o envolve, exceto nos casos específicos previstos na legislação.

Art. 9º Os resíduos sólidos, não humanos, resultantes da exumação dos corpos deverão ter destinação ambiental e sanitariamente adequada.

Art. 10. O procedimento desta Resolução poderá ser simplificado, a critério do órgão ambiental competente, após aprovação dos respectivos Conselhos de Meio Ambiente, se atendidas todas as condições abaixo:

I - Cemitérios localizados em municípios com população inferior a trinta mil habitantes;

II - Cemitérios localizados em municípios isolados, não integrantes de área conturbada ou região metropolitana; e

III - Cemitérios com capacidade máxima de quinhentos jazigos.

Art. 12. O Plano de Encerramento das atividades deverá constar do processo de licenciamento ambiental, nele incluindo medidas de recuperação da área atingida e indenização de possíveis vítimas. (nova redação dada pela Resolução nº 402/08)

Parágrafo único. Em caso de desativação da atividade, a área deverá ser utilizada, prioritariamente, para parque público ou para empreendimentos de utilidade pública ou interesse social. ”