

ADONAI GOMES FINEZA

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS POR CEMITÉRIOS:
ESTUDO DE CASO DE TABULEIRO - MG**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

ADONAI GOMES FINEZA

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS POR CEMITÉRIOS:
ESTUDO DE CASO DE TABULEIRO - MG**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de julho de 2008.

Prof. Gustavo Ferreira Simões

Prof. Demétrius David da Silva

Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos
(Coorientador)

Prof.^a Izabel Christina A. D. Azevedo
(Coorientadora)

Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques
(Orientador)

Primeiramente dedico este trabalho ao meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, pois sem ele nada seria possível; meus sonhos seriam apenas um vazio, minha mente seria insana, meus projetos grandes fracassos, meu futuro miserável e minha vida sem sentido algum.

A minha amada esposa Rafaela, que tem sido uma companheira esplêndida, com seu amor, carinho, atenção, afeto, presença etc., simplesmente a metade que me faltava para ser completo.

A minha família que apesar da distância sempre me apoiou e me deu força para continuar lutando através de seu amor e carinho, principalmente nos momentos mais difíceis da minha vida acadêmica.

Ao meu orientador e padrinho, professor Eduardo Antônio Gomes Marques, pois sem ele minha Dissertação seria apenas trabalho e não aprendizado.

As coisas que o olho não viu, e o ouvido não ouviu, e não subiram ao coração do homem, são as que Deus preparou para os que o amam.

I Coríntios 2:9

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Aba Pai, criador de tudo que se pode e não se pode ver.

A minha adorável esposa Rafaela, o maior presente que Deus me deu.

Aos meus pais Adilson e Aparecida, que sem dúvida alguma foram os “engenheiros” principais na construção do meu caráter. Através do incontestável amor que sempre demonstraram.

A minha irmã Aline (nina), pela sua amizade e apoio.

Ao meu orientador, o professor Eduardo Antônio Gomes Marques, pela dedicação profissional e incentivo em meus trabalhos, pela participação em minha vida acadêmica e sobre tudo pela sua amizade.

A CAPES por ter me concedido a bolsa de mestrado.

A FAPEMIG pelo apoio e financiamento no desenvolvimento do projeto.

À Universidade Federal de Viçosa, mais precisamente ao Departamento de Engenharia Civil, pela minha excelente formação profissional.

A Divisão de Água e Esgoto da UFV pelo apoio nas análises.

Ao Pr. Marcos, Pra. Luciene e meus amados irmãos da Igreja Batista Nacional de Viçosa que mesmo fora do contexto acadêmico me proporcionaram uma vida repleta de amigos sem os quais a vida se torna amarga e sem as alegrias diárias.

Ao Felipe, bolsista de iniciação científica, que esteve presente em todas as análises laboratoriais.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. CEMITÉRIOS E SAÚDE PÚBLICA: UM BREVE HISTÓRICO.....	3
3.2. TÉCNICAS DE SEPULTAMENTO DE CADÁVERES.....	4
3.3. INTERAÇÕES CADÁVER-SOLO E PRODUÇÃO DE NECROCHORUME.....	6
3.4. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES CADAVERÍCOS (NECROCHORUME) E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	8
3.5. QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	11
3.5.1. ASPECTOS NORMATIVOS.....	11
3.5.2. PARÂMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	14
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CIDADE E DO CEMITÉRIO DE TABULEIRO-MG.....	20
4.2. CLIMA.....	21
4.2.1. PRECIPITAÇÃO.....	22
4.2.2. BALANÇO HÍDRICO.....	23
4.3. RECURSOS HÍDRICOS.....	24
4.4. PEDOLOGIA.....	26
4.5. GEOMORFOLOGIA.....	27
4.6. GEOLOGIA.....	27
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1. POÇOS DE MONITORAMENTO.....	29
5.2. COLETA DE AMOSTRAS.....	32
5.3. PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS EMPREGADOS.....	33
6. RESULTADOS.....	35
6.1. PRIMEIRA CAMPANHA.....	35
6.2. SEGUNGA CAMPANHA.....	35
6.3. TERCEIRA CAMPANHA.....	36
6.4. QUARTA CAMPANHA.....	36

6.5. QUINTA CAMPANHA.....	36
6.6. SEXTA CAMPANHA.....	36
6.7. SÉTIMA CAMPANHA.....	37
7. DISCUSSÃO.....	39
8. CONCLUSÃO.....	49
9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	50

RESUMO

FINEZA, Adonai Gomes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro - MG.** Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques. Coorientadores: Rafael Kopschitz Xavier Bastos e Izabel Christina Duarte Azevedo.

O presente trabalho apresenta os resultados de um estudo de caso realizado no cemitério da cidade de Tabuleiro (MG), localizado na planície de inundação do Rio Formoso e em seu entorno. Nestas análises foram analisadas amostras de água subterrânea coletadas em poços de monitoramento instalados dentro da área do cemitério e em seu entorno, pelas quais foi acompanhado o grau de contaminação do aquífero. Foram avaliados os parâmetros: nitrato, nitrogênio amoniacal, DBO, DQO, pH, condutividade hidráulica, condutividade elétrica, temperatura, fósforo, cálcio, sódio, potássio, magnésio, coliformes totais e Escherichia Coli, em sete campanhas mensais realizadas no período de agosto de 2007 a março de 2008. Foi encontrado valores elevados de condutividade elétrica (típicos de águas salinas ou águas residuárias) no poço de monitoramento 5 a jusante do cemitério, valores estes associados à presença elevada de amônia, cálcio, magnésio e sódio. A estes parâmetros soma-se a presença elevada de Escherichia coli. Concluindo-se, portanto, que cemitérios podem constituir fonte de poluição/contaminação de águas subterrâneas, por escoamento de necrochorume.

ABSTRACT

FINEZA, Adonai Gomes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2008. **Evaluation of contamination of groundwater by graveyards: a case study Tabuleiro - MG.** Advisor: Eduardo Antonio Gomes Marques. Co-advisors: Rafael Kopschitz Xavier Bastos and Izabel Christina Duarte Azevedo.

This work presents the results of a case study carried out at Tabuleiro graveyard, located at Minas Gerais State, southeast Brazil. The graveyard is located at Formoso river flood plain. Several chemical and physical analyses were done at underground water collected at monitoring wells installed inside the graveyard and on its surrounds. Monitoring wells were positioned so possible aquifer contamination from the graveyard could be detected. The following parameters were analyzed: nitrate, ammoniated nitrogen, BOD, QOD, pH, electrical conductivity, temperature, total phosphorus, calcium, magnesium, sodium, total coliforms and E. coli. Water sampling was made monthly from august, 2007 to march, 2008, resulting in seven different samples from each well. High electrical conductivity values – typically found in saline or residual water were found at well number 5, located below the cemetery on underground flow direction. These values are associated with high values for ammoniated nitrogen, calcium, magnesium, sodium and E. coli. As a conclusion, graveyards can behavior as a source of pollution/contamination of underground water by flowing of burial leakage.

1. INTRODUÇÃO

O processo de decomposição do corpo humano adulto, leva em média três anos e gera um líquido viscoso, com coloração acinzentada, denominado necrochorume, constituído de água, sais minerais, proteínas e cerca de 470 substâncias orgânicas, incluindo duas diaminas, muito tóxicas, a cadaverina e a putrescina, além de vírus e bactérias. (MIGLIORINI, 1994).

O impacto mais importante causado pelo necrochorume está no risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por microrganismos e substâncias químicas liberadas durante o processo de decomposição dos cadáveres. Além disso, a contaminação pode se dar por constituintes das urnas, principalmente metais pesados presentes nas alças e dobradiças, vernizes e tintas utilizadas na madeira, ou por substâncias utilizadas como conservantes, tais como formaldeído e arsênio.

Pelo exposto, torna-se imprescindível que a localização e construção de cemitérios obedeçam a critérios adequados, de forma a minimizar potenciais impactos negativos, ambientais e de saúde pública. Nesse sentido, desde a década de 1950, Bergamo (1954) já defendia a necessidade de estudos geológicos, hidrogeológicos e sanitários para avaliar as possíveis contaminações por necrochorume dos solos, das águas subterrâneas e superficiais. Torna-se, assim, necessária a elaboração de estudos técnicos e científicos de forma a subsidiar a proposição de medidas mitigadoras para áreas impactadas e propor medidas preventivas para a implantação de novos empreendimentos.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho é verificar a possibilidade de contaminação da água subterrânea na área de influência de um cemitério localizado na cidade de Tabuleiro - MG, por meio de estudos geológicos e hidrogeológicos e do monitoramento da qualidade da água.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CEMITÉRIOS E SAÚDE PÚBLICA: UM BREVE HISTÓRICO

O termo cemitério tem origem grega ("Koumeterian" = onde eu durmo). Com o advento do Cristianismo, o termo assumiu o sentido de local destinado ao repouso final pós-morte, com significado apenas para os lugares onde acontece o enterramento dos cadáveres ("cadáver" = carne dada aos vermes).

De acordo com registros históricos disponíveis, em especial aqueles da Idade Média, os mortos de situação sócio-econômico-política mais privilegiada eram sepultados nas igrejas ou em suas imediações, enquanto o povo era sepultado nos campos.

Entre a Idade Média e meados do século XVIII, no ocidente católico (em especial na França), predominou uma relação de proximidade entre vivos e os mortos. Os cadáveres humanos eram enterrados nas igrejas ou em cemitérios contíguos geridos pelos sacerdotes, absolutamente integrados à vida da comunidade.

Embora protegidos por leis governamentais e religiosas, os cemitérios serviam, freqüentemente, à vários outros fins, tais como locais de pastagem de animais, feiras, jogos, festas, atalhos, depósitos de lixo, moradia de mendigos e indigentes, refúgio de leprosos, mictório e sanitário público. Caso exemplo cita-se o do antigo cemitério parisiense de Saint Innocents, uma dessas necrópoles vulneráveis incrustadas no coração da cidade, foco principal de epidemias, servindo a mais de vinte paróquias. Ali, as casas dos vivos quase tocavam os túmulos dos mortos, sendo que os mercadores de tecidos, livros, ferramentas, cavalos, forragem etc., espalhavam os seus produtos de venda entre as sepulturas, num grande mercado livre a céu aberto

Durante o século XVIII, desenvolveu-se uma atitude hostil à proximidade com os moribundos e com os mortos. Os médicos da época recomendavam o seu isolamento, por motivos de saúde pública. Verificou-se, entre outras coisas, uma redefinição das noções de poluição ritual, 'pureza' e 'perigo' passaram a ser definidos a partir de critérios médicos, em escala maior do que os critérios religiosos. Nessas circunstâncias, havia somente uma solução a ser adotada: proibir os enterros nas igrejas e transferir os cemitérios paroquiais para fora das vilas e das cidades. Essa nova atitude fundamentava-se na 'doutrina dos miasmas', desenvolvida pela ciência do século XVIII, com base na qual acreditava-se que a matéria orgânica em decomposição, especialmente a de origem animal, sob a influência de elementos atmosféricos (temperatura, umidade, direção dos ventos etc.), formava vapores ou miasmas nocivos à saúde, infectando o ar que se respirava. Os cadáveres humanos eram considerados entre as causas principais da formação dos miasmas mefíticos, afetando com particular virulência a saúde dos vivos, porque eram depositados em igrejas e cemitérios paroquiais nos centros urbanos. Com a 'descoberta' dos miasmas, observou-se o mau odor exalado pela decomposição cadavérica.

Com a promulgação de novas legislações que pretendiam modificar o consagrado costume de enterrar os mortos nas igrejas, ocorreram vários protestos na Europa e também no Brasil. Por exemplo, em 1836, na cidade de Salvador, Bahia, ocorreu uma revolta contra um cemitério local, a qual ficou conhecida como "Cemiterada". Pedia-se a anulação da lei que proibia os enterros nas igrejas e concedia o

monopólio do sepultamento à igreja. A multidão, após manifestação de vulto na Praça do Palácio, tomou a direção do cemitério, distante cerca de três quilômetros do centro da cidade, munida de machados, alavancas, pás e picaretas, destruindo em menos de uma hora o cemitério. A polícia local avaliou a multidão em mais de 3.000 pessoas. Tal como na Bahia, na Europa houve resistência física à mudança das regras funerárias, encaradas como 'uma ameaça aos interesses da igreja', insuflada por 'doutrinas exóticas'. (REIS, 1991).

Se a prática de sepultamento de cadáveres humanos é antiga na história da humanidade, a preocupação com possíveis consequências ambientais e de saúde pública é mais recente, apesar de alguns relatos históricos sobre a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas. Por exemplo, Mulder (1954) citado por Bower (1978), registra que águas subterrâneas destinadas ao consumo humano estavam contaminadas por cemitérios nas proximidades de Berlim, no período de 1863 a 1867, com a proliferação de febre tifóide; menciona também que nas proximidades do cemitério de Paris se constatou a captação de águas subterrâneas mal cheirosas e de sabor adocicado, principalmente em épocas quentes. De acordo com alguns higienistas franceses, numerosas cidades na França devem sua endemia de febre tifóide à posição dos cemitérios em relação às águas de abastecimento (PERSON, 1979).

De fato, desde o século passado tem-se associado a incidência de endemias à contaminação do subsolo, gerada pela operação dos cemitérios e hoje há consenso geral sobre o potencial contaminador dos efluentes da decomposição cadavérica, em especial no que diz respeito ao lençol freático e à sua exploração para o consumo humano, nas circunvizinhanças das necrópoles. Este consenso, em grande parte, é corroborado pela analogia do que ocorre nas áreas de disposição de resíduos sólidos orgânicos no solo (lixo e seu chorume).

Até alguns anos atrás, os cemitérios não eram incluídos nas listas de fontes tradicionais de contaminação, mas hoje se reconhece que áreas contaminadas por estes empreendimentos constituem graves problemas sócio-ambientais.

No Brasil, até o ano 2003 não existia regulamentação específica para implantação e operação de cemitérios e isso, certamente, contribuiu para que muitas vezes fossem instalados em áreas inadequadas. Com o surgimento da resolução CONAMA 355/2003, que obriga a realização de estudos geológicos, hidrogeológicos e ambientais para implantação e operação de cemitérios, essa situação tende a se modificar.

3.2. TÉCNICAS DE SEPULTAMENTO DE CADÁVERES

Os sepultamentos em cemitérios são feitos por inumação (diretamente no solo) ou por tumulação (em jazigos).

O enterro por inumação é uma técnica empregada em muitos povos antigos, medievais, modernos ou contemporâneos e consiste na deposição do corpo em cova aberta e depois aterrada ou na colocação à superfície, mas apondo-se um espesso monte de terra e pedras, ou ainda no depósito numa cavidade ou mesmo caixa devidamente acautelada ou resguardada (DIAS, 1963). A Figura 1 mostra um exemplo de enterro por inumação no cemitério de Tabuleiro.



Figura 1 - Exemplo de inumação no cemitério de Tabuleiro.

As inumações no solo têm por objetivo a decomposição e o desaparecimento dos corpos. Informações de caráter pedológico mostram ser a camada superior (camada orgânica), onde se desenvolve a mais intensa atividade micro-bioquímica, aquela que tem a melhor capacidade de oxidação. Como consequência, seria esta a mais favorável para a destruição dos cadáveres. Entretanto, por várias razões, como a presença de animais escavadores, higiene pública, confinamento de produtos em decomposição, se torna necessário enterrar os cadáveres a maiores profundidades.

O enterramento por tumulação é feito através de carneiros, construídos de alvenaria ou concreto na forma de caixas retangulares, que recebem os caixões em gaveta, teoricamente bem seladas, de forma a impedir a emanção para o exterior dos gases provenientes da decomposição dos corpos. Essas construções são parcialmente ou totalmente subterrâneas. Por envolver o empilhamento das gavetas, esse processo de sepultamento se faz a maiores profundidades que a inumação, sendo assim mais próximos ao lençol freático. A Figura 2 mostra um exemplo dessa forma de enterro no cemitério de Tabuleiro.



Figura 2 - Exemplo de tumulação no cemitério de Tabuleiro.

3.3. INTERAÇÕES CADÁVER-SOLO E PRODUÇÃO DE NECROCHORUME

Um cadáver ao ser sepultado está sujeito a fenômenos transformativos do tipo destrutivo e conservador. Dentre os primeiros destacam-se a autólise, a putrefação e a maceração. Aos outros pertencem a mumificação e a saponificação.

A putrefação de um cadáver inicia-se com as bactérias endógenas intestinais, do tipo saprófitas, principalmente enterobactérias. A essa fase anaeróbia segue-se o aparecimento de bactérias aeróbias-anaeróbias facultativas da família *Neisseriaceae* e *Pseudomonadaceae* e outras anaeróbias de gênero *Clostridium*. Esses microrganismos são originários do cadáver e do terreno circundante.

No processo da putrefação há dois períodos fundamentais, o gasoso e o coliquativo. No primeiro desenvolvem-se gases no interior do cadáver responsáveis pelo inchamento e posterior rebentamento do corpo com a formação de líquidos humorosos que podem atingir valores da ordem de 30-40L. Esse período pode demorar de uma a quatro semanas ou se prolongar por mais tempo, dentro das variações em que atuam os múltiplos fatores que influem na evolução putrefativa. Áreas com intensa precipitação pluviométrica e com o nível do lençol freático próximo à superfície são muito vulneráveis a esse tipo de contaminação.

No período coliquativo, de duração mais longa (dois a oito meses), tem lugar a dissolução pútrida. Nesse período, além dos germes putrefativos, há também grande presença de larvas e insetos que contribuem para a destruição do cadáver.

Há um conjunto de circunstâncias que concorrem para acelerar ou retardar o processo dos fenômenos putrefativos. Umas são intrínsecas, pertinentes ao corpo e à "causa mortis", e outras extrínsecas, ligadas ao ambiente onde se situa o cadáver.

Em relação aos elementos ambientais, a temperatura, a umidade e o grau de ventilação são alguns fatores que mais influem no progresso da putrefação. As oscilações da temperatura ambiente e do calor ainda existente no cadáver, além de influírem na evaporação da água contida no corpo, têm grande participação no desenvolvimento das fermentações, enquanto que temperaturas baixas agem como retardador da decomposição. Se a umidade equilibrada acelera o processo, as correntes de ar quente e seco impedem a putrefação, favorecendo a mumificação. Por outro lado, o excesso de umidade favorece outros fenômenos transformativos, como a saponificação.

A saponificação é o processo que transforma o cadáver em substância untosa, mole ou quebradiça, motivado pelo contato em terrenos alagadiços que impedem os fenômenos de oxidação. Em alguns casos, essa transformação parece dar-se devido ao emprego excessivo de drogas medicinais em certos tipos de tratamento. As causas parecem residir no excesso de umidade proveniente da infiltração de águas de chuva e ou no nível freático muito alto. O solo argiloso, poroso e impermeável, quando saturado de água, facilita este fenômeno, que pode iniciar-se entre um e dois meses. O excesso de umidade inibe a atuação de microrganismos degradadores de matéria orgânica. Quimicamente, a saponificação é a transformação da gordura em sabão. Segundo Muñoz (1992), a gordura no tecido adiposo está armazenada na forma de glicerol e ácidos graxos – triglicerídeos. Determinadas condições ambientais favorecem a decomposição dos triglicerídeos, liberando ácidos graxos, que se unem a alguns minerais do organismo, como o cálcio,

magnésio e outros, formando o sabão.

As mumificações naturais ou espontâneas aparecem em condições de clima quente, com temperatura invariável. Segundo Fávero (1980), a mumificação está relacionada à falta de umidade suficiente para permitir o desenvolvimento dos germes putrefativos. Ademais, ocorre, por vezes, o arejamento intensivo do local onde o cadáver se encontra. A elevação da temperatura e a facilidade que o terreno pode apresentar na absorção dos líquidos que do cadáver surgem, favorecem a mumificação. As temperaturas elevadas e os terrenos arenosos de regiões desérticas são propícios à mumificação. Segundo alguns pesquisadores os solos ricos em nitrato de potássio, também são propícios à mumificação, devido à ação antisséptica desse sal.

Do ponto de vista de contaminação da água e do solo, o processo de decomposição mais importante é a putrefação, durando, em média, três anos. Durante a decomposição o corpo humano passa a ser um ecossistema formado por vírus, bactérias, microrganismos patogênicos e outros que podem vir a contaminar os mananciais de água.

Outro problema que afeta o lençol freático, em determinadas condições geológicas e observando um grande número de cemitérios já estudados, é o da decomposição parcial estacionária, gerando fenômenos conservativos, como a saponificação e a mumificação. Ambos, obviamente, atrapalham a consecução da decomposição dos corpos e neutralização dos efluentes, prolongam a permanência dos corpos semi-decompostos e mantêm o perigo de decomposição latente, dado a oferta de vetores disponíveis e mobilizáveis.

Sabe-se que 75% do corpo humano são constituídas por água, combinadas com substâncias orgânicas e inorgânicas. Após a morte, na chamada fase coliquativa ou humorosa, a qual se inicia logo após a fase gasosa, com duração de dois a oito meses (ou mais, dependendo das condições geológicas), os corpos em decomposição liberam um líquido funerário característico, conhecido por 'necrochorume', de maneira intermitente, em volume total variável entre 30 e 40L. Segundo a FEAM (2003), necrochorume é eliminado durante o primeiro ano após o sepultamento.

No meio natural, o necrochorume decompõe-se em substâncias mais simples, ao longo de determinado período de tempo, em que a capacidade de depuração natural do solo, traduzida pelo seu teor em argilas ativas, tem papel importante. Em consonância, processa-se uma filtração lenta dos percolados, coadjuvada pela oxidação. Dependendo da profundidade do lençol freático, a carga microbiológica do necrochorume (vírus e bactérias) é eliminada, não acarretando problemas de contaminação. Bower (1978) conduziu estudos em um cemitério da Alemanha Ocidental, demonstrando o elevado poder de autodepuração do solo aluvionar (Tabela 1).

Tabela 1 - Diminuição das bactérias ao longo da profundidade.

Distância dos túmulos aos pontos de amostragem da água subterrânea	Redução no número de bactérias, com o afastamento da amostragem, relativa aos túmulos
0,50 m	8000
2,50 m	6000
3,50 m	3600
4,50 m	1200
5,50 m	180

Fonte: Ground water hydrology, 1978.

O solo, em especial a zona não-saturada, desempenha um papel muito importante na retenção dos microrganismos patogênicos mediante um conjunto de fatores físicos e químicos ambientais, que afetam a infiltração e o movimento destes micróbios.

A capacidade de retenção mantém uma relação inversa com a permeabilidade, ou seja, os processos de retenção de organismos são mais eficientes nos solos argilosos do que nas areias e cascalhos. Neste sentido, os aquíferos formados por grandes interstícios, por fraturas e canais de dissolução (Karts) estão deficientemente protegidos.

De acordo com Romero (1970), que sumarizou os resultados de muitos estudos sobre o movimento de bactérias em água subterrâneas, o percurso máximo dos contaminantes biológicos em condições ordinárias varia entre 15,0 a 30,0 m em meios saturados, podendo percorrer maiores distâncias em águas com nutrientes. Em condições favoráveis, esses organismos podem sobreviver por até cinco anos, mas em geral morrem antes de sessenta ou cem dias. Isto se refere principalmente a terrenos granulares finos. Em meios muito grosseiros e em rochas fraturadas, os percursos dos microrganismos são maiores e, em áreas carstificadas, estes podem percorrer centenas de metros.

Todavia, em determinadas condições geológicas, o necrochorume pode atingir o lençol freático praticamente íntegro, com suas cargas contaminantes químicas e microbiológicas. Os vetores introduzidos no lençol freático, graças ao seu escoamento, podem ser disseminados nos entornos imediato e mediato das necrópoles, podendo atingir grandes distâncias, caso as condições hidrogeológicas assim o permitam.

Como as distâncias percorridas pelos microrganismos dependem de um número complexo de fatores, como medida preventiva e para cemitérios a serem construídos em áreas elevadas de terrenos com características permeáveis, recomenda-se que o nível freático tenha uma profundidade mínima de 3,50 m para sepultamentos em cova simples, com 1,55 m de fundo, e 4,50 m para enterramento em túmulos (tipo catacumba), com 3,80 m de profundidade.

Segundo Migliorini (1994), a geologia da região para implantação de cemitérios deve ser estudada através de mapas geológicos e topográficos, trabalhos publicados, fotografias aéreas e trabalhos de campo. Devem ser feitas sondagens para os ensaios de permeabilidade, determinação do nível do lençol freático, da direção e sentido do fluxo e caracterização do perfil geológico da área. Também deve ser evitada a utilização de regiões cujos solos sejam muito permeáveis (areia e cascalho), ou constituídos por materiais muito finos (silte e argila), onde prevalecem condições anaeróbicas, e ainda terrenos formados por rochas fraturadas, sendo portanto, o ideal, terrenos com granulometria bem distribuída. Miotto (1990) elaborou uma metodologia para seleção de áreas para implantação de cemitérios, utilizando como instrumento as informações geológicas, geotécnicas e hidrológicas da região.

3.4. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES CADAVERÍCOS (NECROCHORUME) E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O necrochorume é um líquido mais viscoso que a água, de cor acinzentada a acastanhada, com cheiro acre e fétido, com densidade média de $1,23 \text{ g/cm}^3$; é constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10 % de substâncias orgânicas degradáveis (Figura 3).

Ao ocorrer aporte de necrochorume solúvel em água no aquífero, dadas as relações de viscosidade e densidade, podem se formar manchas poluidoras migrantes ('plumas de poluição'), as quais disseminam-se pelo subsolo saturado como uma nuvem, com velocidade de trânsito variável, podendo atingir distâncias quilométricas a partir da origem (fonte pontual).

Mendes et al (1989) utilizaram técnicas geofísicas para avaliar a contaminação em cemitérios e correlacionaram anomalias de condutividade elétrica aparente, em estudos eletromagnéticos, com a contaminação originada da decomposição dos sepultamentos, citada em WHO (2004), detectando o aumento da condutividade elétrica e sais minerais nas águas subterrâneas próximas de sepultamentos recentes no cemitério Botany na Austrália.

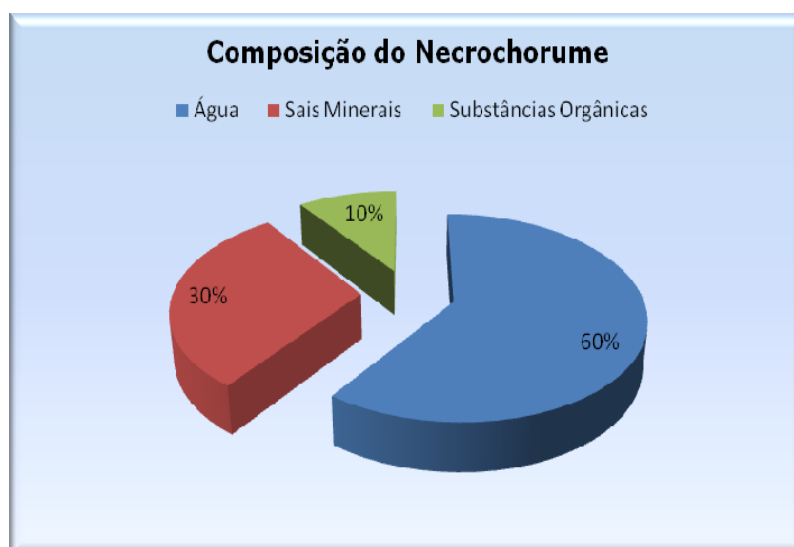


Figura 3 - Composição do Necrochorume.

A toxicidade química do necrochorume diluído na água freática relaciona-se, principalmente, a teores anômalos de compostos das cadeias do fósforo e do nitrogênio, metais pesados e aminas, dentre as quais destacam-se duas diaminas muito tóxicas: a putrescina (1,4 Butanodiamina) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina), que são tóxicas, cujas propriedades podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades da cadaverina e da putrescina.

Propriedade	Cadaverina (C ₅ H ₁₄ N ₂)	Putrescina (C ₄ H ₁₂ N ₂)
Massa molecular	102,18	88,15
Densidade	0,873 g/cm ³	0,877 g/cm ³
Ponto de fusão	26 ⁰ – 28 ⁰ C	27 ⁰ – 28 ⁰ C
Ponto de ebulição	178 ⁰ – 180 ⁰ C	158 ⁰ – 160 ⁰ C
N ²⁰ _D índice de refração	1,4582	1,4569
Solubilidade em água (23 ⁰ –28 ⁰)	Elevada	Elevada
Toxicidade	Elevada	Elevada
Coloração	Pardacenta	Pardacenta
Odor	Corrosivo	Corrosivo

Fonte: SILVA (1998).

De acordo com Ottman (1987) pouco se sabe sobre a composição microbiológica do necrochorume. Devido a sua composição química, é possível encontrar grande quantidade de bactérias degradadoras de matéria orgânica (bactérias heterotróficas), de proteínas (bactérias proteolíticas) e lipídios (bactérias lipolíticas). Segundo o mesmo autor, podem ser encontradas bactérias que são normalmente excretadas por seres humanos e animais, como *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter* (bactérias do grupo coliforme), *Streptococcus faecalis* (hoje reclassificada como *Enterococcus faecalis*), *Clostridium perfringens* e *Clostridium welchii*, entre outras.

O necrochorume, permite a sobrevivência e a proliferação dos microrganismos presentes nos cadáveres em putrefação, sejam os naturais ou os patogênicos. Segundo Pacheco (1991), os organismos patogênicos presentes no necrochorume têm pouca resistência às condições de oxigenação e à ausência relativa de umidade nos solos. Afirma ainda o autor que, se a capacidade de retenção de microrganismos no solo for reduzida, eles poderão ser incorporados às águas subterrâneas ou superficiais, com capacidade maior ou menor de se manterem ativos, dependendo da oxigenação das águas e de sua velocidade de escoamento; sabe-se que as águas subterrâneas são pobres em oxigênio dissolvido (zona saturada), favorecendo, portanto, a sobrevivência dos organismos patogênicos.

Estudos de Schrap (1972), citado por Bower (1978), realizados na Alemanha Ocidental em um cemitério localizado em terrenos de aluvião não consolidados, comprovaram a existência de contaminação bacteriológica, tendo sido constatado também que o número de bactérias diminui rapidamente com a distância dos túmulos, devido à capacidade do solo reter microrganismos.

No Brasil, especialmente a partir da década de 1980 e por iniciativa do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS), do Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo, foram realizadas várias pesquisas sobre contaminação das águas subterrâneas por cemitérios.

Pacheco (1986) e Pacheco et al. (1991) comprovaram contaminação bacteriológica das águas subterrâneas dos cemitérios Vila Formosa (São Paulo – SP), Vila Nova Cachoeirinha (São Paulo – SP) e Areia Branca (Santos – SP), detectando a presença de coliformes totais, coliformes fecais, estreptococos fecais, clostrídios sulfito-redutores e outros originados da decomposição dos corpos sepultados por inumação.

MIGLIORINI (1994) publicou um estudo hidroquímico das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa (São Paulo-SP), concluindo que:

- A presença do cemitério contribuiu para elevar a concentração total de íons (sólidos totais dissolvidos) nas águas subterrâneas da área, sendo a fonte mais provável do cátion que mais se elevou (Ca^{+2}) a cal utilizada no cemitério;
- As águas apresentaram concentração excessiva de produtos nitrogenados, que têm sua origem mais provável no processo de decomposição dos corpos, com participação da contaminação bacteriológica;
- A presença do cemitério provocou o aparecimento dos seguintes metais: manganês, cromo, ferro, prata e alumínio, em níveis acima dos valores máximos permissíveis na água para consumo humano. Esses metais se originaram provavelmente das tintas, vernizes e guarnições desprendidas

dos caixões.

Matos (2000), estudando o cemitério de Vila Nova Cachoeirinha no município de São Paulo, detectou a presença de bactérias heterotróficas, bactérias proteolíticas, clostrídios sulfito-redutores, eterovírus e adenovírus nas águas subterrâneas do aquífero local. Segundo esse autor, a contaminação dos mananciais pode se dar pela chuva e pelo contato do manancial com urnas enterradas diretamente no solo. Em períodos de pluviosidades intensas, as urnas podem ser invadidas pela água, causando percolação do líquido para o aquífero mais próximo. Além disso, a chuva pode ocasionar a elevação do nível das águas subterrâneas, que podem atingir as sepulturas.

3.5. QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

3.5.1. ASPECTOS NORMATIVOS

As características apresentadas pela água, determinadas pelo conjunto de substâncias nela presentes, refletem sua qualidade. 'Água pura' é um conceito hipotético, uma vez que a água apresenta elevada capacidade de dissolução e de transporte e, em seu percurso, superficial ou subterrâneo, pode incorporar um grande número de substâncias. Portanto, por processos naturais ou decorrentes de atividades antrópicas, as características da água podem ser substancialmente alteradas, a ponto de comprometer determinados usos. Assim, qualidade da água é um atributo dinâmico no tempo e no espaço e encontra-se, acima de tudo, relacionado com os usos de uma determinada fonte - a mesma água pode ser considerada 'boa' para um determinado fim (por exemplo, para uso industrial) e 'ruim' para outro (por exemplo, para o consumo humano). De forma análoga, o conceito de poluição deve ser entendido como perda de qualidade da água, ou seja, alterações em suas características que comprometam um ou mais usos do manancial. Por sua vez, contaminação é em geral entendida como um fenômeno de poluição que apresente risco à saúde (Bastos et al., 2003).

Desde a década de 1980 a legislação ambiental brasileira conta com critérios de classificação de águas superficiais em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade), bem como com padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores (BRASIL, 2005). Entretanto somente em 2008 o país passou a contar com instrumento análogo para as águas subterrâneas, a Resolução CONAMA Nº 396, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrânea (BRASIL, 2008). De acordo com a Resolução CONAMA Nº 396 / 2008, as águas subterrâneas são classificadas em:

- (i) Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- (ii) Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

- (iii) Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- (iv) Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- (v) Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;
- (vi) Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Na Resolução CONAMA Nº 396 / 2008 encontram-se também as seguintes disposições:

- (i) Os Valores Máximos Permitidos – VMP (limite máximo permitido de um dado parâmetro), específico para cada uso da água subterrânea para o respectivo uso das águas subterrâneas deverão ser observados quando da sua utilização, com ou sem tratamento, independentemente da classe de enquadramento;
- (ii) As águas subterrâneas da Classe Especial deverão ter suas condições de qualidade naturais mantidas;
- (iii) Os padrões das Classes 1 a 4 deverão ser estabelecidos com base nos Valores de Referência de Qualidade-VRQ (concentração ou valor de um dado parâmetro que define a qualidade natural da água subterrânea, determinados pelos órgãos competentes), e nos Valores Máximos Permitidos para cada uso preponderante, observados os Limites de Quantificação Praticáveis – LQPs;
- (iv) Os parâmetros que apresentarem VMP para apenas um uso serão válidos para todos os outros usos, enquanto VMPs específicos não forem estabelecidos pelo órgão competente;
- (v) As águas subterrâneas de Classe 1 apresentam, para todos os parâmetros, VRQs abaixo ou igual dos Valores Máximos Permitidos mais Restritivos dos usos preponderantes;
- (vi) As águas subterrâneas de Classe 2 apresentam, em pelo menos um dos parâmetros, Valor de Referência de Qualidade - VRQ superior ao seu respectivo Valor Máximo Permitido mais Restritivo - VMPr+ dos usos preponderantes;
- (vii) As águas subterrâneas de Classe 3 deverão atender ao Valor Máximo Permitido mais Restritivo - VMPr+ entre os usos preponderantes, para cada um dos parâmetros, exceto quando for condição natural da água;
- (viii) As águas subterrâneas de Classe 4 deverão atender aos Valores Máximos Permitidos menos Restritivos - VMPr- entre os usos preponderantes, para cada um dos parâmetros, exceto quando for condição natural da água;

- (ix) As águas subterrâneas de Classe 5 não terão condições e padrões de qualidade (conforme critérios utilizados na Resolução);
- (x) Os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente;
- (xi) Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes;
- (xii) Os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, com base naqueles selecionados conforme os itens (x) e (xi), bem como pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água.

No Anexo I da Resolução CONAMA Nº 396 / 2008 encontra-se uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas (incluindo substâncias inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos e microrganismos indicadores de contaminação), seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes e os limites de quantificação praticáveis (LQP), considerados como aceitáveis para aplicação da referida Resolução.

Apresentam-se a seguir os VMPs apenas daqueles parâmetros objeto de monitoramento neste trabalho (Tabela 3), seguidos de breves considerações sobre o significado de cada um.

Tabela 3 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de alguns parâmetros considerados como de probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, de acordo com os usos preponderantes, (Resolução CONAMA Nº 396 / 2008).

Parâmetros	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação
Nitrato (mg N-NO ₃ L ⁻¹)	10	90	-	10
Sódio (mg L ⁻¹)	200	-	-	300
Sólidos dissolvidos totais (mg L ⁻¹)	1.000	-	-	-
<i>E.coli</i> (NMP por 100 mL)	Ausente	200		800

Depreende-se que não somente para os parâmetros citados na Tabela 3, bem como para os demais listados na resolução CONAMA Nº 396 / 2008, que os VMP's estabelecidos para cada uso preponderante encontrem correspondência com: (i) consumo humano – Portaria MS Nº 518 /2004, que estabelece o padrão de potabilidade da água (Brasil, 2004), (ii) dessedentação de animais - Resolução CONAMA Nº 357 / 2005, que dispõe sobre a classificação e enquadramento dos corpos de água superficiais; (iii) irrigação - Resolução CONAMA Nº 357 / 2005 e, ou, as diretrizes da FAO para a qualidade da água para irrigação (AYERS e Westcot, 1991), (iv) recreação - Resolução CONAMA Nº 357 / 2005 e, ou Resolução CONAMA Nº 274 / 2000, que dispõe sobre a balneabilidade (Brasil, 2000).

3.5.2. PARÂMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH da água é a medida da atividade dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$) ou alcalinas ($\text{pH} > 7,0$). Como o pH é expresso em escala logarítmica, ao incremento e decréscimo de uma unidade de pH correspondem, respectivamente, um aumento de dez vezes em alcalinidade e acidez. O valor do pH influi na solubilidade de diversas substâncias, na forma em que os compostos químicos se apresentam na água (livre ou ionizada) e em sua toxicidade (SAWYER et al., 2003).

A maioria das águas naturais superficiais tende a apresentar um pH próximo da neutralidade devido a sua capacidade de tamponamento (resistência a alterações de pH devida a introdução / presença de ácidos ou bases). Entretanto, as próprias características do solo ou a presença de ácidos húmicos, podem contribuir para a redução natural do pH. Assim é que muitas águas subterrâneas podem apresentar pH baixo (BASTOS et al., 2003).

Para a maioria dos usos da água, incluindo aqueles previstos nas diversas classes da Resolução CONAMA Nº 357 / 2005, e o abastecimento para consumo humano, recomendam-se valores de pH em faixas de 6-9.

Temperatura

A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2°C) e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície. Em profundidade, depende do grau geotérmico, podendo sofrer maiores elevações provocadas por gêiser, vulcanismos, radioatividade, etc. (FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997).

Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais

A condutividade elétrica da água representa sua capacidade de transmitir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, principalmente inorgânicas, que se dissociam em cátions e ânions. Simplificadamente, a condutividade representa a concentração de íons, estando, portanto associada à concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) e à salinidade. A associação entre CE e SDT teria de ser determinadas caso a caso, pois varia com o tipo de íons presentes e sua concentração. Genericamente, pode-se estimar que (RHOADES et al., 2000):

$$\text{SDT (mg L}^{-1}\text{)} \approx 640 \text{ CE (dS m}^{-1}\text{)} \text{ para } 0,1 < \text{CE} < 5,0 \text{ dS m}^{-1}$$

$$\text{SDT (mg L}^{-1}\text{)} \approx 800 \text{ CE (dS m}^{-1}\text{)} \text{ para } \text{CE} > 5,0 \text{ dS m}^{-1}$$

Em águas naturais podem-se encontrar faixas de condutividade na ordem de 10 - 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Águas residuárias domésticas e industriais podem apresentar valores acima de 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Assim, a condutividade pode ser utilizada como um indicador auxiliar de poluição das águas, muito embora existam outros parâmetros mais específicos para tal. Por sua vez, diversas culturas agrícolas, bem como o solo irrigado, são sensíveis ao excesso de sais na água, sendo a condutividade elétrica um dos principais

parâmetros de controle da qualidade da água para a irrigação: valores de CE > 3.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, em geral, são considerados limitantes para esse uso (AYERS e WESTCOT, 1991).

Por questões organolépticas a Portaria MS Nº 518 /2004 estabelece como 'padrão de aceitação para consumo', um limite, em termos de SDT de 1.000 mg L⁻¹ (BRASIL, 2008).

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO)

A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização bioquímica de uma quantidade de matéria orgânica presente em uma amostra, sendo, portanto uma medida indireta da matéria orgânica biodegradável em condições padronizadas: 20°C, cinco dias; nessas condições a medida de DBO representa uma fração (cerca de 2/3) da matéria orgânica de mais fácil biodegradabilidade, a matéria carbonácea. A DQO é a medida do oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica com uso de um oxidante químico. É, portanto, também uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica e aproxima-se, mais que a DBO, da quantidade total (von SPERLING, 2005).

DBO e a DQO são dos principais parâmetros de avaliação do grau de poluição e servem aos critérios de classificação de águas superficiais da Resolução CONAMA Nº 357 / 2005. Águas subterrâneas, por serem mais protegidas do aporte externo de matéria orgânica, tendem, naturalmente, a apresentar valores mais baixos de DBO e DQO e, talvez por isso, esses parâmetros não constem na Resolução CONAMA Nº 396 / 2008.

Potássio

O potássio (K) ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, por participar de processos de troca iônica, por ser facilmente adsorvido pelas argilas e por ser utilizado pelos vegetais como macronutriente. Os teores de potássio nas águas subterrâneas são, em geral, inferiores a 10 mg L⁻¹, sendo mais freqüentes valores entre 1 e 5 mg L⁻¹ (FEITOSA, 1997).

A Portaria MS Nº 518 /2004 não estabelece limite para potássio como padrão de potabilidade.

Sódio, cálcio e magnésio

O Sódio (Na) é o sexto elemento mais abundante na terra e está presente na maioria das águas naturais. Sua concentração em águas subterrâneas varia, em geral, entre 0,1 e 100 mg L⁻¹ (MANOEL FILHO, 1997).

Nas águas utilizadas para irrigação, o sódio é um dos principais parâmetros de controle. Em linhas gerais, o sódio produz um efeito dispersante nas partículas finas do solo, contribuindo para sua obstrução; o cálcio, vice-versa, contribui para uma melhor estrutura do solo. Além disso, os efeitos do excesso de Na são potencializados quando a relação Ca/Mg é menor que a unidade; isto porque o excesso de Mg no solo pode induzir à deficiência de Ca. Assim, a proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio nas águas de irrigação é um fator fundamental na manutenção da boa capacidade de infiltração do solo. A relação entre esses três cátions (Na:Ca:Mg) é expressa pelo parâmetro Relação de Adsorção de Sódio – RAS (AYERS e WESTCOT, 1991; RHOADES et al., 2000).

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{+2} + Mg^{+2} / 2)]^{1/2} (mmol_c L^{-1})^{0,5}$$

Em que:

Na^+ = concentração de sódio na água de irrigação ($mmol_c L^{-1}$)

Ca^{+2} = concentração de cálcio na água de irrigação ($mmol_c L^{-1}$)

Mg^{+2} = concentração de magnésio na água de irrigação ($mmol_c L^{-1}$)

De fato, tanto a salinidade quanto a sodicidade da água afetam a velocidade de infiltração da água no solo. Águas com baixa salinidade tendem a dissolver os sais e minerais do solo (inclusive o cálcio), lixiviando-os. Isto, somado à contínua aplicação de água com elevada RAS (elevada proporção de sódio em relação ao cálcio), constitui a pior combinação para a estabilidade dos agregados do solo e estrutura das camadas superficiais. Portanto, os problemas de infiltração são avaliados, em conjunto, por meio da salinidade (CE) e sodicidade da água (RAS). (AYERS e WESTCOT, 1991; RHOADES et al., 2000).

Sódio em excesso é também, em si, tóxico a diversas culturas, genericamente, em valores de RAS acima de 3 ($mmol_c L^{-1}$)^{0,5} (AYERS e WESTCOT, 1991).

Na água para consumo humano, limites de sódio são estabelecidos apenas por razões organolépticas, a Portaria MS Nº 518 /2004 estabelece um limite de 200 mg L⁻¹ (BRASIL, 2008).

Do ponto de vista econômico, o sódio pode também ser causa de obstrução de canalizações e equipamentos; uma concentração máxima de 2 a 3 mg L⁻¹ é recomendada em águas de alimentação de caldeiras (MIERZWA E HESPANHOL, 2005).

Ao entrar em contato com o solo a água é enriquecida com gás carbônico (originado pela ação bacteriana) e tem seu poder de agressividade aumentado (devido ao equilíbrio gás carbônico – ácido carbônico), adquirindo assim condições para dissolver os cátions bivalentes, como Ca^{2+} e Mg^{2+} , além dos ânions associados a esses (bicarbonato, sulfato, cloreto, silicato, nitrato, etc.), os quais conferem à água características conhecidas como 'dureza' (SAWYER et al., 2003).

A dureza reflete a natureza da formação geológica com a qual a água esteve em contato. Em geral, as águas superficiais são mais brandas do que as subterrâneas e as águas duras são encontradas nas zonas de acentuada formação calcária. As águas podem ser classificadas em termos de grau de dureza, como segue. A dureza pode ainda ser classificada em relação aos íons metálicos (dureza cálcio, dureza magnésio) ou em relação aos ânions associados aos cátions metálicos (dureza carbonato ou não-carbonato)(SAWYER et al., 2003).

- Águas moles < 75 mg CaCO₃L⁻¹
- Águas moderadamente moles: 75 – 150 mg CaCO₃L⁻¹
- Águas duras: 150 – 300 mg CaCO₃L⁻¹
- Águas muito duras: > 300 mg CaCO₃L⁻¹

Os grandes inconvenientes causados por águas 'duras' são a dificuldade de formação de espuma com o sabão. O maior consumo de sabão e a formação de incrustações de carbonato ou silicato de cálcio e, ou magnésio, que abaixam a condutividade térmica e promovem a corrosão interna de caldeiras e

outras unidades onde ocorre elevação de temperatura (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Não são conhecidos efeitos deletérios da dureza da água sobre a saúde. O padrão de potabilidade brasileiro estabelece como padrão de aceitação para consumo um limite de dureza total em 500 mg L⁻¹, por motivos econômicos e pelo sabor pouco agradável de tais águas (BRASIL, 2008).

Nitrogênio e fósforo

O texto a seguir é, essencialmente, compilado de Bastos et al (2003).

No ciclo biogeoquímico do nitrogênio, em ambientes aeróbios ocorre a nitrificação ou oxidação bioquímica (mineralização) das formas de nitrogênio, de amônia a nitratos (NO³⁻); em ambientes anaeróbios ocorre a desnitrificação, ou redução das formas de nitrogênio, de NO³⁻ a nitritos (NO²⁻) e a nitrogênio gás (N₂).

Portanto, a forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio de poluição da água: a poluição mais recente está associada à presença de nitrogênio orgânico e amônia, enquanto a poluição mais remota, no tempo ou no espaço, está associada à presença de nitrato.

A amônia é encontrada em diversos produtos industrializados, tais como fertilizantes e produtos de limpeza. No ciclo do nitrogênio é produzida, principalmente, a partir da desaminação de compostos orgânicos e da hidrólise da uréia. É, portanto, encontrada em esgotos sanitários, efluentes industriais e agropecuários e águas superficiais. Sua concentração em águas subterrâneas é geralmente baixa por causa de sua adsorção aos sólidos particulados e à argila e por não ser prontamente lixiviável no solo.

Águas superficiais geralmente contêm traços de nitrato, mas a concentração dessa forma de nitrogênio pode atingir níveis elevados em águas subterrâneas, decorrente da nitrificação no solo e lixiviação.

O nitrito é a forma de nitrogênio em estado de oxidação intermediário entre o nitrato e a amônia, rapidamente conversível e, portanto, mais raramente encontrado em amostras de água.

A amônia livre e as formas oxidadas de nitrogênio são tóxicas à vida aquática e, portanto, constituem parâmetros de avaliação de qualidade de águas superficiais (amônia livre, nitrito e nitrato), ou padrão de lançamento de efluentes (amônia) de legislações estaduais e federal. Por extensão, são também parâmetros fundamentais de controle de qualidade da água na aquicultura.

No que diz respeito à qualidade da água para consumo humano, as formas de interesse para a saúde são o nitrito e o nitrato (contribuem para a doença methemoglobinemia - síndrome do bebê azul - comprometimento do transporte de oxigênio na corrente sanguínea), cujas concentrações limite como padrão de potabilidade são, respectivamente, 1 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹ (como N). A amônia, por problemas de odor, faz parte também do padrão de potabilidade como padrão de aceitação para consumo (1,5 mg L⁻¹).

No ambiente aquático, o fósforo (P) pode se apresentar nas formas orgânica ou inorgânica, solúvel (matéria orgânica dissolvida ou sais de fósforo) ou particulada (biomassa ou compostos minerais). Em águas naturais ocorre quase sempre na forma de fosfato (PO₄³⁻).

Em águas não poluídas as concentrações são em geral baixas (0,01-0,05 mg L⁻¹), porém as atividades antropogênicas podem ser fontes de consideráveis cargas de fósforo - esgotos sanitários, dejetos de animais, detergentes, fertilizantes e pesticidas.

Em águas com elevados teores de Ca e pH, tendem a formar-se fosfatos de cálcio que se precipitam no sedimento. De forma análoga, precipitados de fósforo e ferro podem formar-se em água com elevados teores de OD. Em contrapartida, em ambiente redutor, o fósforo pode ser liberado em forma insolúvel à massa d'água.

No solo, o fósforo é facilmente fixado ou insolubilizado e, devido à reduzida mobilidade do fosfato no solo, as perdas por lixiviação são desprezíveis (NOVAIS e SMYTH, 1999). Portanto, em águas subterrâneas os teores de fósforo tendem a ser baixos.

O conteúdo de P total, expresso em P_2O_5 varia, em geral, entre 0,12 e 0,15%, raramente excedendo 0,5%. Normalmente, os solos de textura mais fina (argilosos) contêm mais P que os arenosos. Em solos ácidos, a fixação do fósforo pode se dar pela precipitação como fosfatos insolúveis, pela adsorção por óxidos hidratados (em ambos os casos, principalmente através da reação do fosfato solúvel com o Fe, Al e Mn) ou pela reação com argilas silicatadas. Em solos alcalinos, além da fixação por argilas, pode ocorrer a formação de fosfatos de cálcio pouco solúveis ou a precipitação sobre a superfície de partículas de $CaCO_3$ (MELLO et al. 1983).

Em resumo, a ausência, ou a presença em baixas concentrações, de compostos de Nitrogênio e Fósforo é um dos principais indicadores da manutenção de condições oligotróficas do aquífero, indicando que não está ocorrendo influência de necrochorume.

Bactérias do grupo coliforme

Bactérias do grupo coliforme são tradicionalmente utilizadas como indicadores de contaminação da água, podendo ser divididas nos seguintes subgrupos (BRASIL, 2008; WHO 2004).

- (i) coliformes totais - bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^\circ C$ em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;
- (ii) coliformes termotolerantes - subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2^\circ C$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;
- (iii) *Escherichia Coli* - bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2^\circ C$ em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glicoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

Por incluírem gêneros e espécies de vida livre (componentes da flora natural de solos, água e plantas), na avaliação da qualidade de águas naturais, os coliformes totais (CT) têm valor sanitário limitado. O subgrupo dos coliformes termotolerantes (CTer) (anteriormente denominados coliformes fecais) também

inclui gêneros e espécies de vida livre, porém em proporções menores que os CT; apesar disso, e com base no fato de que dentre os cerca de 10^6 - 10^8 CTer por 100 ml, usualmente presentes nos esgotos sanitários predomina a *Escherichia coli* (esta sim, uma bactéria de origem fecal), esses organismos ainda têm sido largamente utilizados como indicadores de poluição de águas naturais. Entretanto, o indicador mais preciso de contaminação, portanto, da presença potencial de organismos patogênicos, será sempre a *E. coli* (WHO, 2004).

Bastos et al. (2000), com base na análise de mais de cem amostras de manancial superficial, registram que as densidades de CT, CTer e *E.coli*, tendem a apresentar-se, respectivamente, em ordem decrescente de 1 unidade logarítmica. Em águas subterrâneas (poços rasos escavados e poços profundos), os autores destacam que: (i) CT e CTer podem não apresentar qualquer significado sanitário, principalmente quando presentes em baixas densidades; (ii) quanto mais protegida a fonte de água, mais os CT e CTer mantêm o atributo de indicadores de contaminação; (iii) *E. coli* foi detectada, preponderantemente, quando as densidades de CT e CTer eram mais elevadas e, ou, de ordens de grandeza próximas entre si.

De acordo com Keswick et al, (1982), a utilização dessas bactérias para o estudo do transporte de contaminantes em cemitérios e, em geral, nas águas subterrâneas, deve ser considerada com cuidado, uma vez que outros contaminantes mais persistentes, como vírus, podem ser transportados no meio poroso para distâncias maiores.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CIDADE E DO CEMITÉRIO DE TABULEIRO-MG

O município de Tabuleiro está situado na Zona da Mata-MG, a cerca de 60 km de Juiz de Fora e a cerca de 110 km de Viçosa, nas coordenadas geográficas de 21° 21' 21" de latitude sul e 43° 14' 52" de longitude oeste (Figura 4). O município ocupa uma área de 211 km² e conta com uma população estimada em 4.061 habitantes (IBGE, 2007). A atividade principal é a agropecuária, sendo os principais produtos agrícolas a banana, a laranja, o maracujá, a tangerina e o café, enquanto que as principais atividades pecuárias são as criações de frangos e de gado de leite.

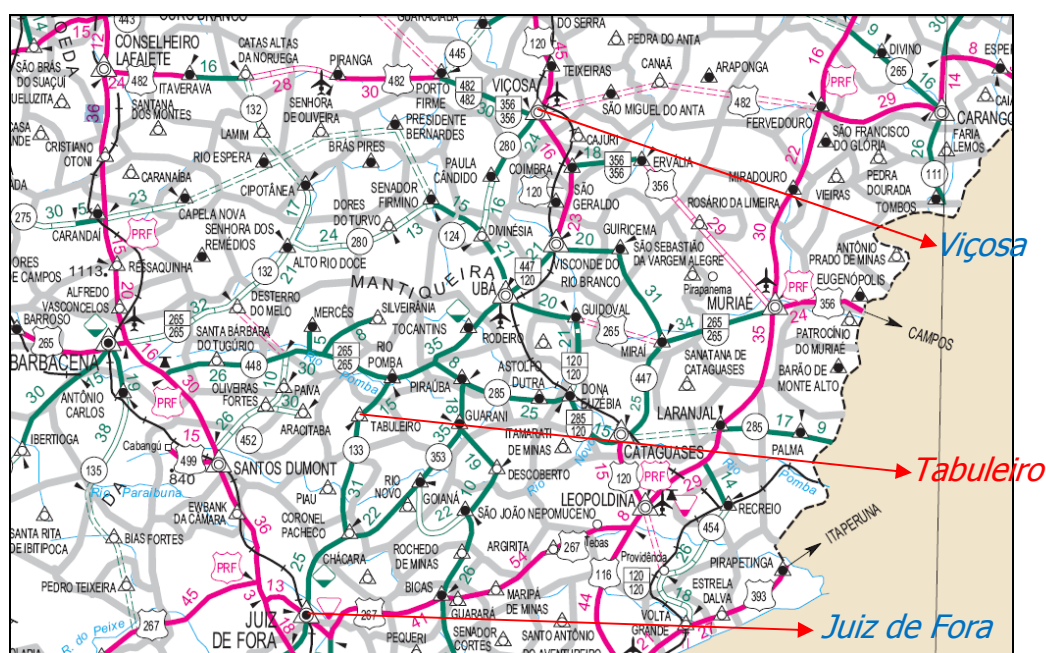


Figura 4 - Mapa mostrando a localização de Tabuleiro em relação à Viçosa e Juiz de Fora, e as principais rodovias da região (DNIT, 2005).

O cemitério (Figura 5), de pequeno porte, possui uma área de aproximadamente 15.000m² e está situado na região central da cidade, às margens da rodovia MG-133; é circundado por residências, imóveis comerciais, posto de saúde e pelo Rio Formoso (Figura 6).

O cemitério municipal de Tabuleiro - MG foi escolhido para realização desta pesquisa, por se tratar de uma necrópole do tipo tradicional e pelo nível freático encontrar-se a pouca profundidade, existindo, portanto, a possibilidade de contaminação do aquífero por substâncias químicas, bactérias e outros microrganismos advindos dos líquidos humorais e dos caixões.



Figura 5 - Vista parcial do cemitério de Tabuleiro.

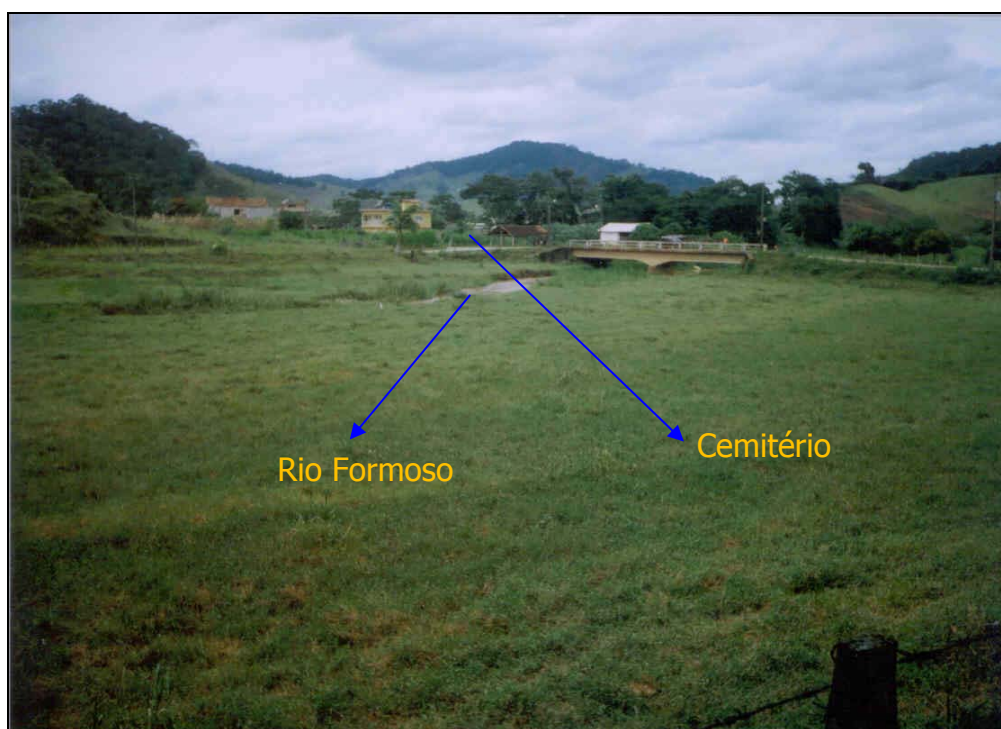


Figura 6 - Vista parcial da área de estudo, mostrando a calha do Rio Formoso e a localização do cemitério de Tabuleiro - MG.

4.2.CLIMA

Foram utilizados dados climatológicos da estação de Coronel Pacheco para o período 1961 a 1990 (INMET), localizada no município de mesmo nome e distante, aproximadamente, 25 km em linha reta do município de Tabuleiro sendo, portanto, considerados representativa do clima da área de estudo.

O mecanismo de circulação das massas de ar do Continente Americano provoca, no estado de Minas Gerais, dois grandes regimes climáticos: o de inverno, que pode ser considerado como frio e seco e o de verão, considerado como quente e chuvoso.

A massa Tropical Atlântica tem ação durante todo ano, é quente e úmida, penetrando no continente pelo leste. As temperaturas elevadas e medianas provêm das intensas radiações solares das latitudes tropicais e a elevada umidade relativa da intensa evaporação marítima.

A massa Polar, com origem nas altas latitudes da região polar de superfícies geladas, é fria, úmida e ativa durante todo o ano. No inverno é responsável pelas baixas temperaturas e no verão o confronto com a massa Tropical Atlântica e com as correntes de Oeste, produz instabilidade, resultando em elevados índices pluviométricos diários.

As correntes de Oeste ocorrem em meados de primavera e outono, quando o aquecimento do continente gera centro de baixa pressão. Em confronto com as outras massas, provoca linhas de instabilidade que se deslocam de oeste para leste com extrema rapidez ventos moderados e fortes, produzindo fortes precipitações.

O clima na região de Tabuleiro é do tipo CWa - Clima de inverno seco e verão chuvoso e, apesar de ser um clima ameno, apresenta variações de temperatura entre 36°C e 11°C. O mês mais seco tem precipitação inferior à décima parte da precipitação do mês mais chuvoso (INMET, 2008).

4.2.1. PRECIPITAÇÃO

O regime pluviométrico da região caracteriza-se por um período chuvoso de seis a sete meses, de outubro até março ou abril, sendo setembro e abril meses de transição e os meses de janeiro e dezembro os mais chuvosos.

A precipitação média anual na área de estudo gira em torno de 1.580 mm. O período chuvoso corresponde ao período mais quente do ano. A Figura 7 mostra os valores médio mensais de precipitação total para a estação mais próxima (Coronel Pacheco), no período de 1961 a 1990, enquanto a Figura 8 mostra o valor da precipitação máxima para 24 horas na mesma estação e para o mesmo período.

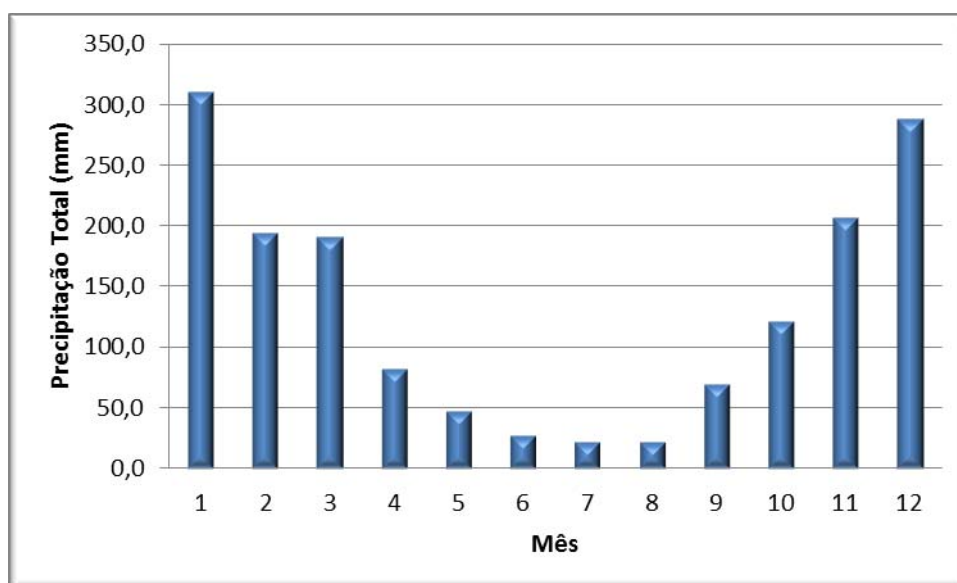


Figura 7 - Valores de precipitação mensais medidos na estação de Coronel Pacheco, no período de 1961 a 1990.

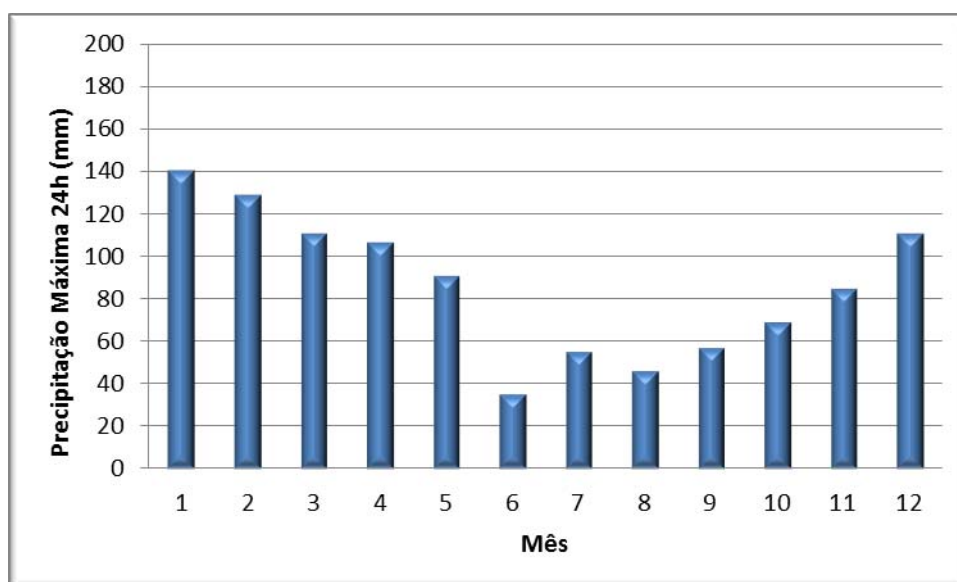


Figura 8 - Valores de precipitação máxima em 24 horas medidos na estação de Coronel Pacheco, no período de 1961 a 1990.

O trimestre mais chuvoso, novembro-dezembro-janeiro, com precipitações entre 207,0 e 311,0 mm, é responsável por cerca de 51% da precipitação total anual. O período seco prolonga-se por quatro meses, de maio a agosto, com uma precipitação média entre 21,2 e 47,0 mm, sendo o trimestre mais seco, junho-julho-agosto, com 21,2 a 26,7 mm de chuva.

4.2.2. BALANÇO HÍDRICO

Os resultados do balanço hídrico aqui apresentado foram obtidos no site do INMET (Fonte). Os valores dos excedentes e das deficiências hídricas foram extraídos dos balanços hídricos calculados pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), considerando como 100 mm a capacidade de retenção de água no solo. A Figura 9 mostra os gráficos representativos do balanço hídrico da estação de Coronel Pacheco, constatando-se que há deficiência hídrica média anual entre 100 e 200 mm, ocorrida principalmente no período de maio a setembro, com mais intensidade em agosto e setembro.

Período 1961 à 1990

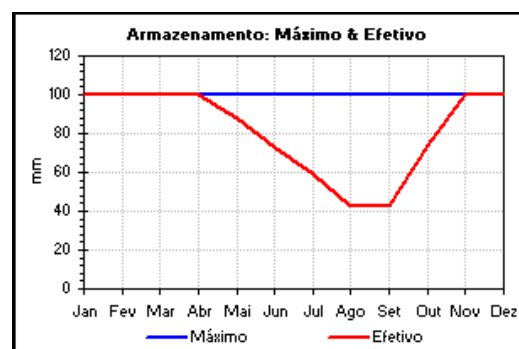
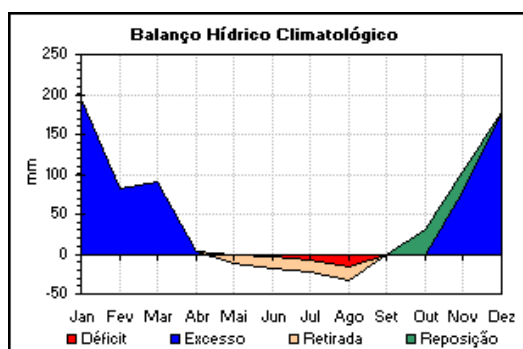


Figura 9 - Balanço hídrico climatológico da estação de Coronel Pacheco (INMET, 2008).

4.3.RECURSOS HÍDRICOS

O cemitério em estudo está localizado na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, cujos principais afluentes mais próximos à área são os rios Pomba e Novo, ambos passando em municípios fronteiriços à Tabuleiro e de mesmo nome dos respectivos rios. Os principais rios que passam dentro do município de Tabuleiro são o Ribeirão Queira-Deus e o Rio Formoso. O Rio Formoso, que passa próximo à área do cemitério, a cerca de 70 m de distância, é o principal manancial de Tabuleiro e é afluente do Rio Pomba. O mapa da Figura 10 mostra a localização do município de Tabuleiro na bacia do Rio Paraíba do Sul, enquanto a Figura 11 mostra um detalhe da área do município de Tabuleiro.

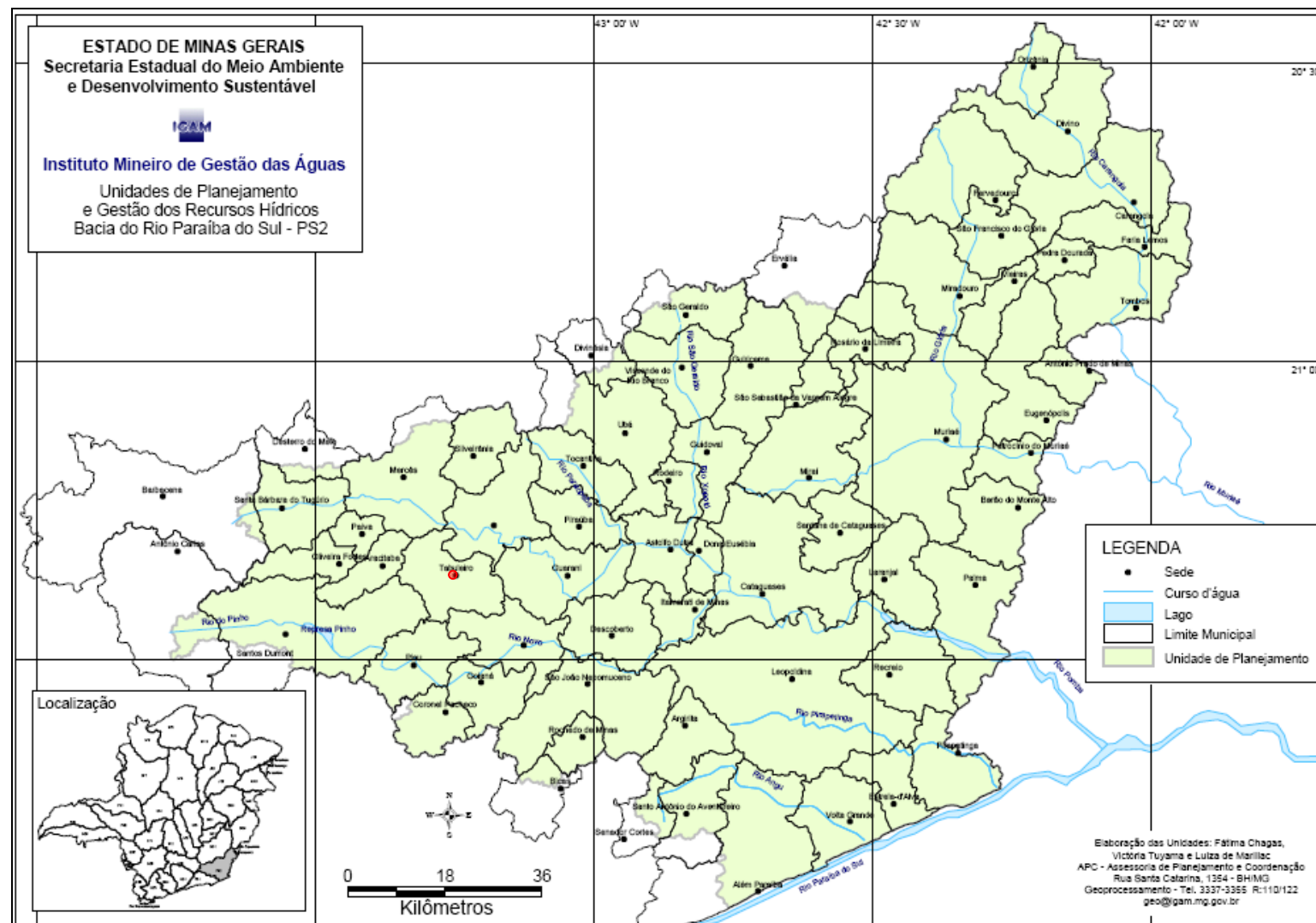


Figura 10 - Mapa de parte da bacia do Rio Paraíba do Sul-PS2 (IGAM, 2007).

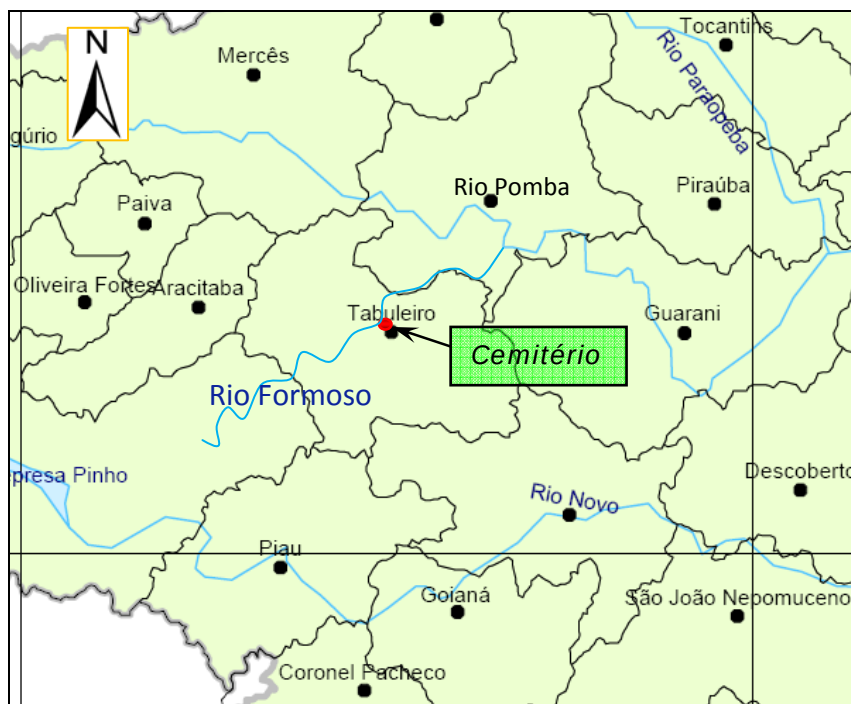
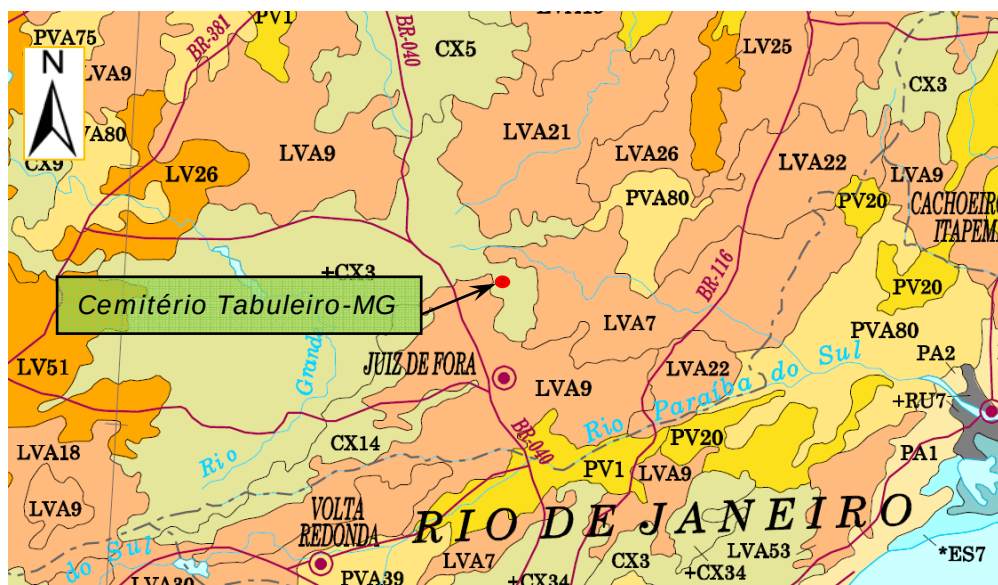


Figura 11 - Mapa de detalhe da bacia do Rio Paraíba do Sul, mostrando o Rio Formoso, e o Cemitério de Tabuleiro em vermelho (IGAM, 2007).

4.4.PEDOLOGIA

Na região do empreendimento, de acordo com a EMBRAPA (Figura 12), ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos, Latossolos Vermelhos Escuros, Cambissolo Háplico, Areias Quartzosas e Argilossolo Vermelho-Amarelo. Entretanto, especificamente na área do cemitério, ocorrem Gleissolos, com textura arenosa a argilosa, de cor cinza. Estes solos ocorrem em toda a planície de inundação do Rio Formoso, parcialmente visível na fotografia da Figura 6.



LVA7: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico + PVA (Argissolo Vermelho-Amarelo) Distrófico.

Figura 12 - Mapa pedológico da região com detalhe do Cemitério (vermelho) (EMBRAPA, 2001).

4.5.GEOMORFOLOGIA

Na imagem de satélite a seguir (Figura 13) é possível observar a forma do relevo da região da área de estudo. O cemitério está situado no vale do Rio Formoso, bem próximo à sua calha, sobre a planície de inundação, possuindo assim um relevo plano. Esta área encontra-se cercada por morros, com porções com elevadas inclinações, nos quais se encontra um grande número de nascentes. O relevo do município tem predominância do tipo montanhoso (60%), seguido pelo plano (25%) e ondulado (15%).

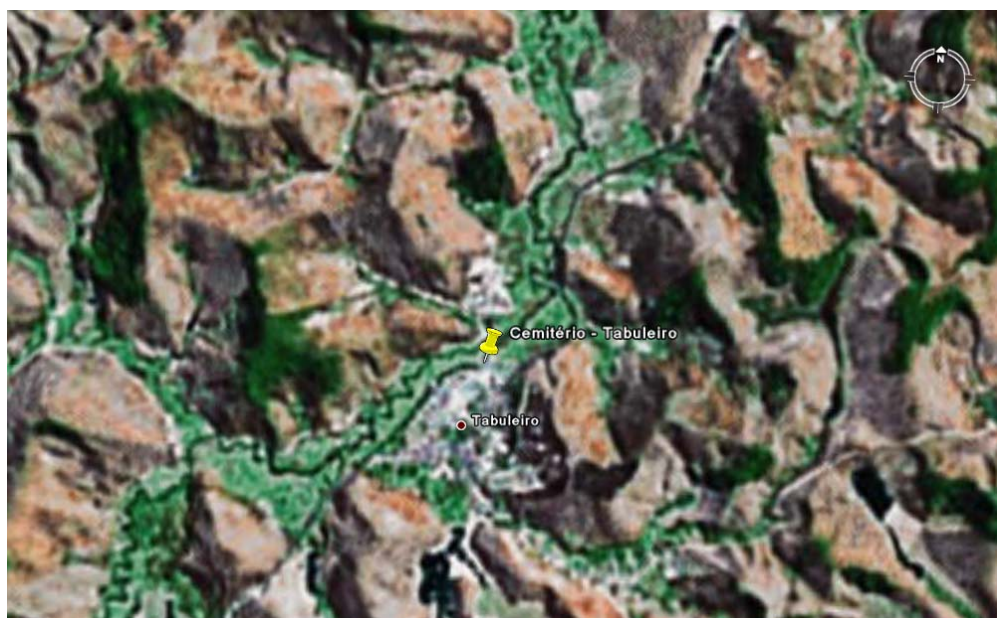


Figura 13 - Imagem de satélite mostrando o relevo da região onde se insere o cemitério (Google Earth-2008).

4.6.GEOLOGIA

A área de estudo localiza-se em região de ocorrência de ortognaisses e gnaiss granítico/granitóide com freqüentes intercalações de rochas supracrustais e de embasamento mesoarqueano (Figura 16). Na região de Tabuleiro predominam dois litotipos, o anfibolito e o hornblenda-biotita gnaiss, ambos metamórficas de alto grau. Entretanto, na área do cemitério, ocorrem sedimentos quaternários aluvionares, depositados pelo Rio Formoso, compostos por camadas intercaladas de areia e argila.

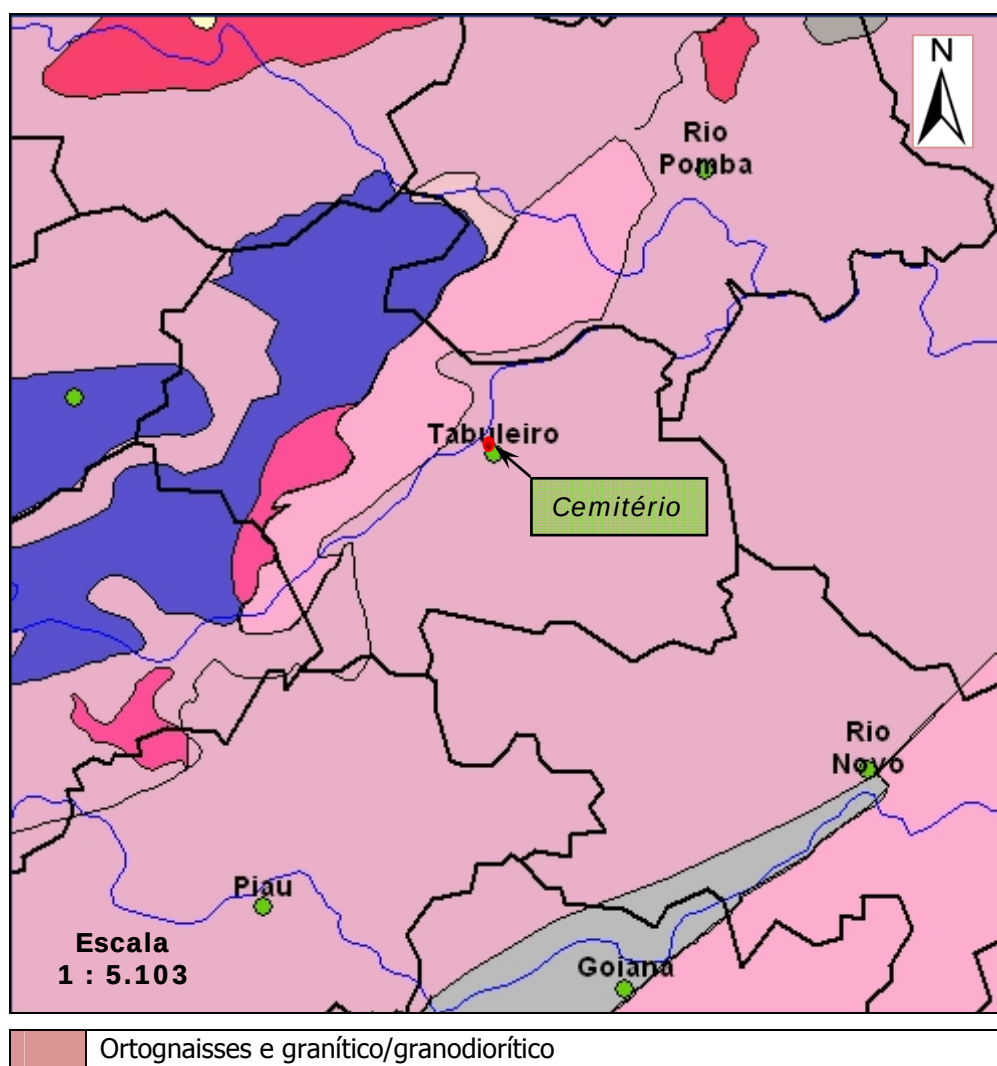


Figura 14 - Mapa geológico da região de estudo (CPRM, 2007).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. POÇOS DE MONITORAMENTO

Para o monitoramento da posição do N.A. (nível de água), sua variação sazonal e a coleta de amostras de água para análises de qualidade de água, foram instalados cinco poços de monitoramento. A implantação dos poços seguiu a norma "Construção de Poço para Captação de Água Subterrânea" – NBR 12.244/NB1290" (ABNT, 1992).

Na área de estudo foi realizado um levantamento plani-altimétrico detalhado, com a finalidade de gerar um Modelo Digital de Elevação - MDE, e permitir melhor avaliação da declividade local, para que desta forma fossem determinados poços de montante e de jusante. Na Figura 15 observa-se o levantamento plani-altimétrico em AutoCAD e na Figura 16 o MDE gerado pelo levantamento, ambos limitados à área do cemitério, rodovia MG-133 até o Rio Formoso. Em ambos os mapas podemos verificar o direcionamento preferencial do fluxo subterrâneo, através das setas vermelhas.

O único poço que não está localizado dentro da área do cemitério é o poço de número cinco, sendo o mesmo localizado dentro da área do posto de saúde do município.

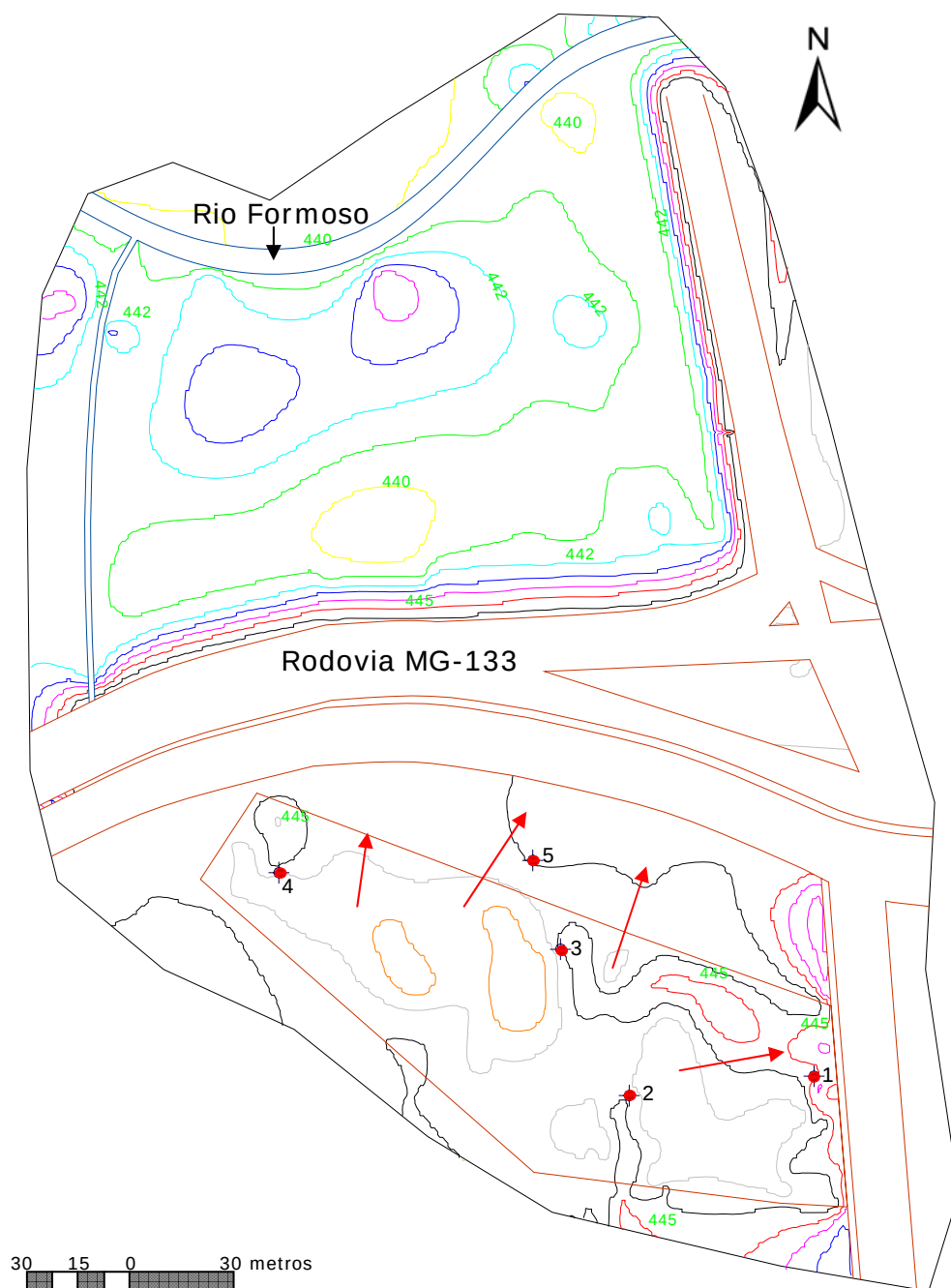


Figura 15 - Mapa topográfico de detalhe da área do cemitério e seu entorno, com a localização dos poços de monitoramento utilizados na pesquisa.

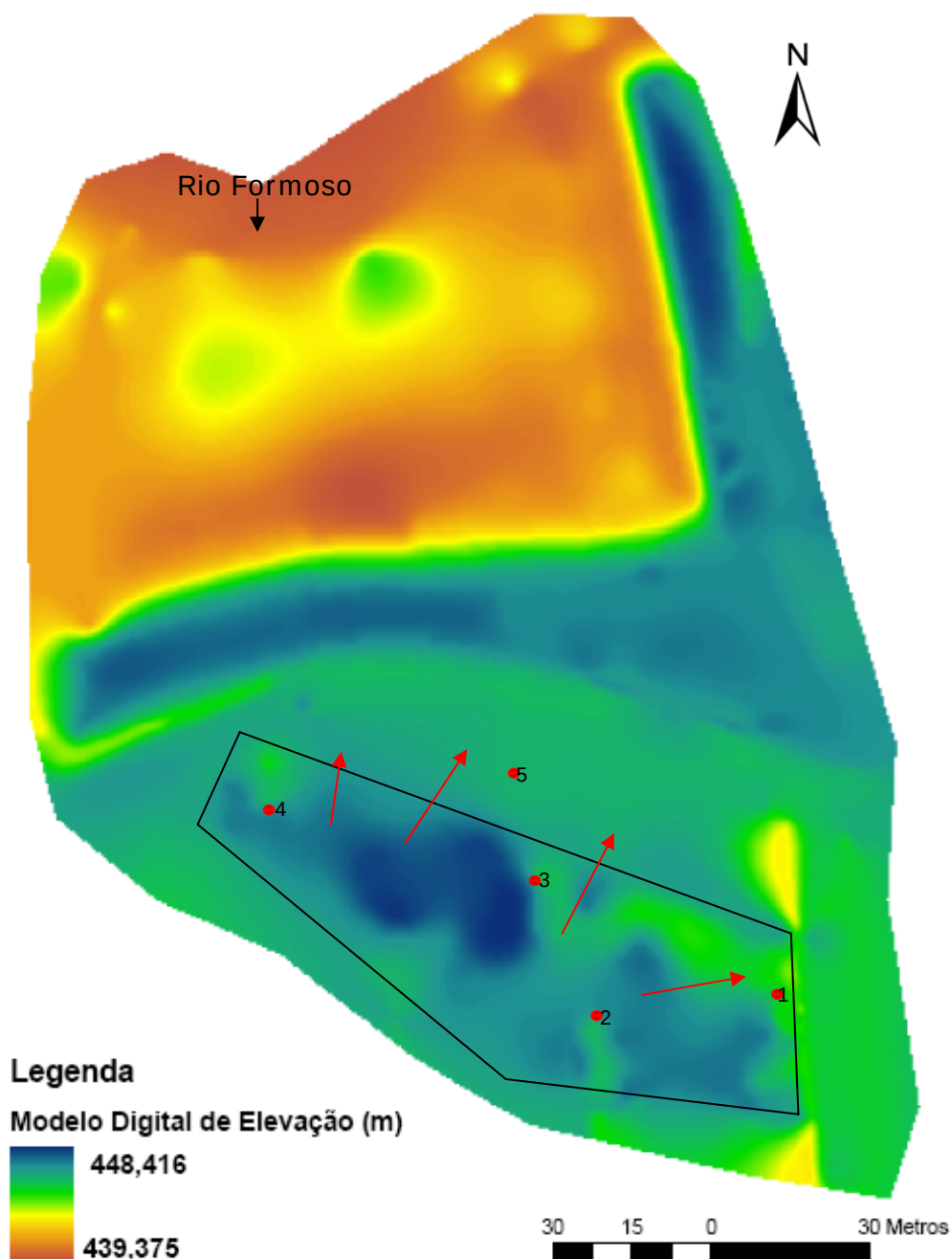


Figura 16 - MDE - Modelo Digital de Elevação da região do cemitério.

Os poços foram escavados à percussão e neles foram inseridos tubos de PVC rígido com diâmetro de 3, com ponteira filtrante também em PVC rígido, envolto em geotêxtil. O espaço anelar entre o furo e o tubo de PVC foi preenchido com areia lavada e foi feita uma laje de cimento, como proteção sanitária. Todos os poços foram mantidos fechados com tampa com cadeado, para evitar entrada de água e vandalismo. A Tabela 4 mostra a profundidade dos cinco poços de monitoramento.

Tabela 4 – Profundidade dos poços de monitoramento.

POÇOS DE MONITORAMENTO	PROFUNDIDADE DO POÇO (m)
P1	2,0
P2	3,5
P3	3,5
P4	4,5
P5	3,0

A Figura 17 mostra um dos poços de monitoramento.



Figura 17 - Poço de monitoramento.

5.2.COLETA DE AMOSTRAS

As amostras de água subterrânea foram coletadas, nos cinco poços de monitoramento, mensalmente ao longo de sete campanhas, no período de agosto de 2007 a março de 2008, abrangendo assim tanto o período de estiagem quanto o período de chuvas.

A coleta foi realizada por meio de amostradores tipo Bailers, como mostrado na (Figura 18), após o esgotamento dos poços, também realizado com um amostrador com tipo Bailer. Foram tomados cuidados com a coleta, armazenamento e transporte das amostras de água, a fim de não provocar alterações na qualidade física, química e bacteriológica das amostras. Para tanto as amostras foram coletas com amostradores diferentes para cada poço e para cada campanha, de modo a evitar contaminação de um poço para outro. Além disso, as águas eram acondicionadas em frascos descartáveis de polietileno de 500 mL e preservadas sob refrigeração com gelo em caixa térmica até o transporte, no mesmo dia, ao laboratório.



Figura 18 - Processo de coleta das amostras usando bailers.

5.3. PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS EMPREGADOS

Em cada amostra foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, nitrogênio (nitrogênio amoniacal e nitrato), fósforo total, sódio, potássio, cálcio, manganês, DBO, DQO e bactérias do grupo coliforme. A determinação desses parâmetros obedeceu, essencialmente, as disposições do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, WEF, AWWA, 1998) de acordo com os procedimentos e técnicas especificados na Tabela 5. A determinação de coliformes foi realizada com o emprego de método cromogênico e o meio de cultura Colilert® (método de substrato enzimático).

A determinação de temperatura, condutividade elétrica e pH foi realizada em campo. As análises de fósforo, nitrogênio, cálcio, manganês, DBO, DQO e bactérias do grupo coliforme foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade da Água da Divisão de Água e Esgoto (DAG/UFV) e as de sódio e potássio no Laboratório do Departamento de Solos (DPS/UFV).

Além disso, foi determinada a condutividade hidráulica do solo do cemitério, de acordo com a ABNT NBR 14545:2000 - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Esta Norma prescreve os métodos para determinação do coeficiente de permeabilidade a carga variável, com a água percolando através do solo em regime de escoamento laminar.



Figura 19 - Processo de medição de pH, temperatura e condutividade elétrica em campo.

Tabela 5 - Métodos e técnicas utilizados nas análises de qualidade da água.

Parâmetro	Técnica analítica	Equipamento / reagentes / meio de cultura	Método
Temperatura	-	pHmetro / condutímetro OAKTON WD-35630-69	2550 (SM)
pH	Potenciometria	pHmetro / condutímetro OAKTON WD-35630-69	4500 – H ⁺ (SM)
Condutividade elétrica	Condutimetria	pHmetro / condutímetro OAKTON WD-35630-69	2510 (SM)
Fósforo	Espectrofotometria	Hach DR2000	4500 – P D (SM)
Nitrogênio amoniacal	Espectrofotometria	Hach DR2000	4500 – NH ₃ (SM)
Nitrato	Espectrofotometria	Hach DR2000	N– NO ₃ LR (Hach)
Sódio	Fotometria de chama	Nitroperclórico	3500 – Na (SM)
Potássio	Fotometria de chama	Nitroperclórico	3500 – K (SM)
Cálcio	Titulometria	-	3500 – Ca (SM)
Magnésio	Titulometria	-	3500 – Mg (SM)
DBO	Titulometria	-	5210 B (SM)
DQO	Espectrofotometria	Merck TR300/Hach DR2000	5220 D (SM)
Coliformes	Substrato enzimático	Colilert®	9223 (SM)

Fonte: Standard Methods. APHA, AWWA, WEF (1998).

6. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das sete campanhas de monitoramento realizadas entre os meses de agosto de 2007 a março de 2008. Na Tabela 6 é mostrado as campanhas e seus respectivos meses de ação, procurou-se realizar as coletas sempre próximo ao dia 10 de cada mês.

Tabela 6 – Campanhas com suas respectivas datas.

CAMPANHAS	DATA
1ª Campanha	10/08/2007
2ª Campanha	12/09/2007
3ª Campanha	17/10/2007
4ª Campanha	05/12/2007
5ª Campanha	10/01/2008
6ª Campanha	10/02/2008
7ª Campanha	10/03/2008

6.1.PRIMEIRA CAMPANHA

A primeira campanha foi realizada no mês de agosto de 2007. Sendo os resultados apresentados na Tabela 7. As amostras coletadas apresentaram um alto teor de argila, que não pode ser retirada para não descaracterizar as amostras.

Tabela 7 - 1ª campanha, agosto de 2007.

POÇOS	(°C)	pH	($\mu\text{S.m}^{-1}$)	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Na (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)
P1	23,5	7,21	265,0	3,0	60,0	0,01	21,2	5,9	13,2	110,0
P2	23,4	6,90	181,2	4,0	85,0	0,14	14,4	4,3	11,4	83,60
P3	23,4	7,03	234,0	6,0	111,0	0,03	39,7	6,2	NR	NR
P4	22,7	6,64	164,7	6,0	126,0	0,02	20,4	3,6	6,8	83,6
P5	21,4	7,11	1174,0	6,0	82,4	NR	31,7	2,8	81,4	70,4

NR: não realizado.

6.2.SEGUNDA CAMPANHA

A segunda campanha foi realizada no mês de setembro de 2007. Sendo os resultados apresentados na Tabela 8. Nessa campanha também foi registrada a profundidade do lençol freático nos postos analisados (última coluna da tabela); além disso, foi coletada uma amostra-controle de um poço situado à montante do cemitério, denominada aqui de "BRANCO".

Tabela 8 - 2ª campanha, setembro de 2007.

POÇOS	(°C)	pH	($\mu\text{S.m}^{-1}$)	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Na (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	(m)
P1	24,8	6,42	249,0	4,0	< 5,0	0	75,2	0,04	20,4	14,8	2,8	9,8	1,22
P2	24,7	6,12	203,0	3,8	< 5,0	2	27,3	0,08	18,8	11,2	2,2	5,0	3,11
P3	24,7	6,70	227,0	5,2	< 5,0	2	268,4	0,19	38,5	11,7	3,4	9,4	2,95
P4	24,7	6,05	143,1	8,0	< 5,0	1	110,5	0,05	20,4	NR	2,2	4,2	3,90
P5	23,2	7,08	1378,0	1,5	73,5	6	126,6	0,09	35,3	NR	1,6	1,4	2,38
Branco	22,2	7,92	166,2	1,6	< 5,0	1	57,1	0,11	16	16	12,0	3,2	NR

NR: não realizado.

6.3. TERCEIRA CAMPANHA

A terceira campanha foi realizada no mês de outubro de 2007. Sendo os resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - 3ª campanha, outubro de 2007.

POÇOS	(°C)	pH	($\mu\text{S.m}^{-1}$)	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Na (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)
P1	25,6	6,70	282,0	4,4	< 5,0	3	27,3	0,06	32,9	0,9	10,4	5,2
P2	24,3	6,05	197,0	3,1	< 5,0	NR	57,1	0,09	23,2	NR	5,2	2,8
P3	24,7	6,63	214,0	2,4	< 5,0	3	27,3	0,10	38,1	NR	1,8	0,8
P4	23,8	5,75	117,0	7,6	< 5,0	2	27,3	0,06	15,2	NR	2,0	0,8
P5	23,9	6,88	984,0	7,4	NR	10	110,5	0,09	60,9	5,2	15,6	5,8

NR: não realizado.

6.4. QUARTA CAMPANHA

A quarta campanha foi realizada no mês de dezembro de 2007, marcada pelo início do período de chuvas. Nessa campanha tiveram início as análises bacteriológicas. Sendo os resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - 4ª campanha, dezembro de 2007.

POÇOS	(°C)	pH	($\mu\text{S.m}^{-1}$)	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Na (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Coliformes totais (NMP por 100mL)	<i>E. coli</i> (NMP por 100mL)
P1	25,4	6,74	250,0	3,3	< 5,0	3	0,02	24,8	5,3	10,25	4,00	< 1,0	< 1,0
P2	24,2	6,35	184,0	4,8	< 5,0	3	0,03	15,6	1,2	8,75	3,75	< 1,0	< 1,0
P3	24,4	6,82	217,0	4,6	< 5,0	6	0,03	34,9	1,0	3,25	0,75	< 1,0	< 1,0
P4	24,0	6,00	117,5	6,1	< 5,0	5	0,01	13,6	0,5	4,50	0,50	2,0	< 1,0
P5	24,4	6,65	860,0	0,5	45,74	2	0,11	44,5	17,0	21,5	7,00	1,011 x 10 ³	7,56 x 10 ²

6.5. QUINTA CAMPANHA

A quinta campanha foi realizada no mês de janeiro de 2008. Sendo os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - 5ª campanha, janeiro de 2008.

POÇOS	(°C)	pH	($\mu\text{S.m}^{-1}$)	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Na (mg.L ⁻¹)	K (mg.L ⁻¹)	Coliformes totais (NMP por 100mL)	<i>E. coli</i> (NMP por 100mL)
P1	25,1	6,69	244,0	4,8	< 5,0	110,7	0,01	16,4	4,1	10,40	3,20	< 1,0	< 1,0
P2	25,3	6,65	162,0	4,3	< 5,0	111,3	0,03	12,4	0,5	5,20	2,20	< 1,0	< 1,0
P3	25,8	6,85	231,0	6,2	< 5,0	111,3	0,03	36,1	1,5	3,40	0,40	< 1,0	< 1,0
P4	25,0	6,05	162,0	9,2	< 5,0	110,4	0,01	16,8	1,5	4,80	0,60	2,28 x 10 ¹	< 1,0
P5	24,5	6,81	768,0	0,6	68,88	109,4	0,17	38,5	4,4	14,60	4,20	2,495 x 10 ²	4,8 x 10 ¹

6.6. SEXTA CAMPANHA

A sexta campanha foi realizada no mês de fevereiro de 2008. Nessa campanha, assim como na segunda, foi registrada a altura do lençol freático nos poços analisados, além da coleta de amostra no poço-controle "BRANCO". Sendo os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - 6ª campanha, fevereiro de 2008.

POÇOS	(°C)	pH	($\mu\text{S.m}^{-1}$)	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)	Coliformes totais (NMP por 100mL)	<i>E. coli</i> (NMP por 100mL)	(m)
P1	24,8	6,39	238,0	5,2	< 5,0	110,4	0,01	12,0	1,0	1,0	< 1,0	0,68
P2	25,4	6,35	156,3	4,1	< 5,0	107,8	0,02	8,4	1,9	< 1,0	< 1,0	2,19
P3	25,6	6,56	226,0	4,9	< 5,0	110,7	0,11	29,7	1,0	1,0	< 1,0	2,42
P4	25,2	5,68	153,1	9,8	< 5,0	110,0	0,01	9,2	0,2	1,0	< 1,0	3,28
P5	24,7	6,78	881,0	0,3	33,3	98,0	0,09	44,9	5,7	2,82 x 10 ¹	7,4	1,60
BRANCO	30,8	6,45	154,3	0,4	< 5,0	109,8	0,01	11,2	1,7	NR	NR	NR

NR: não realizado.

6.7. SEXTIMA CAMPANHA

A sétima campanha foi realizada no mês de março de 2008. Sendo os resultados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - 7ª campanha, março de 2008.

POÇOS	N-NO ₃ (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	P (mg.L ⁻¹)	Ca (mg.L ⁻¹)	Mg (mg.L ⁻¹)
P1	4,9	2	108,5	0,07	17,6	3,4
P2	3,8	1	108,7	0,02	11,6	0,7
P3	5,0	3	109,4	0,13	33,7	0,5
P4	9,8	2	109,6	0,03	14,8	0,2
P5	0,5	8	106,3	0,27	40,1	3,2
BRANCO	0,6	3	109,8	0	16,0	1,0

Na sexta campanha, foram realizados dois furos de sondagem dentro da área do cemitério para a realização do ensaio de condutividade hidráulica do solo saturado (permeabilidade) a 1,5; 2,5 e 3,5 metros de profundidade. A Figura 20 apresenta os resultados da permeabilidade 01 (1,5 m) e permeabilidade 02 (2,5 m); a Figura 21 o da permeabilidade 03 (3,5 m).

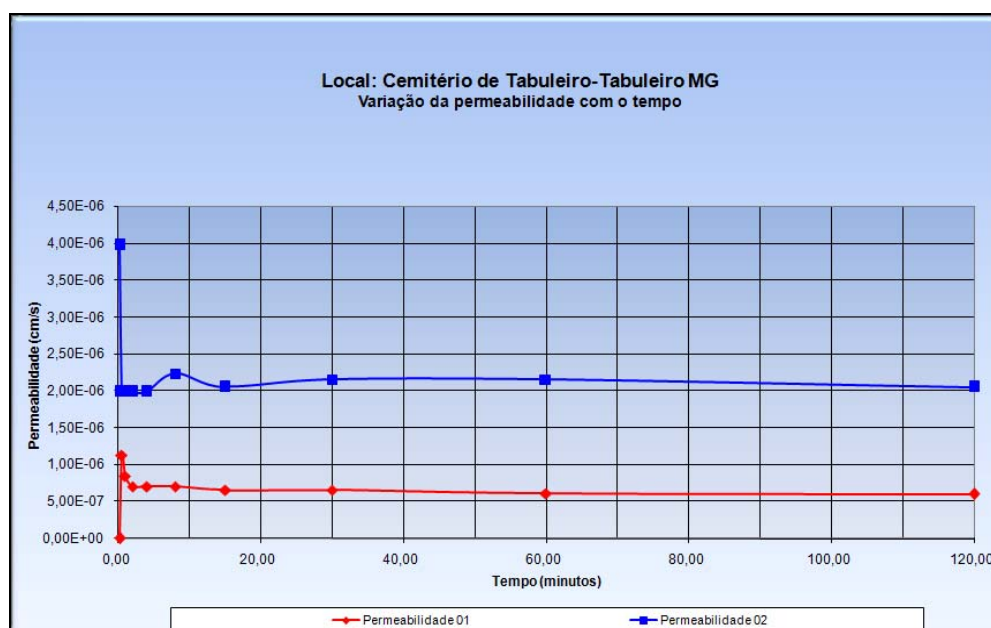


Figura 20 – Condutividade hidráulica do solo saturado de profundidades 1,5m e 2,5m em furos de sondagem no cemitério de Tabuleiro - MG, fevereiro de 2008.

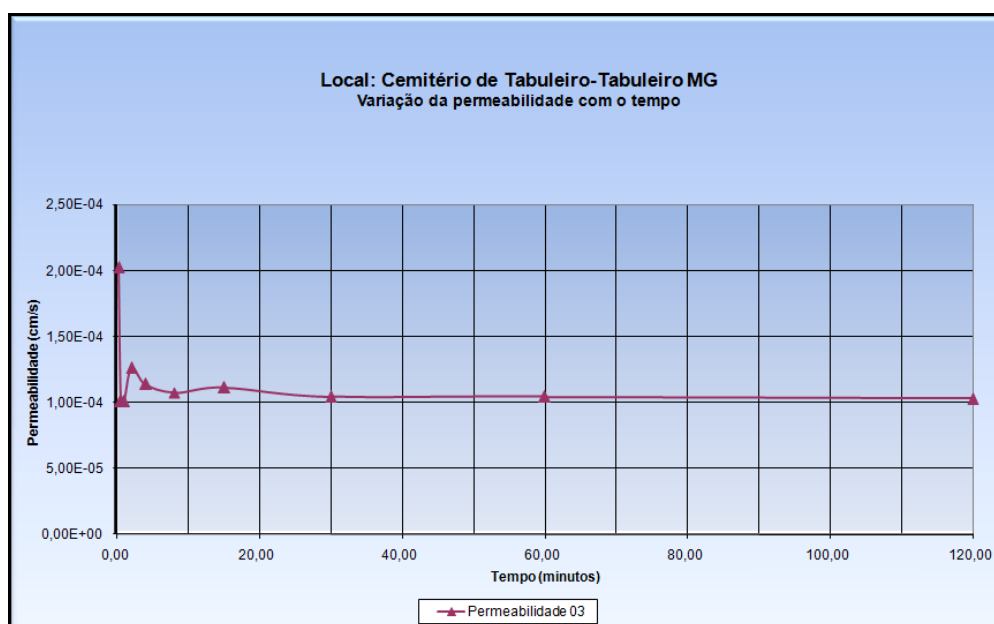


Figura 21 - Condutividade hidráulica do solo saturado de profundidade 3,5m em furo de sondagem no cemitério de Tabuleiro - MG, fevereiro de 2008.

Na Figura 20 pode ser observado um material com maior concentração de argila devido sua menor capacidade de condutividade hidráulica e, portanto mais impermeável que o material da Figura 21. Observa-se então que na área do cemitério o solo vai tornando-se mais permeável com a profundidade, o que pode ser explicado pela elevada heterogeneidade granulométrica comum neste tipo de depósito ali predominante, por se tratar de uma bacia aluvionar.

7. DISCUSSÃO

A fim de facilitar a discussão, os resultados de qualidade da água apresentados no item anterior são reorganizados nas Figuras 22 a 36, por parâmetro, poços e campanhas de monitoramento.

Antecedendo a discussão sobre a qualidade da água nos poços de monitoramento, apresentam-se na Figura 22 as informações sobre o nível do lençol freático nos referidos poços.

Verifica-se que na segunda campanha (setembro de 2007), quando foi medida pela primeira vez a profundidade do lençol freático, o nível da água se encontrava muito próximo da superfície do terreno. Na sexta campanha (fevereiro de 2008), o nível do lençol freático estava cerca de 70 cm acima da cota medida na primeira determinação. Isso comprova a pequena distância entre o NA e o fundo das covas, e que a mesma varia consideravelmente ao longo do ano hidrológico.

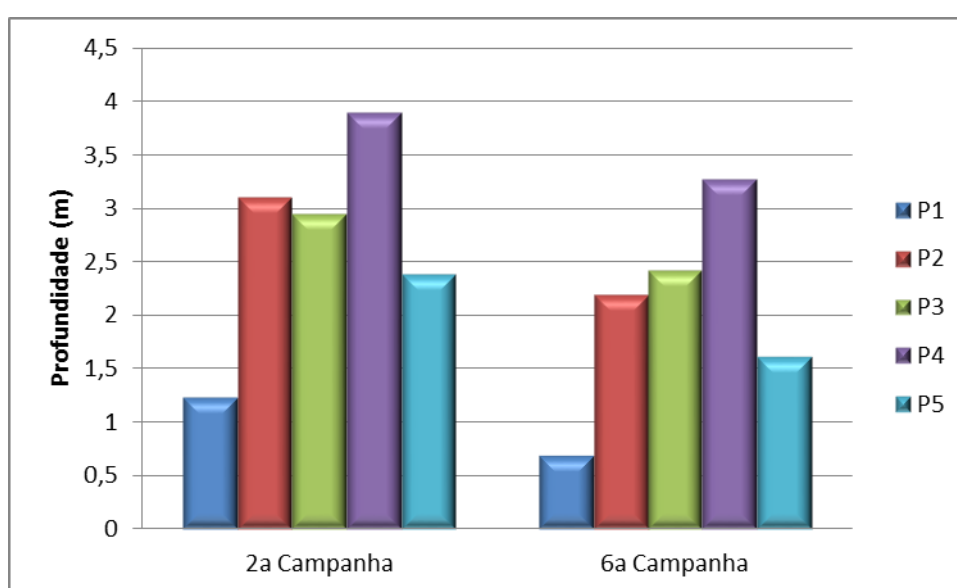


Figura 22 - Profundidade do lençol freático à superfície do terreno nos poços de monitoramento no cemitério de Tabuleiro - MG, setembro de 2007 (2ª campanha) e fevereiro de 2008 (6ª campanha).

Os valores de temperatura da água nos poços de monitoramento variaram entre 21,4 a 25,4°C, (Figura 23), exceto no poço-controle ('branco') na sexta campanha, onde foi registrada temperatura de 30,8°C. Embora se perceba ligeira tendência de elevação de temperatura da água nos meses mais quentes (agosto 2007 a março de 2008), os resultados são consistentes com o entendimento de que a amplitude térmica anual das águas subterrâneas, em geral, é baixa (FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997)

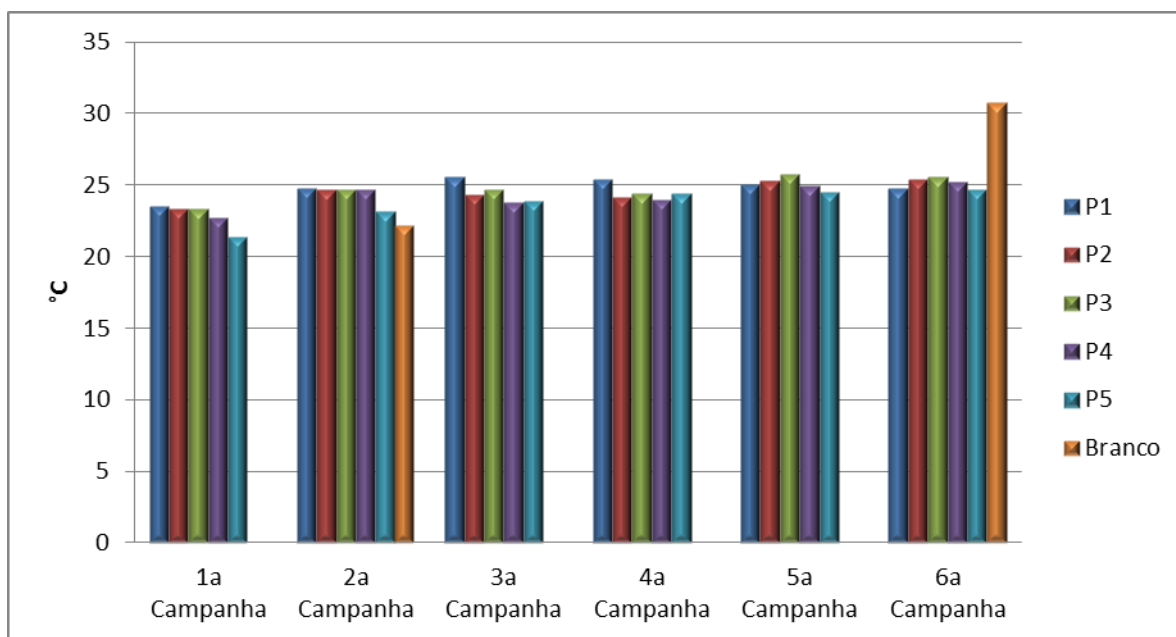


Figura 23 - Temperatura da água nos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

Na maioria dos poços e ao longo das campanhas de monitoramento, os valores de pH da água mantiveram-se em torno de 6,0 a 7,0, não diferindo, ao menos na 6ª campanha, dos valores encontrados no poço-controle, fora da área do cemitério; na 2ª campanha a água desse poço apresentou pH mais elevado (Figura 24). Em resumo, os dados de pH não permitem maiores inferências sobre eventuais impactos do cemitério sobre o aquífero.

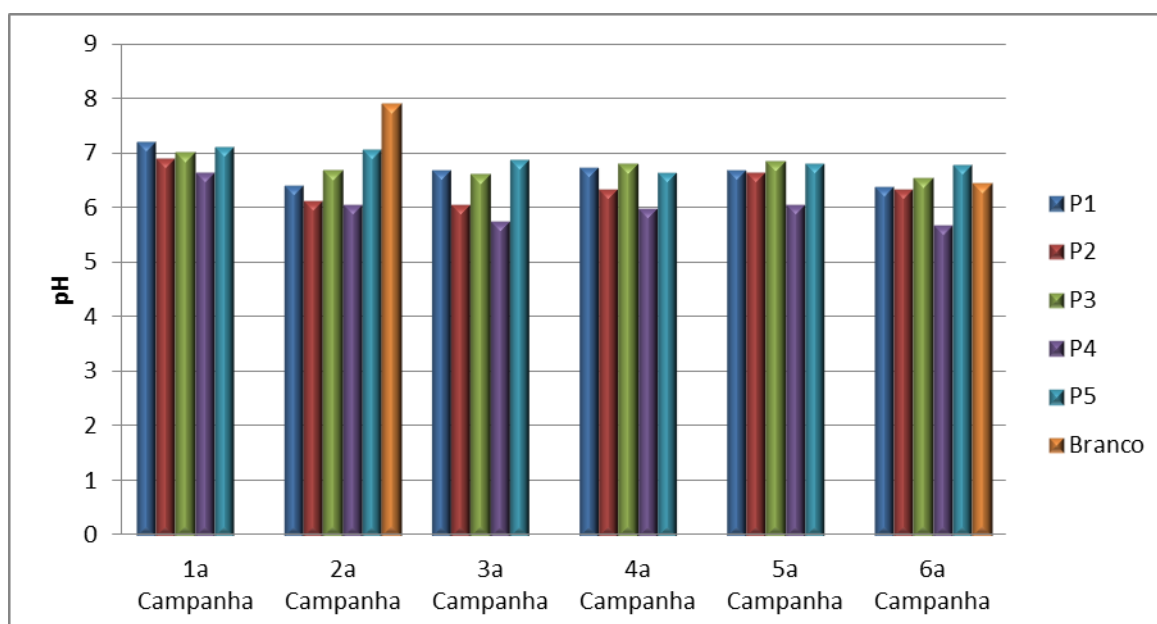


Figura 24 - pH da água nos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

Em contrapartida, os dados de condutividade elétrica (CE) claramente indicam tais impactos, notadamente no poço 5, localizado a jusante do cemitério, na direção do fluxo superficial e subterrâneo

(Figura 25). Nos poços 1 a 4, assim como no poço-controle ('branco'), a CE variou em torno de 120 a 280 $\mu\text{S cm}^{-1}$, valores que denotam baixa salinidade da água. No poço 5 a CE esteve bem mais elevada, variando em torno de 770 a 1380 $\mu\text{S cm}^{-1}$, valores estes típicos de águas salinas ou águas residuárias (RHOADES et al., 2000; METCALF e EDDY, 2004). Não se notam, entretanto, efeitos nítidos da época de chuvas.

A condutividade elétrica da água representa a atividade iônica (simplicadamente, concentração) em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em cátions e ânions. Note-se que os valores mais elevados de CE no poço 5 parecem estar associados às concentrações, também mais elevadas de amônia, cálcio, magnésio e sódio (Figuras 26, 29,30 e 31); o teor de amônia foi ainda maior do que a normalmente encontrada em esgotos municipais (von Sperling e Chernicharo, 2005). Estes resultados indicam impactos evidentes do cemitério no aquífero local.

Assumindo as relações entre CE e SDT citadas no item 3.5.2, poder-se-ia estimar teores de SDT da ordem de 490 e 880 mg L^{-1} , valores um pouco elevados mas ainda abaixo do limite estabelecido como padrão de aceitação para consumo humano (1.000 mg L^{-1}).

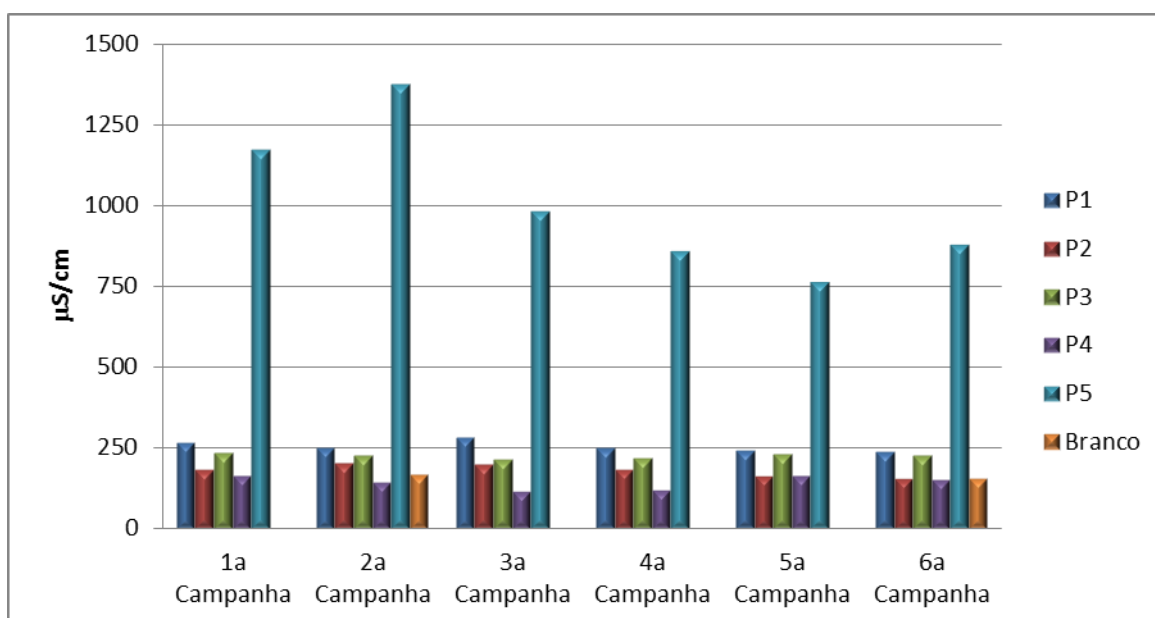


Figura 25 - Condutividade Elétrica da água nos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

Nitrogênio amoniacal (amônia) somente foi detectado no poço 5, tendo permanecido em todas as demais amostras abaixo do limite de detecção do método utilizado (5 mg L^{-1}) (Figura 26). Os valores detectados no poço 5 são elevados, típicos, por exemplo, do encontrado em esgotos sanitários (Von SPERLING, 2005) e muito acima do estabelecido como padrão de aceitação para consumo (1,5 mg L^{-1}). Esses resultados sinalizam, portanto, nítidos impactos do cemitério no aquífero, entretanto, mais uma vez, não permitem inferências sobre eventuais efeitos de chuvas.

De toda forma, esses resultados encontram consistência com o reconhecimento das aminas como dos principais componentes de necrochorume.

Além disso, os resultados estão de acordo com o encontrado em outros estudos, por exemplo, o

de Migliorini (1994), que encontrou elevadas concentrações de produtos nitrogenados em águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa (São Paulo-SP), creditando isso ao processo de decomposição dos corpos.

Na 3ª campanha não foi possível realizar a análise de nitrogênio amoniacal no poço 5, por isso, nesta campanha o mesmo não apresenta valor algum como os demais que foram analisados.

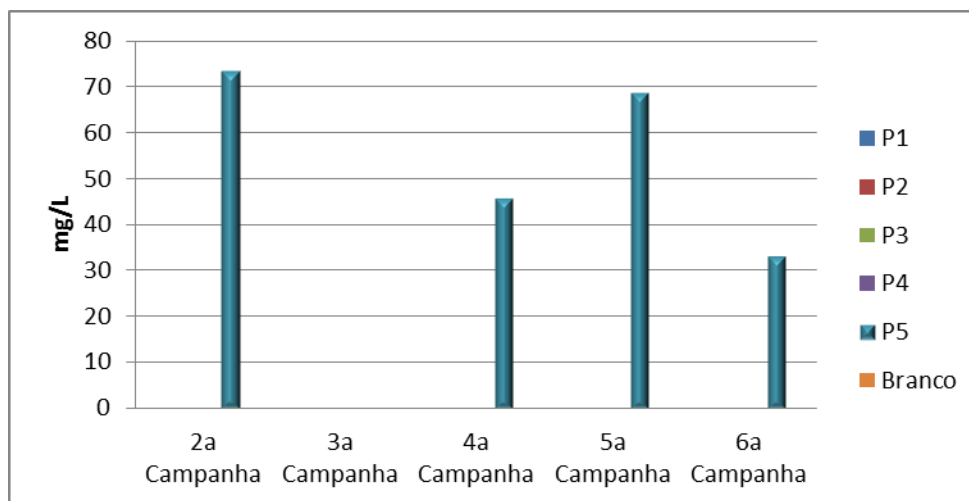


Figura 26 - Valores de nitrogênio amoniacal na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

Teores de nitratos acima de 5 mg L^{-1} podem ser indicativos de contaminação de águas subterrâneas por esgotos, fossas sépticas, lixo, cemitérios, adubos, isto é, matéria orgânica em decomposição (FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997).

Em geral, os valores de nitratos encontrados nos diversos poços, e comparados aos do poço-controle ('branco'), assim como para a amônia, indicam impactos do cemitério no aquífero (Figura 27). Salvo exceções, notadamente no poço 5, as concentrações estiveram em torno de $3\text{-}6 \text{ mg L}^{-1}$ e, no poço 4 acima disso, atingindo valores próximos ao limite do padrão de potabilidade (10 mg L^{-1}).

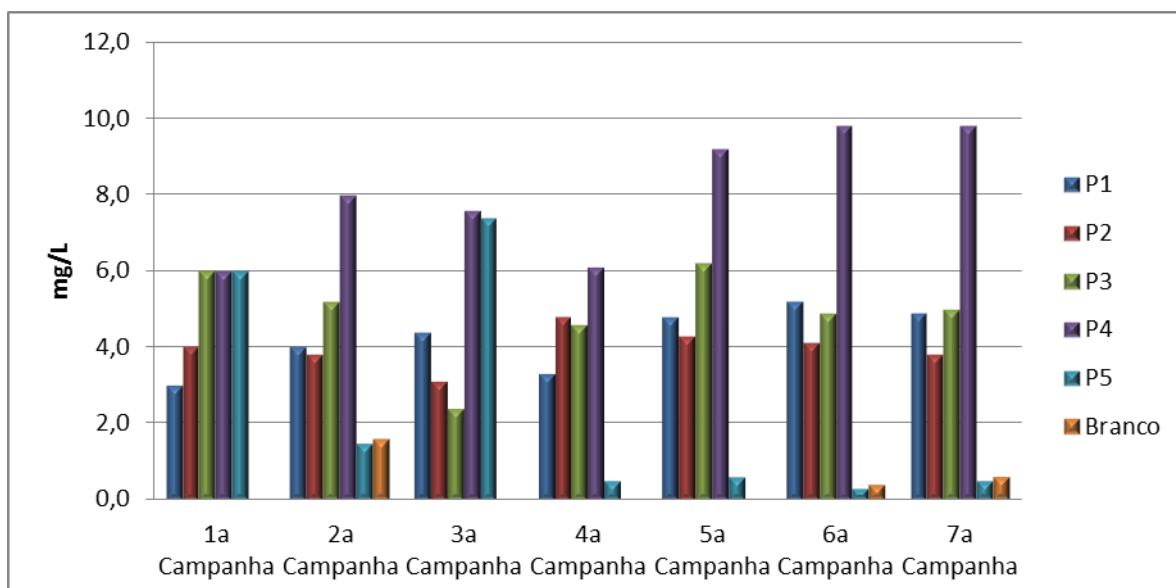


Figura 27 - Valores de nitratos na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a março de 2008.

Conforme destacado no item 3.5.2, a presença de amônia e nitratos poderia ser indicativa de poluição, respectivamente, mais recente e mais remota. A julgar pelos valores encontrados nos poços de monitoramento, poder-se-ia especular que o cemitério atua com aporte contínuo de nitrogênio amoniacal, fazendo esse efeito sentir-se mais a jusante (poço 5), não havendo tempo suficiente para um processo de nitrificação mais intensa, no solo, e, ou na água subterrânea.

O fósforo foi encontrado sempre em baixos teores, o que é condizente com sua pouca mobilidade no solo. A julgar pelos valores detectados na segunda campanha, não parece haver sinal nítido de aporte de fósforo do cemitério. Entretanto, a despeito de sua baixa mobilidade, algum efeito de lixiviação é aparente na época de chuvas, pois valores mais baixos do que os da época de estiagem foram encontrados nos poços 1 a 4 e vice-versa no poço 5, mais à jusante.

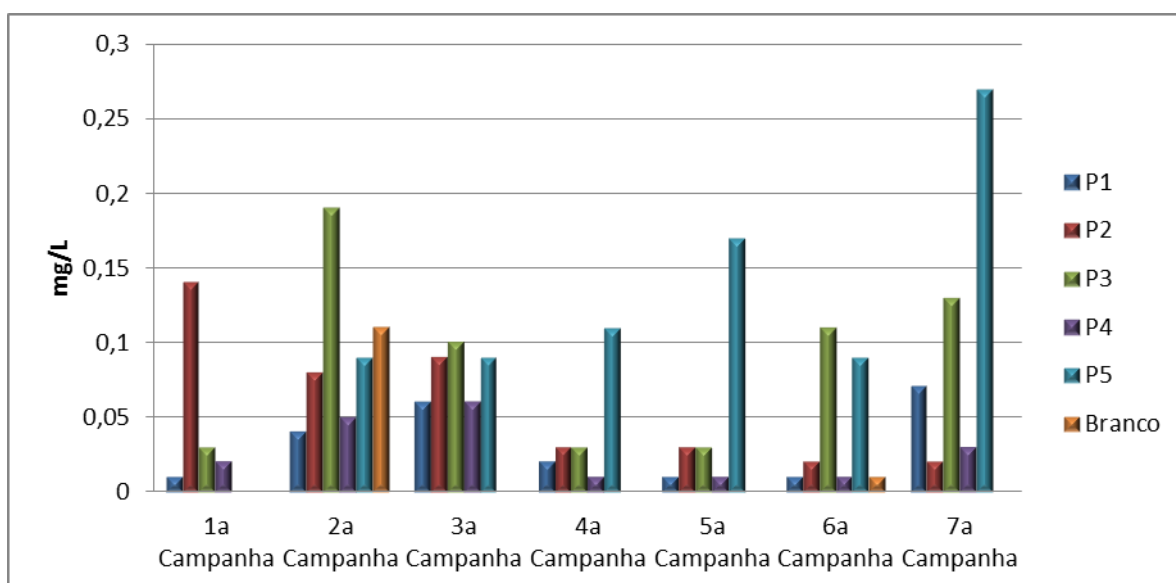


Figura 28 - Valores de fósforo na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a março de 2008.

Em relação ao cálcio, em geral, os valores encontrados nos diversos poços, e comparados aos do poço-controle ('branco'), sugerem claramente impactos do cemitério no aquífero (Figura 29), mais uma vez, principalmente no poço 5 (Figura 29). O monitoramento sugere também algum aporte de magnésio, embora de forma menos nítida.

Migliorini (1994), também encontrou elevadas concentrações de cálcio em águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa (São Paulo-SP), especulando que a fonte mais provável seria a cal utilizada naquele cemitério. Sabe-se ainda que o processo de saponificação dos corpos pode atuar como fonte de compostos como o cálcio e magnésio (MUÑOZ, 1992).

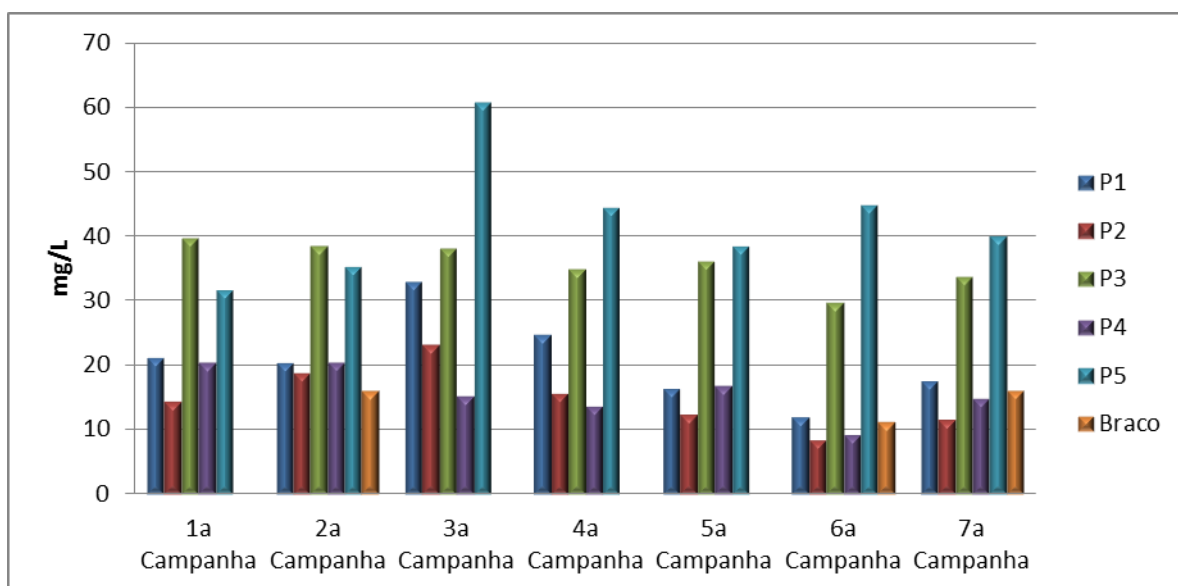


Figura 29 - Valores de cálcio na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a março de 2008.

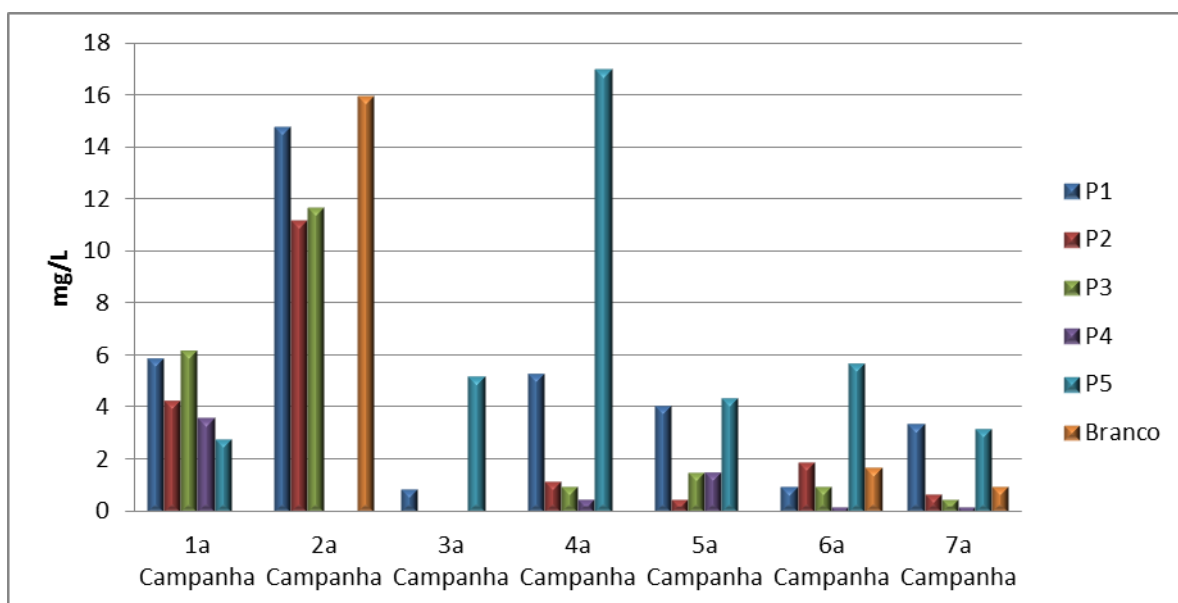


Figura 30 - Valores de magnésio na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a março de 2008.

Em relação ao sódio, à exceção (notável) dos teores encontrados na primeira campanha no poço 5, o aporte deste elemento na água subterrânea parece menos evidente. Não obstante, nas campanhas em períodos chuvosos é de se observar valores relativamente mais elevados no poço 5. Ainda assim, as concentrações de sódio mantiveram-se sempre abaixo do limite do padrão de potabilidade (200 mg L^{-1}) (Figura 31).

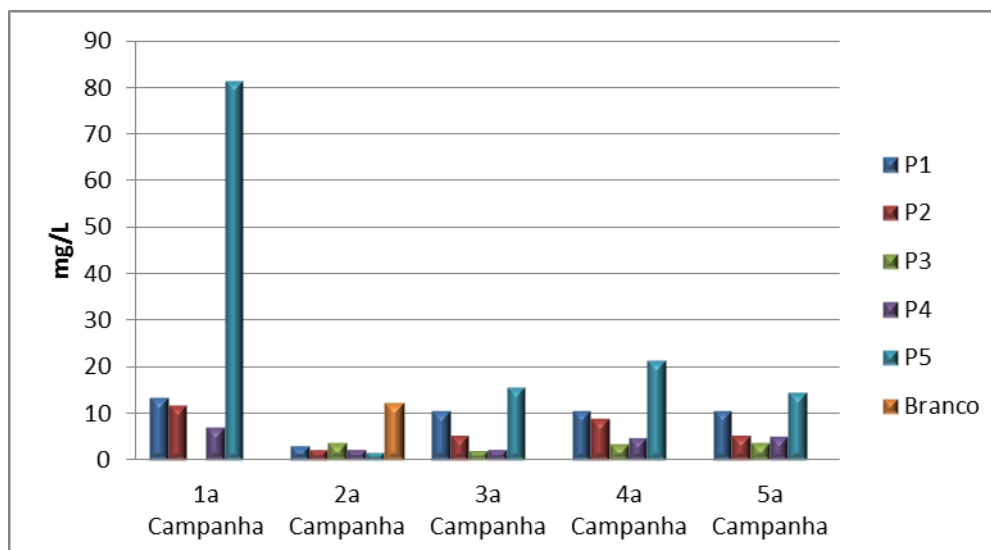


Figura 31 - Valores de sódio na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

O padrão de ocorrência de potássio foi similar ao de sódio (Figura 32). De acordo com Feitosa e Manoel Filho (1997), o potássio ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas. Portanto, poder-se-ia especular sobre algum (pequeno) aporte de potássio no aquífero a partir do cemitério.

Quanto aos valores bem mais elevados na primeira campanha, isso pode ter sido causado pelo alto teor de argila presente nas amostras e que não pode ser retirado para não descaracterizá-las.

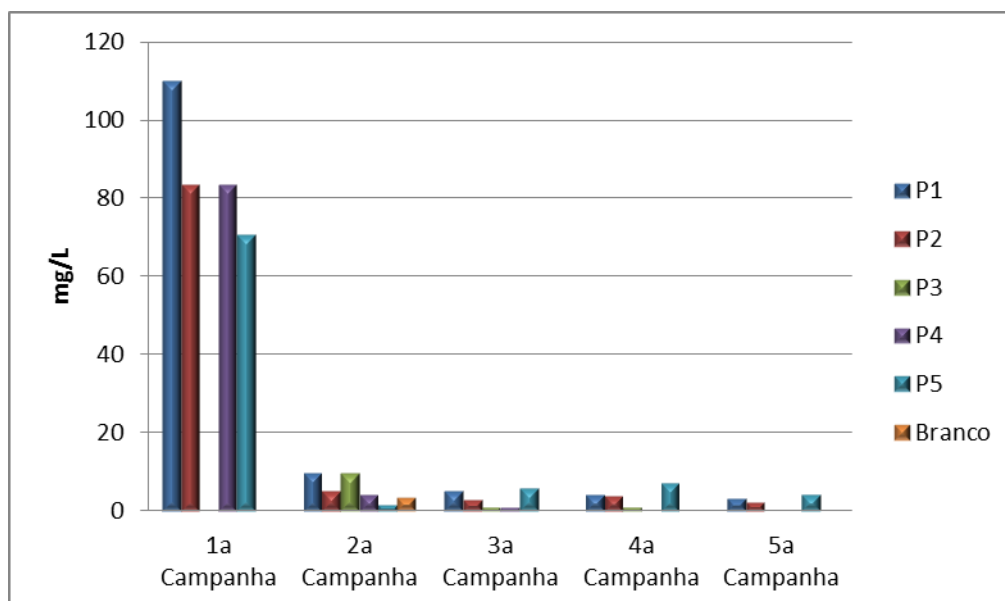


Figura 32 - Valores de potássio na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

Nas Figuras 33 e 34 encontram-se os resultados indicativos do aporte de matéria orgânica à água subterrânea (DBO e DQO). Salvo exceções (por exemplo, do inesperado alto valor de DQO no poço-controle na sexta campanha), há claros indícios de poluição com material orgânico de mais difícil biodegradabilidade, ou em estágios iniciais de degradação (indicado pelas elevadas relações DQO / DBO).

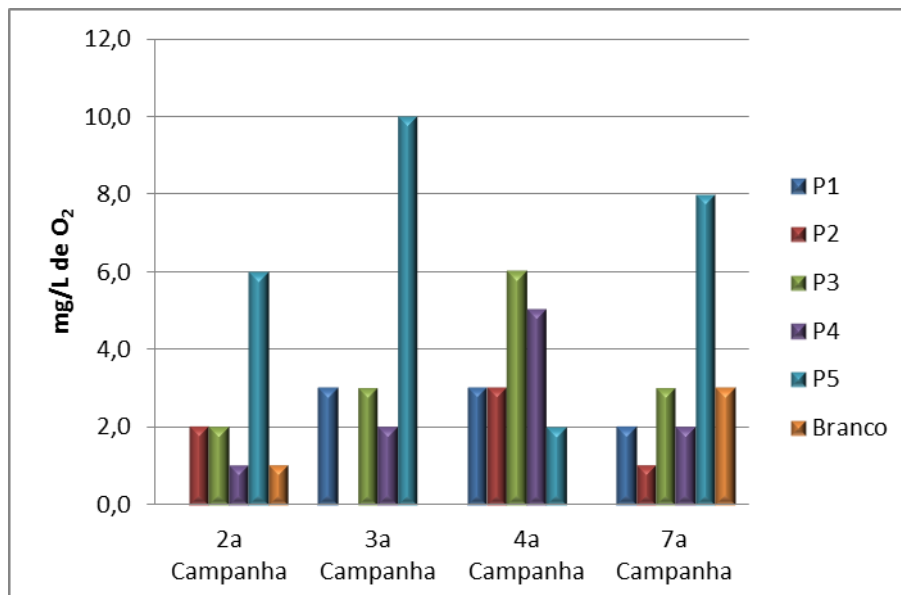


Figura 33 - Valores de DBO na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

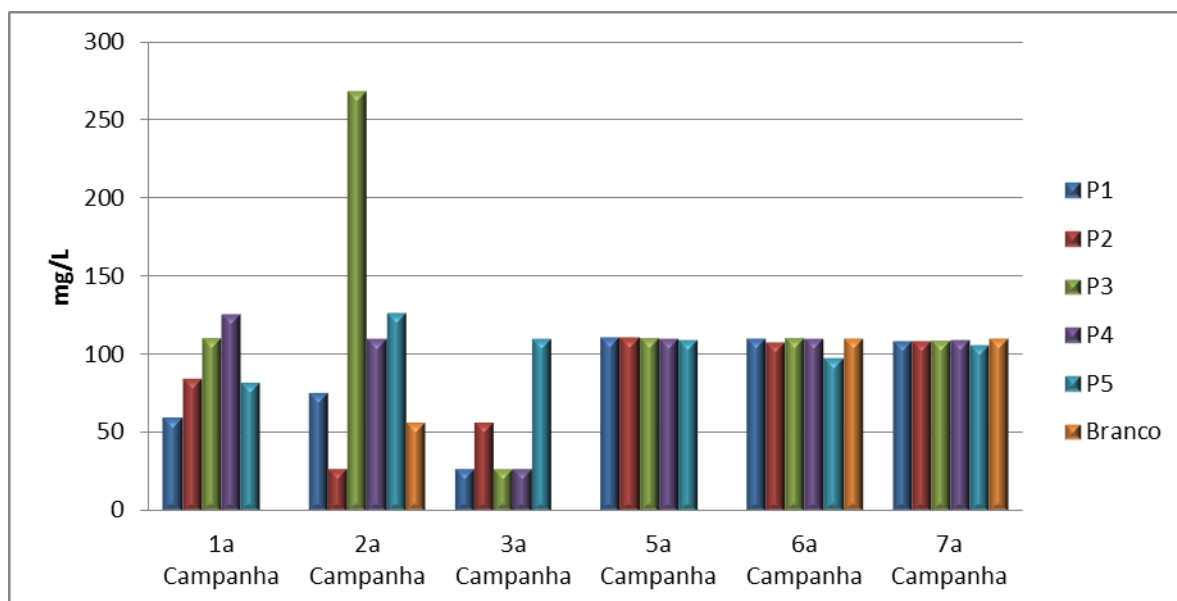


Figura 34 - Valores de DQO na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

No que diz respeito à indicação de contaminação microbiológica, bactérias do grupo coliforme foram detectadas, salvo raras exceções, apenas no poço 5. Entretanto, é de se notar que na campanha 4 (início do período de chuvas) a qualidade da água daquele poço revelou contagens elevadas ($7,56 \times 10^2$ *E. coli* por 100 mL), denotando sinais inequívocos de contaminação.

É importante notar que a carga microbiana encontrada no poço 5 é consistente com a direção do fluxo das águas subterrâneas e com o lençol freático relativamente a este poço em relação aos outros (Figura 15).

A presença de coliformes em águas subterrâneas tem sido considerada um indicador de contaminação por material orgânico, em particular, nas fezes ou carne em decomposição (Young et al. 2002). Além disso, a presença e contagem de todos esses organismos indicadores foram estatisticamente correlacionadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues e Pacheco (2003) em três cemitérios em Portugal.

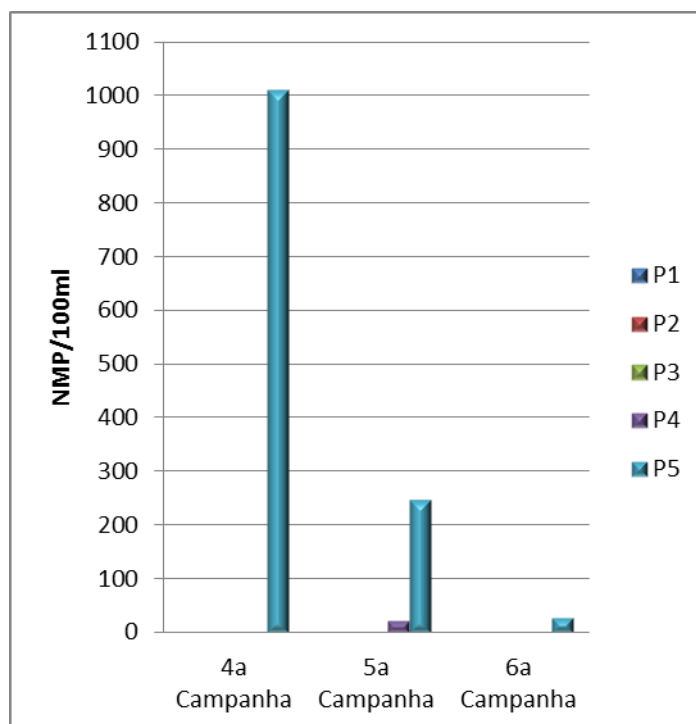


Figura 35 - Valores de coliformes totais na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

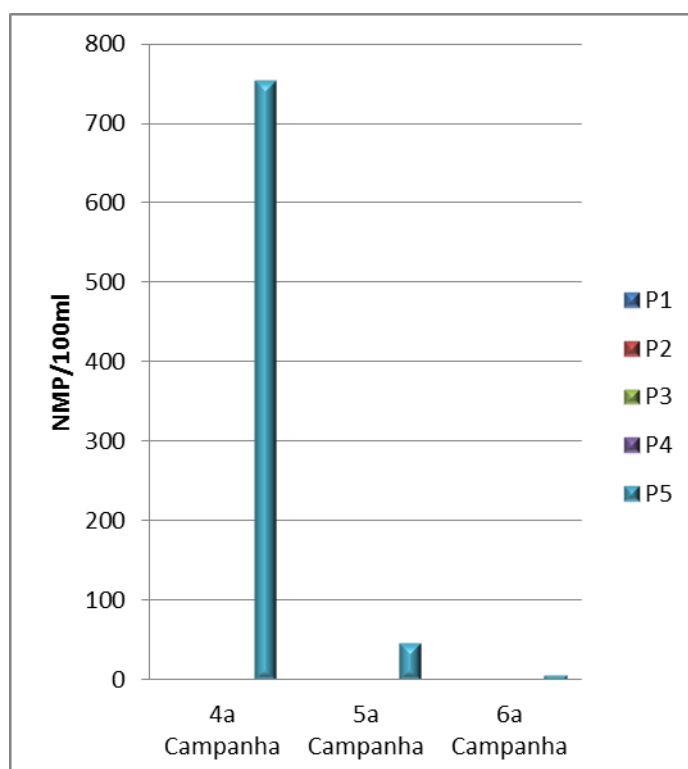


Figura 36 - Valores de *Escherichia coli* na água dos poços de monitoramento ao longo das campanhas de amostragem, Tabuleiro - MG, agosto de 2007 a fevereiro de 2008.

8. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo confirmam que cemitérios podem constituir fonte de poluição / contaminação de águas subterrâneas, por escoamento de necrochorume.

Neste estudo caso, cemitério de Tabuleiro - MG, os impactos mais evidentes manifestaram-se em um poço raso situado imediatamente a jusante do cemitério, na área de um Posto de Saúde, por meio dos seguintes parâmetros de qualidade da água: condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo, cálcio, DBO e *Escherichia coli*.

Não se detectou a influência do período seco/chuvoso nos parâmetros analisados. Entretanto o fato de que o mesmo fica alagado no período chuvoso é de grande importância, principalmente, para os processos bacteriológicos.

Este estudo confirma, portanto, a necessidade de que a construção de cemitérios seja orientada por informações geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas.

Trabalhos como este devem ser continuados por meio de investigações mais aprofundadas, tais como: estudos de transporte de poluentes químicos e microbiológicos em subsolos de cemitérios, estudos mais detalhados de caracterização de necrochorumes, incluindo, por exemplo, a pesquisa de organismos patogênicos e de amins tóxicas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992) ABNT NBR 12244 - Construção de poço para captação de água subterrânea.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2000) ABNT NBR 14545 - Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.

American Public Health Association /American Water Works Association / Water Environment Federation. (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington DC: APHA/WEF/AWWA.

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE (1998) Geologia de Engenharia, 1a ed., São Paulo: ABGE, 1998. 587 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. (1991) A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEYI H. R.; MEDEIROS J.F. Campina Grande: UFPB. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BASTOS, R.K.X.; MOUNTEER, A. H.; NASCIMENTO, L.E. (2003) Qualidade da água. Viçosa-MG. 65p. (Notas de aula).

BASTOS, R.K.X., BEVILACQUA, P.D., NASCIMENTO, L.E., CARVALHO, G.R.M., SILVA, C.V. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000 (CD-ROM).

BERGAMO, H. (1954) Os cemitérios - Um problema de engenharia sanitária in: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 4; São Paulo, p. 333-339.

BOWER, H. (1978). Ground water hydrology. New York, McGraw Hill.

BRASIL, CONAMA 274. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras. Resolução nº 274 de 29 de nov. de 2000. Diário Oficial, Brasília, DF, 08 de jan. 2001. pp 70-71. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/CONAMA>>.

BRASIL, CONAMA 335. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Resolução nº 335 de 3 de abril de 2003. Diário Oficial nº 101, Brasília, DF, 28 de maio de 2003. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/CONAMA>>.

BRASIL, CONAMA 357. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº 357 de 17 de mar. de 2005. Diário Oficial, Brasília, DF, 18 de mar. 2005. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/CONAMA>>.

BRASIL, CONAMA 396. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Resolução nº 396 de 03 de abr. de 2008. Diário Oficial, Brasília, DF, 07 de abr. 2008. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/CONAMA>>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Portaria nº 518 de 25 de mar. de 2004. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 de mar. 2004. Seção 1. p. 266. Disponível em <<http://portal.saude.gov.br/saude/>> Acesso em: 10 abr. 2008.

BRAZ, V; BECKMANN; COSTA E SILVA, L (2000) Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1; Fortaleza, 2000. Anais... Fortaleza: ABAS. 1 (CD-ROM).

DNIT (2005). <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais/MG.pdf/view>.

DIAS, V. M. L. (1963). Cemitérios, jazigos e sepulturas. Porto: Coimbra Editora. 523 p.

EMBRAPA. (2001) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

FÁVERO, F. Medicina Legal. (1980). 11. ed. Belo Horizonte: Itatiaia. v.1 p. 500-566.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (1997). Hidrogeologia. Conceitos e aplicações. CPRM Serviço Geológico do Brasil.

GERBA, C.P; WALLIS,C; MELNICK, J.L. (1975) Fate of waster bacterial and viruses in soil. Journal of the Irrigation and Drainage Division, v. 101, n IR3, P. 157-174.

INMET (2008). www.inmet.gov.br/.

KESWICK, B.H. (1984) Sources of groundwater pollution. In: BITTON, G; GERBA, C.P. (Eds.) Groundwater pollution microbiology. Ney York: John Wiley e Sons. P 39-64.

KESWICK, B.H; WANG, D; GERBA, C.P (1982) The use of microorganisms as ground water tracers: a review. *Ground Water*, v. 20,n 2,p. 142-149.

MARTINS, M.T; PELLIZARI, V.H; PACHECO, A; MYAKI, D.M; ADAMS, C; BOSSOLAN, N.R.; MENDES, J.M.B; HASSUDA, S. (1991) Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Revista de Saúde Pública*, v 25, n. 1, p. 47-52.)

MATOS, B.A; BASTIANON, D; BATELLO, E; PACHECO, A PELIZZARI, V; MENDES, J.M. (1998) Contaminação do aquífero livre em cemitérios; estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10 São Paulo, 1998. Anais... São Paulo: ABRAS. 1 (CD-ROM).

MATOS, B.A; PACHECO, A. (2000) Ocorrência de microrganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo.In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza, 2000. Anais... Fortaleza: ABAS. (CD-ROM).

MELLO, L.G.F.S; MOTIDOME, M.J. (1995) Cemitérios como fonte de poluição de águas subterrâneas: ficção ou realidade?, *Revista Saneamento Ambiental*, São Paulo.

MELLO, F.A.F., SOBRINHO, M.O.C.B., ARZOLLA, S. et al. Fertilidade do solo. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MENDES, J.M.B.; PACHECO, A.; HASSUDA, S. (1989). Cemitérios e meio ambiente - a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2., Florianópolis, 1989. Anais. Florianópolis, UFSC, v. 1, p. 50-57

METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering-treatment and reuse. International edition. Boston: McGraw-Hill, 2004. 1820 p.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. Água na indústria: uso racional e reuso. São Paulo: Oficina de textos, 2005. 143p.

MIGLIORINI, R.B, (1994) Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos, Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo. São Paulo, 74 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

MIGLIORINI, R. B. (2004) Cemitérios como fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas, Região de Cuiabá e Várzea Grande (MT). In: Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública – Brasília / DF, v. 1, p. 195-227, 2004.

MIOTTO, S.L (1990) Aspectos geológicos-geotécnicos da determinação da adequabilidade de áreas para a implantação de cemitérios. Rio Claro, 116 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade estadual Paulista.

MUÑOZ, C. S; Sánchez, B. R; Díaz, M. Z. (2003). Determinación del perfil antropométrico de jóvenes corredores de mediofondo de élite. Revista Digital - Buenos Aires.

NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa-MG: UFV/DPS, 399p.

OTTOMAN, F. (1987) Créer ou aménager un cimetière. Paris: Moniteur, 161p.

PACHECO, A. (1986) Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. Spam, p. 25-31, 1986.

PACHECO, A MENDES.J.M.; MARTINS, T; HASSUNDA, S; KIMMELMANN, A A. (1991) Cemiteries – a potential risk to groundwater. Water Science and Technology, v. 24, n. 11,p.97-104.

PACHECO, A. (2000) Cemitérios e meio ambiente. São Paulo, 102 p. Tese (Livre Docência) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

PACHECO, A; BATELLO, E. (2000) A Influência de fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios. Revista Engenharia e Arquitetura, v.2, n 1,pp. 32-39, 2000.

PEQUENO MARINHO, A.M.C. (1998) Contaminação de Aquíferos por instalação de cemitérios. Estudos de Caso do Cemitério São Paulo Batista, Fortaleza, 88 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará.

PERSON, J. (1979) Interventions Réalementaries du Géologue Agrrée em ye de la protection des caux destinées à l'alimentacion humaine. Marseille, Saint Leambert. 193p.

REIS. J. J. A morte é uma festa. São Paulo, Companhia das Letras, 1991.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Tradução de GHEYI,H.R.; .SOUSA J.R; QUEIROZ, J.E.. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 48).

ROMERO, J.C. (1970). The movement of bacteria and virus through porous media. Ground Water,

v8, n2, p37-48.

SILVA, L.M. Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 4., Montevideu, 1998. Memórias... Montevideu: ALHSUD. V. 2, p. 667-681, 1998.

SAWYER, C. N.; MCCARTHY, P.L.; PARKIN, G.F. Chemistry for environmental engineering and science. 5th ed. New York: McGraw –Hill, 2003. 752p.

VON SPERLING, M. . Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO The impact of cemeteries on the environment and public health. An introductory briefing, Copenhagen, Denmark, WHO Regional Office for Europe. 11 p. 1998, (Rept. EUR/ICP/EHNA 01 0401(A)).

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking - water quality, 3rd ed. Geneva: WHO, 2004. 515p.