

Avaliação hidrogeológica de áreas de atividades cemiteriais

Guilherme Tramontin de César Cavaler (1), Flávia Cauduro (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) guilherme_tra@hotmail.com, (2) flavia.cauduro@unesc.net

Resumo: Cemitérios são locais onde as pessoas são sepultadas; a maioria da população não vê estes locais como possíveis poluidores ambientais. Nesses locais há decomposição de matéria orgânica que gera um resíduo viscoso, castanho-acinzentado e forte odor, o necrochorume, poluidor do solo que pode facilmente ser transportado pelas águas pluviais e contaminar os lençóis freáticos com vírus, bactérias e protozoários proliferando doenças como febre tifóide, febre amarela, cólera, entre outras. Neste cenário, o objetivo deste estudo é caracterizar solos de duas áreas de atividades cemiteriais localizadas em dois municípios do Sul de Santa Catarina. O desenvolvimento do estudo considerou ensaios de permeabilidade do solo *in situ* e ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica - Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e granulometria - e teor de matéria orgânica. Os resultados apresentaram índice alto a extremo de vulnerabilidade dos mananciais, coeficientes de permeabilidade em desacordo com CONAMA nº 368/2006, teor de matéria orgânica presente no solo sugere contaminação por necrochorume, ineficiência do tempo de transporte dos contaminantes para reter os microrganismos e classificação HRB dos solos inadequada para locais com atividade cemiterial. Além destes resultados, foi constatado que as áreas de estudo estão instaladas em APP's e em distâncias horizontais inferiores as requeridas de residências, comércios e indústrias. A análise dos resultados sugere que o solo e o manancial das áreas estudadas apresentam provável contaminação por necrochorume.

Palavra-chave: Contaminação cemiterial; transporte de contaminantes; necrochorume; contaminação ambiental.

Abstract: Cemeteries are places where people are buried, most of the population does not see these places as potential environmental contaminants. In these places there is decomposition of organic matter that generates a viscous odor residue, grayish brown and strong, necrochorume, soil polluter that can be easily transported by rainwater and contaminate the groundwater with viruses, bacteria and protozoa, proliferating diseases like typhoid fever, yellow fever, cholera, among others. In this scenario, the main of this study is to characterize soils of two areas of cemetery activities located in two municipalities in South of Santa Catarina. Study characterized, *in situ*, soil permeability tests and in laboratory tests of geotechnical characterization - Liquidity Limit, Plasticity Limit, granulometry and organic content. Results showed high-extreme vulnerability of the sources, permeability coefficients in disagreement with CONAMA nº 368/2006, soil organic matter content suggests necrochorume contamination, inefficient transport time of contaminants to retain the microorganisms and HRB classification inadequate for sites with cemetery activity. In addition, It was found that study areas are installed in APP's and horizontal distances lower than required for residences, business and industries. The analysis suggests that the soil and the source of this areas were, probably, necrochorume contamination.

Key-words: Cemetary contamination; transport of contamination; burial plume; environmental contamination.

Introdução

Cercados de várias crenças e religiões, os cemitérios existem a milhares de anos por todo o mundo. Na Europa, especificamente na Idade Média, eles tinham outro papel para a sociedade além de ser um local para enterrar seus mortos. Eram áreas onde as pessoas se reuniam para conversar, namorar e até fazer compras. Além disso, nesses locais os inquisidores proferiam suas sentenças e prefeitos tornavam públicas suas medidas, geralmente em cima de estrados montados para tais ocasiões.

No Brasil, as igrejas foram os primeiros cemitérios existentes. Nelas não poderiam ser sepultados escravos, judeus, sentenciados e pessoas que não fossem da religião católica. Com o surgimento de leis e decretos, os cemitérios passaram a ser também de caráter público, ou seja, qualquer pessoa poderia ser enterrada neles, independente de sua raça, religião ou de como tenha falecido.

Atualmente, segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, art. 2º, há alguns tipos de cemitérios: horizontais que se localizam em áreas descobertas e são considerados tradicionais; verticais, localizados em edifícios de um ou mais pavimentos; parque ou jardins, sem túmulos e recoberto por gramíneas; e há ainda os cemitérios destinados ao sepultamento de animais.

Os cemitérios são poluidores ambientais pouco lembrados pela população, Pacheco (2000) classificou os impactos ambientais, nestes locais, como físico de ordem primária e secundária. O impacto físico primário compreende principalmente a contaminação das águas subterrâneas por microrganismos gerados nas necrópoles e o impacto físico secundário se dá pela geração de maus odores provenientes da decomposição da matéria orgânica.

No Brasil há resoluções e decretos-lei que determinam requisitos mínimos para a instalação de cemitérios horizontais. O estado de Santa Catarina com o Decreto nº 30.570, de 14 de outubro de 1986, art. 4º, inciso V, informa que o nível do lençol freático deve estar no mínimo a 2 m de profundidade, e que se houver problemas em relação às condições das sepulturas o nível deve ser rebaixado. No mesmo Decreto, art. 5º, anuncia que estudos especializados devem comprovar que o solo e o nível do lençol freático estão adequados para receber cemitérios.

Na Resolução CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003, art. 5º, inciso I e II, caso as sepulturas não atendam a distância de 1,5 m do lençol freático, as mesmas devem ser feitas acima do nível do terreno. No inciso III do mesmo artigo é previsto para os solos constituídos por materiais com coeficientes de permeabilidade superior a 10^{-5} cm s⁻¹, necessidade que o nível inferior dos jazigos esteja 10 metros acima do nível do lençol freático.

No inciso IV, do artigo 5º, da Resolução CONAMA nº 335, é informado que a área de sepultamento deve obedecer a um recuo mínimo de 5 m em relação ao perímetro do cemitério. Ainda neste artigo, §1º, inciso I, o indicado é que o cemitério tenha uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, e que cabe ao órgão licenciador definir a mesma. Contudo, o Estado de Santa Catarina no Decreto nº 30.570, art. 4º, inciso III, delimita a distância segura como sendo de 15 m no mínimo de logradouros públicos abastecidos com água e de 30 m no mínimo para zonas sem rede pública de abastecimento de água, essa distância sendo em todo o perímetro do cemitério.

Os estudos do comportamento do solo e da água são de extrema importância no que se referem à Engenharia Civil. Os dois estão ligados frequentemente, de acordo com Pinto (2006, p.112) “a água ocupa a maior parte ou a totalidade dos vazios do solo”, sabendo disso é correto afirmar que havendo poluição no solo é provável que o mesmo contamine a água, a menos que se tomem as medidas cabíveis para evitar tal contaminação.

Nos cemitérios a geração de microrganismos, a partir de resíduos cadavéricos, é uma das fontes de contaminação. Segundo Garcia & Bassinello (2007) os microrganismos estão em todos os lugares, se multiplicando, invisíveis, pois não podemos visualizá-los a olho nu. Consequentemente o transporte das bactérias (geradoras de doenças) no lençol freático é facilitado e se torna impossível a detecção dos mesmos sem efetuar ensaios com o solo e a água.

Outra fonte proveniente da decomposição dos corpos é o necrochorume. Este possui uma aparência viscosa, castanho-acinzentada, odor forte e é composto de uma porcentagem maior de água, seguida de sais minerais e substâncias orgânicas. O necrochorume é um poluidor do solo, no entanto, com as chuvas o mesmo é transportado, podendo alcançar o lençol freático que tende a subir seu nível em períodos chuvosos, facilitando e aumentando as chances de contaminação do lençol freático. Ambas as fontes estão contaminando as águas subterrâneas, e conforme indica Matos (2001, p.18) “se a água for captada por poços, quem

fizer uso da mesma, corre, eventualmente, riscos de saúde, pois este recurso pode veicular doenças como a febre tifoide, paratifóide, cólera e outras”.

Os tipos de solo e sua permeabilidade são de extrema importância ao tratar da contaminação dos lençóis freáticos. “Ainda, sabe-se que solos muito permeáveis como areia, cascalho e rochas não são indicados por facilitarem a passagem dos fluidos contaminados.” (TORMEN; TASSO; KORF, 2016, p.54). Totalmente o contrário do solo argiloso que retém água, sendo impermeável e ainda segundo Üçisik & Rushbrook (1998) apud Floriani (2013), “Solos argilosos com grande área superficial específica e alta capacidade de troca de cátions (CTC) são os mais adequados por maximizar a retenção de líquidos humurosos e metais pesados”.

O desenvolvimento deste estudo visa caracterizar propriedades hidráulicas e geológicas de solos de atividades cemiteriais provenientes de duas distintas áreas da região Sul de Santa Catarina. Com base no contexto descrito os objetivos específicos são: classificar os solos das áreas do estudo; determinar a vulnerabilidade dos aquíferos das áreas; promover debates, pesquisas e interesse na área da contaminação ambiental provocada pela atividade cemiterial; e sensibilizar civis, poder público e gestores desta área sobre os problemas de ordem sanitária e ambiental envolvidos neste ato cultural brasileiro.

Materiais e Métodos

Áreas de estudo

O solo utilizado no presente trabalho teve origem em dois diferentes cemitérios da região sul do Estado de Santa Catarina.

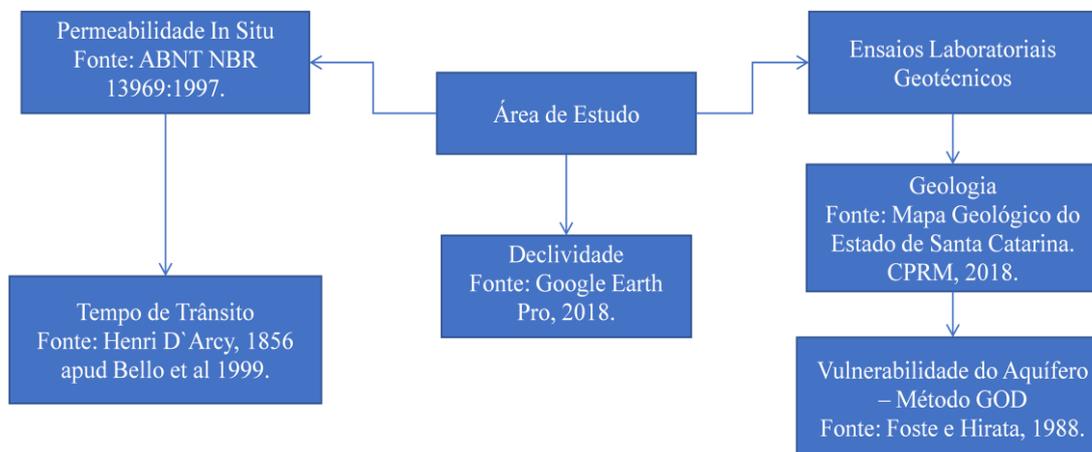
Cemitério J: cemitério público, atualmente em atividade e está sobre administração de uma empresa privada. Localizado em um jardim, conta com uma área territorial de 8.278,41 m², não há túmulos no local. Está a 46 metros do nível do mar e a distância em relação ao ponto horizontal de água mais próximo é de 7 metros.

Cemitério I: cemitério público, atualmente em atividade, está localizado em área rural. Possui uma área territorial de 2.145,27 m². Está a 42 metros do nível do mar e a distância em relação ao ponto horizontal de água mais próximo é de 5 metros.

Após a coleta, as amostras de solo foram transportadas em sacos plásticos para o laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Desenvolvimento e Tecnologia

(IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), onde os mesmos foram preparados para serem ensaiados.

Para facilitar a compreensão das etapas do desenvolvimento deste estudo é apresentado o Fluxograma 1.



Fluxograma 1. Desenvolvimento do estudo.

Declividade das áreas de estudo

A declividade foi encontrada a partir da relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre eles. Os dados foram coletados da ferramenta Google Earth Pro.

Vulnerabilidade dos mananciais presentes nas áreas de estudo

Na busca de valores que determinem a vulnerabilidade do manancial foi utilizado o Método de GOD (FOSTER e HIRATA, 1988). O método utiliza os seguintes fatores: G - Grau de confinamento do aquífero; O - Características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada, retiradas do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (CPRM, 2018); e D - Profundidade do nível de água. Estes fatores têm subitens com pesos distintos de acordo com a contribuição dos mesmo para a vulnerabilidade do manancial. Os valores respectivos ao Método GOD são retirados da Figura 1 e multiplicados entre si para definir o índice que varia de 0 – Vulnerabilidade insignificante a 1,0 – Vulnerabilidade extrema.

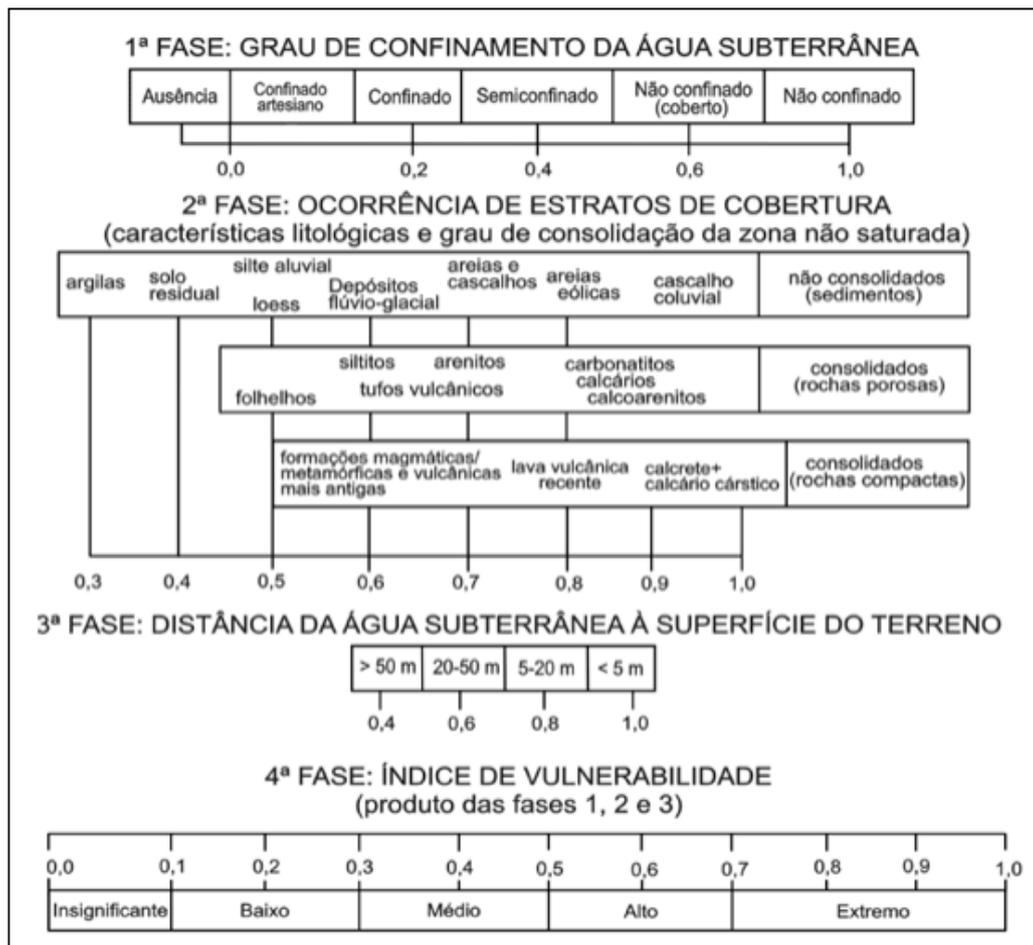


Figura 1. Fatores do Método GOD (Fonte: Foster e Hirata, 1988)

Determinação do tempo de transporte do contaminante no solo

Com a intenção de ter uma previsão sobre quanto tempo os contaminantes levarão para entrar em contato com o lençol freático, foi calculado o chamado tempo de trânsito. O coeficiente utiliza os dados de permeabilidade da área de estudo e a espessura da camada de solo até o lençol freático. O tempo de trânsito é encontrado a partir da equação 1:

$$T_t = \frac{e_c}{k} \quad (1)$$

em que:

Tt = Tempo de trânsito (s);

ec = Espessura da camada de solo (cm);

k = Coeficiente de permeabilidade (cm.s⁻¹).

Teor de matéria orgânica

Para a determinação do teor de matéria orgânica presente no solo foi utilizado o método de PPI (perda de peso por ignição), o método é realizado a partir da queima da matéria orgânica em forno mufla. A matéria orgânica é considerada a partir da diferença de massa das amostras antes e após a queima.

Caracterização Geotécnica das áreas de estudo

Ensaio in loco

- ✓ Análise de Permeabilidade do Solo conforme a norma ABNT NBR 13969:1997.

Ensaio laboratoriais

- ✓ Análise Granulométrica - NBR 7181:2018;
- ✓ Limite de Liquidez (LL) - NBR 6459:2017;
- ✓ Limite de Plasticidade (LP) - NBR 7180:2016;

Resultados e discussões

Declividade das áreas de estudo

“A declividade é um dos fatores limitantes na implantação de um cemitério, pois locais com declive acentuado podem ser indicativos de solos rasos e proximidade de lençol freático”. (PETSCH, et al, 2015). As áreas de estudo em questão tiveram uma declividade baixa, podendo considerar o cemitério de interior uma área de planície e o cemitério de jardim com área com relevo de 5 metros, porém o valor de declividade é baixo, pois esta declividade ocorre ao longo de 134 metros, Tabela 1.

Nas proximidades dos cemitérios estudados há pontos horizontais de água muito próximos dos mesmos, o que indica que o nível do lençol freático é elevado, e possui uma distância vertical pequena em relação a superfície do solo.

A distância vertical mínima entre o nível máximo do lençol freático e o fundo dos jazigos é de 1,50 metros para a CONAMA nº 368/2006 e de 2,00 metros para o Decreto Lei 30.570/1986 do Estado de Santa Catarina. Quando o nível do lençol freático é próximo a superfície, isto se torna um infortúnio que transportará a provável contaminação existente no solo para o lençol freático.

Local	Distância (m)	Elevação (m)	Declividade (%)
Cemitério de Jardim	134,00	5,00	3,731
Cemitério de Interior	60,80	0,62	1,020

Tabela 1. Declividade dos cemitérios

Vulnerabilidade dos mananciais presentes nas áreas de estudo

Ao tratar sobre contaminação é comum estudar a vulnerabilidade à poluição do solo. Segundo Lobo Ferreira (1998) não há um conceito completo definido sobre o que seja a vulnerabilidade em relação às águas subterrâneas, mas poderia ser representado como “risco de poluição”. Para Auge (2004) a vulnerabilidade está relacionada ao risco de deterioração de certas substâncias que venham gerar contaminação.

Com base na Figura 1 foi obtido o índice de GOD de vulnerabilidade do manancial presente em cada cemitério do estudo, conforme Tabela 2:

Local	Grau de Confinamento	G	Características Litológicas	O	Distância do nível da água	D	Índice de Vulnerabilidade	Classe de Vulnerabilidade
Cemitério de Jardim	Não confinado	1	Q2a - Depósitos Aluvionares	0,7	< 5m	1	0,7	Alto-Extremo
Cemitério de Interior	Não confinado	1	Q2fl - Depósitos Flúvio-Lagunares	0,7	< 5m	1	0,7	Alto-Extremo

Tabela 2. Índice GOD – Vulnerabilidade

Os mananciais próximos aos cemitérios estudados não apresentam confinamento, sendo classificados como “não confinado” em ambas áreas de estudo, portanto os dos mananciais têm índice de 1 para o fator G.

Os dois locais de estudo apresentam características litológicas parecidas. Conforme nomenclatura do Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (CPRM, 2018), o cemitério de jardim é um Q2a característicos por serem compostos de solos de areais grossas a finas, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos; e o cemitério de interior, o Q2fl são areias e lamas lagunares, com restos orgânicos vegetais, interdigitados com cascalho e areais grossas a finas

da sedimentação fluvial. Conforme Figura 1, ambos os solos foram classificados como não consolidados (sedimentos) e areia e cascalho, portanto os dos mananciais têm índice de 0,7 para o fator O.

A distância do nível da água, ou seja, a profundidade do lençol freático, compreende o mesmo intervalo para ambas áreas de estudo, intervalo de 0 a 5 metros de distância. Com isso os dos mananciais têm índice de 1 para o fator D.

Com base nos fatores determinados, o índice de vulnerabilidade para ambos cemitérios é de 0,7 em uma escala de 0-não vulnerável e 1-extremamente vulnerável. Tal constatação mostra que os mananciais estão em uma faixa considerada de alta a extrema vulnerabilidade. Esta situação em ambiente com atividade, o poluente traz altos riscos de contaminação ambiental, com a contaminação do solo e com possibilidade de posterior contaminação do lençol freático. Este risco está relacionado ao não confinamento dos aquíferos onde a profundidade da água é menor que 5 metros e a condição litológica dos solos que indicam que estes locais estejam vulneráveis a muitos contaminantes.

Cauduro & Silva (2018), concluíram em seu estudo de revisão de estudos de casos em cemitérios brasileiros que a litologia local e regional tem efetiva influência na propagação do contaminante necrochorume no solo. Conforme Cutrim & Campos (2010), devem ser criadas áreas de proteção de qualidade de água, para haver um controle mais rigoroso sobre as fontes potenciais de contaminação e prevenir a instalação de novas fontes contaminantes.

Tempo de transporte dos contaminantes no solo

Para definição do tempo de transporte foi necessário determinar previamente a permeabilidade *in situ* nas áreas de estudo. Assim, foi desenvolvido o ensaio de permeabilidade *in situ* de acordo com a NBR 13969:1997 e determinado os coeficientes de $1,5152 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ para o solo do cemitério de jardim e $8,197 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ para o cemitério de interior.

De acordo com art. 5º, parágrafo 1º, inciso III, do CONAMA nº 368/2006, o subsolo de áreas cemiteriais deverá apresentar coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e $10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, considerando o nível mais alto do mesmo. Em solos com maiores permeabilidades, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático.

Foram utilizadas para o cálculo de tempo de transporte do contaminante as alturas verticais entre jazigos e lençol freático, definidas por CONAMA nº 368/2006, 1,5 metros ou

10 metros, e Decreto Lei 30.570/1986 do Estado de Santa Catarina, 2 metros. Considerando que na instalação os cemitérios respeitaram estas alturas como as alturas mínimas verticais entre a sepultura e o lençol freático.

Nas tabelas 3 e 4, são apresentados os tempos de transporte do contaminante nos dois cemitérios para as três espessuras de camada de solo.

	Ec (cm)	k (cm s⁻¹)	Tt (s)	Tt (hs)
CONAMA nº368/2006	150	$1,5152 \cdot 10^{-2}$	9900	2 hs 45 min
	1000	$1,5152 \cdot 10^{-2}$	66000	18 hs 20 min
LEI ESTADUAL/SC 30.570/1986	200	$1,5152 \cdot 10^{-2}$	13200	3 hs 40 min

Tabela 3. Tempo de trânsito – Cemitério de Jardim

	Ec (cm)	k (cm s⁻¹)	Tt (s)	Tt (hs)
CONAMA nº368/2006	150	$8,197 \cdot 10^{-3}$	18300	5 hs 5 min
	1000	$8,197 \cdot 10^{-3}$	122000	33 hs 54 min
LEI ESTADUAL/SC 30.570/1986	200	$8,197 \cdot 10^{-3}$	24400	6 hs 47 min

Tabela 4. Tempo de trânsito – Cemitério de Interior

Um corpo leva cerca de um a dois anos para alcançar a sua decomposição total. Segundo Bello, Neto e Filho (1999), os cadáveres geram um volume médio de 40 litros/cadáver de efluentes provenientes da decomposição, isso nos cinco primeiros meses de sepultamento. Com base nos resultados das tabelas 3 e 4, mesmo com 10 metros o necrochorume alcança o lençol freático rapidamente, no cemitério de jardim em 18 horas e 20 minutos e no cemitério de interior em aproximadas 34 horas o necrochorume alcançará 10 metros de profundidade.

A permeabilidade do solo destas áreas são inadequadas para tal atividade e demonstrando valores expressivos de transporte do contaminante durante todo o processo de decomposição dos corpos.

Os riscos de contaminação do solo e lençol freático são pertinentes nas áreas de estudo. É possível afirmar que a vulnerabilidade dos mananciais de acordo com o Método GOD e com o Tempo de Transporte do necrochorume indicam ter índice alta-extrema.

Ao contrário dos resultados obtidos no estudo de Bello, Neto e Filho (1999), o tempo de transporte dos contaminantes não será suficiente para atuação das bactérias sobre o

necrochorume, portanto tal resultado sugere o comprometimento das águas subterrâneas e contaminação ambiental por necrochorume.

Teor de matéria orgânica

A matéria orgânica é importante para a fertilidade do solo, podendo ser qualquer tipo de material que seja produzido por um organismo vivo, seja ele de animal, vegetal, fungos, etc.

Nas Figuras 2 e 3 são identificados os locais onde foram retiradas as amostras, sendo os pontos 01 e 02 de cada cemitério se encontram dentro do perímetro dos mesmos. O ponto 03 de ambos os cemitérios é um ponto localizado na parte externa dos cemitérios, ou seja, é o ponto base, com ele é possível basear os índices de matéria orgânica.

Nas Figuras 2 e 3 também está identificado o ponto de água mais próximo do cemitério.



Figura 2. Localização das amostras – Cemitério de jardim (Fonte: Google Earth Pro, 2018)



Figura 3. Localização das amostras – Cemitério de interior (Fonte: Google Earth Pro, 2018)

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5 com os teores de matéria orgânica das amostras de cada cemitério. Na Tabela 5 consta também a classificação dos índices de matéria orgânica para solos, baseado no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), conforme Tabela 6.

Amostra	Teor de Matéria Orgânica (%)	Índice
CJ 01	9,74	Alto
CJ 02	9,24	Alto
CJ 03	5,32	Alto
CI 01	6,07	Alto
CI 02	4,97	Médio
CI 03	4,63	Médio

Tabela 5. Resultados do Teor de matéria orgânica

Faixa (%)	Índice
$\leq 2,5$	Baixo
2,6 - 5,0	Médio
$> 5,0$	Alto

Tabela 6. Teor de matéria orgânica do solo nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Fonte: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, RS/SC, 2004)

Conforme a Tabela 5 há diferença significativa do teor de matéria orgânica quando comparados os teores dos pontos internos e externos das áreas de estudo. Os valores internos dos cemitérios, nos dois casos, apresentaram maior percentual de matéria orgânica do que a amostra externa. É observado que os solos da região dos dois cemitérios têm índice médio e alto de matéria orgânica, porém nas amostras coletadas internas ao cemitério o teor é ainda maior.

Dutra, Souza e Bem (2015) observaram a mesma situação em seu estudo e concluíram que o aumento do teor de matéria orgânica na área interna do cemitério corresponde, possivelmente, a contaminação ambiental por necrochorume proveniente do processo de decomposição dos cadáveres.

Caracterização geotécnica das áreas de estudo

As curvas de distribuição granulométrica das amostras das áreas de estudo estão apresentadas nas figuras 4 e 5.

No cemitério de jardim, a amostra CJ 01 apresentou 68,98% de material fino (siltes e argilas), 13,68% de areia média e 9,87% de areia fina. A amostra CJ 02 apresentou a

predominância de material fino com 81,15% e a amostra CJ 03, externa ao cemitério, apresentou 66,06% de material fino, 12,29% de areia média e 8,73% de areia fina.

No cemitério de interior, a amostra CI 01 apresentou 63,88% de material fino e 25,40% de areia fina. A amostra CI 02 apresentou 69,18% de material fino e 26,57% de areia fina, já a amostra CI 03, externa ao cemitério, apresentou 58,10% de material fino e 33,05% de areia fina.

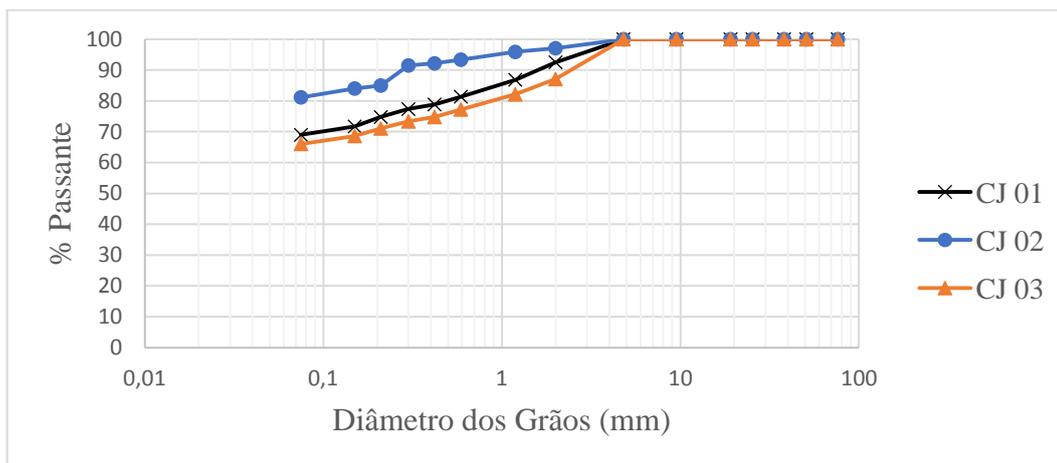


Figura 4. Curvas granulométricas compiladas – Cemitério de Jardim

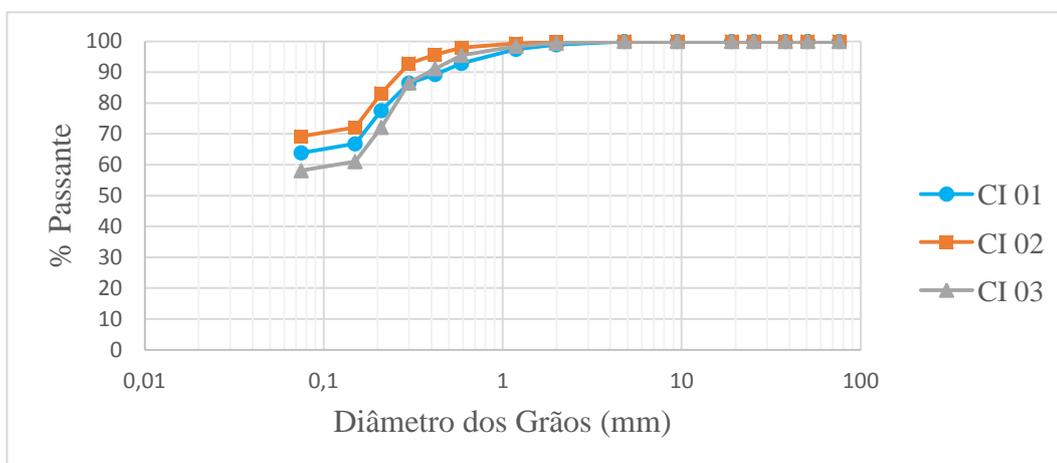


Figura 5. Curvas granulométricas compiladas – Cemitério de Interior

Nas tabelas 7 e 8 estão os resultados das avaliações de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP) e a Classificação do solo HRB dos dois cemitérios.

No cemitério de jardim, a amostra CJ 01 obteve LL e LP respectivamente de 35% e 25% o que equivale a um IP de 10% considerado de média plasticidade, sendo o IP inferior a 5,92% ao valor observado na amostra CJ02, também considerado média plasticidade. Os valores de LL e LP nessa amostra foram de 59,58% e 43,66% respectivamente. A amostra CJ

03 apresentou um LL de 43,66% e LP de 34,66% com um IP de 9%, considerado baixa plasticidade. Com base nos resultados as amostras deste cemitério apresentam solo de baixa a média plasticidade.

Parâmetro	CJ 01	CJ 02	CJ 03
LL (%)	35	59,58	43,66
LP (%)	25	43,66	34,66
IP (%)	10	15,92	9
Classificação HRB	A4	A7-5	A5

Tabela 7. Resultados de índices de consistência e classificação dos solos – Cemitério de Jardim

No cemitério de interior, a amostra CI 01 obteve LL de 31,57% e LP de 24,94% com um IP de 6,63%, considerado de baixa plasticidade. A amostra CI 02 apresentou LL e LP de 41% e 26% respectivamente sendo o IP superior a 8,34% ao valor observado na amostra CI 01, considerado de média plasticidade. Os valores de LL e LP na amostra CI 03 nessa amostra foram de 28% e 22,54%, respectivamente, e o valor de IP foi de 5,46%, considerado de baixa plasticidade. Com base nos resultados as amostras apresentam um solo de baixa a média plasticidade.

Parâmetro	CI 01	CI 02	CI 03
LL (%)	31,57	41	28
LP (%)	24,94	26	22,54
IP (%)	6,63	15	5,46
Classificação HRB	A4	A7-6	A4

Tabela 8. Resultados de índices de consistência e classificação dos solos – Cemitério de Interior

Com a classificação do solo HRB, podemos classificar o solo presente em cada uma das amostras das áreas de atividade cemiteriais. No cemitério de jardim, as amostra CJ 01 e CJ 03 foram classificadas como A4 e A5 respectivamente, se caracterizando em direção a um solo de condição arenosa. A amostra CJ 02 foi classificada como A7-5, ou seja, um material mais argiloso em relação às duas amostras anteriores. No cemitério de interior, as amostras CI 01 e CI 03 obtiveram a mesma classificação, A4. A amostra CI 02 obteve uma classificação A7-6, que é considerada de um solo mais argiloso em relação às duas amostras anteriores.

Conclusões

O presente estudo com objetivo de analisar duas áreas de atividade cemiterial perante suas propriedades hidrogeológicas obteve conclusões importantes para o desenvolvimento de futuros estudos nesta temática na região Sul do Estado de Santa Catarina.

As áreas de estudo estão localizadas dentro da APP, Áreas de Preservação Permanente, exercendo uma atividade com alto potencial de contaminação ambiental.

Conforme a Resolução CONAMA nº 368, de 2006, art. 3º, §1º, é proibida a instalação de cemitérios em Áreas de Preservação Permanentes.

As áreas de atividade cemiterial não respeitam a distância mínima horizontal de 15 metros de residências, comércios e indústrias, conforme regulado no art.4º, requisito III, do Decreto Lei nº 30.570/1986 do Estado de Santa Catarina.

Os mananciais presentes nas áreas de estudo possuem alta-extrema vulnerabilidade, segundo o Método GOD.

A permeabilidade dos solos das duas áreas deste estudo está em desacordo com o CONAMA nº 368/2006 que regula a mesma para tais atividades entre 10^{-5} e 10^{-7} cm s^{-1} .

O tempo de transporte dos contaminantes no subsolo das áreas estudadas não é suficiente para assegurar a sanidade das águas subterrâneas da contaminação ambiental gerada por necrochorume.

Os teores de matéria orgânica encontrados no solo sugerem contaminação orgânica nas amostras ensaiadas com provável fonte a atividade cemiterial, necrochorume.

Os solos dos dois cemitérios foram classificados segundo a classificação HRB. Cada área de estudo apresentou dois pontos com condição arenosa e um ponto com condição argilosa. Solos classificados como arenosos não são indicados para abrigar áreas cemiteriais. Pacheco (2000) confirma o que foi observado neste estudo ao afirmar que a velocidade que um material infiltra e contamina um solo arenoso é muito maior do que em um solo argiloso, pois estes solos são ineficientes no processo de retenção de microorganismos.

Com base nos resultados e conclusões deste estudo é possível afirmar que há alta probabilidade de que os solos e mananciais subterrâneos das duas áreas de estudo estejam contaminados por necrochorume.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:2016 Errata 1: 2017: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 13969:1997: Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **NBR 7180:2016: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 7181:2018 Solo – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 13600:1996: Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C – Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

AUGE, MIGUEL. **Vulnerabilidad de Acuíferos Conceptos y Métodos.** Buenos Aires. 35p. 2004

BELLO, L.A.L.; NETO, S. F. S.; FILHO, W. M. S. **Avaliação do impacto ambiental pela implantação de um cemitério horizontal na região do Tapanã, Belém – Pará: Estudo geotécnico.** 1999. v. 2. p. 31-42. Belém. Pará.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 335 de 3 de abril de 2003.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=359>> Acesso em: 18/03/2018.

_____. **Resolução CONAMA nº 368 de 28 de março de 2006.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=488>> Acesso em: 15/11/2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina.** Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17996?show=full>> Acesso em: 17/10/2018.

CAUDURO, F. SILVA, C. R. D. **A atividade cemiterial no território brasileiro e o impacto aos recursos hídricos.** São Paulo, SP. 2018.

CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. **Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH.** 2010. v. 29. p. 401-411. UNESP, geociências. São Paulo.

DUTRA, L.A., SOUZA, M., BEM, B.P. **Análise de Ph, matéria orgânica e textura do solo, no cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages-SC.** Instituto Federal de Santa Catarina; Lages SC. 2015.

FLORIANI, G. K. **Teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, E Zn do solo do cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages – SC.** 2013. 57f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo – Área: Caracterização, Conservação e Uso dos Recursos Naturais) Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós – graduação em Manejo do Solo, Lages, 2013.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.** Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

GARCIA, D. M.; BASSINELLO, P.Z. **Treinamento em Boas Práticas para Manipuladores de Alimentos.** 2007. v. 202. 36f. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás.

LOBO FERREIRA, J. P. **Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal.** 1995.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo.** 2001. 172 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo.

PACHECO, A. **Cemitério e Meio Ambiente.** 2000. 105f. Tema livre de docência. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo/SP.

PETSCH, C.; MONTEIRO, J.B.; BUENO, M.B. **Cemitérios e a questão do planejamento territorial em pequenas bacias: o caso do córrego Sussuí – Engenheiro Beltrão – PR.** Revista Brasileira de Geografia Física. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232701/26709>> . Acesso em: 28/10/2018.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 3ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 30.570, de 14 de outubro de 1986.** Disponível em: <<http://leisestaduais.com.br/sc/decreto-n-30570-1986-santa-catarina-regulamenta-os-artigos-48-49-e-50-da-lei-n-6320-de-20-de-dezembro-de-1983-que-dispoem-sobre-cemiterios-e-afins#>> Acesso em: 19/03/2018.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10ª ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

TORMEN, A.F. ; TASSO, C.A. ; KORF, E.P. **Estudo da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios.** 2016. Persp. Online: exatas & eng. Campos dos Goytacazes. Disponível em: <https://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/view/902/836> Acesso em: 30/03/2018.

ÜÇISIK, A. S., e RUSHBROOK. P. **The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing.** 1998. 11f. Denmark: Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.