

POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO HÍDRICA POR NECROCHORUME NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN

Alana Ticiane Alves do Rêgo

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró – RN¹
alana_ticiane10@hotmail.com

Rafael Silva de Souza

Graduando em Geografia pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró – RN¹
rafael2100cruzada@hotmail.com

Natália de Oliveira Gomes

Graduanda em Geografia pela Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central, Campus Salgueiro – PE²
nataliaoliveira2@outlook.com

Filipe da Silva Peixoto

Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró – RN¹
fpeixoto1oufc@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho realizou uma discussão sobre os riscos de contaminação hídrica por necrochorume em dois cemitérios na cidade de Mossoró/RN. A princípio, efetuou-se um levantamento bibliográfico acerca da contaminação hídrica por necrochorume. Em seguida, foram realizadas visitas in loco para observação sistemática do controle sanitário nos cemitérios São Sebastião e Novo Tempo, bem como coleta de dados primários para quantificação de efluente gerado. Ademais, foi realizada, caracterização do ambiente hidrogeológico a partir dos perfis litológicos de poços situados nas áreas de estudo. Os resultados identificaram um estado de má conservação dos jazigos e gerenciamento inadequado de necrochorume em ambos os cemitérios. Verificou-se que os aquíferos analisados possuem natureza cárstica-fissural e nível freático entre 8,5 e 15 m, podendo representar risco de contaminação por 2.220 e 2.400 L/mês de necrochorume produzido nos cemitérios São Sebastião e Novo Tempo, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Vulnerabilidade aquífera; Poluição; Risco Ambiental; Água subterrânea; Hidrogeologia.

POTENTIAL OF WATER CONTAMINATION BY NECROLEACHATE IN THE CITY OF MOSSORÓ-RN

ABSTRACT: This study made a discussion groundwater risk contamination from necroleachate in two cemeteries in Mossoró City-RN/Brazil. At first, we made a bibliographic collection about hydric contamination for necroleachate. After, we realized visits in loco to sanitary control systematic observation on cemeteries São Sebastião e Novo Tempo, and data collection to quantify effluent generated. As of lithological profiles of wells situated in studies areas, the results showed a bad conservation of vaults and inadequate management of necroleachate in both cemeteries. In addition, hydrogeology of the areas is karstic-fissures and phreatic level is between 8,5 and 15 m, it can be representing risk of contamination for 2.220 and 2.400 L/month of necroleachate, generated in São Sebastião and Novo Tempo cemeteries, respectively.

KEYWORDS: Aquifer vulnerability; Pollution; Environmental risks; Groundwater; Hydrogeology.

¹ Endereço para correspondência: Campus Universitário Central, Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, km 48, Bairro Costa e Silva - Mossoró/RN | 59600-000

² Endereço para correspondência: R. Antônio Figueira Sampaio, 134 - Nossa Sra. de Gracas, Salgueiro - PE, 56000-000

POTENTIELLE CONTAMINATION DE L'EAU PAR LA NÉCROCHORUME DANS LA VILLE DE MOSSORÓ-RO

RÉSUMÉ : Le présent travail a réalisé une discussion sur les risques de contamination hydrique par cet effluent dans deux cimetières de la ville de Mossoró/RN. Une étude bibliographique sur la contamination de l'eau par la nécrochorume a d'abord été réalisée. Des visites sur place ont ensuite été effectuées pour l'observation systématique du contrôle sanitaire dans les cimetières Saint-Sébastien et Nouveau Temps, ainsi que la collecte de données primaires pour la quantification des effluents générés. À partir des profils lithologiques de puits situés dans les zones d'étude, les résultats ont mis en évidence un état de mauvaise conservation des gisements et une mauvaise gestion de la nécrochorume dans les deux cimetières. Les aquifères analysés ont un caractère karstique-fissural et un niveau phréatique compris entre 8,5 et 15 m, pouvant représenter un risque de contamination de 2200 et 2400 L/mois de nécrochorume produit dans les cimetières São Sebastião et Novo Tempo, respectivement.

MOTS CLÉS: Vulnérabilité aquatique. Pollution. Risque Environnemental. Eaux souterraines. Hydrogéologie.

Introdução

O processo de ocupação do espaço urbano acontece, especialmente, em decorrência da necessidade de sobrevivência e dos interesses econômicos em virtude dos recursos naturais concentrados no meio. Essa realidade remonta o período da revolução industrial, onde um grande contingente populacional deixava o campo em busca dos centros urbanos, envolvidos pelas possibilidades oferecidas, cenário que favoreceu a urbanização (MONTEIRO; VERAS, 2017). Essa apropriação do espaço através do processo de dominação, expansão e urbanização, teve e ainda tem como alicerce a utilização demasiada dos recursos naturais e pressão sobre os serviços ambientais transformando o meio para o atendimento das necessidades da sociedade (GRIGIO; SALLES; SILVA, 2013; SANTOS; SILVA; GADINO, 2016).

Frente ao cenário das intervenções humanas, a demanda por espaço tem provocado transformações e uso intensivos do solo, podendo dispor substâncias contaminantes com potencial de comprometer a qualidade ambiental. Dentre os usos, principalmente associados aos ambientes urbanos, está à disposição de cadáveres humanos em cemitérios. Devido às suas características físico-químicas e microbiológicas, a serem decompostos os cadáveres humanos geram um líquido denominado "necrochorume" que apresenta riscos potenciais aos compartimentos do meio ambiente, bem como à saúde pública (NGUYEN; NGUYEN, 2018; SILVA; SILVA; MELO, 2017).

Resultante do processo de decomposição de corpos, o necrochorume é considerado um lixiviado de aspecto viscoso, de cor acinzentada a acastanhada, com cheiro fétido e densidade de 1,23 g/cm³, é constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas degradáveis (SILVA, 1998). Diante de suas características, Rushbrook e Üçisik (1998) consideram de forma conceitual os cemitérios como aterros sanitários de tipos especiais, ao realizar uma analogia entre o lixiviado proveniente de aterros e de cemitérios gerados em decorrência da matéria orgânica e/ou inorgânica, em que ambos possuem propriedades de mobilidade e dispersão capazes de colocar em risco o meio ambiente e a saúde pública.

A ausência de gerenciamento e tratamento de efluentes patogênicos e gases tóxicos liberados durante o processo de decomposição dos cadáveres se revela preocupante. Além disso, disposições inadequadas dos corpos humanos proporcionam transporte de substâncias com cargas poluidoras elevadas que podem percolar o solo contribuindo de forma direta e/ou indireta para a alteração da qualidade dos recursos superficiais e subterrâneos, podendo propagar doenças de veiculação hídrica e representar uma ameaça potencial para os ecossistemas aquáticos (KEMERICH et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2013). Em função das implicações envolvidas, a relação entre cemitério e meio ambiente deve ser compreendida em função dos riscos associados, portanto, torna-se necessário viabilizar estratégias para prevenção e mitigação desses riscos.

Observa-se que a problemática resultante da vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos e de demais hidrossistemas nas imediações e abaixo dos cemitérios proporcionam riscos de contaminação das águas subterrâneas e superficiais pelo necrochorume, contudo, se faz necessário entender os mecanismos de funcionamento desses impactos, a relação desse contaminante com o meio hidrogeológico e os riscos associados.

O município de Mossoró, localizado no estado do Rio Grande do Norte, no nordeste do Brasil, contempla dois importantes cemitérios em funcionamento inseridos em sua zona urbana. Ambos os empreendimentos, apresentam densidade significativa de ocupação em suas adjacências, além de mananciais subterrâneos utilizados em sua maioria para abastecimento público da cidade. Nesse sentido, pretendeu-se realizar uma discussão sobre os riscos de contaminação hídrica por necrochorume dos cemitérios São Sebastião e Novo Tempo na cidade de Mossoró-RN.

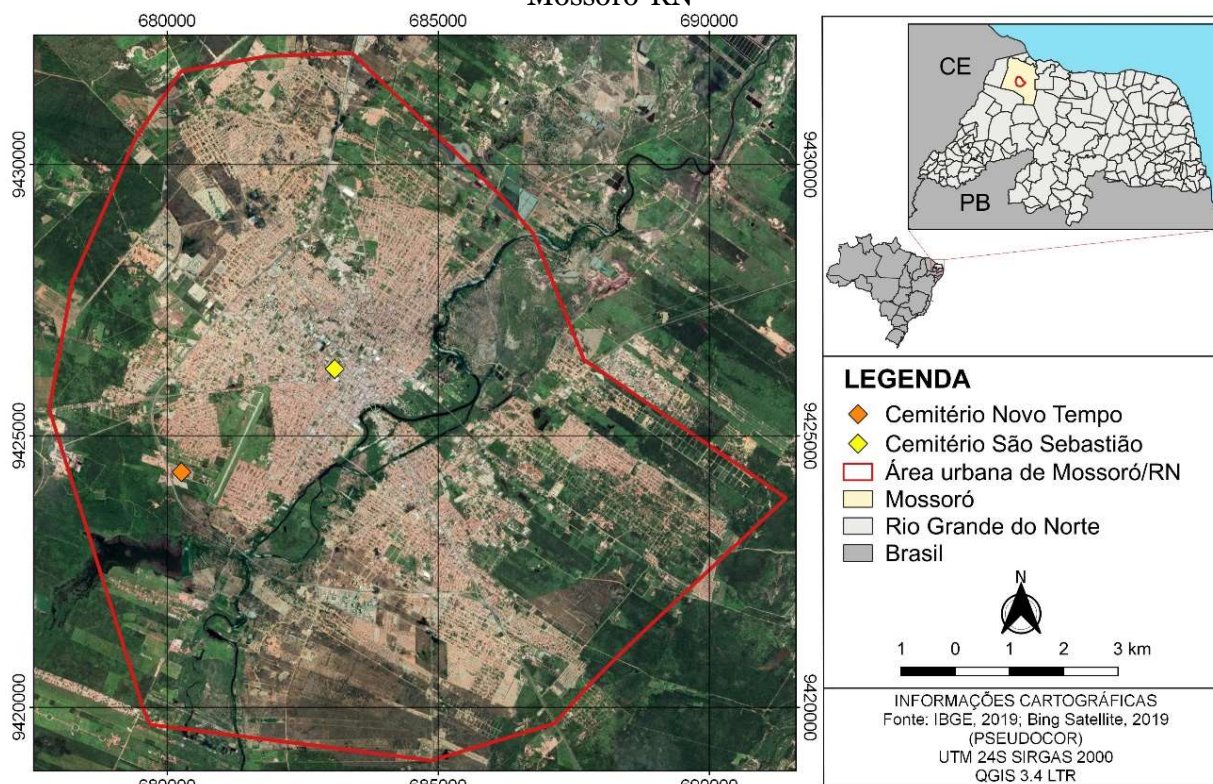
Metodologia

Caracterização da área de estudo

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o município de Mossoró está situado na mesorregião do Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte e cerca de 285 km de distância da capital Natal. Sua área territorial corresponde a 2.099,334 km², dos quais se encontra distribuídos 300.618 habitantes. Proporcionando, dessa forma, uma densidade populacional de 123 hab/km². O município apresenta um caráter majoritariamente rural e somente 114 km² fazem parte da porção urbana.

A área urbana da cidade possui dois importantes cemitérios públicos municipais, denominado Cemitério São Sebastião, situado nas coordenadas N 9426233 e E 683086, e Cemitério Novo Tempo nas coordenadas N 9424334 e E 680260 (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos Cemitérios São Sebastião e Novo Tempo na área urbana de Mossoró-RN



Mediante classificação climática de Köppen-Geiger, Mossoró-RN configura-se como BSw_h, ou seja, do tipo semiárido. O município apresenta temperatura média de 27,4°C, mínima de 21,0°C e máxima de 36,0°C. Quanto as médias pluviométricas anuais, a área de estudo em questão possui 695,8 mm de precipitações, que compreendem o período entre fevereiro a abril como os de maiores concentrações (IDEMA, 2008).

A sua composição geológica constitui-se em maior totalidade pela Formação Jandaíra, seguido da cobertura de idade plio-pleistocência formada por níveis silto-areno-argilosos da Formação Barreiras e por Depósitos Aluvionares (CPRM, 2014).

Os recursos hídricos dividem-se pelo domínio das águas superficiais formado pelo rio Apodi-Mossoró, e das águas subterrâneas, representadas pelo Sistema Aquífero Apodi – SAA, formado pelo domínio do intersticial e cárstico-fissural. O domínio intersticial é formado por rochas sedimentares das Aluviões e Formação Barreiras, que funciona como aquífero de transferência, e o domínio cárstico-fissural, formado por calcário da Formação Jandaíra (CPRM, 2005). O aquífero Jandaíra é classificado como aquífero livre, heterogêneo, anisotrópico e de circulação cárstica, contudo possui condições de carstificação e qualidade da água variáveis (VASCONCELOS; TEIXEIRA; ALVES NETO, 2010). As maiores vazões estão associadas a porosidade secundária sobre influência das juntas de alívio de pressão e de lineamentos e fraturas nos sentidos NE - SW e NW - SE (ANA, 2005). As características hidrodinâmicas de extrema anisotropia representam grande dificuldade de modelagem hidrogeológica e previsão de fluxos, que se dão por meios aberturas de dissolução interconectadas, o que dota esse aquífero de acentuada vulnerabilidade, pois contaminantes dispostos em superfície ou subsuperfície possuem potencial de percolação, podendo atingir as águas mais profundas desse aquífero.

O Sistema Aquífero Apodi (SAA) é ainda formado por uma camada confinante denominada de Aquitardo Quebradas com espessura em torno de 300 m, o que além de promover artesianismos exerce uma importante proteção contra contaminantes descendentes. O aquífero Açú é o mais utilizado para abastecimento urbano, tendo em vista sua ótima produtividade e qualidade da água, sendo, contudo, os aquíferos Barreiras e Jandaíra são os mais intrinsecamente vulneráveis.

Potencial de contaminação hídrica por influência de necrochorume

Para identificação e discussão da problemática da contaminação hídrica por necrochorume, foi realizado um levantamento bibliográfico, limitando a busca por publicações até dezembro/2020, disponíveis em periódicos vinculados em três bases de dados do campo multidisciplinar *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*. Para a seleção de campos de busca específicos foi utilizada a mesma estratégia de pesquisa em ambas as bases de dados pesquisadas, realizada na língua inglesa: *cemetery AND contamination AND water*. Destaca-se que os descritores e as expressões *booleanas* utilizadas foram adotados com o intuito de se obter o maior número e qualidade das publicações.

Para quantificar o necrochorume gerado nos cemitérios analisados leva-se em consideração a quantidade de sepultamentos, peso estimado dos corpos sepultados (em função do sexo e idade) e a quantidade estimada de 30 a 40 litros de necrochorume liberado de forma intermitente equivalente para uma massa corpórea de 70 kg (SILVA, 1998). Para o cálculo estimado em um recorte temporal de um mês, do dia 01/01/2021 a 31/01/2021, aplicou-se a Equação 1. O período em destaque considerou os dados cedidos pela administração dos dois empreendimentos.

$$\text{Quantidade de necrochorume (L)} = \text{NS} \times 30 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde,
L: Litros;
NS: Número de sepultamentos;

Para o cálculo de densidade de necrochorume produzido no mês, ou seja, a distribuição de líquido gerado em uma determinada área foi obtido através da divisão entre a quantidade de necrochorume (L) pela área territorial de cada cemitério (m²).

Outros procedimentos de primeira instância foram utilizados como: visitas *in loco* nos cemitérios em outubro e novembro/2020 para observação sistemática e registros fotográficos, assim como consultas na Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos para obtenção de dados pertinentes às características físicas e quantidade de óbitos no objeto de estudo.

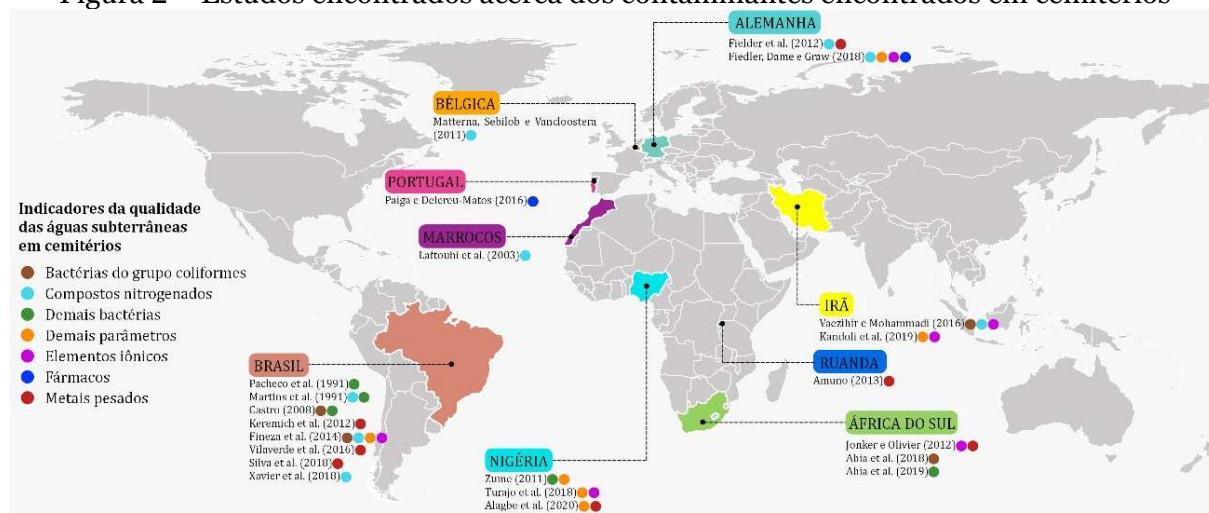
Considerando as características geoambientais da área, a investigação acerca do potencial contaminante do necrochorume certamente envolve o ambiente subsuperficial como meio mais susceptível, e com isso as águas subterrâneas que estão sob e nas imediações dos cemitérios estudados. Assim, prosseguiu-se com a identificação dos ambientes hidrogeológicos através de perfis litológicos de poços localizados próximos aos cemitérios. Esses perfis foram levantados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), desenvolvido e alimentado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Foram assim caracterizados dois perfis: o primeiro relativo ao poço de código 2600001459, com coordenadas N 9426061 e E 683189, próximo ao cemitério São Sebastião e do poço código 2600001399, com coordenadas N 9423148 e E 681334, próximo ao cemitério Novo Tempo. Ambos os perfis proporcionaram análise pontual acerca da vulnerabilidade aquífera, permitindo mensurar o potencial de contaminação das águas subterrâneas locais pelo necrochorume produzido.

Resultados e discussão

Principais contaminantes e riscos potenciais

Recorreu-se a literatura especializada para investigar os principais riscos potenciais provenientes da disposição de cadáveres, em decorrência da falta de acesso de dados sobre a qualidade da água em aquíferos na área urbana de Mossoró-RN e informações insuficientes que evidenciam a presença de contaminantes do entorno dos objetos de estudo. Portanto, em uma análise dessas atividades antrópicas como fontes potenciais capazes de gerar uma carga contaminante no meio, é relevante conhecer os principais indicadores de contaminação e de alteração da qualidade das águas subterrâneas (Figura 2).

Figura 2 – Estudos encontrados acerca dos contaminantes encontrados em cemitérios



Legenda: compostos nitrogenados (N, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₃, NH₄⁺ e N-NH₃); bactérias do grupo coliformes (totais e termotolerantes); demais bactérias indicadoras de contaminação das águas (estreptococos fecais, clostrídios sulfito redutores e outras colônias microbianas); metais pesados (Ar, Ba, Cd, Co, Cr, Pb, Ni, Ti, V, Zn); elementos iônicos (Ca, F, Mg, SO₄²⁻, PO₄ e outros); demais parâmetros (pH, CE, STD, DQO, e compostos fenólicos).

Fonte: os autores (2021).

Os estudos destacam o necrochorume como resultado do processo de decomposição de cadáveres, substâncias utilizadas em práticas de embalsamento e materiais provenientes de adereços de caixões e práticas funerárias. Conforme Silva (1998), este líquido é caracterizado por elevados valores de condutividade elétrica - CE, potencial hidrogeniônico - pH, demanda biológica de oxigênio - DBO e grau diversificado de patogenicidade decorrentes de microrganismos que podem poluir substratos, águas superficiais e subterrâneas. Para além dos elementos supracitados, a presença de substâncias inorgânicas soma-se aos fatores que contribuem a contaminação do meio.

Compostos nitrogenados foram os elementos mais recorrentes nas pesquisas relacionadas à contaminação hídrica proveniente de atividades cemiteriais. Esses compostos provêm do processo de decomposição dos resíduos orgânicos a partir da relação entre as formas de nitrogênio e também são sugestivos de contaminação química das águas (XAVIER et al., 2018). Ademias, Para Laftouhi et al. (2003), há uma maior preocupação para a população diante de aquíferos de natureza cárstica e a provável existência de plumas de contaminação desses compostos.

Embora tenham sido encontrados poucos estudos identificados nas bases de dados consultadas, vale ressaltar que os produtos farmacêuticos têm sido alvo de pesquisas recentes em decorrência da crescente atenção pública e preocupação de contaminação no meio ambiente. Estudos realizados por Dame, Fiedler e Graw (2018) e Matos e Paiga (2016), têm destacado nas amostras de água examinadas concentrações elevadas de fármacos ativos como vestígios de ibuprofeno, carbamazepina, fluoxetina, cetoprofeno e outras drogas psiquiátricas. Ambos os pesquisadores afirmam que concentrações elevadas destes medicamentos apresentam um alto risco para a saúde humana e a sua persistência no meio ambiente contribui de forma significativa para a poluição ambiental.

Ainda que esses indicadores físico-químicos e biológicos estejam associados a outras atividades antrópicas que podem contribuir para o aumento da degradação de ambientes hidrogeológicos, é válido evidenciar que a presença destes acima dos níveis aceitáveis para o uso da água subterrânea em áreas próximas de sepultamentos com condições inadequadas sugerem uma elevada influência associada a geração de necrochorume.

Algumas medidas preventivas são apontadas, como a instalação em locais cuja configuração da propriedade hidrogeológica e hidrodinâmicas, as condições do relevo, bem como a profundidade do lençol freático e sua flutuação sejam adequadas, para reduzir os riscos ambientais e para a saúde pública (BRYNDAL; ZYCHOWSKI, 2015).

Cemitérios em Mossoró e a problemática ambiental

O cemitério São Sebastião (Figura 3a) é considerado o empreendimento de sepultamento mais antigo do município de Mossoró. De acordo com Felipe Lacerda (2001), o ano de 1885 é o marco oficial da sua inauguração. No decorrer do tempo, o mesmo passou por um conjunto de transformações, sobretudo na sua dimensão territorial, hoje, apresenta uma área de 40.659 m². Embora sua área tenha passado por alterações ao longo dos anos, sobretudo na sua infraestrutura, o mesmo encontra-se situado em adensamento urbano da área central da cidade, especificamente no bairro Doze Anos.

Localizado às margens da BR-304 está a necrópole Novo Tempo (Figura 3b). Em funcionamento desde 1993, conta com uma área de 71.729 m², representando maior capacidade para enterros quando comparado ao São Sebastião. No ano de 2020, por meio do decreto n° 5669/2020 (MOSSORÓ, 2020), foi requisitado uma porção de 20.000 m², para ser destinada sua expansão, direcionando o novo espaço, prioritariamente, para o sepultamento das vítimas ou suspeitos de falecimento pela COVID-19.

Figura 3: a) Vistas externa e interna do Cemitério São Sebastião, Mossoró-RN. b) Vistas externa e interna do Cemitério Novo Tempo, Mossoró-RN



Fonte: os autores (2020).

Quanto a forma de organização dos túmulos, ambos apresentam uma disposição em lotes, quadras e setores, o que contribui para uma melhor orientação dos visitantes. No que se refere ao ordenamento dos túmulos, essencialmente, quanto a profundidade, o mesmo varia entre 1,30 m à 2,70 m. No entanto, no São Sebastião é possível encontrar alguns jazigos com gavetas acomodadas acima da superfície do solo (Figura 4).

Figura 4: Disposição dos cadáveres humanos dispostos em gavetas no Cemitério São Sebastião



Fonte: os autores (2020).

Na Resolução nº 335/2003 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios, não há restrição quanto a disposição de

cadáveres dispostos em gavetas. No entanto, essa configuração dos túmulos torna mais acessível à visualização do extravasamento de necrochorume. Somado a essa informação, verifica-se que a conformidade quanto a profundidade dos túmulos tem sido atendida no cemitério São Sebastião, dado que na Resolução nº 368/2006, revisão legislativa quanto à anterior, propõe em seu Art. 5º que o nível inferior das sepulturas deve estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático.

Os cemitérios são administrados pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos, sob as ordens da Prefeitura Municipal de Mossoró. A mesma é responsável pela manutenção, limpeza, bem como a escavação das covas destinadas para o sepultamento dos falecidos. No entanto, embora o empreendimento esteja sob a direção do poder público local, mediante ao levantamento de dados *in loco*, foi possível verificar a presença de trabalhadores informais que não são vinculados à secretaria, mas são contratos pelos familiares dos sepultados e que ajudam na pintura, limpeza e recuperação dos túmulos.

A aplicação de normas para regulação desses espaços torna-se de suma importância. Para tanto, o município, através do seu Código de Obras aprovada pela lei complementar nº 47, de 16 dezembro de 2010 (MOSSORÓ, 2010), em seu capítulo IX a partir do art. 199 ao 215 discorre sobre o processo de licenciamento ambiental, enquanto no capítulo X, essencialmente, entre os art.116 ao 256, refere-se ao processo de fiscalização dos ambientes cemiteriais. Mediante a legislação vigente, torna-se possível manter os cemitérios em funcionamento sem prejuízo a esfera socioambiental.

Embora a área de estudo esteja sob a tutela da legislação vigente, através de visita *in loco* foi possível identificar um estado de má conservação dos jazigos nos cemitérios (Figura 5a), que favorece, conforme Martim et al. (2016) para o afloramento de necrochorume, como pode ser constatado em túmulos do Cemitério São Sebastião (Figura 5b).

Figura 5 – a) Estado inadequado dos túmulos nos Cemitérios São Sebastião (à esquerda) e Novo Tempo (à direita). b) Extravasamento de necrochorume em túmulos no Cemitério São Sebastião



Fonte: os autores (2020).

O volume e a falta de controle do necrochorume produzido são os principais fatores para tornar essa substância um potencial contaminante. Para mensurar o quantitativo do líquido produzido durante 30 dias, adotou-se a metodologia desenvolvida por Silva (1998), conforme indica na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações sobre os cemitérios de estudo e volume de necrochorume gerado.

Cemitério	Anos de atividade (até 31/dez/2020)	Área (m ²)	Quantidade de óbitos (01/01/2021 – 31/01/2021)	Volume de necrochorume produzido no mês (L)	Densidade de necrochorume produzido no mês (L/m ²)
Cemitério São Sebastião	136	40.659	74	2.220	0,0546
Cemitério Novo Tempo	28	71.729	80	2.400	0,0335

Fonte: os autores (2021).

O quantitativo estimado de necrochorume gerado nos cemitérios entre as datas de 01/01/2021 a 31/01/2021, para uma totalidade de 154 óbitos, foi de 4.620 litros. Considerando esse valor, que mesmo representado por um período reduzido, é possível perceber que o volume de líquido contaminante presente é representativo, especialmente quando considerado o tempo de funcionamento de ambos os empreendimentos. Quanto a isso, segundo Turajo et al. (2019), a maior densidade de sepultamentos temporalmente representa uma ameaça significativa à qualidade da água subterrânea.

O cemitério São Sebastião corresponde ao empreendimento que obtém maior densidade de necrochorume produzido, que equivale a 61,36% a mais que o cemitério Novo Tempo. O que contribui para isso é a sua dimensão territorial limitada, ao passo que por estar localizada em um adensamento urbano não oferece capacidade para expansão. Somado a isso, a densidade demográfica de corpos sepultados cotidianamente colabora para o aumento desse quantitativo. Por outro lado, o cemitério Novo Tempo possui capacidade de expansão, o que evidencia uma menor densidade de necrochorume.

Risco de contaminação das águas subterrâneas

O principal risco com relação à problemática do necrochorume produzidos nos cemitérios é a possível contaminação de mananciais hídricos, sobretudo das águas subterrâneas. A infiltração natural da água da chuva que potencializa muitas vezes a percolação de contaminantes dispostos em subsuperfície, como constataram Peixoto, Cavalcante e Gomes (2020), ao analisarem o efeito da sazonalidade pluviométrica na contaminação da água subterrânea por fossas sépticas na cidade de Fortaleza-CE.

Os dois cemitérios em questão se encontram em unidades hidrogeológicas com potencialidade aquífera importante para o contexto regional e local. No entanto, os aquíferos mais vulneráveis do ponto de vista do risco da contaminação de suas águas, são aqueles que possuem nível freático próximo à superfície, e cujas propriedades hidrodinâmicas permitem o movimento descendente da água (FOSTER et al., 2007; LINHARES et al., 2014). Desse modo, apesar da complexa hidrogeologia regional na área de estudo, é evidente que os aquíferos Barreiras e Jandaíra são os mais vulneráveis, contudo o Barreiras, de acordo com Lima et al. (2006), possui a função de aquífero de transferência, capitando água da chuva e transferindo-a para níveis mais profundos onde se encontra o aquífero Jandaíra, sendo, portanto, este, o principal alvo de potenciais contaminantes.

O aquífero Jandaíra é constituído de calcarenitos bioclasticos e calcilitos da formação homônima, formando um sistema hidrogeológico cárstico-fissural, com circulação de água por zonas de dissolução que formam expressivos carstes em superfície ou no subterrâneo. Mistretta (1984, p. 45) comenta que “diaclases, carstificação em superfície (exocarstes) e orientação do relevo, são fatores importantes para entender a hidrogeologia do Jandaíra, que se comporta como aquífero livre, cujo nível estático está intimamente relacionado ao relevo”.

Segundo Doerfliger et al. (1990), aquíferos cársticos podem representar meio muito vulneráveis a contaminação, sobretudo pela elevada anisotropia de suas propriedades hidrodinâmicas, cujos fluxos representativos ocorrem por meio de fraturas alargadas por processos de dissolução da calcita. Assim, se o contaminante potencial adentra nesses endocastes há grande possibilidade de contaminação. Não por acaso, o próprio aquífero Jandaíra já se encontra muito contaminado, com concentrações de nitrato acima do permitido em mais de 80% de seus poços no setor oeste da bacia potiguar (MANOEL FILHO et al., 2010).

Dois poços localizados próximos aos cemitérios, apresentam um perfil litológico que demonstra o comportamento não confinado desse aquífero:

- Próximo ao cemitério São Sebastião, na área central da cidade, a litologia apresenta uma camada majoritariamente argilosa de 19 m de profundidade, provavelmente correspondendo ao Barreiras, antes de alcançar o aquífero Jandaíra. Apesar disso, não há característica de confinamento, com o nível estático de 15 metros e nível dinâmico de 20 metros. Particularmente, a camada de predominância argilosa pode desenvolver resistência a entrada de contaminantes, contudo, o nível freático se encontra próximo à superfície, oferecendo risco de contaminantes advindos do necrochorume;
- Nas proximidades do cemitério Novo Tempo, no setor sul da cidade, o nível freático de 8,5 m, somada a inexistência da Formação Barreiras sobreposta, provavelmente, torna este setor do aquífero Jandaíra mais vulnerável. Contudo, a variação litoestatigráfica marcante entre calcilitos e calcários pode dificultar a percolação de contaminantes. Entretanto, diante da própria natureza do aquífero cárstico, a existência de aberturas de dissolução próximo à superfície pode ser suficiente para promover o contato entre contaminantes e água subterrânea.

Ambos os aquíferos possuem condições hidrogeológicas vulneráveis a contaminação de quaisquer naturezas, contudo, o aquífero sob o cemitério São Sebastião, por possuir uma camada que provavelmente é correlata à textura mais argilosa do Barreiras, adquire mais proteção a contaminantes advindos da superfície. Por outro lado, sob o cemitério Novo Tempo, o aquífero Jandaíra aflora diretamente na superfície, além disso, o nível freático se encontra a 8,5 metros, muito inferior ao nível freático na área do cemitério São Sebastião. Considerando a natureza cárstico-fissural de ambos os aquíferos, a existência de cobertura limítrofe superior e profundidade do nível estático são as duas variáveis mais importantes para comparar os níveis de vulnerabilidade intrínseca.

Comparativamente ao necrochorume mensal produzido, o cemitério Novo Tempo produz um pouco mais de volume, mas a densidade expressa em L/m² é bem maior no cemitério São Sebastião (Tabela 1). Entretanto, o risco de contaminação por necrochorume é maior sob o cemitério Novo Tempo devido ao aquífero intrinsecamente mais vulnerável.

Considerações finais

O cemitério São Sebastião foi fundado há 136 anos, ao lado de residências, que hoje ocupam toda região circunvizinha. O cemitério Novo Tempo, por outro lado, situado no sul da cidade, está em uma área de plena expansão imobiliária, mas notadamente mais rarefeita. Os achados do estudo mostraram haver evidências de falta de controle adequado do necrochorume produzido em ambos os cemitérios, gerado a partir do sepultamento de

cadáveres, fontes de poluição decorrentes da liberação de substâncias orgânicas, inorgânicas e potencialmente contaminantes das águas subterrâneas.

Conforme a literatura, os principais contaminantes liberados por corpos em decomposição nos ambientes cemiteriais, encontram-se grupos de bactérias, compostos nitrogenados, elementos iônicos, fármacos e metais pesados. A efetiva contaminação das águas subterrâneas depende das condições de vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos sob os cemitérios.

Os aquíferos de ambos os cemitérios são vulneráveis por se tratarem de sistemas hidrogeológicos cársticos fissurais, contudo, o cemitério Novo Tempo apresenta o afloramento do aquífero Jandaíra e nível freático mais raso, em torno de 8,5 m, enquanto o aquífero Jandaíra, sob o cemitério São Sebastião está sotoposto a uma camada da Formação Barreiras com matriz predominantemente argilosa com espessura de 20 m, e apresenta nível freático em torno de 15 m. Os altos volumes de necrochorume produzidos colocam ambas as áreas em risco de contaminação, no entanto, o cemitério Novo Tempo oferece maior risco pela condição de maior vulnerabilidade do aquífero na sua área de operação.

Considerando um panorama da ameaça potencial que os cemitérios podem representar, tornam-se indispensáveis investigações acerca do monitoramento de parâmetros da qualidade e nível estático das águas subterrâneas de poços próximos aos cemitérios investigados. Além disso, por se tratar de uma área urbana, eventuais medidas mitigadoras devem ser tomadas, portanto, aponta-se como possibilidade a implantação de cemitérios verticais, visto que o cenário atual já indica a incapacidade para abrigar novos cadáveres, sobretudo o cemitério São Sebastião, além do controle sanitário mais adequado do necrochorume produzido. Isto posto, é essencial que os cemitérios sejam integrados no debate de um planejamento urbano adequado e tornem-se de conhecimento dos atores sociais potencialmente afetados pelo risco de contaminação.

Em síntese, as informações produzidas nesse estudo são capazes de subsidiar pesquisas mais aplicadas às áreas investigadas, e políticas públicas voltadas para o controle do risco de contaminação, melhorando a qualidade de vida da população que depende dos recursos hídricos alocados em regiões próximas aos cemitérios.

Agradecimentos

À Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos, pelo fornecimento dos dados referente aos empreendimentos cemiteriais, bem como a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) pelas informações hidrogeológicas presentes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

Referências

ABIA, A. L. K.; ALISOLTANI, A.; UBAMBA JASWA, E.; DIPPENAAR, M. A. **Microbial Life Beyond the Grave: 16S rNHA Gene-Based Metagenomic Analysis of Bacteria Diversity and Their Functional Profiles in Cemetery Environments.** *Science of The Total Environment*, v. 655, p. 831-841, 2019.

ABIA, A. L. K.; JASWA, E. U.; SCHMIDT, C.; DIPPENAAR. **Where Did They come from—Multi-Drug Resistant Pathogenic Escherichia Coli In a Cemetery Environment?.** *Antibiotics*, v. 7, p. 01-14, 2018.

AMUNO, S. A. **Potential Ecological Risk of Heavy Metal Distribution in Cemetery soils.** *Water, air, & soil pollution*, v. 224, p. 1-12, 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. 2005.** Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Volume-V-Modelo-de-Gest%c3%a0.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

ÁVILA, M. B. **Direitos sexuais e reprodutivos:** desafios para as políticas de saúde. Cad. Saúde Pública, v. 19, p. 465-469, 2003.

CASTRO, D. L. **Caracterização Geofísica e Hidrológica do Cemitério Bom Jardim, Fortaleza – CE.** Revista Brasileira de Geofísica. v.29, p. 251-272, 2008.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Mossoró.** 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17785/mossoro_nota.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso: 13 fev. 2021.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte.** 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17028/rel_mossoro.pdf?sequence=1>. Acesso: Fevereiro 13, 2021.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio-ambiente. **Resolução CONAMA n° 335, de 28 de maio de 2003.** Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Diário Oficial, Brasília, 28 de maio de 2003.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio-ambiente. **Resolução CONAMA n° 368, de 28 de março de 2006.** Altera dispositivos da Resolução N° 335, de 28 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Diário Oficial, Brasília, 29 de março de 2006.

DOERFLIGER, N.; JEANNIN, P. Y. ZWAHLEN, F. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). **Environmental Geology**, v. 39, p. 165–176, 1990.

FELIPE, J. L. A. **A (re)invenção do lugar:** os Rosados e o "Pais de Mossoró". 1. Ed. Grafset: João Pessoa, 2001.

FIEDLER, S.; BREUER, J.; PUSCH, C. M.; HOLLEY, S.; WAHL, J.; INGWERSEN, J.; GRAW M. **Graveyards – Special Landfills.** Science of the Total Environment, v. 419, p. 90-97, 2012.

FIEDLER, S.; DAME, T.; GRAW, M. **Do cemeteries emit drugs? A Case Study from Southern Germany.** Environmental Science and Pollution Research, v. 25, p. 5393-5400, 2018.

FINEZA, A. G.; MARQUES, E. A. G.; BASTOS, R. K. X.; BETIM, L. S. **Impacts on the Groundwater Quality Within a Cemetery Area in Southeast Brazil.** Soils and Rocks, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 161-169, 2014.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater: Quality protection.** Washington Dc: The World Bank, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2020. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso: 20 nov. 2020.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município**. 10. ed. Mossoró, 2008. 21p.

JOKER, C.; OLIVIER, J. **Mineral Contamination from Cemetery Soils**: Case Study of Zandfontein Cemetery, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. v. 9, p. 511-520, 2012.

KANDOLI, S. J.; ALIDADI, H.; NAJAFPOOR, A. A.; MERHABPOUR M.; HOSSEINZADEH, A.; MOMENI, F. **Assessment of Cemetery Effects on Groundwater Quality Using GIS**. *Desalination and Water Treatment*, v. 168, p. 235-242, 2019.

KEMERICH, P. D. C. A.; BIANCHINI, D. C.; FANK, J. K.; BORDA, W. F.; WEBER, D. P.; UCKER, F. E. **A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil**. *Revista Monografias Ambientais – REMOA*, v. 13, p. 3777-3785, 2014.

KEMERICH, P. D. C.; BORDA, W. F.; SILVA, R. F.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B. **Valores Anômalos de Metais Pesados em Solo de Cemitério**. *Revista Ambiente & Água*. v. 7, p. 140-156, 2012.

LAFTOUHI, N. E.; VASCLOOSTER, M.; JALA, M.; WITAM, O.; ABOUFIRASSI, M.; BAHIR, M.; PERSOONS, É. **Groundwater nitrate pollution in the Essaouira Basin (Morocco)**. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 335, p. 307-317, 2003.

LIMA, E. A. et al. Mapeamento hidrogeológico das folhas sb.24-x-b / -x-d - Areia branca / Mossoró. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006. p. 1-13.

LINHARES, F. M., et al., Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame (PB). *Soc. & Nat.*, Uberlândia, v. 26 n. 1, p. 139-157, 2014.

MANOEL FILHO, J. et al. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará**. Vol. III – Hidrogeologia. Agência nacional de águas - ANA. Programa nacional de desenvolvimento dos recursos hídricos. Acordo de Empréstimo N° 7420-BR, Banco Mundial, 2010.

MARTIM, A. G.; ANGELIS, B. L. D.; ANGELIS NETO, G.; SILVA, F. F. **Geologic and geotechnic analysis of the Mandaguari municipality cemetery, State of Parana**. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*, v. 21, p. 136-147, 2016.

MATTERN, S.; SEBILO, M.; VANCLOOSTER, M. **Identification of the Nitrate Contamination Sources of the Brusselian Sands Groundwater Body (Belgium) Using a Dual-Isotope Approach**. *Isotopes in environmental and health studies*, v. 47, p. 297-315, 2011.

MISTRETTA, G. **Monografia do aquífero Jandaíra da Bacia Potiguar**. 1984, p.226. Tese (Mestrado em Geologia Geral e aplicada) - Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. São Paulo, 1984.

MONTEIRO, A. R.; VERAS, A. T. R. **A questão habitacional no Brasil**. Mercator, v. 16, p. 1-13, 2017.

MOSSORÓ. Decreto nº 5669, de 30 de abril de 2020. **Dispõe sobre a requisição de bem imóvel que menciona, em favor do Município de Mossoró, com destinação de uso para ampliação do Cemitério Novo Tempo**. Disponível em: <<https://www.prefeiturademossoro.com.br/wp-content/uploads/2020/05/5669-DECRETO-Requisi%C3%A7%C3%A3o-Bem-Im%C3%B3vel-Cemit%C3%A9rio.pdf>>. Acesso: 30 abril. 2020.

MOSSORÓ. Lei. 47, de 16 de dezembro de 2010. **Dispõe sobre o código de obras, posturas e edificações do município de Mossoró**. Leis Municipais. Mossoró, RN, 01 jan. 2011. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-mossoro-rn>>. Acesso: 13 fev. 2021.

NGUYEN, T.; NGUYEN, L. **Groundwater pollution by longstanding cemetery and solutions for urban cemetery planning in Ho Chi Minh City-From reality to solutions**. MATEC Web Conf., v. 193, p. 1-11, 2018.

OLIVEIRA, B. **Burial grounds' impact on groundwater and public health: an overview**. Water Environ, v. 27, p. 99-106, 2013.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; MARTINS, T.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A. A. **Cemeteries- A Potential Risk to Groundwater**. Water science and technology, v. 24, p. 97-104, 1991.

PAÍGA, P.; DELERUE-MATOS, C. **Determination of Pharmaceuticals in Groundwater Collected in Five Cemeteries' Areas (Portugal)**. Science of the Total Environment, v. 569, p. 16-22, 2016.

PEIXOTO, F. S.; CAVALCANTE, I.N.; GOMES, D.F. Influence of Land Use and Sanitation Issues on Water Quality of an Urban Aquifer. **Water Resour Manage**, v. 34, p. 653-674, 2020.

SALLES, M. C. T.; GRIGIO, A. M.; SILVA, M. R. F. **Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN - Brasil**. Soc. & Nat., v. 25, p. 281-290, 2013.

SILVA, K. T.; SILVA, C. O.; MELO, A. M. M. **Reorganização do espaço urbano: a localização do espaço da morte em São José Da Laje – Alagoas**. Revista Geográfica Acadêmica, v.11, p. 47-63, 2017.

SILVA, L. M. **Cemitérios: Fonte Potencial de Contaminação dos Aquíferos Livres**. In: Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterrânea, 4, Montevideo. **Anais...** Montevideo: ALHSUD, 1998, p. 667-681.

SILVA, L.; PRIEBE E SILVA, M.; LEÃO, B. M.; FIGUEIREDO, A. S. KEMERICH, P. D. C.; FERNANDES, G. D.; SILVÉIRO DA SILVA, J. L. **Índices Físicos do Solo e Alterações Químicas Decorrentes da Ocupação por Necrópoles em Caçapava do Sul-Rio Grande do Sul**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, p. 328-342, 2018.

SILVA, R. F.; SANTOS, V. A.; GALDINO, S. M. G. **Análise dos impactos ambientais da**

Urbanização sobre os recursos hídricos na sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG. Caderno de Geografia, v.26, p. 966 - 976, 2016.

TURAJO, K.A.; ABUBAKAR, B. S. U. I.; DAMMO, M. N.; SANGODOYIN, A. Y. **Burial practice and its effect on groundwater pollution in Maiduguri, Nigeria.** Environmental Science and Pollution Research, v. 26, p. 23372–23385, 2019.

ÜÇISIK, A.S.; RUSHBROOK, P. **The impact of cemeteries on the environment and public health, an introductory briefing.** Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, p. 15. 1998.

VAEZIHIR, A.; MOHAMMADI, S. **Groundwater Contamination Sourced from the Main Cemetery of Tabriz, Iran.** Environmental Forensics, v. 17, p. 172-182, 2016.

VASCONCELOS, S. M. S.; TEIXEIRA, Z. A.; ALVES NETO, J. **Caracterização do aquífero Jandaira, porção situada no Estado do Ceará, Brasil.** Revista de Geologia, v. 23, n. 1, p. 50-60, 2010.

VILAVERDE GOMES, B. C.; KUMMER, G.; MONTEIRO PEREIRA, M. M. S.; HÉCIO, J. I. F.; SALAZAR, R. F. S.; VASCONCELLOS, N. J. S. **Potencial Toxicológico de Metais Presentes em Solos de Cemitérios de Santa Maria – RS.** Revista Ambiente & Água. v. 11, p. 145-155, 2016.

XAVIER, F.V.; MALAGUTTI FILHO, W.; SILVA, R. W. C.; MOREIRA, C. A. **Emprego da Sondagem Elétrica Vertical Integrada às Análises Químicas e Microbiológicas no Diagnóstico Preliminar da Contaminação do Solo e da Água Subterrânea no Cemitério Municipal da Cidade de Rio Claro (SP).** Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 23, p. 333-244, 2018.

ZUME, J. T. **Assessing the potential risks of burial practices on groundwater quality in rural north-central Nigeria.** Journal of water and health, v. 9, p. 609-616, 2011.

ZYCHOWSKI, J; BRYNDAL, T. **Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses - a review.** Journal of Water and Health, v. 13, p. 285-301, 2015.

Recebido em: 22/02/2021.

Aprovado para publicação em: 28/06/2021.