

Análise do impacto ambiental na qualidade da água subterrânea de cemitérios – Caso do cemitério municipal localizado no município de Recife, Pernambuco – Brasil

Analysis of the Environmental Impact on the Groundwater Quality of Cemeteries – Case of the Municipal Cemetery Located in Recife, Pernambuco – Brazil

Maria Rayanne Oliveira de Araújo Gonçalves¹; Rejane Nascentes²; Silvio Romero de Melo Ferreira³; Caroline Miranda Biondi⁴

- ¹ Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: maria.goncalves4@ufv.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4921-693X>
- ² Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: rejane.nascentes@ufv.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6992-2551>
- ³ Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Recife/PE, Brasil. Email: silvio.mferreira@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5760-1494>
- ⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo/Departamento de Agronomia, Recife/PE, Brasil. Email: caroline.biondi@ufrpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7420-8133>

Resumo: Entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, está a busca pelo acesso universal a água de qualidade até o ano de 2030. O ODS 6, visa assegurar disponibilidade e gestão sustentável da água. De acordo com o último relatório de evolução dos ODS publicado pela ONU (2023), 2,2 bilhões de pessoas continuam sem acesso à água potável, sendo um dos problemas a contaminação de águas. Entre as fontes de contaminação estão os cemitérios, sendo agravado com pandemia de Covid-19. O objetivo desse trabalho é avaliar possível contaminação das águas subterrâneas do maior cemitério no estado de Pernambuco, Brasil, o Cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção, Recife. Para avaliar a vulnerabilidade das águas são realizados estudos em laboratório e campo, para determinar teores de metais pesados, DQO, DBO e pH, em amostras coletadas no cemitério. Os dados são comparados com coleta de água do sistema de abastecimento estadual. O efeito dos sepultamentos recentes é observado no teor médio de fósforo das amostras de solo ensaiadas, 471, 81 mg/kg, além de alterações observadas nas concentrações de metais pesados e parâmetros físico-químicos indicando que as águas subterrâneas do cemitério sofrem interferência em sua qualidade devido aos sepultamentos recentes.

Palavras-chave: Contaminação; Contaminação de águas; Metais pesados.

Abstract: Among the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs) is the quest for universal access to quality water by 2030. SDG 6 aims to ensure the availability and sustainable management of water. According to the latest SDG progress report published by the UN (2023), 2.2 billion people still lack access to drinking water, one of the problems being water contamination. Among the sources of contamination are cemeteries, which has been aggravated by the Covid-19 pandemic. The aim of this work is to assess possible groundwater contamination in the largest cemetery in the state of Pernambuco, Brazil, the Senhor Bom Jesus da Redenção Cemetery, Recife. To assess the vulnerability of the water, laboratory and field studies were carried out to determine the levels of heavy metals, COD, BOD and pH in samples collected from the cemetery. The data is compared with water collected from the state supply system. The effect of recent burials is observed in the average phosphorus content of the soil samples tested (471, 81 mg/kg), as well as changes observed in the concentrations of heavy metals and physical-chemical parameters indicating that the groundwater in the cemetery is suffering interference in its quality due to recent burials.

Keywords: Contamination; Water contamination; Heavy metals.

Recebido: 28/10/2024; Aceito: 08/01/2025; Publicado: 19/02/2025.

1. Introdução

Aproximadamente 16% da população brasileira não possui abastecimento de água por meio de rede pública e, na região nordeste esse índice passa para 26% da população, necessitando de poços artesianos aqueles que não tem acesso ao abastecimento de água por meio de rede pública (ANA, 2023).

As desigualdades no acesso aos serviços de saneamento estão presentes nos diferentes setores de um município, com grupos mais vulneráveis e carentes, residentes em periferias e que sofrem com a falta do saneamento básico adequado. Além disso, foi observada a correlação existente entre acesso ao saneamento básico com os casos / óbitos por Covid-19 que, por sua vez, fortalece a concepção do saneamento como principal medida de prevenção e disseminação do vírus (GUEDES *et al.*, 2023).

O ODS 6 visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento básico para todos, para alcançar a cobertura universal até 2030, é necessário aumentar em seis vezes as taxas atuais de progresso. De acordo com o último relatório de evolução dos ODS publicado (ONU, 2023), 2,2 bilhões de pessoas no mundo, aproximadamente 27%, continuam sem acesso à água potável, sendo um dos grandes problemas a poluição da água, que é um desafio de saneamento ambiental considerável e, em muitos países, afeta tanto a saúde das pessoas quanto o meio ambiente.

Em países em desenvolvimento como o Brasil, doenças causadas por condições inadequadas de saneamento ambiental resultam em problemas sociais que afetam principalmente as regiões em situação de vulnerabilidade. Em suma, os serviços de saneamento de qualidade são uma medida de prevenção de doenças de origem hídrica, e sua universalidade deve ser vista como prioridade, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (UHR *et al.*, 2016).

A contaminação de solos e águas em cemitérios é uma questão ambiental significativa no Brasil, com implicações diretas para a saúde pública e a qualidade ambiental. Este problema surge principalmente devido à decomposição de corpos humanos, o uso de metais e verniz nos caixões, e à gestão inadequada dos cemitérios. A decomposição de corpos libera uma variedade de substâncias químicas, incluindo nitrogênio, fósforo, amônia, formaldeído (usado em embalsamamento), além de microrganismos patogênicos e aumento da DBO e DQO. Os metais pesados presentes nos materiais dos caixões, aos poucos são liberados e esses compostos podem infiltrar-se no solo e alcançar os lençóis freáticos, causando contaminação da água subterrânea (BRYNDAL, 2015).

Estudos realizados em diversas regiões do Brasil apontam para níveis alarmantes de contaminação em áreas de cemitérios (SANTOS *et al.*, 2015). No entanto, a regulamentação e o monitoramento ambiental dos cemitérios ainda são insuficientes em muitas localidades. Arguello *et al.* (2024) analisou parâmetros de OD, pH, EC, DBO e DQO que indicaram a contaminação do recurso hídrico, com valores acima do limite estabelecido por organizações internacionais.

As Resoluções CONAMA nº 335/2003, CONAMA nº 368/2006 e CONAMA nº 402/2008 estabelecem critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de cemitérios no Brasil. Esses critérios são fundamentais para garantir que a implantação e operação de cemitérios não causem danos ambientais, especialmente em relação à contaminação do solo e das águas subterrâneas. Os principais critérios estabelecidos pelas resoluções incluem critérios de localização, características do solo, distância mínima de fontes de água, nível do lençol freático em época chuvosa, dentre outros estudos para obtenção das licenças prévia, de instalação e de operação. Apesar disso, no Brasil, os cemitérios são frequentemente localizados em áreas com lençóis freáticos rasos, pois existe pouca fiscalização dos órgãos ambientais, aumentando o risco de contaminação da água subterrânea, que pode ser usada para consumo humano e irrigação agrícola.

No mundo, o controle e gestão de áreas contaminadas tem despertado interesse de entes públicos e da sociedade em geral, dentre as obras de engenharia que requerem atenção encontram-se os cemitérios. A implementação e operação de áreas cemiteriais em zonas urbanas deve vir acompanhada de estudos geológicos, hidrológicos, topográficos e de adequabilidade do terreno para receber sepultamentos durante seu tempo de vida útil, atuando de modo semelhante aos aterros sanitários (CAMPOS, 2007; CARNEIRO, 2009). Toscan *et al.* (2022) sugere a formação e implementação de políticas públicas que monitorem áreas de cemitérios urbanos verticais, a fim de reduzir a disseminação do vírus SARS-CoV-2, devido o deslocamento de nanopartículas pelo ar.

Com a pandemia de Covid-19, com mais de 712 mil mortos no Brasil (GOVERNO FEDERAL, 2023), os números de enterros nos cemitérios aumentaram muito e consequentemente os índices de contaminação e poluição devido à falta de cuidados nos aspectos sanitários elevaram (ZYLBERKAN, 2020). O passivo ambiental que as atividades cemiteriais produzem, ultrapassam os limites visuais do ser humano, uma vez que, parcelas dos subprodutos resultantes do processo de decomposição, permeiam os solos e atingem as águas subterrâneas, resultando em riscos à saúde (FERREIRA *et al.*, 2021).

Durante o processo de degradação da matéria orgânica dos corpos ocorre a formação de necrochorume, um líquido viscoso, de tonalidade acinzentada e com odor fétido característico. O necrochorume é o produto da decomposição dos corpos humanos e para cada 1 kg de peso corporal são produzidos em média de 0,4 a 0,6 litros e sua composição é cerca de 60% de água e 30% de sais ionizados contendo fósforo (P), nitrogênio (N), cloro (Cl), bicarbonato (HCO_3^-), cálcio (Ca^{2+}), sódio (Na^+) e compostos de metais diversos – como cromo (Cr), cádmio (Cd), chumbo (Pb), ferro (Fe) e níquel (Ni) geralmente proveniente dos acessórios presentes no caixão e nos adornos funerários, os outros 10% são compostos por substâncias orgânicas (ZYCHOWSKI e BRYNDAL, 2015).

Esse trabalho tem como objetivo determinar o possível potencial de contaminação das águas subterrâneas por cádmio (Cd^{2+}), cromo (Cr^{3+}), cobre (Cu^{2+}), níquel (Ni^{2+}), chumbo (Pb^{2+}) e zinco (Zn^{2+}) decorrentes da operação de cemitério municipal Senhor Bom Jesus da Redenção (Figura 1) e avaliar qualidade da água por meio de comparação dos valores de DBO, DQO e pH, entre as amostras coletadas em áreas do cemitério.

2. Metodologia

O Cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção, também conhecido como Cemitério de Santo Amaro, está localizado na cidade do Recife, no estado de Pernambuco, Brasil, é considerado um dos maiores cemitérios do Brasil e o maior cemitério do Estado, com área de 140 mil m^2 , sendo inaugurado em 1º de março de 1851. Após 173 anos de funcionamento apresenta uma média de 18 mil visitantes por mês e conta com 9 mil osuários e 20 mil espaços para sepultamentos distribuídos entre túmulos, covas e gavetas (PREFEITURA DO RECIFE, 2022).

Na Figura 1 é apresentada a visualização espacial do cemitério e a delimitação da área à montante do cemitério para coleta do solo background utilizado como referência de material sem possíveis contaminações oriundas das atividades cemiteriais. A região onde localiza-se o cemitério apresenta um terreno nivelado, com cotas de declividade menores que 1 metro, este fator é determinado pela constante movimentação de terra ocasionada pela necessidade de reposição de materiais escavados, o que favorece à terraplenagem do terreno.

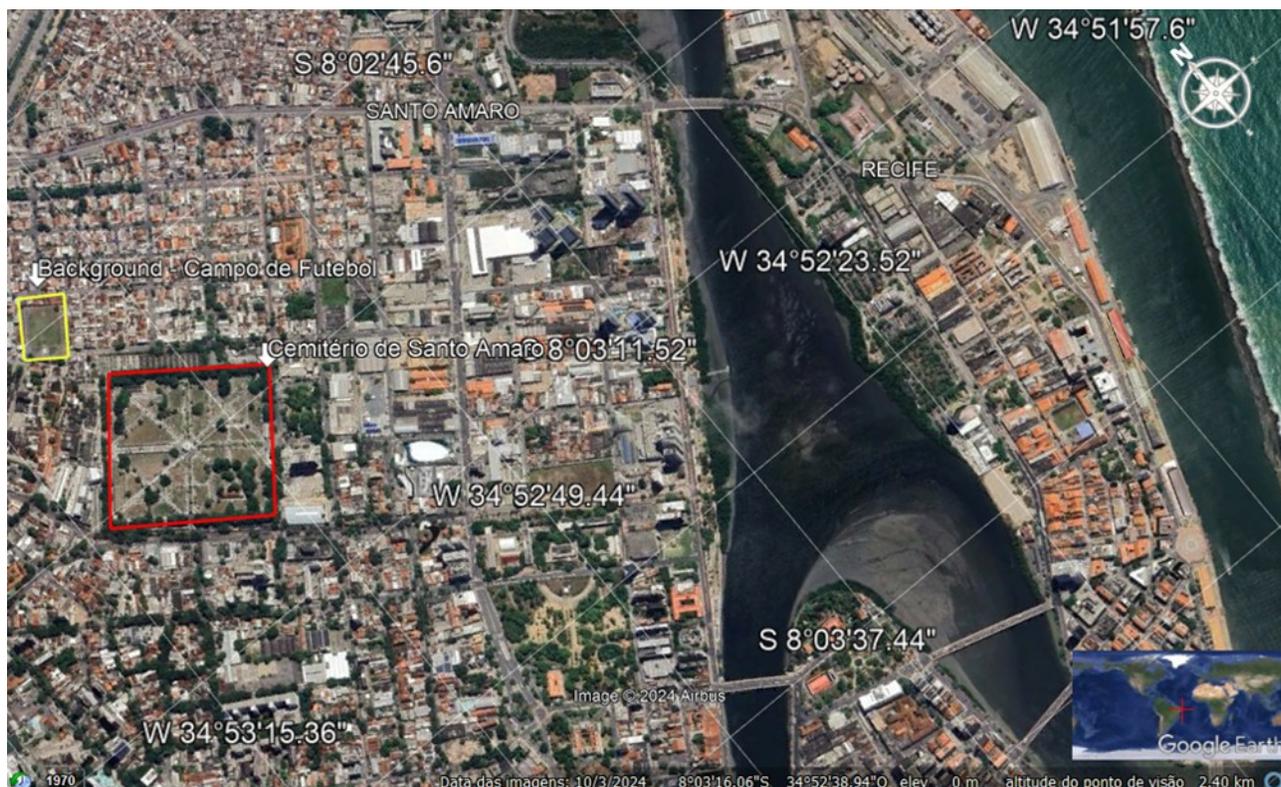


Figura 1 – Vista da área de estudo, Cemitério de Santo Amaro.
Fonte: Autores, adaptado Google Earth (2024).

2.1 Coleta de amostras de água

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida a partir de pesquisa de campo e bibliográfica, e seu resultado é de um trabalho de cunho exploratório e descritivo, que foca no estudo de contaminantes em águas subterrâneas em um contexto de contaminação por cemitérios durante a pandemia da Covid-19. O estudo foi dividido em quatro etapas: a) coleta de amostras de água e solos no cemitério; b) ensaios físico-químicos das amostras; c) caracterização geotécnica dos solos do cemitério e d) análises físico-químicas das águas do cemitério e da rede de abastecimento público.

Foram realizadas 37 coletas de amostras de solos para análise da caracterização geotécnica e alguns pontos analisada a contaminação dos solos também (Figura 2).

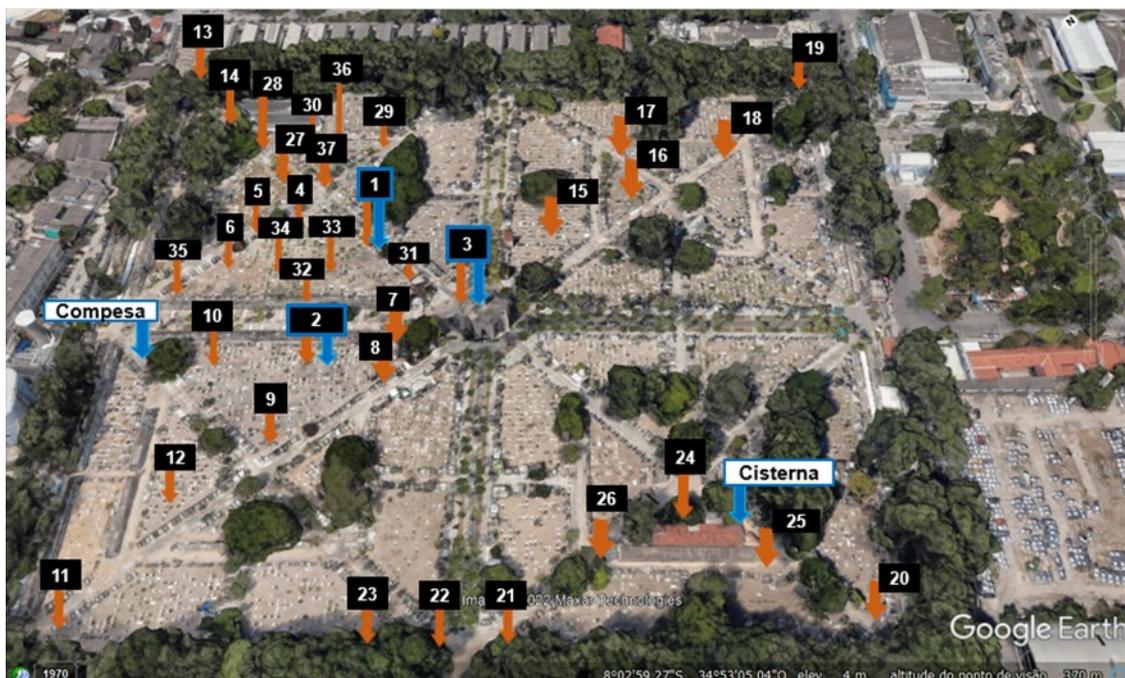


Figura 2 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solos e de água.

Fonte: Autores, adaptado Google Earth (2024).

Três poços foram perfurados para coleta de amostras de água (Pontos P1, P2 e P3, apresentados na Figura 2). Para comparação de interferência dos sepultamentos na contaminação das amostras de águas subterrâneas, foram coletadas amostras de águas oriundas de áreas com ausência de sepultamentos e que provém de abastecimento externo da Companhia Estadual de Água – Compesa e da Cisterna localizada no cemitério, sendo utilizadas como referência.

Foram realizadas análises laboratoriais para determinação dos parâmetros físico-químicos: pH, DQO, DBO, e teor de metais pesados. A limpeza e preparação dos materiais utilizados (vidrarias) foram realizadas com a imersão dos mesmos em solução com ácido clorídrico e água destilada por 24h, em seguida foram lavados com água destilada e secos em estufa.

2.2 Análises físico-químicas da água

O monitoramento da qualidade da água foi realizado durante duas campanhas de coleta, entre os meses de novembro (30/11/2022) e dezembro (07/12/2022) de 2022. Foram coletadas amostras nos pontos P1, P2 e P3, localizados nas quadras de sepultamento com profundidade média de 1,5 metros de coleta, na cisterna localizada em área administrativa com captação em profundidade aproximada de 14 metros e na torneira que provém de abastecimento externo da Compesa.

Os valores de pH das amostras de água coletadas no cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção foram obtidos em campo com o auxílio do medidor portátil de pH, com três repetições de leitura por amostra.

Após as coletas, as amostras de água foram mantidas refrigeradas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foram realizados ensaios de DQO, DBO e metais pesados. As coletas foram denominadas, Coleta 1 para Poço 1; Coleta 2 para poço P2 e Coleta 3 para poço P3.

A medição da DQO foi realizada por meio da metodologia titulométrica, recomendada pelo Standard Methods: 5220D: Chemical Oxygen Demand. Foi utilizado bloco de aquecimento para digestão e a titulação das amostras em triplicata foram realizadas. Após obter os resultados de DQO, a DBO foi determinada pela metodologia da Norma Técnica Interna SABESP NTS 003 DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio em seu Método A.

Em todas as amostras de água coletada, foram medidos os teores dos elementos cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco. A metodologia adotada está presente no Método 3010 A – Digestão ácida de amostras aquosas e extratos de metais totais para análise por FLAA ou espectroscopia ICP (USEPA, 1992). As alíquotas da digestão foram lidas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Os resultados obtidos foram comparados aos valores de referência para concentração dos metais na água preconizado pela Resolução nº 357/ 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005).

Para a análise dos dados, foi realizado um tratamento estatístico inicial. Primeiramente, utilizou-se a estatística descritiva para explorar o comportamento dos dados. Em seguida, foi aplicado o teste t de Student, com intervalo de confiança de 95%, para avaliar a presença de diferenças significativas entre as médias dos parâmetros investigados. O tratamento estatístico teve como objetivo assegurar a validade e a precisão das conclusões derivadas da análise, possibilitando uma discussão robusta dos resultados obtidos nesta pesquisa.

2.3 Caracterização geotécnica dos solos

Foram realizadas as análises para caracterização geotécnica de todos os pontos apresentados na Figura 2. Nos pontos P01, P2 e P3 (Figura 2), além da coleta de amostras de água foram coletadas amostras de solo a cada 50 cm de profundidade (0 - 0,5 m; 0,5 - 1,00 m; 1,00 - 1,50 m e 1,50 - 2,00 m).

O preparo das amostras de solos e ensaios físicos foram realizados em laboratórios da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para a caracterização granulométrica das amostras seguiu a ABNT NBR 7181/2016 e para obtenção dos Limites de Atterberg foram utilizadas as normas ABNT NBR 7180/2016 e ABNT NBR 6459/2016. A densidade das partículas do solo, ou massa específica dos sólidos, foi obtida por meio do método do picnômetro expresso na ABNT NBR 6458/2016.

A partir dos resultados da caracterização geotécnica dos solos, os mesmos foram classificados a partir das tabelas do Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS, que se baseia na granulometria, plasticidade do solo e atributos físicos (ASTM, 2020).

2.4 Teor de fósforo nos solos

Em solos, o teor total de fósforo (P) varia, em média, entre 200 e 3.000 kg ha⁻¹, embora apenas aproximadamente 0,1% desse total esteja disponível para absorção pelas plantas (IFTIKHAR *et al.*, 2024). Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo a análise das concentrações de fósforo disponível nas amostras de solo coletadas. O método com extração por Mehlich foi utilizado para determinação de P, também conhecido por Carolina do Norte ou método duplo ácido, devido a utilização de dois ácidos para extração do fósforo, o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico.

O procedimento de extração de fósforo dos solos ocorreu por meio de extrações com Mehlich (Figura 3a), em seguida pipetou-se alíquota do extrato adicionando ácido ascórbico e molibdato de amônio para desenvolvimento de cor (Figura 3b) e posterior leitura da densidade ótica no espectrofotômetro-UV-Vis, usando comprimento de onda de 660 nm. Algumas amostras foram diluídas devido ao alto teor de fósforo e o processo foi repetido (EMBRAPA, 2017).

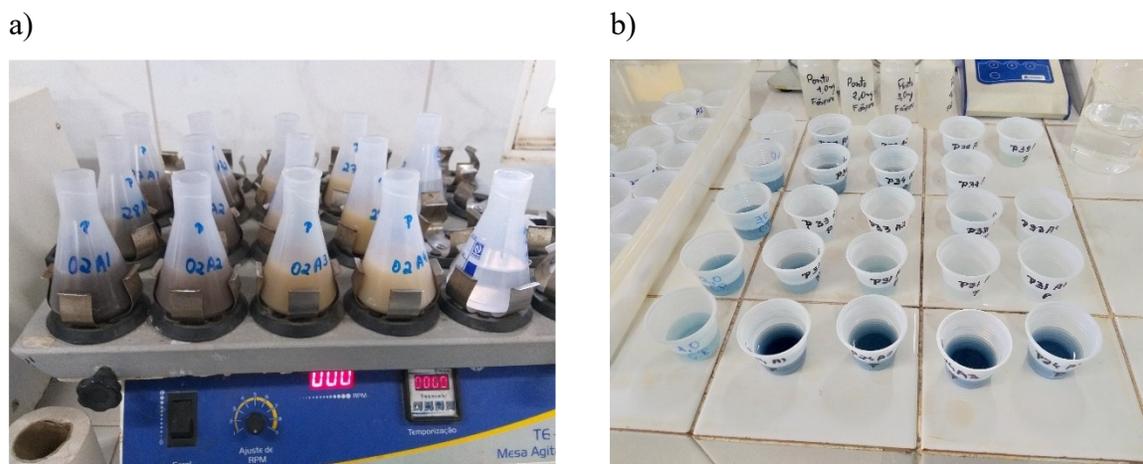


Figura 3 – a) Extração de alíquotas com Mehlich, b) Amostras com ácido ascórbico e molibato de amônio para desenvolver cor.

Fonte: Gonçalves (2023).

3. Resultados e discussão

3.1 Qualidade da água dos poços de monitoramento

O potencial hidrogeniônico (pH) é um dos indicadores de potabilidade. Os valores encontrados variaram entre 5,2 a 6,9, intervalo semelhante ao encontrado por Kemerich *et al.* (2014) em cemitério do Rio Grande do Sul, evidenciando a relação do parâmetro com o fluxo superficial e subsuperficial da água. De acordo com a legislação do Ministério da Saúde no Brasil (Portaria nº 518/04) é recomendado que as águas no sistema de distribuição para abastecimento público devem apresentar pH entre 6,0 a 9,5.

Os resultados obtidos a partir das médias dos resultados das análises, a partir dos ensaios de DQO, são apresentados na Figura 4.

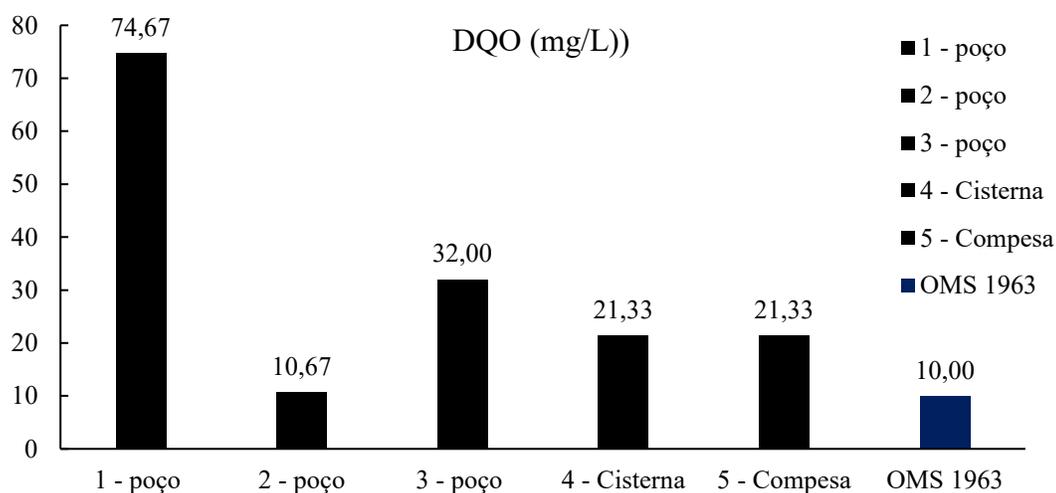


Figura 4 – Valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Fonte: Autores (2024).

De acordo com a Figura 4 é possível verificar que todas as amostras de água, inclusive a encanada da Compesa, apresentaram DQO acima do valor máximo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) de 10,0 mg/L, o

que indica possivelmente um fator de poluição nas águas presentes no cemitério. O Poço 1 de coleta na quadra de sepultamentos apresentou a maior DQO do estudo com valor de 74,67 mg/L, pois a presença de sepultamentos recentes na área pode ser responsável pela alta concentração. Áreas com altas concentrações de DQO podem indicar que o local possui algum nível de toxicidade, em fontes de água a demanda química de oxigênio é um indicador da qualidade da água e revela sua inadequação para consumo humano (HAN *et al.*, 2022).

Os parâmetros físico-químicos (DQO, DBO e alguns metais pesados) obtidos estão acima do limite estabelecido por legislações nacionais e/ou internacionais em pelo menos uma das amostras. As médias dos valores obtidos de DBO, encontram-se expostos na Figura 5.

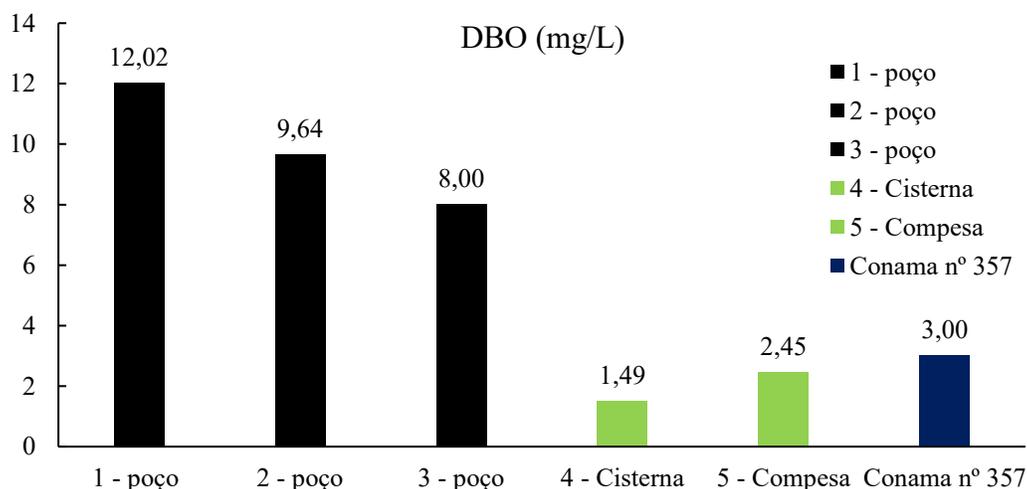


Figura 5 – Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Fonte: Autores (2024).

Para o parâmetro DBO, a Figura 5 demonstra que apenas as amostras da cisterna e da rede de abastecimento público foi detectada concentração abaixo do estabelecido pelo CONAMA n° 357, enquanto que as amostras oriundas dos furos de inspeção (P1, P2 e P3) localizados em áreas que abrangem o cemitério, apresentam DBO acima dos valores máximos admissíveis para este parâmetro.

Nas resoluções do CONAMA é preconizado que as águas destinadas ao abastecimento para consumo humano que recebem simples desinfecção e estão classificadas na categoria de Classe 1, devem possuir o padrão: DBO 5 dias a 20° C apresentar até 3 mg/L de DBO e os valores da DBO para as águas doces de Classe 2 (águas que abastecem para o consumo humano, após o tratamento convencional) não devem ser superiores a 5 mg/L.

Os valores superiores aos limites estabelecidos pelos Valores Máximos Permitidos (VMP) na Resolução CONAMA 357/2005 indicam a inadequação da água para consumo humano. Conclui-se, portanto, que a qualidade da água nos cemitérios é afetada pela presença de necrochorume liberado no local, ou por outras fontes de contaminação nas imediações.

As concentrações de metais pesados obtidas, são comparadas com as concentrações dos VMP recomendados pela legislação nacional (CONAMA Resolução n° 357/2005) para águas doces de Classe II, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Concentração de metais pesados e Valores Máximos Permitidos – VMP (mg/L).

Amostra	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CONAMA n° 357/2005	0,001	0,050	0,009	0,025	0,010	0,180
P1	0,000	0,101^a	0,156^a	0,002	0,002	0,006
P2	0,050^a	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000
P3	0,100^a	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000
4 - Cisterna	0,000	0,026	0,130^a	0,007	0,002	0,019

5- Abastecimento Público	0,000	0,037	0,004	0,003	0,001	0,001
--------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

^a Acima dos valores de referência.

Fonte: Autores (2024).

Dentre os metais analisados, os metais cádmio, cromo e cobre apresentaram valores superiores ao máximo permitido em alguns poços. Foram detectados, acima dos valores máximos permitidos, no poço P1, metais cromo e cobre; no poço P2, o metal cádmio e no poço P3, também o metal cádmio. Nas amostras de água coletadas na cisterna, foi detectado o metal cobre, acima do VMP. Pelas análises realizadas é possível perceber que, segundo as comparações realizadas entre amostras e de acordo com a legislação brasileira, CONAMA Resolução nº 357/2005, as águas subterrâneas estão sendo contaminadas pelo Cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção.

Baum *et al.* (2022) avaliaram a qualidade das águas subterrâneas nas áreas de dois cemitérios localizados na área urbana do município de Lages, Brasil, e detectaram contaminação por componentes do necrochorume, como sais minerais, NH₃, fenóis totais, Cd, Cr e Ni.

Como as coletas foram realizadas no período de muitas chuvas, entre os meses de maio e julho, podemos afirmar que existe uma diluição dos contaminantes presentes, e, com isso, a preocupação relacionada ao impacto ambiental causado é maior ainda. A Figura 6, apresenta as condições meteorológicas na cidade do Recife – PE no ano de 2022 durante as coletas, os dados foram observados por hora, com categorias codificadas por cores (em ordem de gravidade).

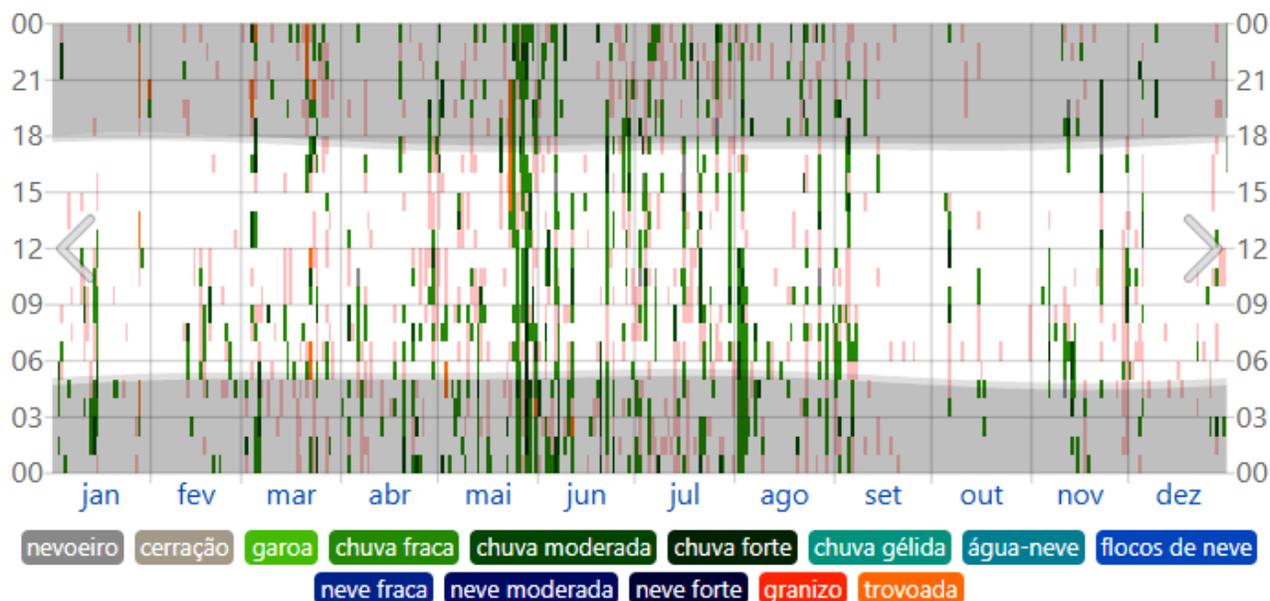


Figura 6 – Condições meteorológicas na cidade do Recife – PE no ano de 2022.

Fonte: WeatherSpark.com (2022).

A ingestão desses elementos em níveis elevados contribui para piora na qualidade de vida dos moradores. A ingestão de níveis elevados de Zn pode causar doença hepática (MORILLAS *et al.*, 2019). De acordo com Husejnovic *et al.* (2018), o excesso de cádmio no organismo humano pode causar osteoporose, o Cr pode gerar câncer de pulmão em humanos (FU *et al.*, 2020) e o Pb é uma neurotoxina e seu acúmulo pode acarretar problemas no sistema nervoso central (KORTEI *et al.*, 2020).

3.2 Caracterização dos solos

Os atributos das amostras de solo, expressos pela textura e granulometria das partículas, influenciam características fundamentais como densidade, permeabilidade, presença de matéria orgânica, índice de vazios, entre outros fatores. Apesar de mais de 100 amostras de solo terem sido caracterizadas ao longo de 37 furos distribuídos por todo o cemitério,

conforme ilustrado na Figura 2, os resultados apresentados referem-se a três pontos específicos, onde também foram coletadas amostras de água. As características das amostras de solo analisadas mostraram-se muito similares entre si.

Os resultados obtidos a partir das 12 amostras de solo foram utilizados para investigar a relação entre a granulometria dos grãos, a adsorção e a lixiviação de contaminantes no cemitério municipal. Os dados relacionados a esses parâmetros são apresentados nas Figuras 7, 8 e 9, com o intuito de ilustrar a dinâmica de dispersão e retenção dos contaminantes no ambiente do cemitério.

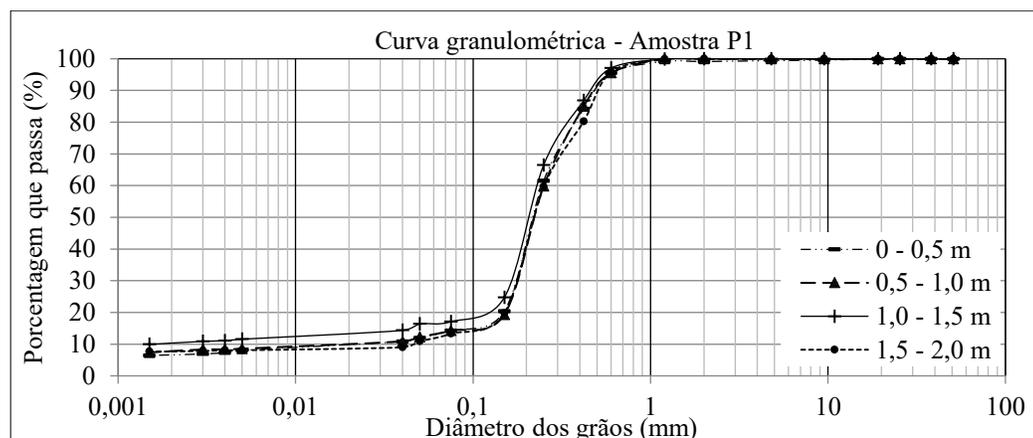


Figura 7 – Composição granulométrica, ponto P1.

Fonte: Autores (2024).

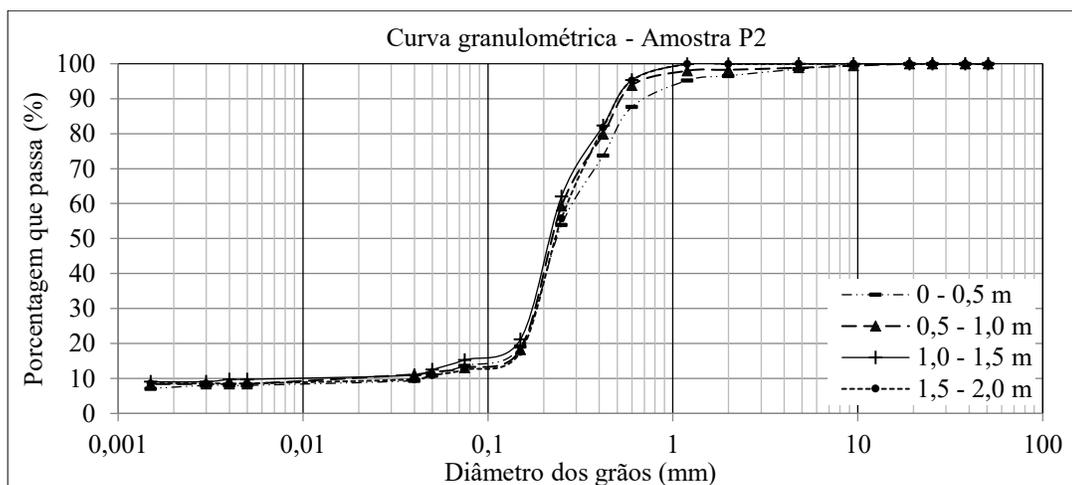


Figura 8 – Composição granulométrica, ponto P2.

Fonte: Autores (2024).

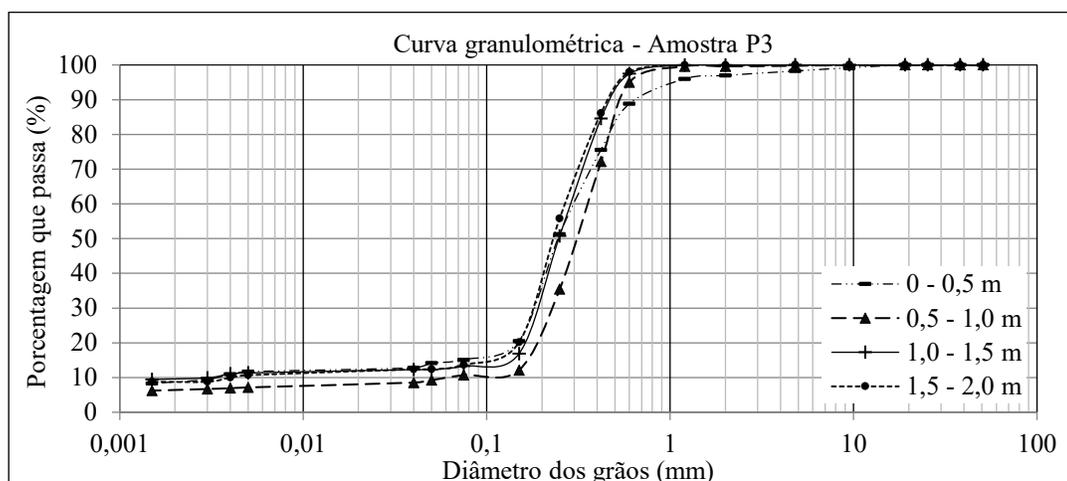


Figura 9 – Composição granulométrica, ponto P3.
 Fonte: Autores (2024).

Em todos os resultados, a porcentagem de areia na composição dos solos foi maior que 60%, ou seja, maior lixiviação de contaminantes decorrente da baixa capacidade de solos arenosos de adsorção de contaminantes além da alta permeabilidade, possibilitando mobilidade dos metais pesados para água. No cemitério de Nova Hartz, Morandi *et al.* (2024) observaram um solo com teor de areia de 78,34%, sendo favorável ao maior movimento do necrochorume no meio poroso e consequentemente, aumentando o risco de doenças transmitidas pela água usada para abastecimento público. Neste estudo, o nível do lençol freático encontrava-se aflorante em determinados meses do ano, enquanto no cemitério de Nova Hartz apresentou uma profundidade inferior a 7 m.

Profundidade	Perfil das camadas de solo	Porcentagem de material por camada			Classificação SUCS - ASTM
		Finos	Areia	Pedregulho	
0,0 m - 0,5 m		15,20%	84,50%	0,3%	Areia siltosa (SM)
0,5 m - 1,0 m		12,60%	87,40%	0,00%	Areia siltosa (SM)
1,0 m - 1,5 m		16,10%	83,80%	0,00%	Areia siltosa (SM)
1,5 m - 2,0 m		14,00%	86,00%	0,00%	Areia siltosa (SM)

Figura 10 – Perfil esquemático das camadas de solo do poço de coleta P2.
 Fonte: Autores (2024).

Rego *et al.* (2021) verificou a que a vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas está intrinsecamente associada à litologia do local, cujo material é predominantemente arenoso e a quantidade de chuva é maior. No estudo de Bezerra *et al.* (2023) o potencial de risco de contaminação de aquíferos classificado como “Muito Alto” envolve litologias que possuem elevada porosidade e condutividade hidráulica, geologicamente, são representados por areias finas a médias, bem arredondadas e selecionadas.

Com base nos índices físicos (umidade do solo, massa específica dos grãos de solo e água higroscópica) e limites de Atterberg, a amostra foi classificada como solo arenoso, de acordo com a Classificação Unificada de Solos (SUCS), o solo do cemitério possui classificação SW-SM e são não líquidos e não plásticos. Apesar das densidades de partícula variarem em função da profundidade do furo de inspeção, a variação é pequena, situadas no intervalo entre 2,58 e 2,64. Os dados de massa específica dos grãos apresentaram valores semelhantes à densidade relativa de alguns minerais como o quartzo, que apresenta densidade entre 2,59 - 2,65, valor esperado para um solo com teor de areia acima de 60%.

Toda a caracterização dos solos do cemitério classificaram solos como arenosos com pouquíssima quantidade de argila e silte, o que é extremamente preocupante pois favorece a contaminação das águas superficiais. Born *et al.* (2014) verificaram uma relação entre a vulnerabilidade das águas subterrâneas e áreas permeáveis que facilitam a percolação de efluentes para as camadas mais profundas em cemitérios de Curitiba - Paraná.

Outro fator destacado pelo estudo é a presença de nível freático mais aflorante, frequentemente encontrado em meses chuvosos, favorecendo a contaminação por decomposição humana das águas subterrâneas.

Os solos do cemitério municipal do Recife apresentam características físicas e granulométricas que propiciam baixa retenção de contaminantes, favorecendo a percolação de lixiviados e necrochorume no meio poroso até as águas subterrâneas do local. Desse modo, não são indicados para as camadas superficiais do cemitério e camadas de sepultamento em covas-rasas.

3.3 Concentrações de fósforo nos solos

Áreas próximas aos sepultamentos apresentam maiores concentrações de compostos de nitrogênio e fósforo provenientes da decomposição da matéria orgânica (Figura 11), a presença desses materiais induz o aumento do pH, alcalinidade da solução do solo e condutividade elétrica (MATOS *et al.*, 2001).



Figura 11 – Matéria orgânica (crânio) visível em superfície.
Fonte: Autores (2024).

Os solos no Cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção apresentaram concentração média de 471,81 mg/kg de fósforo, valores superiores quando comparados aos dados observados por Marques *et al.* (2004), em solos do cemitério municipal de Betim – MG que obtiveram teor de fósforo em duas amostras no interior do cemitério de 90,85 mg/kg e 51,95 mg/kg e em cinco amostras fora do limite do cemitério obteve teores 89,48 mg/kg, 45,74 mg/kg, 58,81 mg/kg, 102,28 mg/kg e 133,98 mg/kg.

Nessa pesquisa, os maiores teores de P foram encontrados em solos do ponto P1 e em poços de inspeção que estão localizados em quadras nas quais estavam ocorrendo sepultamentos atuais. Estima-se que o corpo de um adulto possui aproximadamente 700 g de fósforo, com 85% presente na forma de hidroxiapatita $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$, 14% em tecidos moles e apenas 1% extracelularmente, incluindo formas orgânicas (70%) e inorgânicas (30%) de fosfato (BIRD e ESKIN, 2021). Desse modo, o alto teor de P em um cemitério pode possuir origem da decomposição de cadáveres.

As quadras com sepultamentos recentes (menos de três meses de sepultura) foram as que apresentaram maior alteração da qualidade do solo com maiores teores de fósforo.

Tabela 2 – Concentração de fósforo nos solos do cemitério.

Amostra	Prof. (m)	[P] (mg.kg ⁻¹)	[P] (g.kg ⁻¹)
P1	0,0 - 0,5	1200,89	1,20
	0,5 - 1,0	1111,24	1,11
	1,0 - 1,5	757,04	0,76
	1,5 - 2,0	272,03	0,27
P2	0,0 - 0,5	758,50	0,76
	0,5 - 1,0	710,00	0,71
	1,0 - 1,5	280,84	0,28
	1,5 - 2,0	236,75	0,24
P3	0,0 - 0,5	592,18	0,59
	0,5 - 1,0	604,62	0,60
	1,0 - 1,5	246,29	0,25
	1,5 - 2,0	393,14	0,39

Fonte: Autores (2024).

4. Considerações finais

A análise dos dados de água coletados em três poços de monitoramento e uma cisterna, localizados dentro da área do Cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção mostrou alterações nas concentrações de metais pesados que indicam contaminação na água subterrânea do cemitério. Há maior interferência na qualidade da água quando próximas às áreas de sepultamento, influenciando os parâmetros físico-químicos (DBO e DQO), que apresentaram concentrações acima do limite estabelecido pelo Conama/Brasil.

A água utilizada como padrão comparativo coletada da rede de abastecimento público apresentou todas as concentrações de metais pesados abaixo do limite estabelecido pela legislação brasileira. Os resultados obtidos a partir das amostras de águas coletas na área do cemitério indicam uma possível contaminação das águas subterrâneas.

No Cemitério Senhor Bom Jesus da Redenção, o tempo de sepultamento e profundidade influenciou o potencial de poluição do solo onde foram observados maiores teores de fósforo, áreas próximas aos túmulos apresentaram maior risco de poluição ambiental das águas, principalmente por cromo e cobre.

Com isso é importante reforçar que é necessário que órgãos públicos orientem e fiscalizem obras comuns, em todos municípios do Brasil, com potencial de poluição, como é o caso dos cemitérios. Políticas públicas devem ser mais incentivadas na área ambiental, especialmente relacionadas a cemitérios pois a saúde da população está em risco e é urgente uma maior atenção aos cemitérios no Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro da CAPES por meio da bolsa de mestrado, da Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife (EMLURB), CNPq e FAPEMIG pelo suporte para compra de materiais, viabilizando a realização deste estudo.

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Panorama do Saneamento no Brasil, 2023*. Portal de Dados Abertos Gov.br (acessado em julho de 2024) em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas>.
- Arguello, M. P.; Crisanto-Perrazo, T.; Vizuete, D.; Garzón, E. O.; Garcia, P. G.; Aldás, M. B.; Jaramillo, S.; Toulkeridis, T., 2024. *Evaluation of Water Contamination Caused by Cemeteries in Central Ecuador - A Warning for the Authorities*. Water, v. 16 (16), 2310. <https://doi.org/10.3390/w16162310>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7181*. Rio de Janeiro, 2016a. 12 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6458*. Rio de Janeiro, 2016b. 10 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6459*. Rio de Janeiro, 2016c. 5 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7180*. Rio de Janeiro, 2016d. 3 p.
- ASTM. American Society for Testing Materials. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes Unified Soil Classification System*. ASTM D 2487-06. 2020. Portal de Dados Abertos (acessado em dezembro de 2023) em: <https://www.astm.org/standards/d2487>.
- Baum, C. A.; Becegato, V. A.; Vilela, P. B.; Lavnitcki, L.; Becegato, V. R.; Paulino, A. T., 2022. *Contamination of groundwater by necro-leachate and the influence of the intervening factors in cemeteries of the municipality of Lages – Brazil*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental [Internet]. v. 27 (4), 683–92. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210037>.
- Bezerra, A.; Lopes, V.; Di Lollo, J. A.; Lorandi, R.; Costa, C. *Potential Risk of Contamination of the Dunas-Barreiras Aquifer System by Anthropic Activities in a Source Area in Northeastern Brazil*. Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 01–20, 2023. DOI: 10.21680/2447-3359.2023v9n2ID31625. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/31625>. Acesso em: 27 set. 2024.
- Bird, R. P.; Eskin, N.A.M., 2021. *Chapter Two - The emerging role of phosphorus in human*. Advances in Food and Nutrition Research, v. 96, 27-88. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.001>.
- Born, C. M.; Oliveira, C. M. R. de; Cubas, S. A., 2014. *Avaliação dos aspectos construtivos e vulnerabilidade das águas subterrâneas em áreas de cemitérios municipais de Curitiba - Paraná*. Revista Brasileira De Ciências Ambientais, v. 32, 88–105. https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBciAMB/article/view/251.
- Brasil. Ministério da Saúde – MS, 2004. *Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004*. Editora do Ministério da Saúde. Brasília.
- Brasil. *Resolução CONAMA nº 335 de 3 de abril de 2003*. BRASIL: Diário Oficial da União, 2003.
- Brasil. *Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005*. BRASIL: Diário Oficial da União, 2005.
- Brasil. *Resolução CONAMA nº 368 de 28 de março de 2006*. BRASIL: Diário Oficial da União, 2006.
- Brasil. *Resolução CONAMA nº 402 de 17 de novembro de 2008*. BRASIL: Diário Oficial da União, 2008.
- Bryndal, T., 2015. *Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses – a review*. Journal of Water and Health. 13. 285-301. 10.2166/wh.2014.119. Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária,

2017. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 2017. 577p.
- Campos, A. P. S., 2007. *Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial*. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Ana_Paula.pdf.
- Carneiro, V. S., 2009. *Impactos causados por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública*. Águas Subterrâneas, v. 1. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21956>.
- Governo Federal, 2023. *Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde*. Fiocruz, 2023. Disponível em: MonitoraCovid-19.
- Zylberkan, M., 2020. *Coronavírus leva prefeitura de São Paulo a dobrar número de coveiros*. Revista Veja. Portal de Notícias Online. 3 abril 2020. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/coronavirus-leva-prefeitura-de-saopaulo-a-dobrar-numero-de-coveiros/>.
- Ferreira, T. C.; Silva, A. V. da; Albano, L. B.; Nogueira, L. A. P.; Alves, F. Z.; Gomes, J. W. da S.; Althman, M. P. F.; Zabotto, A. R., 2021. *Analysis of the impacts and damage potential of the composition and percolation of the effluent on the soil*. Brazilian Journal of Development, v.7 (3), 25094–25112. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-287>.
- Fu, S. C.; Liu, J. M.; Lee, K. I.; Tang, F. C.; Fang, K. M.; Yang, C. Y.; Su, C. C.; Chen, H. H.; Hsu, R. J.; Chen, Y. W., 2020. *Cr (VI) induces ROS-mediated mitochondrial-dependent apoptosis in neuronal cells via the activation of Akt/ERK/AMPK signaling pathway*. Toxicology in Vitro, v. 65. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2020.104795>.
- Gonçalves, M. R. O. de A., 2023. *Contaminação em meios porosos por meio de cemitério durante pandemia de Covid-19*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil. pp. 170. Disponível em: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.162>.
- Guedes, P.W.; Sugahara, C. R.; Ferreira, D. H. L., 2023. *Índice de saneamento ambiental e Covid-19: Uma Análise nas capitais brasileiras*. Revista Brasileira De Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 19 (3). Disponível em: <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v19i3.6623>.
- Han, X.; Chen, X.; Ma, J.; Chen, J.; Xie, B.; Yin, W.; Yang, Y.; Jia, W.; Xie, D.; Huang, F., 2022. *Discrimination of Chemical Oxygen Demand Pollution in Surface Water Based on Visible Near-Infrared Spectroscopy*. Water, v. 14 (3003). <https://doi.org/10.3390/w14193003water-14-03003-v2.pdf>.
- Husejnovic, S. M; Bergant, M; Jankovic, S; Zizek, S; Smajlovic, A; Softic, A; Music, O; Antonijevic, B., 2018. *Assessment of Pb, Cd and Hg soil contamination and its potential to cause cytotoxic and genotoxic effects in human cell lines (CaCo-2 and HaCaT)*. Environ Geochem Health. v. 40 (4), 1557-1572. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0071-6>.
- Iftikhar, A.; Farooq, R.; Akhtar, M.; Khalid, H.; Hussain, N.; Ali, Q.; Malook, S.u.; Ali, D., 2024. *Ecological and sustainable implications of phosphorous-solubilizing microorganisms in soil*. Discover Applied Sciences, v. 6 (33). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05683-x>.
- Kemerich, P. D. da C.; Borba, W. F. de; Schmachtenberg, N.; Graepin, C.; Flores, C. E. B.; Barros G., Gerhardt, A. E., 2014. *Alterações químicas em solo ocupado por cemitério horizontal no norte do Ro Grande do Sul*. Revista Brasileira De Ciências Ambientais, v. 33, 85–99. https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/235.
- Kortei, N. K.; Heymann, M. E.; Essuman, E. K.; Kpodo, F. M.; Akonor, P. T.; Lokpo, S. Y.; Boadi, N. O.; Ayim-Akonor, M.; Tettey, C., 2020. *Health risk assessment and levels of toxic metals in fishes (Oreochromis niloticus and Clarias anguillaris) from Ankobrah and Pra basins: Impact of illegal mining activities on food safety*. Toxicology Reports, v. 7, 360-369. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.02.011>.
- Marques, J.J.G.S.M.; Schulze, D.G.; Curi, N.; Mertzman, S.A., 2004. *Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado*

- soils*. Geoderma, vol.121, p.31- 43, 2004.
- Matos, A. T.; Fontes, M. P. F.; Costa, L. M.; Martinez, M. A., 2001. *Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils*. Environmental Pollution, v.111, p. 429-435. 2001.
- Morandi, L.; Borba, W.F. de; Ros, C.O. da; Silva, V. R. da; Toebe, M.; Somavilla, L.; Kemerich, P. D. da C.; Stahlofer, D., 2024. *Soil contamination in a cemetery area: a case study in Nova Hartz City - RS, Brazil*. Environ Sci Eur, v. 36 (95) <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00864-2>.
- Morillas, H.; Marcaida, I.; Maguregui, M.; Upasen, S.; Gallego-Cartagena, E.; Madariaga, J. M., 2019. *Identification of metals and metalloids as hazardous elements in PM2.5 and PM10 collected in a coastal environment affected by diffuse contamination*. Journal of Cleaner Production, v. 226, 369-378. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.063>.
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2023. *The Sustainable Development Goals Report*. New York: Department of Economic and Social Affairs. Portal de Dados Abertos (acessado em 19 de junho de 2024) em: <https://sdgs.un.org/documents/sustainable-development-goals-report-2023-53220>.
- Prefeitura do Recife, 2022. *Necrópoles* (acessado em 01 de dezembro de 2023) em: <https://emlurb.recife.pe.gov.br/necropoles-1>.
- Rego, N. L. de S. ; Melo, . D. H. C. T. B. .; Gomes, M. da C. *Vulnerabilidade intrínseca à contaminação natural do aquífero na região metropolitana de Salvador –Estado da Bahia, Brasil*. Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 49–56, 2021. DOI: 10.21680/2447-3359.2021v7n2ID23210. Disponível em: <https://periodicos.ufn.br/revistadoregne/article/view/23210>. Acesso em: 10 set. 2024.
- Santos, A. G. da S.; Moraes, L. R. S.; Nascimento, S. A. de M., 2015. *Grounwater Quality and Necroleachate in the area surrounding of the campo Santo Cemetery in Salvador – Brazil*. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 3 (1), 39-60. <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v3i1.12456>.
- São Paulo. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 1997. *Norma Técnica Interna NTS 003 DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio* de 1997. Editora da Secretaria de Saúde. São Paulo.
- Toscan, P. C.; Neckel, A.; Maculan, L. S.; Korcelski, C.; Oliveira, M. L. S.; Bodah, E. T.; Bodah, B. W.; Kujawa, H.A.; Gonçalves, A. C., 2022. *Use of geospatial tools to predict the risk of contamination by SARS-CoV-2 in urban cemeteries*. Geoscience Frontiers, v. 13 (6), 101310. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101310>.
- Uhr, J. G. Z.; Schmechel, M.; Uhr, D. D. A. P., 2016. *Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica*. Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace, v. 7 (2), 1-16. <https://doi.org/10.13059/racef.v7i2.104>.
- Usepa. United States Environmental Protection Agency, 1992. *Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by flaa or icp spectroscopy*. EPA method 3010A. United States Environmental Protection Agency. 5p.
- OMS. Organização Mundial da Saúde, 1998. *The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing*. Denmark: WHO Regional Office for Europe. 1998. (acessado em 20 de julho de 2024) em: [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01\(A\).pdf?sequence=1](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01(A).pdf?sequence=1).
- Żychowski, J.; Bryndal, T., 2015. *Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses – a review*. Journal of Water and Health, v. 13 (2), 285–301. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.119>.