



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



CEMITÉRIOS URBANOS E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: O CASO DE SANTO AMARO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XV-006>

Keli Starck*, Eduardo Antonio Maia Lins, Adriana da Silva Baltar Maia Lins, Diogo Henrique Fernandes da Paz, Lilia Albuquerque da Silva.

* Afya Centro Universitário de Pato Branco; E-mail: kelistarck@gmail.com.

RESUMO

Os cemitérios urbanos podem atuar como fontes potenciais de contaminação ambiental, em função da geração de necrochorume durante o processo de decomposição cadavérica. Este estudo teve como objetivo analisar os passivos ambientais associados ao Cemitério de Santo Amaro, localizado no Recife (PE), com ênfase na avaliação dos riscos potenciais de contaminação do solo e das águas subterrâneas e na proposição de estratégias de reabilitação ambiental integradas à adaptação climática. A metodologia baseou-se na integração de levantamento bibliográfico, diagnóstico geoambiental, elaboração de modelo conceitual da área contaminada e avaliação de risco ambiental, conforme diretrizes da CETESB e USEPA. Os resultados indicaram condições favoráveis à infiltração e mobilidade de contaminantes, associadas à elevada permeabilidade dos solos arenosos, além de alterações nos parâmetros hidrogeoquímicos, com destaque para cloretos, nitratos, condutividade elétrica e metais potencialmente tóxicos. A análise evidenciou a formação de pluma de contaminação no aquífero freático, com potencial de exposição humana. Adicionalmente, verificou-se que as mudanças climáticas podem intensificar os processos de percolação e lixiviação, ampliando os riscos ambientais. Conclui-se que a gestão de cemitérios urbanos deve incorporar estratégias integradas de reabilitação ambiental e adaptação climática, visando à redução dos impactos e à promoção da resiliência urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Cemitérios urbanos, necrochorume, águas subterrâneas, contaminação, adaptação climática.

ABSTRACT

Urban cemeteries may act as potential sources of environmental contamination due to the generation of necro-leachate during the process of cadaveric decomposition. This study aimed to analyze the environmental liabilities associated with the Santo Amaro Cemetery, located in Recife (Brazil), focusing on the assessment of potential risks of soil and groundwater contamination, as well as proposing environmental rehabilitation strategies integrated with climate adaptation. The methodology was based on the integration of literature review, geoenvironmental diagnosis, development of a conceptual site model, and environmental risk assessment, following guidelines from CETESB and USEPA. The results indicated favorable conditions for contaminant infiltration and mobility, associated with the high permeability of sandy soils, as well as alterations in hydrogeochemical parameters, particularly chlorides, nitrates, electrical conductivity, and potentially toxic metals. The analysis suggests the formation of a contamination plume in the shallow aquifer, with potential human exposure pathways. Additionally, climate change may intensify percolation and leaching processes, increasing environmental risks. It is concluded that the management of urban cemeteries should incorporate integrated environmental rehabilitation and climate adaptation strategies to reduce impacts and enhance urban resilience.

KEYWORDS: Urban cemeteries, necro-leachate, groundwater, contamination, climate adaptation.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado observado nas últimas décadas tem intensificado a pressão sobre os sistemas ambientais, especialmente em áreas implantadas sem planejamento adequado, onde o uso do solo nem sempre considera as limitações geoambientais e os riscos associados à contaminação. Nesse contexto, cemitérios urbanos constituem elementos de relevante interesse ambiental, uma vez que, além de sua função sociocultural, podem atuar como fontes potenciais de contaminação do solo e das águas subterrâneas (ŻYCHOWSKI; BRYNDAL, 2015; SILVA et al., 2018).

Durante o processo de decomposição cadavérica, ocorre a formação do necrochorume, um líquido complexo composto por água, sais minerais e substâncias orgânicas e inorgânicas, com elevado potencial poluidor. Esse fluido pode infiltrar-se no solo e atingir o aquífero freático, especialmente em ambientes com elevada permeabilidade, como solos arenosos, comprometendo a qualidade da água subterrânea e representando riscos à saúde pública (OLIVEIRA; MENDES, 2022). A dinâmica de transporte desses contaminantes está diretamente associada aos processos hidrogeológicos de advecção e dispersão em meios porosos, conforme descrito por BEAR (1979) e FETTER (2001).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



No Brasil, muitos cemitérios foram implantados em períodos nos quais a densidade urbana era significativamente menor, resultando, ao longo do tempo, na incorporação desses espaços ao tecido urbano consolidado. Essa expansão desordenada intensificou os conflitos socioambientais associados à sua operação, sobretudo em áreas densamente ocupadas, onde a proximidade entre fontes de contaminação e receptores humanos aumenta o potencial de exposição (CETESB, 2021).

Adicionalmente, as mudanças climáticas têm introduzido novos desafios à gestão ambiental urbana, especialmente em relação à intensificação do ciclo hidrológico. O aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação pode favorecer os processos de infiltração e lixiviação de contaminantes, ampliando a mobilidade de poluentes no subsolo e potencializando os impactos ambientais (IPCC, 2023). Nesse cenário, a integração entre avaliação de áreas contaminadas e estratégias de adaptação climática torna-se fundamental para o planejamento urbano sustentável.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os passivos ambientais associados ao Cemitério de Santo Amaro, no Recife (PE), com ênfase na avaliação dos riscos potenciais de contaminação do solo e das águas subterrâneas, bem como propor estratégias de reabilitação ambiental integradas à adaptação climática. A pesquisa busca contribuir para o avanço do conhecimento na interface entre geotecnia ambiental, hidrogeologia e planejamento urbano, fornecendo subsídios técnicos para a gestão de áreas urbanas potencialmente contaminadas.

METODOLOGIA

Delineamento da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo aplicado, de natureza qualitativa e quantitativa, com abordagem exploratória e descritiva, voltado à análise de passivos ambientais em área urbana potencialmente contaminada e à proposição de estratégias de reabilitação ambiental associadas à adaptação climática. O delineamento metodológico foi estruturado com base nas diretrizes clássicas de gerenciamento de áreas contaminadas, conforme preconizado pela *United States Environmental Protection Agency* e pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, contemplando as etapas de identificação, diagnóstico, elaboração de modelo conceitual, avaliação de risco e proposição de medidas de intervenção.

A estrutura metodológica adotada segue os fundamentos consolidados na literatura técnico-científica sobre avaliação de áreas contaminadas, os quais enfatizam a integração entre caracterização ambiental, compreensão dos processos de transporte de contaminantes e análise dos potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente (CETESB, 2021; USEPA, 2002).

Levantamento bibliográfico e documental

Inicialmente, procedeu-se ao levantamento bibliográfico e documental, com o objetivo de subsidiar a fundamentação teórica e metodológica da pesquisa. Foram consultadas bases de dados científicas nacionais e internacionais, tais como *Scopus*, *Web of Science* e *SciELO*, além de documentos normativos e guias técnicos aplicáveis à temática.

A revisão contemplou estudos relacionados à contaminação ambiental em cemitérios urbanos, dinâmica do necrochorume, transporte de contaminantes em meios porosos e estratégias de adaptação climática em ambientes urbanos. No âmbito da hidrogeologia, adotaram-se como referenciais teóricos os trabalhos de Jacob Bear e Fetter (2021), que descrevem os mecanismos de advecção, dispersão hidrodinâmica e difusão molecular em aquíferos.

Adicionalmente, foram consideradas normativas ambientais brasileiras, com destaque para a Resolução CONAMA nº 396/2008, que estabelece critérios para classificação e enquadramento das águas subterrâneas, bem como diretrizes internacionais da World Health Organization para avaliação de riscos associados à qualidade da água.

Diagnóstico geoambiental

A etapa de diagnóstico geoambiental consistiu na caracterização integrada do meio físico da área de estudo, com ênfase nos fatores que controlam a mobilidade e o transporte de contaminantes no subsolo. Foram analisadas as características geológicas, pedológicas e hidrogeológicas, incluindo textura e granulometria dos solos, porosidade, permeabilidade e profundidade do nível freático.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Esses parâmetros são determinantes para a avaliação da vulnerabilidade do aquífero, uma vez que influenciam diretamente os processos de infiltração, percolação e migração de contaminantes dissolvidos, conforme discutido por Bear (1979) e Fetter (2001). A análise considerou ainda as condições de recarga hídrica e o regime de fluxo subterrâneo, elementos essenciais para a compreensão da dinâmica hidrogeológica local.

No que se refere à caracterização hidrogeoquímica, foram adotados parâmetros indicadores de contaminação amplamente reconhecidos na literatura, tais como pH, condutividade elétrica, cloretos, nitratos e metais potencialmente tóxicos. Esses parâmetros são frequentemente utilizados como traçadores de contaminação por matéria orgânica e lixiviados, permitindo inferir a influência de fontes antrópicas sobre a qualidade das águas subterrâneas.

Elaboração do modelo conceitual da área contaminada

A elaboração do modelo conceitual da área contaminada constituiu etapa fundamental da pesquisa, permitindo a integração dos dados obtidos e a representação dos processos ambientais atuantes. O modelo foi desenvolvido com base nas diretrizes da United States Environmental Protection Agency e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, considerando a identificação das fontes de contaminação, mecanismos de liberação, processos de transporte, vias de exposição e receptores potenciais.

Nesse contexto, as sepulturas foram consideradas como fontes primárias de contaminação, sendo o necrochorume o principal agente de transporte de substâncias químicas no subsolo. Os processos de advecção e dispersão hidrodinâmica foram adotados como mecanismos dominantes de transporte em aquíferos rasos, conforme descrito na literatura hidrogeológica clássica.

O modelo conceitual permitiu identificar as possíveis vias de migração dos contaminantes e os cenários de exposição associados, constituindo ferramenta essencial para a avaliação de risco ambiental.

Avaliação de risco ambiental

A avaliação de risco ambiental foi conduzida com base nas diretrizes do Risk Assessment Guidance for Superfund, da United States Environmental Protection Agency, e nos procedimentos estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. A abordagem adotada integrou análise qualitativa e semiquantitativa, estruturada em três etapas principais: identificação do perigo, avaliação da exposição e caracterização do risco.

A identificação do perigo consistiu na seleção das substâncias químicas de interesse, com base nos parâmetros hidrogeoquímicos analisados. A avaliação da exposição envolveu a identificação das principais vias de contato entre os contaminantes e os receptores, incluindo ingestão de água subterrânea, contato dérmico com solo contaminado e, quando aplicável, inalação de vapores.

A caracterização do risco foi realizada por meio da comparação entre as concentrações observadas e os valores orientadores de qualidade ambiental, considerando cenários de uso e ocupação do solo. Esse procedimento permite avaliar a magnitude dos riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente, subsidiando a tomada de decisão quanto à necessidade de intervenção.

Integração com adaptação climática

A metodologia incorporou a análise de variáveis relacionadas às mudanças climáticas, considerando a influência de eventos extremos de precipitação e da elevação das temperaturas médias sobre a mobilidade de contaminantes no solo. Essa abordagem fundamenta-se nos relatórios recentes do Intergovernmental Panel on Climate Change, que destacam a intensificação do ciclo hidrológico e seus impactos sobre sistemas ambientais urbanos.

Foram avaliados os potenciais efeitos do aumento da recarga hídrica e da intensificação dos processos de percolação sobre o transporte de contaminantes, bem como sua implicação para a vulnerabilidade do aquífero freático. A integração entre avaliação de risco e adaptação climática representa uma abordagem contemporânea no planejamento ambiental urbano, permitindo uma análise mais abrangente dos cenários futuros.

Proposição de medidas de reabilitação ambiental



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores, foram propostas medidas de reabilitação ambiental voltadas à mitigação dos riscos identificados e à melhoria das condições ambientais da área. As estratégias foram definidas em consonância com as diretrizes técnicas de gerenciamento de áreas contaminadas, contemplando intervenções estruturais e não estruturais.

Entre as medidas propostas destacam-se a implantação de barreiras de baixa permeabilidade, a adoção de sistemas de drenagem urbana sustentável e o monitoramento hidrogeoquímico contínuo. Adicionalmente, foram consideradas ações de requalificação ecológica, com o uso de espécies vegetais nativas, visando à melhoria das funções ambientais do espaço urbano.

Essas medidas têm como objetivo reduzir a exposição aos contaminantes, controlar sua mobilidade no subsolo e promover a adaptação da área às condições climáticas futuras, contribuindo para a resiliência ambiental urbana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização geoambiental do Cemitério de Santo Amaro evidenciou condições altamente favoráveis à infiltração e ao transporte de contaminantes no subsolo, sobretudo em função da predominância de solos arenosos, com baixa capacidade de retenção e elevada permeabilidade. Esse comportamento hidrogeológico implica maior vulnerabilidade do aquífero freático, uma vez que favorece a percolação de lixiviados oriundos da decomposição cadavérica, conforme descrito na literatura clássica de fluxo em meios porosos (BEAR, 1979; FETTER, 2001).

A análise hidrogeoquímica indicou alterações relevantes na qualidade das águas subterrâneas em áreas adjacentes ao cemitério. Os valores médios estimados para os principais parâmetros encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros hidrogeoquímicos e avaliação preliminar de qualidade

Parâmetro	Média ± IC95%	Valor orientador	Situação	Interpretação
pH	6,3 ± 0,4	6,0 – 9,5	Conforme	Levemente ácido
CE (µS/cm)	1.280 ± 150	~1.000	Acima	Carga iônica elevada
Cloretos (mg/L)	320 ± 45	250	Acima	Traçador conservativo
Nitratos (mg/L)	18 ± 3	10	Acima	Contaminação orgânica
Chumbo (mg/L)	0,015 ± 0,004	0,01	Acima	Risco toxicológico
Cádmio (mg/L)	0,006 ± 0,002	0,005	Ligeiramente acima	Contaminação antrópica

Fonte: elaborado com base em Brasil (2008), WHO (2011) e literatura técnica.

Os resultados indicam que os parâmetros cloretos, nitratos e condutividade elétrica apresentam valores superiores aos limites recomendados, sugerindo influência significativa de fontes antrópicas, especialmente associadas à decomposição de matéria orgânica. O cloreto, por seu caráter conservativo e baixa reatividade geoquímica, constitui um dos principais indicadores da migração de contaminantes no meio subterrâneo, sendo amplamente utilizado em estudos de contaminação por lixiviados (ZYCHOWSKI; BRYNDAL, 2015).

A elevação das concentrações de nitrato é particularmente relevante, pois indica processos de mineralização da matéria orgânica e subsequente nitrificação, fenômeno típico de ambientes impactados por necrochorume. Esse comportamento é consistente com estudos conduzidos em cemitérios urbanos, nos quais o nitrato é apontado como um dos principais indicadores de contaminação de águas subterrâneas (SILVA et al., 2018; OLIVEIRA; MENDES, 2022).

No que se refere aos metais potencialmente tóxicos, a presença de chumbo e cádmio, ainda que em concentrações relativamente baixas, merece atenção do ponto de vista ambiental e sanitário. Esses elementos podem estar associados a materiais utilizados em sepultamentos e processos de decomposição, podendo representar risco à saúde humana em exposições prolongadas, conforme discutido por Lima et al. (2020) e pela World Health Organization (2011).

A interpretação integrada dos dados sugere a formação de uma pluma de contaminação no aquífero freático, cuja dinâmica é governada pelos processos de advecção e dispersão hidrodinâmica. Em meios arenosos saturados, a



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



velocidade de transporte dos contaminantes tende a ser elevada, reduzindo o tempo de atenuação natural e ampliando o raio de influência da contaminação (BEAR, 1979; FETTER, 2001).

Além dos aspectos hidrogeoquímicos, a análise incorporando variáveis climáticas indica que as mudanças climáticas podem atuar como fator de intensificação dos processos de contaminação. De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação tende a elevar as taxas de recarga hídrica e, conseqüentemente, a percolação de contaminantes no solo. Nesse contexto, pode-se inferir que cenários de aumento de 15% a 25% na precipitação máxima diária resultariam em incremento proporcional no fluxo de lixiviação, ampliando a mobilidade da pluma contaminante.

A análise do modelo conceitual da área evidencia que as principais vias de exposição estão associadas ao uso potencial da água subterrânea por populações próximas, especialmente em cenários de captação irregular ou poços rasos. Esse aspecto é crítico em áreas urbanas densamente ocupadas, onde o crescimento desordenado pode ampliar a exposição humana a contaminantes, conforme discutido por CETESB (2021) e USEPA (2002).

Do ponto de vista da gestão ambiental, os resultados indicam a necessidade de implementação de medidas integradas de reabilitação, com destaque para a instalação de barreiras de baixa permeabilidade, sistemas de drenagem urbana sustentável e monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas. Estratégias baseadas em soluções baseadas na natureza também se mostram promissoras, especialmente no controle da infiltração e na melhoria das funções ecológicas do solo urbano (FLETCHER et al., 2015).

A discussão dos resultados demonstra que cemitérios urbanos, quando implantados em condições geoambientais desfavoráveis, podem atuar como fontes difusas de contaminação, exigindo abordagens integradas de gestão ambiental e planejamento urbano. A incorporação da variável climática amplia a complexidade do problema, mas também oferece oportunidades para o desenvolvimento de soluções inovadoras voltadas à resiliência urbana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

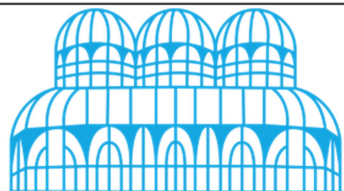
Os resultados obtidos evidenciam que o Cemitério de Santo Amaro apresenta condições geoambientais que favorecem a infiltração e o transporte de contaminantes associados à decomposição cadavérica, especialmente em função da elevada permeabilidade dos solos arenosos e da reduzida capacidade de atenuação natural do meio. A análise hidrogeoquímica indicou alterações nos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas, com destaque para o aumento das concentrações de cloretos, nitratos, condutividade elétrica e metais potencialmente tóxicos, sugerindo influência de fontes antrópicas compatíveis com a geração de necrochorume.

Do ponto de vista hidrogeológico, os processos de advecção e dispersão hidrodinâmica demonstram papel determinante na mobilidade da pluma contaminante, ampliando o potencial de propagação no aquífero freático raso. Esse comportamento é particularmente crítico em ambientes urbanos densamente ocupados, nos quais a proximidade entre fontes de contaminação e potenciais receptores humanos aumenta o risco de exposição, especialmente em cenários de uso irregular de água subterrânea.

A integração da variável climática reforça a complexidade do sistema analisado, uma vez que o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação tende a intensificar os processos de percolação e lixiviação de contaminantes. Dessa forma, as mudanças climáticas atuam como fator potencial de amplificação dos impactos ambientais associados a cemitérios urbanos, exigindo abordagens mais abrangentes e prospectivas no planejamento ambiental.

Diante desse contexto, torna-se imprescindível a implementação de estratégias integradas de gestão ambiental, incluindo a adoção de barreiras de baixa permeabilidade, sistemas de drenagem urbana sustentável e programas de monitoramento hidrogeoquímico contínuo. Adicionalmente, a incorporação de soluções baseadas na natureza e a requalificação ecológica desses espaços urbanos podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais e para o aumento da resiliência climática.

Por fim, destaca-se que a reabilitação ambiental de cemitérios urbanos não deve ser compreendida apenas como uma ação corretiva, mas como uma oportunidade estratégica de integração entre gestão ambiental, planejamento urbano e adaptação climática. Nesse sentido, o estudo contribui para o avanço do conhecimento na interface entre geotecnia



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



ambiental, hidrogeologia e sustentabilidade urbana, fornecendo subsídios técnicos relevantes para a tomada de decisão em políticas públicas e processos de licenciamento ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, C. A. S.; NASCIMENTO, C. A. S. **Reabilitação de áreas degradadas: princípios e práticas**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
2. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, DC: APHA, 2017.
3. BEAR, J. **Hydraulics of groundwater**. New York: McGraw-Hill, 1979.
4. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Diário Oficial da União: Brasília, 2008.
5. CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Áreas contaminadas: procedimentos e orientações técnicas**. São Paulo: CETESB, 2021.
6. FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
7. FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.
8. IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2023.
9. LIMA, J. M. P.; ALVES, R. R.; SILVA, A. S. Contaminação por metais pesados em águas subterrâneas e riscos à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 9, e00077420, 2020.
10. OLIVEIRA, P. R. C.; MENDES, F. R. Cemitérios urbanos e riscos ambientais: avaliação da contaminação do solo e das águas subterrâneas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 523–534, 2022.
11. SILVA, D. M.; LIMA, J. A.; ALMEIDA, M. A. Cemitérios como fontes potenciais de contaminação de águas subterrâneas: revisão sistemática. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 165–174, 2018.
12. USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk Assessment Guidance for Superfund: Human Health Evaluation Manual**. Washington, DC: USEPA, 2002.
13. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Safe management of cemeteries: a WHO guide**. Geneva: WHO Press, 2011.
14. ŻYCHOWSKI, J.; BRYNDAL, T. Cemeteries as sources of groundwater contamination: a review. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 11, p. 7639–7652, 2015.